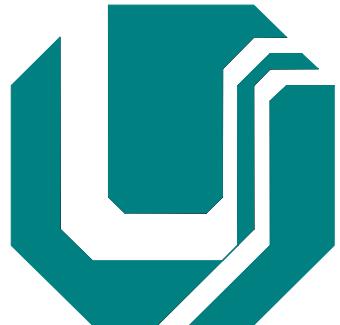


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UFU

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**Sistemas de Cálculo, Análise e Operação Virtual: Interferências de
Campos Elétricos e Magnéticos Produzidas por Estações Radio
Base de Acesso Múltiplo por Divisão de Código em Banda Larga -
WCDMA**

PEDRO KISZKA JÚNIOR

UBERLÂNDIA – 01/08/2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Tese apresentada por Pedro Kiszka Júnior ao Departamento de Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU na Faculdade de Engenharia Elétrica, como Parte dos Requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica na Área de Telecomunicações.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Luciano Martins Neto

Prof. Dr. Silvério Penin Y Santos

Prof. Dr. Edval Delbone

Prof. Dr. Igor Santos Peretta

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

K61s
2015

Kiszka Júnior, Pedro, 1957-
Sistemas de cálculo, análise e operação virtual: interferências de campos elétricos e magnéticos produzidas por estações radio base de acesso múltiplo por divisão de código em banda larga - WCDMA / Pedro Kiszka Júnior. - 2015.
386 f. : il.

Orientador: Luciano Vieira Lima.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Sistemas de computação virtual - Teses. 3. Campos eletromagnéticos - Teses. 4. Ondas de rádio - Propagação - Teses. I. Lima, Luciano Vieira, 1960- II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.3

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA - UFU

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PEDRO KISZKA JÚNIOR

Tese Apresentada por Pedro Kiszka Júnior ao Departamento de Pós-Graduação da Universidade Federal de Uberlândia - UFU na Faculdade de Engenharia Elétrica, como Parte dos Requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Elétrica na Área de Telecomunicações com o tema: Sistema de Cálculo, análise e operação virtual: Interferências de Campos Elétricos e Magnéticos Produzidas por Estações Radio Base de Acesso Múltiplo por Divisão de Código em Banda Larga – WCDMA.

Prof. Dr. Luciano Vieira Lima, UFU - Prof. Phd. Darizon Andrade , UFU
Orientador Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Dedico e agradeço este trabalho à minha família pela compreensão à ausência que lhes causei para realização desse trabalho, Iraci, minha esposa, Carolina e Gabriela, minhas filhas, que sempre, de uma maneira ou de outra, estiveram aliadas aos meus propósitos. E a meus pais Maria Rosa Pauro Kiszka (*in memoriam*) e Pedro Kiszka (*in memoriam*) que sempre me encorajaram e proporcionaram-me condições para estudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida em minha família, com paz e harmonia e pela perseverança no sentido de cuidar dos meus.

Ao Professor Luciano Viera Lima, interlocutor atento e leitor criterioso, pelas instigantes discussões e pela generosidade da orientação acadêmica neste trabalho.

Ao amigo, Edval Delbone, pelo companheirismo, apoio e incentivo durante o curso de Especialização. À amiga, Maria Cristina Aguiar Campos pelo incentivo e pelo empenho em fornecer material de suporte para o desenvolvimento deste trabalho. À amiga Marilza de Oliveira pelas correções de português.

À Universidade Paulista (UNIP), pela oportunidade de trabalho e desenvolvimento acadêmico, em particular ao Diretor e Professor da Engenharia Elétrica, Pedro Frugoli, que tem contribuído de forma ímpar para o meu amadurecimento profissional.

Toda a minha gratidão aos amigos Robson Fujimoto Moretti, Luiz Ventola, Decio Donha de Faria, Wilian Santos, Rogerio Fujimoto e Fabio Martins Silva pelo árduo empenho na busca de instrumentos que viabilizassem esse trabalho. À empresa My Business que disponibilizou instrumentos para realizações dos testes em campo.

RESUMO

Neste trabalho foram desenvolvidas resoluções matemáticas tomando-se como parâmetro valores de intensidade máxima para a análise de interferência de campos elétricos e magnéticos e foram criadas duas famílias de sistema computacional virtual com suporte das tecnologias CDMA e WCDMA.

Na primeira família foram desenvolvidos recursos computacionais para resolução de cálculos de campos elétricos e magnéticos e de densidades de potência em estações Rádio Base, com a utilização de Tecnologia CDMA, na faixa de 800 MHz, levando-se em conta os valores permissíveis referenciados pela Comissão Internacional de Proteção à Radiação não Ionizante. A primeira família é subdividida em dois segmentos de cálculo realizados em operação virtual.

No primeiro segmento computam-se as interferências de campo irradiado por estação rádio base, com entrada de dados tais como: Potência do Canal de Rádio; Ganho da Antena; Número de Canais de Rádio; Frequência de Operação; Perdas no Cabo; Atenuação da Direção; Distância Mínima; Reflexões. O referido sistema computacional permite, de maneira rápida e sem a necessidade da execução de instrumentos para medições, alcançar os seguintes valores calculados: Potência Radiada Efetiva; Densidade de Potência do Setor; Campo elétrico no Setor; Campo Magnético no Setor; Densidade de fluxo Magnético; ponto de exposição máxima permitida de campo elétrico, bem como a densidade de potência. Os resultados são apresentados em gráficos, para clareza da visualização da densidade de potência no setor, assim como para a definição da área de cobertura. O módulo computacional abrange também pastas com especificações de antenas, cabos e torres utilizadas na telefonia celular, dos seguintes fabricantes: RFS World, Andrew, Karthein e Brasilsat. São apresentados diversos “links” de acesso à rede “internet” para complemento das especificações de cabos, antenas, etc.

No segundo segmento da primeira família trabalha-se com mais variáveis, procurando executar cálculos de forma rápida e segura auxiliando na obtenção de resultados das perdas do sinal de rádio produzidas por ERB. Este módulo exibe telas representando sistemas de propagações denominadas “A” e “B”.

Através da propagação “A” são obtidos os cálculos de atenuação do sinal de rádio em áreas de modelos urbana, urbana densa, suburbana, aberta e rural. Nos cálculos de reflexão, estão presentes os coeficientes de reflexão, a relação de onda

estacionária, a perda de retorno, a relação de potência refletida, assim como as perdas do sinal por descasamento de impedância.

Com a propagação “B” se buscam as perdas do sinal de rádio na linha visada e não visada, a área efetiva, a densidade de potência, a potência recebida, o raio de cobertura, a conversão de níveis e a conversão de ganho em sistemas irradiantes.

A segunda família do sistema computacional virtual é composta de 7 módulos, dos quais 5 são voltados para o dimensionamento da tecnologia WCDMA e 2 para cálculo do tráfego telefônico servindo CDMA e WCDMA. Ela contempla um portfólio de sistemas irradiantes utilizados no site.

Na operação virtual do módulo 1 computam-se: distância de reuso de frequência, capacidade do canal com ruído e sem ruído, frequência Doppler, taxa de modulação e eficiência do canal; o módulo 2 engloba computa área da célula, ruído térmico, potência de ruído (dB), figura de ruído, relação sinal ruído, energia de bit (dBm); com o módulo 3 se chega ao cálculo de: breakpoint, ganho de processamento (dB), perda no espaço livre da BTS, potência de ruído (w), período do chip e fator de reuso de frequência. O módulo 4 dimensiona potência efetiva irradiada, ganho de setorização, atividade da voz e efeito carga. O módulo 5 realiza os cálculos de ganho de processamento (Hz/bps), tempo do bit, energia de bit (W.s). O módulo 6 trata do tráfego telefônico 1 e dimensiona: volume de tráfego, Intensidade de ocupação, tempo médio de ocupação, intensidade de tráfego, chamadas completadas, congestionamento. O módulo 7 trata do tráfego telefônico 2 e permite calcular chamadas completadas e não completadas no HMM.

Foram realizados testes em campo de desempenho da rede móvel para a apuração dos dados relativos a: CINP, CPI, RSRP, RSRQ, EARFCN, Drop Call, Block Call, Piloto, Data Bler, RSCP, Short Call , Long Call e Data Call; ECIO – Short Call e Long Call, Data Call Troughput.

Como survey foram realizadas prospecções de campo elétrico e magnético em uma ERB, procurando observar o grau de exposição à radiação não-ionizante a que estão sujeitos o público geral e o elemento ocupacional. Os resultados foram comparados aos valores permissíveis à saúde referendados pela ICNIRP e pela CENELEC.

Abstract

In this work it was developed mathematical resolutions taking as parameter maximum intensity values for the interference analysis of electric and magnetic fields and was given two virtual computer system that supports families of CDMA and WCDMA technologies.

The first family were developed computational resources to solve electric and magnetic field calculations and power densities in Radio Base stations , with the use of CDMA technology in the 800 MHz band , taking into account the permissible values referenced by the Commission International Protection on non-Ionizing Radiation . The first family is divided into two segments of calculation carried out in virtual operation.

In the first segment to compute the interference field radiated by the base station with input information such as radio channel power; Gain antenna; Radio channel number; Operating frequency; Losses in the cable; Attenuation of direction; Minimum Distance; Reflections. Said computing system allows to quickly and without the need of implementing instruments for measurements, meet the following calculated values: Effective Radiated Power; Sector Power Density; Electric field in the sector; Magnetic field in the sector; Magnetic flux density; point of maximum permissible exposure of electric field and power density. The results are shown in charts for clarity of view of power density in the industry, as well as the coverage area definition. The computer module also includes folders specifications antennas, cables and towers used in cellular telephony, the following manufacturers: RFS World, Andrew, Karthein and BRASILSAT. Many are presented "links" network access "Internet" to supplement the cable specifications, antennas, etc. .

In the second segment of the first family work with more variables , seeking to perform calculations quickly and safely assisting in obtaining results of radio signal loss produced by ERB . This module displays screens representing propagation systems denominated "A" and "B".

By propagating "A" are obtained radio signal attenuation calculations in areas of urban models , dense urban , suburban , and rural open . In reflection calculations are present the reflection coefficients , the standing wave ratio , return loss , the reflected power ratio , as well as the loss of the signal by mismatch impedance.

With the spread " B" seek radio signal losses in the survey line and not targeted , the effective area , the power density , the received power , the coverage radius , the conversion levels and the gain conversion systems radiant .

The second family of virtual computing system consists of 7 modules of which 5 are geared towards the design of WCDMA and 2 technology for calculation of telephone traffic serving CDMA and WCDMA . It includes a portfolio of radiant systems used on the site.

In the virtual operation of the module 1 is compute:- distance frequency reuse, channel capacity with noise and without noise, Doppler frequency, modulation rate and channel efficiency; Module 2 includes computes the cell area, thermal noise, noise power (dB), noise figure, signal to noise ratio, bit of power (dBm); with the module 3 reaches the calculation: breakpoint, processing gain (dB) loss in the space of BTS, noise power (w), chip period and frequency reuse factor. Module 4 scales effective radiated power, sectorization gain, voice activity and load effect. The module 5 performs the calculation processing gain (Hz / bps) bit time, bit energy (Ws). Module 6 deals with the telephone traffic and scales 1: traffic volume, occupancy intensity, average time of occupancy, traffic intensity, calls completed, congestion. Module 7 deals with two telephone traffic and allows calculating call completion and not completed in HMM.

Tests were performed on the mobile network performance field for the calculation of data relating to: CINP , CPI , RSRP , RSRQ , EARFCN , Drop Call , Block Call , Pilot , Data Bler , RSCP , Short Call, Long Call and Data Call ; ECIO - Short Call and Long Call , Data Call Troughput .

As survey were conducted surveys of electric and magnetic field in an ERB , trying to observe the degree of exposure to non-ionizing radiation they are exposed to the general public and occupational element. The results were compared to permissible values for health endorsed by the ICNIRP and the CENELEC .

SUMÁRIO

CAPÍTULO – Telefonia Móvel: Estado da Arte

Introdução

| | |
|--|--------|
| 1.1 - Objeto e objetivos do trabalho..... | pag 30 |
| 1.2 - Panorama da telefonia celular no Brasil..... | pag 32 |
| 1.3 - Relevantes Tecnologias da Telefonia Móvel..... | pag 35 |
| 1.4 - Revisão da literatura especializada..... | pag 37 |
| 1.5 – Organização do trabalho..... | pag 40 |

CAPÍTULO I – Fundamentos Técnicos do Sistema CDMA

Introdução

| | |
|--|--------|
| 1.1 - Sistema Celular Digital CDMA: Padrão CDMA (IS-95)..... | pag 42 |
| 1.2 - Espalhamento Espectral..... | pag 44 |
| 1.3 - Configuração dos Canais..... | pag 48 |
| 1.3.1 - Canais do Enlace Direto (BTS para EM)..... | pag 51 |
| 1.3.2 - Canais do Enlace Reverso (EM – BTS)..... | pag 54 |
| 1.4 - Controle de Potência..... | pag 58 |
| 1.4.1 - Controle de Potência do Enlace Direto..... | pag 60 |
| 1.4.2 - Controle de Potência do Enlace Reverso..... | pag 61 |
| 1.4.2.1 - Controle “Open Loop”..... | pag 61 |
| 1.4.2.2 - Controle “Closed Loop”..... | pag 62 |
| 1.4.3 - Controle de Potência do Enlace Direto..... | pag 65 |
| 1.5 - Modulação e Demodulação BPSK no Sistema CDMA..... | pag 66 |
| 1.5.1 - Modulador BPSK..... | pag 66 |
| 1.5.2 - Demodulador BPSK..... | pag 67 |
| 1.6 - Modulador e Demodulador QPSK..... | pag 69 |
| 1.6.1 - Modulador QPSK..... | pag 69 |
| 1.6.2 - Demodulador QPSK..... | pag 71 |
| 1.6.3 - Aplicações no Sistema IS-95 CDMA..... | pag 71 |
| 1.7 - Composição da Infraestrutura do Sistema CDMA..... | pag 72 |
| 1.8 - Sistema de Canais WCDMA..... | pag 74 |
| 1.8.1 - Grupo de Canais de Controle..... | pag 75 |
| 1.8.1.1 - Canais de Transporte..... | pag 76 |
| 1.8.1.2 - Grupo de Canais de Transporte Comum..... | pag 76 |
| 1.8.1.3 - Grupo de Canais de Transporte Dedicados..... | pag 77 |
| 1.8.2 - Mapeamento Canais Lógicos e Transporte..... | pag 77 |
| 1.8.3 - Canais Físicos..... | pag 78 |
| 1.8.3.1 - Canais Físicos do Enlace Direto..... | pag 79 |
| 1.8.3.2 - Canais Físicos do Enlace Reverso..... | pag 81 |
| 1.9 - Canais HSDPA da tecnologia WCDMA FDD..... | pag 83 |
| 1.10 - Arquitetura de Rede UMTS..... | pag 84 |
| 1.11 - Arquitetura dos Protocolos da Interface Aérea UMTS..... | pag 87 |
| 1.11.1 - Camada de Rede – L3..... | pag 88 |
| 1.11.2 - Camada de Enlace de Dados – L2..... | pag 88 |
| 1.11.3 - Camada Física..... | pag 89 |
| 1.12 - Núcleo da Rede – CN..... | pag 89 |
| 1.13 - Rede de Transporte para UMTS..... | pag 91 |
| 1.14 - Planejamento da Capacidade do Sistema..... | pag 93 |

| | |
|--|---------|
| 1.15 - Modulação em UMTS..... | pag 94 |
| 1.16 - Troca de Canais com o Sistema (<i>handoff</i>)..... | pag 99 |
| 1.17 - Controle de Potência WCDMA..... | pag 101 |
| 1.18 - Comparações do WCDMA, GSM , CDMA 2000..... | pag 104 |
| 1.19 - Sistema GSM..... | pag 107 |
| 1.19.1 - Hierarquia TDMA e Espectro de Frequência..... | pag 108 |
| 1.19.2 - Arquitetura de Rede GSM..... | pag 114 |
| 1.19.2.1 - Estação Móvel (MS)..... | pag 115 |
| 1.19.2.2 - Controlador de Estação Rádio Base (BSC)..... | pag 115 |
| 1.19.2.3 - Estação Transceptor Base (BTS)..... | pag 116 |
| 1.19.2.4 - Transcodificador (XCDR)..... | pag 116 |
| 1.19.2.5 - Sistema de Comutação de Rede (NSS)..... | pag 116 |
| 1.19.2.6 - Central de Comutação celular (MSC)..... | pag 117 |
| 1.19.2.7 - Registro de Localização Local (HLR)..... | pag 117 |
| 1.19.2.8 - Registro de Localização de Visitante (VLR)..... | pag 117 |
| 1.19.2.9 - Centro de Autenticação (AuC)..... | pag 117 |
| 1.19.2.10 - Registro de Identidade de Equipamento (EIR)..... | pag 118 |
| 1.19.2.11 - Função de Interfuncionamento (IWF)..... | pag 118 |
| 1.19.2.12 - Supressor de Eco (EC)..... | pag 118 |
| 1.19.3 - Interface Aérea e Intervalos de Tempo TDMA..... | pag 120 |
| 1.19.4 - Canais de Tráfego (TCH)..... | pag 121 |
| 1.19.5 - Multiquadro de Canais de Controle – 51 Quadros..... | pag 122 |
| 1.19.6 – Handover..... | pag 124 |
| 1.19.7 - Visão Geral da Tecnologia GPRS..... | pag 124 |
| 1.19.8 - Canais Físicos do GPRS..... | pag 126 |
| 1.19.9 - Visão Geral da Tecnologia EDGE..... | pag 128 |
| 1.19.10 - Modulação 8-PSK..... | pag 129 |
| 1.20 - Rede de Transporte WCDMA..... | pag 130 |
| 1.21 - Sistema LTE – 4G..... | pag 132 |
| 1.21.1 - Espectro de Frequência..... | pag 133 |
| 1.21.2 - Migração Gradativa das Redes Móveis..... | pag 134 |
| 1.21.3 - Distribuição de Canais..... | pag 136 |
| 1.22 - Composição do Sistema Irradiante..... | pag 138 |
| 1.22.1 - Antenas Painel..... | pag 140 |
| 1.22 - Considerações Finais do Capítulo..... | pag 141 |

CAPÍTULO II – Resolução Computacional CDMA – 1

Introdução

| | |
|--|---------|
| 2.1 - Equacionamento do Sistema de Propagação de RF..... | pag 145 |
| 2.2.1- Potência Efetiva Radiada (ERP) em dBm | pag 146 |
| 2.2.2 - Potência Radiada Efetiva (ERP) em (w)..... | pag 146 |
| 2.2.3 - Densidade de Potência no Setor (S _s) em (dBm)..... | pag 146 |
| 2.2.4 - Densidade de Potência no Setor (S _s) (w/ m ²)..... | pag 147 |
| 2.2.5 - Distância Mínima “r” da ERB (m)..... | pag 148 |
| 2.2.6 - Campo Elétrico no Setor (E _s) (V/m) | pag 149 |
| 2.2.7 - Valores Permissíveis pela ICNIRP: 869 A 894 MHz | pag 149 |
| 2.2.7.1 - Campo Elétrico EEMP (exposição máxima permitida) (v/m) | pag 149 |
| 2.2.7.2 - Densidade de Potência SEMP (exposição m. p.) (mW/cm'2)..... | pag 149 |
| 2.2.7.3 - Densidade de Potência SEMP (W/m ²) | pag 149 |
| 2.2.7.4 - Campo Magnético H (A/m) | pag 149 |

| | |
|---|---------|
| 2.2.7.5 - Densidade de Fluxo Magnético B (μ T)..... | pag 149 |
| 2.3 - Operação virtual de cálculos – Torre | pag 149 |
| 2.3.1- Ferramentas Utilizadas no Operador Virtual..... | pag 150 |
| 2.3.2 -Funções Realizadas através do Segmento | pag 151 |
| 2.4 - Sistemas de Cálculos – CDMA..... | pag 154 |
| 2.4.1 - Campo de Cálculos..... | pag 154 |
| 2.4.2 - Campo de Potência Radiada Efetiva (ERP) | pag 154 |
| 2.4.3 - Campo “Valores Permissíveis ICNIRP”..... | pag 155 |
| 2.4.4 - Campo de Densidade de Potência no Setor (Ss) | pag 156 |
| 2.4.5 - Campo de Área de Cobertura | pag 157 |
| 2.4.6 - Campo de Distância Mínima (r) | pag 158 |
| 2.4.7 - Campo Elétrico no Setor (Es) | pag 159 |
| 2.4.8 - Campo de Conversões | pag 159 |
| 2.4.9 - Gráfico de Densidade de Potência “S” | pag 160 |
| 2.4.10 - Gráfico de Área de Cobertura | pag 161 |
| 2.5 - Resumo do Campo de Cálculo | pag 162 |
| 2.6 - Campo de Antenas | pag 163 |
| 2.6.1 - Antenas RFS (Rádio Frequency System) | pag 164 |
| 2.6.2 - Antenas da Brasilsat | pag 166 |
| 2.6.3 - Antenas Kathrein | pag 167 |
| 2.6.4 - Antenas da Andrew | pag 169 |
| 2.7 – Cabos | pag 171 |
| 2.7.1 - Cabos RFS | pag 172 |
| 2.7.1.1 - Cabos Standard | pag 172 |
| 2.7.1.2 - Cabo Superflexible | pag 175 |
| 2.7.1.3 - Cabos Ultraflexible | pag 177 |
| 2.7.2 - Cabos Andrew | pag 179 |
| 2.7.2.1 - Cabos Heliax Air Dielectric | pag 179 |
| 2.7.2.2 - Cabos Heliax Foam Dielectric | pag 181 |
| 2.8 – Torres | pag 183 |
| 2.9 – Site | pag 184 |
| 2.9.1 - Relatório das Estações por Localidade | pag 184 |
| 2.10 - Aplicação do modelo matemático -1 | pag 187 |
| 2.10.1 - Potência Radiada Efetiva (ERP) dBm | pag 188 |
| 2.10.2 - Potência Radiada Efetiva (ERP) W | pag 188 |
| 2.10.3 - Densidade de Potência no Setor com Reflexão (Ss) dBm | pag 189 |
| 2.10.4 - Densidade de Potência no Setor sem Reflexão (Ss) dBm | pag 189 |
| 2.10.5 - Densidade de Potência no Setor com Reflexão (Ss) W/m^2 | pag 189 |
| 2.10.6 - Densidade de Potência no Setor sem Reflexão (Ss) W/m^2 | pag 189 |
| 2.10.7 - Distância Mínima (r) m | pag 189 |
| 2.10.8 - Campo Elétrico no Setor com Reflexão (Es) V/m | pag 190 |
| 2.10.9 - Campo Elétrico no Setor sem Reflexão (Es) V/m | pag 190 |
| 2.10.10 - Valores Permissíveis | pag 190 |
| 2.10.11 - Campo Elétrico Exposição Máxima Permissível EEMP (V/m) | pag 190 |
| 2.10.12 - Densidade de Potência (Exposição m. p.) SEMP (W/m^2) | pag 190 |
| 2.10.13 - Campo Magnético H (A/m) | pag 190 |
| 2.10.14 - Densidade de Fluxo Magnético B (μ T) | pag 191 |
| 2.10.15 - Área de Cobertura (m) | pag 191 |
| 2.10.16 – Conversões | pag 191 |
| 2.10.16.1 - Ganho da Antena “G” (dBi) | pag 191 |

| | |
|---|---------|
| 2.10.16.2 - Ganho “dB μ V” | pag 191 |
| 2.10.16.3 - Ganho “G” (dBm) | pag 192 |
| 2.11 - Considerações Finais do Capítulo | pag 192 |

CAPÍTULO III – Resolução Computacional CDMA-2

Introdução

| | |
|---|---------|
| 3.1 - Radiação Isotrópica..... | pag 193 |
| 3.2 - Radiação Direcional..... | pag 195 |
| 3.3 - Perda no Espaço Livre..... | pag 196 |
| 3.4 - Modelo de Propagação – A..... | pag 197 |
| 3.4.1 - Modelo para Área Urbana..... | pag 197 |
| 3.4.2 - Modelo para Área Urbana Densa..... | pag 198 |
| 3.4.3 - Modelo de Área Aberta / Rural..... | pag 199 |
| 3.4.4 - Modelo para Área Suburbana..... | pag 200 |
| 3.5 - Modelo de Propagação – B..... | pag 200 |
| 3.6 - Cálculos Adicionais..... | pag 203 |
| 3.6.1 - Cálculos de Reflexão..... | pag 203 |
| 3.6.2 - Conversão de Correção Dipolo / Isotrópico..... | pag 203 |
| 3.6.3 - Conversão de Níveis..... | pag 204 |
| 3.7 - Frequências utilizadas no Brasil em Sistema Celular..... | pag 204 |
| 3.8 - Operações Realizadas pelo operador virtual..... | pag 208 |
| 3.8.1 - Operação do Segmento 1- Propagação A..... | pag 209 |
| 3.8.1.1 - Área Urbana..... | pag 211 |
| 3.8.1.2 - Área Urbana Densa..... | pag 212 |
| 3.8.1.3 - Área Aberta / Rural..... | pag 212 |
| 3.8.1.4 - Área Suburbana..... | pag 213 |
| 3.8.1.5 - Cálculo de Reflexão..... | pag 213 |
| 3.8.1.6 - Faixa de Frequência de Operação..... | pag 214 |
| 3.9 - Operação do Segmento 2 - Propagação “B”..... | pag 214 |
| 3.9.1 - Perdas do Sinal de RF na Linha Visada..... | pag 217 |
| 3.9.2 - Área Efetiva..... | pag 217 |
| 3.9.3 - Perda do Sinal de RF na Linha não Visada..... | pag 217 |
| 3.9.4 - Densidade de Potência..... | pag 218 |
| 3.9.5 - Comprimento de Onda..... | pag 219 |
| 3.9.6 - Potência Recebida..... | pag 219 |
| 3.9.7 - Raio de Cobertura..... | pag 220 |
| 3.9.8 - Conversão de Dipolo / Isotrópico..... | pag 221 |
| 3.9.9 - Conversão de Nível..... | pag 221 |
| 3.10 - Aplicação do modelo matemático – 2..... | pag 222 |
| 3.10.1 - Dados fornecidos ao Operador Virtual (Propagação A/B)..... | pag 222 |
| 3.10.2 - Área Urbana..... | pag 222 |
| 3.10.3 - Área Urbana Densa..... | pag 222 |
| 3.10.4 - Área Aberta / Rural..... | pag 222 |
| 3.10.5 - Área Suburbana..... | pag 223 |
| 3.10.6 - Cálculos de Reflexão..... | pag 223 |
| 3.11 - Propagação “B”..... | pag 223 |
| 3.11.1 - Perda do Sinal de RF na Linha Visada Lp (LOS)..... | pag 223 |
| 3.11.2 - Área Efetiva (Ae)..... | pag 223 |
| 3.11.3 - Perda do Sinal de RF na Linha não Visada. Lp (NLOS)..... | pag 224 |
| 3.11.4 - Densidade de Potência p (W/m'2)..... | pag 225 |

| | |
|---|---------|
| 3.11.5 - Comprimento de Onda (λ)..... | pag 226 |
| 3.11.6 - Potência Recebida (Pr) | pag 226 |
| 3.11.7 - Raio de Cobertura (R)..... | pag 226 |
| 3.11.8 - Conversão Dipolo / Isotrópico..... | pag 226 |
| 3.11.9 - Conversão de Níveis..... | pag 226 |
| 3.12 - Considerações Finais do Capítulo..... | pag 227 |

CAPÍTULO IV – Resolução Computacional WCDMA

Introdução

| | |
|---|---------|
| 4.1 - Resolução Computacional WCDMA Site 1 | pag 230 |
| 4.2 - Resolução Computacional WCDMA Site 2..... | pag 233 |
| 4.3 - Resolução Computacional WCDMA Site 3..... | pag 237 |
| 4.4 - Resolução Computacional WCDMA Site 4..... | pag 241 |
| 4.5 - Resolução Computacional WCDMA Site 5..... | pag 245 |
| 4.6 - Resolução Computacional tráfego Telefônico 1 e 2..... | pag 247 |
| 4.7 - Composição do Site Móvel..... | pag 252 |
| 4.7.1 - Produtos RFS..... | pag 253 |
| 4.7.2 - Commscop..... | pag 257 |
| 4.7.3 - Kathrein..... | pag 265 |
| 4.8 - Considerações Finais do Capítulo..... | pag 271 |

CAPÍTULO V – Prospecções em Campo - WCDMA

Introdução

| | |
|---|---------|
| 5.1 - Prospecções de Campo Elétrico: Cubatão..... | pag 274 |
| 5.2 - Prospecções de Desempenho da Rede Móvel..... | pag 283 |
| 5.2.1 - Prospecções da Rede Móvel: Alphaville..... | pag 288 |
| 5.2.2 - Prospecções da Rede Móvel: Interlagos..... | pag 293 |
| 5.3 - Campo elétrico e magnético permissíveis à saúde..... | pag 310 |
| 5.3.1 - O local da medição: Araçariguama..... | pag 313 |
| 5.3.1.1 - Pontos de medição..... | pag 317 |
| 5.3.2 - Instrumentos de medição..... | pag 317 |
| 5.3.2.1 - EMR- 300 – Medição de Campo Eletromagnético Isotrópico..... | pag 317 |
| 5.3.2.2 - Sonda Isotrópica..... | pag 318 |
| 5.3.2.3 - Trena Eletrônica de 80 metros / Fluke 419D..... | pag 320 |
| 5.3.3 - Resultados da Medição de campo elétrico e magnético..... | pag 322 |
| 5.3.3.1 - Perda no Espaço Livre..... | pag 323 |
| 5.3.3.2 - Cálculos de Distância da ERB..... | pag 325 |
| 5.3.4 - Comparando os resultados com os valores permissíveis..... | pag 326 |
| 5.4 - Considerações Finais do Capítulo..... | pag 327 |

CAPITULO VI – Considerações Finais

| | |
|-----------------|---------|
| Conclusões..... | pag 332 |
|-----------------|---------|

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FIGURAS

| | |
|---|--------|
| Figura 1.1 - Portadora CDMA..... | pag 43 |
| Figura 1.2 - Espectro de Freqüência..... | pag 43 |
| Figura 1.3 - Portadoras CDMA por Banda..... | pag 44 |
| Figura 1.4 - Taxa de Transmissão e Largura de Banda..... | pag 45 |
| Figura 1.5 - Espalhamento Espectral..... | pag 46 |
| Figura 1.6 - Desespalhamento Espectral..... | pag 47 |
| Figura 1.7 - Sinal de Recepção..... | pag 47 |
| Figura 1.8 - Sinal Recuperado..... | pag 47 |
| Figura 1.9 - Matriz de Hadamard..... | pag 48 |
| Figura 1.10 - Seqüênciia Ortogonal..... | pag 49 |
| Figura 1.11 - Tipos de Canais do Enlace Direto..... | pag 52 |
| Figura 1.12 - Canais do Enlace Direto..... | pag 55 |
| Figura 1.13 - Código de Walsh no Enlace Reverso..... | pag 56 |
| Figura 1.14 - Configuração do Enlace Reverso..... | pag 57 |
| Figura 1.15 - Canais do Enlace Reverso..... | pag 59 |
| Figura 1.16 - Controle de Potência..... | pag 60 |
| Figura 1.17 - Processo de Ajuste da Potência Inicial..... | pag 62 |
| Figura 1.18 - Controle Open Loop..... | pag 62 |
| Figura 1.19 - Atenuação Média do Sinal..... | pag 63 |
| Figura 1.20 - Enlace Direto e Reverso..... | pag 64 |
| Figura 1.21 - Controle de Potência Close Loop..... | pag 65 |
| Figura 1.22 - Inner Loop e Outer Loop..... | pag 65 |
| Figura 1.23 - Controle de Potência do Link Reverso..... | pag 66 |
| Figura 1.24 - Controle de Potência do Enlace Direto..... | pag 67 |
| Figura 1.25 - Modulador BPSK..... | pag 68 |
| Figura 1.26 - Demodulador BPSK..... | pag 69 |
| Figura 1.27 - Constelação QPSK..... | pag 71 |
| Figura 1.28 - Modulador QPSK..... | pag 71 |
| Figura 1.29 - Demodulador QPSK..... | pag 72 |
| Figura 1.30 - Modulador OQPSK..... | pag 73 |
| Figura 1.31 - Infraestrutura do Sistema CDMA..... | pag 74 |
| Figura 1.32 - Sistema de Canais WCDMA..... | pag 76 |
| Figura 1.33 - Canais Sistema WCDMA..... | pag 76 |
| Figura 1.34 - Mapeamento dos Canais no Link de Descida..... | pag 79 |
| Figura 1.35 - Mapeamento dos Canais no Link de Subida..... | pag 79 |
| Figura 1.36 - Canais Físicos do Link Direto e Reverso..... | pag 80 |
| Figura 1.37 - Canais de Transporte nos Canais Físico..... | pag 84 |
| Figura 1.38 - Arquitetura UMTS..... | pag 85 |
| Figura 1.39 - Arquitetura da Rede UMTS..... | pag 86 |
| Figura 1.40 - Arquitetura UTRAN..... | pag 87 |
| Figura 1.41 - Sistema RNS..... | pag 87 |
| Figura 1.42 - Arquitetura do Protocolo da Interface Aérea UMTS..... | pag 88 |
| Figura 1.43 - Universal Core para Acesso sem Fio..... | pag 91 |
| Figura 1.44 - Núcleo da Rede UMTS..... | pag 92 |

| | |
|---|---------|
| Figura 1.45 - Rede de Transporte SDH..... | pag 94 |
| Figura 1.46 - Banda de Frequência da Portadora WCDMA..... | pag 97 |
| Figura 1.47 - Modulação QPSK..... | pag 98 |
| Figura 1.48 - Modulação 16 QAM..... | pag 99 |
| Figura 1.49 - Modulação na Interface Aérea..... | pag 100 |
| Figura 1.50 - Inter-frequency Hard Handover..... | pag 101 |
| Figure 1.51 - Inter-System Handover..... | pag 101 |
| Figura 1.52 - Intra-frequency Softer Handover..... | pag 101 |
| Figura 1.53 - Intra-Frequency Soft Handover..... | pag 102 |
| Figura 1.54 - Funções Base de Controle..... | pag 103 |
| Figura 1.55 - Funções de Controle de Potência..... | pag 103 |
| Figura 1.56 - Controle de Potência: Próximo e Distante..... | pag 104 |
| Figura 1.57 - Principais Controle de Potência WCDMA..... | pag 105 |
| Figura 1.58 - Evolução da Rede sem Fio..... | pag 106 |
| Figura 1.59 - Arquitetura de Rede por Multi Radio UMTS..... | pag 107 |
| Figura 1.60 - Evolução da Tecnologia 3G..... | pag 108 |
| Figura 1.61 - Evolução do GSM para 3G/UMTS..... | pag 109 |
| Figura 1.62 - Espectro de Freqüência Padrão P-GSM..... | pag 111 |
| Figura 1.63 - Padrão E-GSM..... | pag 111 |
| Figura 1.64 - GSM 1800..... | pag 111 |
| Figura 1.65 - Padrão PCS 1900..... | pag 112 |
| Figura 1.66 - Portadoras de 200 kHz Link de Subida..... | pag 112 |
| Figura 1.67 - Canais TDM no Quadro GSM..... | pag 113 |
| Figura 1.68 - Composição do Quadro TDM..... | pag 113 |
| Figura 1.69 - Hierarquia de Multiplexação TDMA..... | pag 114 |
| Figura 1.70 - Infraestrutura Básica GSM..... | pag 115 |
| Figura 1.71 - Sistema de Operação e Manutenção..... | pag 120 |
| Figura 1.72 - OMC (R) e OMC (S)..... | pag 120 |
| Figura 1.73 - Quadro TDMA..... | pag 121 |
| Figura 1.74 - Multiquadro com 26 quadros..... | pag 121 |
| Figura 1.75 - Canais de Tráfego de Voz e Dados..... | pag 122 |
| Figura 1.76 - Canais do Multiquadro de Controle..... | pag 123 |
| Figura 1.77 - Evolução do Sistema GSM..... | pag 126 |
| Figura 1.78 - Conexão da Rede Móvel com a Fixa..... | pag 127 |
| Figura 1.79 - Conjunto de Canais Disponíveis na BTS..... | pag 127 |
| Figura 1.80 - Grupos de Canais Lógicos GPRS..... | pag 128 |
| Figura 1.81 - Evolução do Sistema GSM..... | pag 130 |
| Figura 1.82 - Modulação 8PSK..... | pag 131 |
| Figura 1.83 - Transmissão Seqüência de bits..... | pag 131 |
| Figura 1.84 - Modo FDD e TDD..... | pag 132 |
| Figura 1.85 - Evolução das Redes Móveis..... | pag 136 |
| Figura 1.86 - Rede 4G no Mundo..... | pag 137 |
| Figura 1.87 - Canais do LTE..... | pag 137 |
| Figura 1.88 - Canais Físicos 4G..... | pag 138 |
| Figura 1.89 - Canais de Transporte 4G..... | pag 138 |
| Figura 1.90 - Canais Lógicos 4G..... | pag 139 |

| | |
|--|---------|
| Figura 1.91 - Sistema MIMO 2X2..... | pag 139 |
| Figura 1.92 - Codificação Espaço e Tempo..... | pag 140 |
| Figura 1.93 - Multiplexação Espacial..... | pag 140 |
| Figura 1.94 - Célula Padrão..... | pag 141 |
| Figura 1.95 - Antenas RX e TX..... | pag 142 |
| Figura 1.96 - Antena Painel..... | pag 142 |
| Figura 1.97 - Diagrama de Irradiação Vertical..... | pag 143 |
| Figura 1.98 - Diagrama de Irradiação Horizontal..... | pag 144 |
| Figura 2.99 - Diagrama de Funcionalidade..... | pag 152 |
| Figura 2.100 - Fluxograma dos Cálculos..... | pag 153 |
| Figura 2.101 - Campo de Cálculos..... | pag 153 |
| Figura 2.102 - Campo de Cálculos..... | pag 154 |
| Figura 2.103 - Potência Radiada Efetiva..... | pag 155 |
| Figura 2.104 - Valores Permissíveis..... | pag 156 |
| Figura 2.105 - Densidade de Potência no Setor..... | pag 157 |
| Figura 2.106 - Área de Cobertura..... | pag 158 |
| Figura 2.107 - Área de Cobertura – Site..... | pag 158 |
| Figura 2.108 - Distância Mínima..... | pag 159 |
| Figura 2.109 - Campo Elétrico no Setor..... | pag 159 |
| Figura 2.110 - Conversões..... | pag 160 |
| Figura 2.111 - Densidade de Potência “S” | pag 161 |
| Figura 2.112 - Área de Cobertura..... | pag 162 |
| Figura 2.113 - Distância da Medição..... | pag 162 |
| Figura 2.114 - Tipos de Antenas da RFS..... | pag 164 |
| Figura 2.115 - Antena da RFS Base Station..... | pag 165 |
| Figura 2.116 - Product Data Sheet - ALE859012-42T0..... | pag 166 |
| Figura 2.117 - Data Sheet Antena SDV71 – 608 -1..... | pag 168 |
| Figura 2.118 - Antenas Kathrein 806 – 960 MHz..... | pag 168 |
| Figura 2.119 - Data Sheet Antena 739 418..... | pag 169 |
| Figura 2.120 - Antenas Andrew – 806 a 960 MHz..... | pag 169 |
| Figura 2.121 - Antenas Andrew..... | pag 170 |
| Figura 2.122 - Data Sheet Antena LBX-3316DS-VTM..... | pag 171 |
| Figura 2.123 - Cabos..... | pag 172 |
| Figura 2.124 - Tipos de Cabos RFS..... | pag 172 |
| Figura 2.125 - Cabos RFS Standard..... | pag 173 |
| Figura 2.126 - Cabo LCF14-50J..... | pag 174 |
| Figura 2.127 - Cabo Superflexible..... | pag 175 |
| Figura 2.128 - Cabo SCF14-50J..... | pag 176 |
| Figura 2.129 - Cabo RFS Ultraflexible..... | pag 177 |
| Figura 2.130 - Cabo UCF78-50JA..... | pag 178 |
| Figura 2.131 - Cabos da Andrew..... | pag 179 |
| Figura 2.132 - Cabo Heliax Air Dielectric..... | pag 179 |
| Figura 2.133 - Cabo HJ11-50..... | pag 180 |
| Figura 2.134 - Cabos Heliax Foam Dielectric..... | pag 181 |
| Figura 2.135 - Cabo Heliax Foam Dielectric - AL5-50..... | pag 182 |
| Figura 2.136 - Estrutura Cilíndrica (poste) | pag 183 |

| | |
|--|---------|
| Figura 2.137 - Site..... | pag 184 |
| Figura 2.138 - Relatório das Estações por Localidade..... | pag 185 |
| Figura 2.139 - Número de ERBs em Uberlândia..... | pag 185 |
| Figura 2.140 - Operadora do Sistema Móvel..... | pag 186 |
| Figura 2.141 - ERBs no Bairro de Santa Monica..... | pag 186 |
| Figura 2.142 - Dados da Entidade..... | pag 187 |
| Figura 2.143 - Atenuação Dir..... | pag 189 |
| Figura 2.144 - Ângulo de Inclinação “ β ” | pag 191 |
| Figura 3.145 - Radiação Isotrópica..... | pag 193 |
| Figura 3.146 - Ponto de Medição..... | pag 200 |
| Figura 3.147 - Estrutura Rooftop..... | pag 201 |
| Figura 3.148 - Ângulo de Elevação..... | pag 202 |
| Figura 3.149 - Faixas de Freqüência entre 850 e 900 MHz..... | pag 205 |
| Figura 3.150 -Faixa de Freqüência de 1.700 MHz a 1.800 MHz..... | pag 206 |
| Figura 3.151 - Modo de Transmissão FDD e TDD..... | pag 207 |
| Figura 3.152 - Faixa de Freqüência de 1.900 MHz a 2.100 MHz..... | pag 207 |
| Figura 3.153 - Diagrama Geral dos Cálculos..... | pag 209 |
| Figura 3.154 - Diagrama de Atividade Propagação “A” | pag 210 |
| Figura 3.155 - Diagrama de Bloco Propagação “A” | pag 211 |
| Figura 3.156 - Diagrama de Bloco da Área Urbana..... | pag 212 |
| Figura 3.157 - Diagrama de Bloco Área Urbana Densa..... | pag 212 |
| Figura 3.158 - Área Aberta/Rural..... | pag 213 |
| Figura 3.159 - Área Suburbana..... | pag 213 |
| Figura 3.160 - Diagrama de Bloco do Cálculo de Reflexão..... | pag 214 |
| Figura 3.161 - Faixas de Freqüência..... | pag 214 |
| Figura 3.162 - Diagrama de Atividade Propagação “B” | pag 215 |
| Figura 3.163 - Diagrama de Bloco Propagação “B” | pag 216 |
| Figura 3.164 - Perdas da Linha Visada..... | pag 217 |
| Figura 3.165 - Área Efetiva..... | pag 217 |
| Figura 3.166 - Perdas do Sinal na Linha não Visada..... | pag 218 |
| Figura 3.167 - Densidade de Potência..... | pag 219 |
| Figura 3.168 - Comprimento de Onda..... | pag 219 |
| Figura 3.169 - Potência de Recepção..... | pag 220 |
| Figura 3.170 - Raio de Cobertura..... | pag 220 |
| Figura 3.171 - Conversão..... | pag 221 |
| Figura 3.172 - Conversão de Níveis..... | pag 221 |
| Figura 4.173 - Blocos de Cálculos..... | pag 229 |
| Figura 4.174 - WCDMA Site 1..... | pag 230 |
| Figura 4.175 - Distância de Reuso de Freqüência..... | pag 231 |
| Figura 4.176 - Capacidade do Canal com Ruído..... | pag 231 |
| Figura 4.177 - Capacidade do Canal Sem Ruído..... | pag 231 |
| Figura 4.178 - Freqüência Doppler..... | pag 232 |
| Figura 4.179 - Taxa de Modulação..... | pag 233 |
| Figura 4.180 - Eficiência do Canal..... | pag 233 |
| Figura 4.181 - Cálculos WCDMA Site – 2..... | pag 234 |
| Figura 4.182 - Área de Cobertura..... | pag 235 |

| | |
|---|---------|
| Figura 4.183 - Ruído Térmico..... | pag 235 |
| Figura 4.184 - Potência de Ruído..... | pag 236 |
| Figura 4.185 - Figura de Ruído..... | pag 236 |
| Figura 4.186 - Relação Sinal Ruído..... | pag 237 |
| Figura 4.187 - Energia de bit..... | pag 237 |
| Figura 4.188 - Cálculos WCDM Site 3..... | pag 238 |
| Figura 4.189 - Breakpoint..... | pag 239 |
| Figura 4.190 - Ganho de Processamento..... | pag 239 |
| Figura 4.191 - Perda no Espaço Livre – BTS..... | pag 240 |
| Figura 4.192 - Potência de Ruído..... | pag 240 |
| Figura 4.193 - Período de Chip..... | pag 241 |
| Figura 4.194 - Fator de Reuso de Freqüência..... | pag 241 |
| Figura 4.195 - Cálculos WCDMA Site 4..... | pag 242 |
| Figura 4.196 - Potência Efetiva Radiada..... | pag 243 |
| Figura 4.197 - Ganho de Setorização..... | pag 243 |
| Figura 4.198 - Atividade de Voz..... | pag 244 |
| Figura 4.199 - Efeito Carga Eb/no..... | pag 245 |
| Figura 4.200 - Cálculos WCDMA Site 5..... | pag 245 |
| Figura 4.201 - Ganho de Processamento..... | pag 246 |
| Figura 4.202 - Tempo de bit..... | pag 246 |
| Figura 4.203 - Energia de bit..... | pag 247 |
| Figura 4.204 - Cálculos Tráfego Telefônico 1..... | pag 248 |
| Figura 4.205 - Cálculos de Tráfego 2..... | pag 249 |
| Figura 4.206 - Volume de Tráfego..... | pag 249 |
| Figura 4.207 - Intensidade de Ocupação..... | pag 250 |
| Figura 4.208 - Tempo Médio de Ocupação..... | pag 250 |
| Figura 4.209 - Intensidade de Tráfego..... | pag 250 |
| Figura 4.210 - Chamadas Completadas BHC..... | pag 251 |
| Figura 4.211 - Congestionamento..... | pag 251 |
| Figura 4.212 - Chamada Completadas e não Completadas..... | pag 252 |
| Figura 4.213 - Fabricantes..... | pag 253 |
| Figura 4.214 - Produtos RFS..... | pag 253 |
| Figura 4.215 - Diplex FD9R6004/1C-3L..... | pag 254 |
| Figura 4.216 - Cabo HCA58-50J..... | pag 255 |
| Figura 4.217 - Antena APX13GV-15DWVB-C..... | pag 257 |
| Figura 4.218 - Produtos Commscop..... | pag 258 |
| Figura 4.219 - Especificações Elétrica TX / 2TX..... | pag 258 |
| Figura 4.220 - Diagrama de Bloco..... | pag 259 |
| Figura 4.221 - Especificação Elétrica RX / TX..... | pag 260 |
| Figura 4.222 - Especificação Elétrica 2 RX / 2 TX..... | pag 260 |
| Figura 4.223 - Diagrama de Bloco Diplex..... | pag 260 |
| Figura 4.224 - Combinador Mult Band CBC721-DF..... | pag 261 |
| Figura 4.225 - Diagrama de Bloco do Combinador..... | pag 261 |
| Figura 4.226 - Duplexador E15V85P04..... | pag 262 |
| Figura 4.227 - Cabo Coaxial Corrugado AVA6RK-50..... | pag 263 |
| Figura 4.228 - Antena CV65BSX-M..... | pag 265 |

| | |
|--|---------|
| Figura 4.229 - Produtos Kathrein..... | pag 266 |
| Figura 4.230 - Splitter 737303..... | pag 266 |
| Figura 4.231 - Duplexador 78210171..... | pag 267 |
| Figura 4.232 - TDMA Modelo 782 10440..... | pag 268 |
| Figura 4.233 - Combinador Multi Banda 782 10630..... | pag 269 |
| Figura 4.234 - Combinador Híbrido 782 10532..... | pag 270 |
| Figura 4.235 - Antena 800 10249..... | pag 271 |
| Figura 5.236 - Croqui de Acesso dos Pontos de Medição..... | pag 280 |
| Figura 5.237 - Localização da BTS..... | pag 280 |
| Figura 5.238 - Ponto de Medição 1..... | pag 281 |
| Figura 5.239 - Ponto de Medição 2..... | pag 281 |
| Figura 5.240 - Especificações da Antena..... | pag 282 |
| Figura 5.241 - Diagrama de Bloco – Scanner..... | pag 285 |
| Figura 5.242 - Teste Drive..... | pag 285 |
| Figura 5.243 - Scanner PCTEL..... | pag 287 |
| Figura 5.244 - Dados CINR..... | pag 288 |
| Figura 5.245 - PCI de Dados..... | pag 289 |
| Figura 5.246 - Dados RSRP..... | pag 289 |
| Figura 5.247 - RSRQ Dados..... | pag 290 |
| Figura 5.248 - Rastreamento do Canal CINR..... | pag 291 |
| Figura 5.249 - Varredura do EARFCN..... | pag 291 |
| Figura 5.250 - Varredura do PCI..... | pag 292 |
| Figura 5.251 - Varredura RSRP..... | pag 292 |
| Figura 5.252 - Varredura RSRQ-Scanner..... | pag 293 |
| Figura 5.253 - Long Call-RSCP_Device 2..... | pag 299 |
| Figura 5.254 - Events..... | pag 300 |
| Figura 5.255 - Short Call – RSCP_Device 3..... | pag 301 |
| Figura 5.256 - Short Call – Eclo _ Device 3..... | pag 302 |
| Figura 5.257 - Scanner – RSCP_Device 1..... | pag 303 |
| Figura 5.258 - Scanner-Eclo_Device 1..... | pag 304 |
| Figura 5.259 - Data- RSCP_Device 4..... | pag 305 |
| Figura 5.260 - Data – Eclo_Device 4..... | pag 306 |
| Figura 5.261 - Data-BLER_Device 4..... | pag 307 |
| Figura 5.262 - Data-Events..... | pag 308 |
| Figura 5.263 - Data_Throughput..... | pag 309 |
| Figura 5.264 - Piloto_Device 1..... | pag 310 |
| Figura 5.265 - Sites de Araçariguama..... | pag 314 |
| Figura 5.266 - Site Rodovia..... | pag 315 |
| Figura 5.267 - Cadastro do Site..... | pag 315 |
| Figura 5.268 - Site survey..... | pag 316 |
| Figura 5.269 - Distribuição do Espectro de Freqüência..... | pag 316 |
| Figura 5.270 - Pontos de Medição..... | pag 317 |
| Figura 5.271 - Instrumento e Acessórios..... | pag 318 |
| Figura 5.272 - Trena Laser..... | pag 321 |
| Figura 5.273 - Apresentação do Display..... | pag 321 |
| Figura 5.274 - Distância entre Antena e Medidor..... | pag 324 |

TABELAS

| | |
|---|---------|
| Tabela 1.1- Operação “OU Exclusivo”..... | pag 46 |
| Tabela 1.2 -Transmissão de uma Seqüência Ortogonal..... | pag 49 |
| Tabela 1.3 - Recepção de uma Seqüência Ortogonal Correta..... | pag 49 |
| Tabela 1.4 - Recepção de uma Seqüência Ortogonal Incorreta..... | pag 50 |
| Tabela 1.5 - Matriz de Walsh..... | pag 51 |
| Tabela 1.6 - Canais de RF com Segunda Portadora RF..... | pag 53 |
| Tabela 1.7 - Vocoder de Taxas Variáveis..... | pag 54 |
| Tabela 1.8 - Mapeamento de Símbolos e bits..... | pag 70 |
| Tabela 1.9 - Parâmetros HSDPA..... | pag 85 |
| Tabela 1.10 - Erlan B..... | pag 96 |
| Tabela 1.11 - Classes de Potência do UE..... | pag 104 |
| Tabela 1.12 - Pontos Notáveis do WCDMA e CDMA 2000..... | pag 105 |
| Tabela 1.13 - Pontos Relevantes: CDMA 2000 / GSM / WCDMA..... | pag 106 |
| Tabela 1.14 - Taxa de Transferência em Área de Borda de Célula..... | pag 106 |
| Tabela 1.15 - Bandas 3 G..... | pag 115 |
| Tabela 1.16 - Classes de Potência..... | pag 117 |
| Tabela 1.17 - Faixas de Freqüência 2,5 GHZ..... | pag 131 |
| Tabela 1.18 - Sub-faixas e Blocos de Freqüência..... | pag 135 |
| Tabela 1.19 - Faixa de Freqüência 700 MHz..... | pag 135 |
| Tabela 1.20 - Taxa de Transmissão de Usuário..... | pag 136 |
| Tabela 1.21 - Especificações Elétrica e Mecânica APXV866513-7..... | pag 137 |
| Tabela 2.22 - Funções dos cálculos..... | pag 144 |
| Tabela 3.23 - Sub-faixas de Transmissão..... | pag 164 |
| Tabela 3.24 - Sub-Faixas dos Sistemas SMP..... | pag 206 |
| Tabela 4.25 - Base de Cálculos..... | pag 209 |
| Tabela 5.26 - Atenuação Verso Frequência Modelo - HCA58-50J..... | pag 230 |
| Tabela 5.27 - Dados do Site..... | pag 275 |
| Tabela 5.28 - Log de Medição..... | pag 276 |
| Tabela 5.29 - Site CAO4933..... | pag 277 |
| Tabela 5.30 - Ponto de Medição 1..... | pag 278 |
| Tabela 5.31 - Resumo Ponto de Medição 1..... | pag 279 |
| Tabela 5.32 - Ponto de Medição 2 | pag 280 |
| Tabela 5.33 - Resumo de Ponto de Medição 2..... | pag 281 |
| Tabela 5.34 - Scanner Otimização e Desempenho..... | pag 285 |
| Tabela 5.35 - Tecnologias LTE, UMTS, GSM..... | pag 287 |
| Tabela 5.36 - Tecnologias CDMA, EV-DO, Multi..... | pag 287 |
| Tabela 5.37 - Medições de Potência e RF..... | pag 288 |
| Tabela 5.38 - Especificação GPS e Físicas..... | pag 288 |
| Tabela 5.39 - Executive Summary..... | pag 295 |
| Tabela 5.40 - Dados Cadastrais..... | pag 315 |
| Tabela 5.41 - Características Elétricas da Sonda Isotrópica..... | pag 320 |
| Tabela 5.42 - Área de Atuação da Sonda..... | pag 321 |
| Tabela 5.43 - Recursos do Trena..... | pag 321 |
| Tabela 5.44 - Funções do Teclado..... | pag 322 |
| Tabela 5.45 - Indicações do Visor..... | pag 322 |
| Tabela 5.46 - Laser Geral..... | pag 323 |
| Tabela 5.47 - Valores de Campo Elétrico..... | pag 323 |
| Tabela 5.48 - Medições de Campo Magnético..... | pag 324 |
| Tabela 5.49 - Perda no Espaço Livre..... | pag 325 |
| Tabela 5.50 - Distância Ocupacional..... | pag 326 |
| Tabela 5.51 - Distancia ao Publico Geral..... | pag 326 |
| Tabela 5.52 - Exposição Ocupacional..... | pag 327 |
| Tabela 5.53 - Exposição ao Publico Geral..... | pag 327 |

GRAFICOS

| | |
|--|---------|
| Gráfico 5.1 - RSCP_Short Call..... | pag 294 |
| Gráfico 5.2 - Eclo_Short Call..... | pag 295 |
| Gráfico 5.3 - RSCP_Long Call..... | pag 295 |
| Gráfico 5.4 - Eclo_Long Call..... | pag 296 |
| Gráfico 5.5 - RSCP_Data Call..... | pag 296 |
| Gráfico 5.6 - Eclo_Data Call..... | pag 297 |
| Gráfico 5.7 - RSCP_Scanner..... | pag 297 |
| Gráfico 5.8 - Eclo_Scanner..... | pag 298 |
| Gráfico 5.9 - Data Call_Throughput..... | pag 298 |
| Gráfico 5.10 - Valores Permissíveis CENELEC..... | pag 312 |
| Gráfico 5.11 - Campo Próximo e Distante..... | pag 313 |
| Gráfico 5.12 - Perda no Espaço Livre..... | pag 324 |

LISTA DE ABREVIATURAS¹

| | |
|-------------|--|
| ❖ A | Altura da antena |
| ❖ ACCH | Associated Control Channel |
| ❖ Ae | Área Efetiva |
| ❖ ADSL | Asymmetric Digital Subscriber Line |
| ❖ AGCH | Access Grant Channel |
| ❖ AICH | Acquisition Indication Channel |
| ❖ Aiso | Área Efetiva de uma Antena Isotrópica |
| ❖ Am | Perda por Descasamento de Impedância |
| ❖ AMC | Adaptive Modulation and Coding |
| ❖ AMPS | Advanced Mobile Phone System |
| ❖ Ar | Perda de Retorno |
| ❖ ARFCN | Absolute Radio Frequency Channel Number |
| ❖ Aten.dir | Atenuação de Afastamento do Lóbulo Principal da Antena |
| ❖ ATM | Asynchronous Transfer Mode |
| ❖ AuC | Authentication Center |
| ❖ B | Densidade de Fluxo Magnético |
| ❖ BC | Billing Center |
| ❖ BCCH | Broadcast Control Channel |
| ❖ BCH | Broadcast Channel |
| ❖ BHC | Busy Hour Call |
| ❖ BHCA | Busy-Hour Call Attempts |
| ❖ BLER | Block Error Rate |
| ❖ BMC | Broadcast Multicast Control |
| ❖ bps | Bits por Segundo |
| ❖ BPSK | Binary Phase Shift Keying |
| ❖ BSC | Base Station Controller |
| ❖ BSS | Base Station Subsystem |
| ❖ BTS | Base Transmitter Station |
| ❖ BT | Base Transmitter |
| ❖ C | Perdas no Cabo |
| ❖ c | Velocidade da Luz |
| ❖ C1,C2,C0 | Correção do Sinal de RF em Função da Frequência |
| ❖ CBCH | Cell Broadcast Channel. |
| ❖ CCC | Central de Controle de Comutação |
| ❖ CCCH | Common Control Channel |
| ❖ CD/CA-ICH | Collision Detection Indication Channel |
| ❖ CDMA | Code Division Multiple Access. |
| ❖ CEPT | European Conference of Postal and Telecommunications |
| ❖ CH | Channel |
| ❖ CINR | Carrier Interference Noise Ratio |
| ❖ CN | Core network |
| ❖ CPA | Controle por Programa Armazenado. |
| ❖ CPCH | Common Packet Channel |
| ❖ CPICH | Common Pilot Channel |
| ❖ CRC | Cyclic Redundancy Check |
| ❖ CSICH | CPCH Status Indication Channel |

¹ As siglas em português foram criadas especificamente para esta pesquisa.

| | |
|----------|--|
| ❖ CTCH | Common Traffic Channel |
| ❖ d | Atenuação devido a Distância |
| ❖ d | Distância do Ponto de Medição na Torre |
| ❖ DCCH | Dedicated Control Channel |
| ❖ DCH | Dedicated Channel |
| ❖ DEMUX | Demutiplexador |
| ❖ DHCP | Dynamic Host Configuration Protocol |
| ❖ DL-SCH | Downlink Shared Channel |
| ❖ DNS | Domain Name System |
| ❖ DPDCH | Dedicated Physical Data Channel |
| ❖ DS | Direct Sequence |
| ❖ DSCH | Downlink Shared Channel |
| ❖ DTCH | Dedicated Traffic Channel |
| ❖ DUP | Duplexador |
| ❖ E | Intensidade de Campo Elétrico |
| ❖ EARFCN | Absolute Radio Frequency Channel Number |
| ❖ Eb | Energia de Bit |
| ❖ EC | Energia de Chip |
| ❖ EDGE | Enhanced Data Rates for GSM Evolution |
| ❖ EEMP | Campo Elétrico EEMP (exposição máxima permitida) |
| ❖ EIR | Equipment Identity Register |
| ❖ EIRP | Effective Isotropic Radiated Power |
| ❖ EM | Equipamento Móvel |
| ❖ E-AMPS | Extended AMPS |
| ❖ ERB | Estação Rádio Base |
| ❖ ERF | Enhanced Full Rate |
| ❖ ERP | Effective Radiation Power |
| ❖ Es | Campo Elétrico no Setor |
| ❖ ESN | Equipment Serial Number |
| ❖ ETSI | European Telecommunication Standards Institute |
| ❖ EV-DO | Evolution Data Only |
| ❖ f | Frequência |
| ❖ FACCH | Fast Associated Control Channel. |
| ❖ FACH | Forward Access Channel |
| ❖ FCCH | Fast Associated Control Channel |
| ❖ FDD | Frequency Division Duplex |
| ❖ FDMA | Frequency Division Multiple Access |
| ❖ FER | Frame-Error-Rate |
| ❖ FH | Frequency Hopping |
| ❖ FOCC | Forward Control Channel |
| ❖ FQI | Frame Quality Indicator |
| ❖ FR | Full Rate |
| ❖ FSK | Frequency Shift Keying |
| ❖ FVC | Forward Voice Channel |
| ❖ FTTH | Fibre-To-The-Home |
| ❖ G | Ganho |
| ❖ GERAM | GSM EDGE Radio Access Network |
| ❖ GGSN | Gateway GPRS Support Node |
| ❖ GMSC | Gateway MSC |
| ❖ QoS | Quality of Service |

| | |
|--------------|---|
| ❖ GPS | Global Positioning System |
| ❖ GPRS | General Packet Radio System |
| ❖ Gr | Ganho de Antena de Recepção |
| ❖ GSM | Global System for Mobile Communications |
| ❖ Gt | Ganho da Antena de Transmissão |
| ❖ QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| ❖ h | Altura da Antena |
| ❖ H | Campo Magnético |
| ❖ Hb | Altura da Antena (estação rádio base) |
| ❖ HLR | Home Location Register |
| ❖ hm | Altura da Estação Móvel |
| ❖ HMM | Horario de Maior Movimento |
| ❖ HR | Half Rate |
| ❖ hroof | Altura da Antena Instalada no Rooftop |
| ❖ HSDPA | High Speed Downlink Packet Access |
| ❖ HS-DSCH | High Speed Downlink Shared Channel |
| ❖ HS-PDCCH | Uplink High Speed Dedicated Physical Control Channel |
| ❖ HS-SCCH | High Speed Shared Control Channel |
| ❖ ICNIRP | International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection |
| ❖ IMSI | International Mobile Subscriber Identity |
| ❖ IMEI | International Mobile Equipment Identity |
| ❖ IMTS | Improved Mobile Telephone System |
| ❖ IP | Internet Protocol |
| ❖ IS-95 | Interim Standard 95 |
| ❖ ISDN | Integrated Services Digital Network |
| ❖ IWF | Inter Working Function |
| ❖ IWMSC | Inter Working MSC |
| ❖ k | Fator de Reuso de Célula |
| ❖ Ko, ka, kf | Constante de Propagação |
| ❖ L diff | Perda do Sinal RF por Difração |
| ❖ L | Dimensão Máxima Total da Antena Transmissora |
| ❖ LAI | Automatic Location Identification |
| ❖ LNA | Low Noise Amplifier |
| ❖ LOS | Line-of-Sight |
| ❖ Lp (LOS) | Perda do Sinal de Rádio na Linha Visada |
| ❖ Lp (NLOS) | Perda do Sinal na Linha não Visada |
| ❖ Lp o | Perda do Sinal de Rádio na Area Aberta |
| ❖ Lp r | Perda do Sinal de Rádio na Area Rural |
| ❖ Lp su | Perda do Sinal de Rádio na Area Sub Urbana |
| ❖ Lp u | Perda do Sinal de Rádio na Area Urbana |
| ❖ Lp ud | Perda do Sinal de Rádio na Area Urbana Densa |
| ❖ Lp | Perda do Sinal de Rádio no Espaço Livre |
| ❖ LTE | Long-Term Evolution |
| ❖ MAC | Medium Access Control |
| ❖ MCH | Multicast Channel |
| ❖ MCCH | Multicast Control Channel |
| ❖ MIMO | Multiple Input Multiple Output |
| ❖ MM | Mixed Mode Bit |
| ❖ MMDS | Multichannel Multipoint Distribution Service |
| ❖ MSC | Mobile Switching Center |

| | |
|-----------|---|
| ❖ MSISDN | Mobile Subscriber ISDN Number |
| ❖ MSRN | Mobile Station Roaming Number |
| ❖ MTCH | Multicast Traffic Channel |
| ❖ N | Número de Canais de um Setor. |
| ❖ NAS | Network Attached Storage |
| ❖ n(t) | Ruído |
| ❖ NCH | Network Channel |
| ❖ Nod-B | The Base station in WCDMA Systems |
| ❖ NMC | Network Management Center |
| ❖ NSS | Network Sub System |
| ❖ NW | Network Wireless |
| ❖ OMC | Operations and Maintenance Center |
| ❖ OMC-R | Operation and Maintenance Center - Radio |
| ❖ OMC-S | Operation and Maintenance Center - Switching |
| ❖ OMC-T | Operation and Maintenance Center - Transmission |
| ❖ WHO | World Health Organization |
| ❖ OQPSK | Offset Quadrature Phase Shift Keying |
| ❖ PACCH | Packet Associated Control Channel |
| ❖ PAGCH | Packet Access Grant Channel |
| ❖ PBCH | Physical Broadcast Channel |
| ❖ PBCCH | Packet Broadcast Central Channel |
| ❖ PCCCH | Packet Common Control Channel |
| ❖ PCCH | Paging Control Channel |
| ❖ P CCPCH | Primary Common Control Physical Channel |
| ❖ PCFICH | Physical Control Format Indicator Channel |
| ❖ PCH | Paging Channel |
| ❖ PCI | Physical Cell Identity |
| ❖ PCM | Pulse Code Modulation |
| ❖ PCPCH | Common Packet Channel |
| ❖ Pd | Potência Direta |
| ❖ PDCCH | Packet Data Control Channel |
| ❖ PDCH | Physical Dedicated Channel |
| ❖ PDH | Pheisocrono Digital Hierarquia |
| ❖ PDN | Packet Data Network |
| ❖ PDSCH | Physical Downlink Shared Channel |
| ❖ PDTCH | Packet Data Traffic Channel |
| ❖ PDTCH/D | Packet Data Traffic Channel Dow |
| ❖ PDTCH/U | Packet Data Traffic Channel Up |
| ❖ PDU | Protocol Data Unit |
| ❖ P-GSM | Packet GSM |
| ❖ PICH | Paging Indicator Channel |
| ❖ PLMN | Public Land Mobile Network |
| ❖ PMCH | Physical Multicast Channel |
| ❖ PN | Pseudo Noise |
| ❖ PNCH | Packet Data Notification Channel |
| ❖ PPCH | Packet Pagin Channel |
| ❖ Pr | Potência Refletida |
| ❖ Pr/P | Relação de Potência Refletida |
| ❖ PRACH | Packet Random Access Channel |
| ❖ Prx | Potência de Recepção |

| | | |
|---|---------|--|
| ❖ | PSTN | Public Switch Telephone Network |
| ❖ | Pt | Potência de Transmissão do Canal de RF da BTS. |
| ❖ | PTCH | Packet Control Channel |
| ❖ | PUCCH | Physical Uplink Control Channel |
| ❖ | PUSCH | Physical Uplink Shared Channel |
| ❖ | QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| ❖ | r | Coeficiente de Reflexão |
| ❖ | r | Distância Mínima |
| ❖ | R | Raio de Cobertura |
| ❖ | r(t) | Sinal Recebido |
| ❖ | RACH | Random Access Channel |
| ❖ | RCC | Reverse Control Channel |
| ❖ | RF | Radio Frequency |
| ❖ | RLC | Radio Link Control |
| ❖ | RNC | Radio Network Controller |
| ❖ | RNS | Radio Network System |
| ❖ | RRC | Radio Resource Control |
| ❖ | RSR | Relação Sinal Ruído |
| ❖ | RSRP | Reference Signal Received Power |
| ❖ | RSRQ | Reference Signal Received Quality |
| ❖ | RSSI | Received Signal Strength Indicator |
| ❖ | RTPC | Real Time Control Protocol |
| ❖ | RVC | Reverse Voice Channels |
| ❖ | SACCH | Slow Associated Control Channel |
| ❖ | SAT | Supervisory Audio Tone |
| ❖ | SBY | Standby |
| ❖ | SCCPCH | Secondary Common Control Physical Channel |
| ❖ | SCH | Synchronisation Channel |
| ❖ | SCI | Synchronized Capsule Indicator |
| ❖ | SDCCH | Stand Alone Dedicated Control Channel |
| ❖ | SDH | Synchronous Digital Hierarchy |
| ❖ | SDU | Service Data Unit |
| ❖ | SEMP | Densidade de Potência (exposição máxima permitida) |
| ❖ | SGSN | Serving GPRS Support Node |
| ❖ | si(t) | Sinal Transmitido |
| ❖ | SIM | Subscriber Identity Module |
| ❖ | SIP | Session Initiation Protocol |
| ❖ | SMC | Short Message Center |
| ❖ | SMC-SC | Short Message Service Center |
| ❖ | SMS | Short Message Service |
| ❖ | Ss | Densidade de Potência no Setor |
| ❖ | ST | Signaling Tone |
| ❖ | T | Inclinação da Antena em Relação ao Solo |
| ❖ | T | Tempo de Duração de Símbolo |
| ❖ | TCH | Traffic Channel |
| ❖ | TCH/EFS | TCH Enhanced Full Rate Speech Channel |
| ❖ | TCH/FS | Traffic Channel /Full Rate |
| ❖ | TCH/HS | Traffic Channel /Half Rate |
| ❖ | TDD | Timing Division Duplex |
| ❖ | TDM | Time Division Multiplex |

| | |
|--------------|--|
| ❖ TDMA | Time Division Multiple Access |
| ❖ TMA | Tower Monted Amplifier |
| ❖ TMSI | Temporary Mobile Subscriber Identity |
| ❖ TRAU | Transcoder Rate Adapter Unit |
| ❖ TRX | Transceptor |
| ❖ LTE | Long-Term Evolution |
| ❖ UE | User Equipment |
| ❖ UMTS | Universal Mobile Telecommunication Service |
| ❖ UTRAN | UMTS Terrestrial Radio Access Network |
| ❖ UL-SCH | Uplink Shared Channel |
| ❖ VLR | Visitor Location Register |
| ❖ VM | Voice Mail |
| ❖ VOCODER | Voice Encoder Decoder |
| ❖ W | Código de Walsh |
| ❖ w | Largura da rua |
| ❖ Wc | Portadora |
| ❖ WLAN | Wireless LAN |
| ❖ ΔW | Distância entre Móvel e a Edificação (rooftop) |
| ❖ H | Eficiência da Antena |
| ❖ λ | Comprimento de Onda |
| ❖ ρ | Densidade de Potência |

CAPÍTULO I

TELEFONIA MÓVEL: O ESTADO DA ARTE

Introdução

O aumento explosivo de estações rádio base no território nacional dá a dimensão da relevância da telefonia celular na esfera das comunicações. Segundo a União Internacional das Telecomunicações, o Brasil é o 5º. maior mercado do mundo em telefonia celular, sendo que no agosto de 2015 apresentou 281 milhões de aparelhos celulares com uma participação de 137,65 celulares para cada cem habitantes, dos quais o WCDMA contribui com 162 milhões de terminais e 73.493 sites compartilhados com as operadoras de serviço celular, registrando uma participação de 57,55 %, em comparação com as demais tecnologias e um crescimento anual de 70,9 %. [4.8]

Tendo se tornado uma necessidade nas redes domésticas, privadas e públicas, os serviços de banda larga móvel se expandiram ainda mais, atingindo o impactante número de 635 milhões de terminais no primeiro trimestre de 2015, dos quais o Brasil participou com 11,8 milhões em maio de 2015, apresentando o crescimento anual de 394,5 % no período de 2014 a 2015. (Fonte ANATEL/GSA)

Os usuários podem navegar pela Internet ou enviar e-mails usando notebooks com HSPA integrado, substituir seus modems DSL fixos por modems HSPA e enviar e receber vídeo ou música usando terminais 3G. Com o LTE, a 4ª. geração de telefonia móvel, são adicionadas novas aplicações, como TV interativa, blogs de vídeo móvel, jogos avançados e serviços profissionais.

O avanço tecnológico das telecomunicações deve ser tributado ao adiantamento da microeletrônica e ao desenvolvimento das ferramentas de software, as quais têm inserido no mercado diferentes sistemas de comunicação móvel garantindo a interoperabilidade dos sistemas e a comunicação global, com transmissão de voz, dados e aplicações multimídia (GUIMARÃES, s/d).

Apesar dos grandes investimentos feitos na implementação de novos serviços e na segurança da comunicação, há uma lassidão no âmbito dos níveis permissíveis de campo eletromagnético, em virtude da dificuldade de acesso a modelos de predição dos valores de rádio propagação por telefonia móvel, haja vista que nem os

órgãos regulamentadores e fiscalizadores nem as operadoras de serviços de telefonia móvel celular fornecem informações a respeito de níveis de medições.

A dificuldade em obter informações dos níveis de medições não ionizantes de campo eletromagnético e da densidade de potência gerados por ERBs é um forte argumento em favor da necessidade de investir em estratégias que possam auxiliar os pesquisadores na detecção dos valores de rádio propagação por rede móvel. É nesse sentido que se deve entender a contribuição desta pesquisa, realizada com o apoio da Universidade Federal de Uberlândia, a qual tem como objeto de estudo o desenvolvimento de resoluções matemáticas em operação virtual para as medições dos níveis não nocivos.

1.1. Objeto e Objetivos do Trabalho

Assumindo como hipótese de trabalho que sistemas especialistas podem produzir e medir os valores de propagação de sinal de rádio, tem-se por objeto de estudo o cálculo e as prospecções dos níveis não nocivos. Pretende-se, portanto, como objetivo central desta tese desenvolver um sistema computacional capaz de produzir e medir os valores de campos eletromagnéticos não ionizantes gerados por estações rádio base nas tecnologias CDMA e WCDMA.

Avançando na solução do impasse – necessidade *versus* impedimento de medição de propagação de sinal de rádio –, propõe-se como objetivos específicos:

- i. a construção de duas famílias de sistema computacional, com suporte das tecnologias CDMA e WCDMA em estação rádio;
- ii. um site na web como ferramenta;
- iii. realização de medições;
- iv. comparação dos resultados com os valores permissíveis à saúde, referendados pela ICNIRP e pela CENELIC.

A construção de duas famílias de sistema computacional em estação rádio base, de operação virtual, visa a, com custos bastante reduzidos, informar e orientar o pesquisador a gerar e medir campos eletromagnéticos. Optou-se pela criação de um operador virtual por ser um recurso interativo para a obtenção dos fundamentos técnicos envolvidos no *site*. Além de facilitar o entendimento da operação e a resolução matemática dos cálculos, o sistema computacional virtual tem grande

eficácia pela forma rápida e segura de se atingir os valores das interferências de “Campo Elétrico”, “Campo Magnético” e Densidade de Potência nas estações rádio base de “Acesso Múltiplo por Divisão de Código – CDMA e WCDMA. Com a finalidade de facilitar o acesso remoto, foi criado um site na WEB como ferramenta no qual foram inseridas as duas famílias de sistema computacional e os bancos de dados de produtos.

Para este trabalho foram tomados por base os níveis de referência permissíveis sugeridos pelas Diretrizes Internacionais da ICNIRP e respaldados pela OMS, propostos para fins de segurança. As informações das ERBs instaladas no território nacional foram obtidas através de sites específicos da internet.

A primeira família de sistema computacional, pertinente à tecnologia CDMA, tem a função de: calcular os valores de máximo permissíveis para campo elétrico, campo magnético e densidade de potência; gerar gráficos de densidade de potência e da área de cobertura produzidas por estações rádio base; recuperar as especificações técnicas de equipamentos utilizados em site de telefonia móvel tais como antenas, cabos e torres; obter a localização de sites licenciados em nível nacional; propor modelos de predição de propagação de sinais de rádio em zonas urbanas, urbanas densas e rural, na tecnologia CDMA e WCDMA; analisar as condições de perda de propagação do sinal rádio nas linhas visada e não-visada.

Nesses sistemas os valores permissíveis dos “campos elétricos e magnéticos” são colocados e comparados com os valores permissíveis e referenciados pela “International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection” – “ICNIRP”. Para o cálculo dos níveis de sinal recebido, foram adotados os modelos de predição baseados em dados experimentais e extensivos em análise estatística na faixa de frequência entre 150 MHz e 2GHz. Para o dimensionamento da perda do sinal em um percurso médio, foram adotados os modelos Okumura-Hata e Walfisch – Ikegami. Na construção dos dois segmentos da 1^a. família foram utilizados os seguintes aplicativos: software da Delphi 2007 para o equacionamento, Flash Cs3 da Adobe para gerar animações gráficas, plataforma Windows e Arquivos HTML, uma vez que as informações são carregadas pelo software. Excluiu-se o uso de banco de dados como forma de obter especificações técnicas de cabos e antenas, para não ocupar grandes espaços de armazenamento e para evitar o risco de usar dados ultrapassados, devido às constantes atualizações com o aparecimento de produtos novos e suas descontinuidades.

A segunda família de sistema computacional virtual, que usa a tecnologia WCDMA, compreende um banco de dados dos produtos utilizados no *site*, tais como antenas, cabos, amplificadores, *diplexer*, *splitters*, duplexadores e combinados. Com essas informações, foram desenvolvidos 7 módulos por meio dos quais é possível fazer diferentes cálculos, tais como: Distância de reuso de frequência, Capacidade do canal com ruído, Capacidade do canal sem ruído, Frequência Doppler, Taxa de modulação, Eficiência do canal, Área da célula, Ruído Térmico, Figura de Ruído, Relação sinal ruído, Potência Ruído, Energia de bit, Ganho de processamento, Breakpoint, Perda no espaço livre aproximado, Período do Chip, Potência de Ruído, Relação portadora ruído, Potência radiada efetiva, Efeito carga em relação Eb/No, Fator de reuso de frequência, Ganho de setorização em função Eb/No, Atividade da voz em função do n.o de usuários, Energia de bit, Duração do tempo de um bit, Volume de tráfego, Intensidade de ocupação, Tempo médio de ocupação, Intensidade de tráfego, Congestionamento, BHC(chamadas completadas HMM), BHCA (chamadas completadas e não completadas).

Cobrindo os campos elétrico e magnético, foi realizado um *survey* que contou com 1500 medições, calculando a distância do público e da exposição ocupacional em relação à rádio base, seguindo os parâmetros de pesquisa realizada pela CENELIC e comparando os resultados com os valores permissíveis à saúde.

1.2. Panorama da Telefonia Celular no Brasil

São várias as tecnologias envolvidas na realização deste trabalho, razão por que elaborou-se uma breve linha do tempo do desenvolvimento da telefonia móvel no Brasil para melhor situar a proposta desta pesquisa.

A telefonia móvel foi introduzida no Brasil em 1972, por meio de um sistema de baixa capacidade, com tecnologia “IMTS” (*Improved Mobile Telephone System*), anterior à tecnologia celular. Instalado em Brasília, esse sistema operava com 150 terminais. Em 1984 foi implementado o sistema de tecnologia celular, com base no padrão americano de tecnologia analógica “AMPS” (*Advanced Mobile Phone System*, ou Sistema de Comunicação de Telefonia Celular). O aumento da demanda forçou o Ministério das Comunicações a expandir a Banda de frequência para o sistema móvel celular que utilizava o padrão “E-AMPS” (*Extended AMPS*).

Em 1990, ano da popularização da telefonia móvel, a Telerj implantou o sistema de telefonia celular no Rio de Janeiro. Única operadora nacional na época, a sua capacidade era bastante reduzida, contando com apenas dez mil aparelhos e 17 estações ERB's. Celulares menores e mais leves começaram a surgir no ano seguinte, mas com potência diminuta. Ou seja, a inovação dos aparelhos se concentrava no tamanho e não no desempenho.

Avanços no mercado nacional foram motivados pela necessidade de comunicação de grandes líderes mundiais. O evento "Rio 92", que atraiu representantes do mundo inteiro para a discussão sobre ecologia, exigiu a construção de uma série de antenas espalhadas no Galeão, Centro, Zona Sul, Barra da Tijuca e Rio centro para facilitar a comunicação das autoridades. Cinco anos depois a Telerj já contava com 300 mil clientes.

O crescimento do mercado das telecomunicações foi impulsionado em 1998 pela implementação das tecnologias CDMA² e TDMA, ambas na região sudeste. Esse ano foi marcado pela criação da *holding* "Tele Sudeste Celular", que reunia as 23 operadoras da Banda A atuantes no Rio e no Espírito Santo, e cujo controle foi adquirido pelo consórcio Telefônica Internacional (empresa espanhola) - Iberdrola - "NTT Itochu". Detentora de boa parte do mercado de tecnologia GSM na Europa, a Telefônica trouxe para o Brasil a infraestrutura da tecnologia CDMA. O número de antenas cresceu para 851 (652 com tecnologias analógicas e 199 digitais), entretanto esse crescimento não foi acompanhado de planejamento e as antenas eram instaladas aleatoriamente. Apareciam em topo de edifícios, hospitais, caixa de água, torres, fachada de prédios. Sob a pressão social e política, as Concessionárias de Telecomunicações foram forçadas a criar planos de instalação de antenas.

Ainda em 1998 a "Algar Telecom Leste" (ATL) emplacou como concorrente no Brasil, com a tecnologia TDMA, atendendo à Banda B de telefonia móvel nos estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo.

Atualmente, a telefonia móvel no Brasil encampa três tecnologias diferentes: CDMA, TDMA e GSM. A primeira, introduzida e explorada pela Telefônica, tem focado na velocidade para enviar/receber mensagens e acessar a internet pelo

² Faremos uma descrição de cada tecnologia na próxima seção.

celular. A TDMA ainda é adotada pela ATL que, porém, dá indícios de migrar para a tecnologia GSM, usada pelas operadoras “Oi”, da “Telemar”.

Partnership Project (3GPP), considerado, atualmente, como o grupo de desenvolvimento de normas dominante para sistemas de radiocomunicações móveis, surgiu em 2008 com a associação de 300 empresas individuais. Dentro da faixa evolução 3GPP, evidenciam-se três tecnologias de acesso: a 'Segunda geração' GSM / GPRS / EDGE foi baseada em Tempo e Frequência – *Division Multiple Access* (TDMA / FDMA); a terceira geração UMTS trouxe o *Code Division Multiple Access* (CDMA) para dentro da evolução 3GPP e promoveu o emprego do CDMA de banda larga com 5 MHz ou simplesmente WCDMA; finalmente LTE adotou *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* (OFDM), que é a tecnologia de acesso das mais recentes evoluções dos padrões de rádio móveis. Dando continuidade ao avanço da tecnologia dos GSM e UMTS dentro da 3GPP, o sistema LTE veio para expandir o serviço de provisão para além de chamadas de voz, no sentido de criar uma interface aérea multisserviço. Isso já era um dos principais objectivos de UMTS e GPRS / EDGE, mas LTE foi projetado desde o início com o objetivo de evoluir a tecnologia de acesso de rádio sob o pressuposto de que todos os serviços e o núcleo da rede seriam de comutação de pacotes.

O LTE se alinha às novas exigências do mercado no que concerne à flexibilidade da implantação do espectro de frequência, podendo operar em *Frequency Division-Duplex* (FDD) e *Time-Division Duplex* (TDD) em um quadro harmonizado projetado também para apoiar a evolução da TD-SCDMA (*Time-Division Synchronous Código Division Multiple Access*).

O padrão geral é de uma evolução do rádio móvel em direção flexível, packet-oriented, sistemas multisserviço. Estes sistemas foram criados para oferecer uma banda larga móvel para o usuário que pode se utilizar também das actuais redes de acesso fixas, tais como *Asymmetric Digital Subscriber Line* (ADSL) e *Fibre-To-The-Home* (FTTH).

Atualmente, todas as tecnologias em funcionamento no Brasil são digitais, o que significa melhor e maior cobertura sem os ruídos característicos da tecnologia analógica, bem como a ampliação das funcionalidades dos seus aparelhos. Na tecnologia analógica, o telefone era usado apenas para comunicação verbal. Com o ganho de recursos como o GPS, câmera, rádio FM e leitor MP3 e instalação de programas variados, a tecnologia digital passou a ser multifuncional. Além de enviar

SMS, tirar fotos, filmar, despertar, gravar lembretes, jogar e ouvir músicas, o celular ganhou o “status” de computador de mão Palm ou PocketPC integrado, sendo utilizado em videoconferências em tempo real e no acesso à internet.

1.3. Relevantes Tecnologias de Telefonia Móvel

O crescimento da telefonia móvel é tal que já se fala em gerações de sistemas de rede móvel. A primeira geração (1G) de celulares caracteriza-se pela configuração analógica: trata-se do **FDMA** (Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência).

FDMA é um sistema de celular analógico que trabalha com uma faixa de frequência por canal de rádio que abrange a frequência de 30 kHz para conversação ou controle. Primeiro sistema de acesso a ser implantado no mundo, apresentou como inconveniente a baixa capacidade de canais de rádio para conversação. Para aumentar a capacidade de canais se utilizou a técnica de repetição de frequência, mas teve como saldo negativo a interferência de canais com a mesma frequência. Outro inconveniente é que este sistema de acesso favorecia a clonagem do aparelho móvel e apresentava um custo elevado na sua implantação.

A segunda geração (2G) de celulares, introduzida na década de 1990, trouxe como novidade a configuração digital, com base no sistema global para dispositivos móveis de tecnologia de comunicações – **GSM** (Sistema Global para Comunicações Móveis), tornando-se o padrão global dominante de rádio.

GSM é um sistema de celular digital baseado na combinação dos sistemas FDMA e TDMA. O GSM permite, entre outras coisas, a troca dos dados do usuário entre telefones através do “*Sim-Card*” e o acesso mais rápido a serviços “WAP” e “Internet”, utilizando como banda de comunicação do sistema “GPRS” que é um Serviço de Rádio de Pacote Geral, tecnologia responsável pelo aumento das taxas de transferência de dados nas redes GSM. Tido como padrão para a telefonia celular digital na Europa desde 1992, o GSM, introduzido no continente americano em 1993, se tornou o sistema celular de maior cobertura em todo o mundo. No primeiro trimestre de 2014 o GSM liderou o mercado de telefonia móvel, com 143

milhões de terminais no território nacional, o que significa 51,84% de ocupação em comparação com as demais tecnologias, tendo atingido o crescimento anual de 10,6% (fonte ANATEL³).

As duas primeiras gerações de celulares foram desenvolvidas para transportar somente serviços de voz. A terceira geração (3G) – CDMA (Acesso Múltiplo por Divisão de Código) – deve seu tributo à expansão do acesso à internet e aos serviços relacionados com multimídia. Os celulares passaram a fornecer serviços de internet, envio de fotos, mensagens de texto, GPS, etc.

CDMA é um sistema de celular digital que transforma a voz ou dados transmitidos pelo usuário do celular em um sinal de rádio codificado, que é recebido pelas antenas e transformado novamente para os receptores. Os dados e a voz são separados dos sinais por códigos, e depois são transmitidos em um amplo conjunto de frequências. Esse procedimento libera mais espaço para a transferência de dados. Esse foi um dos principais motivos pelos quais o CDMA foi a tecnologia mais indicada para o acesso ao “3G”, que consiste em acesso à banda larga e, por conseguinte, a troca de pesadas mensagens multimídias. Aproximadamente 14% do mercado global pertencem ao CDMA. Para a tecnologia “3G”, o CDMA escolheu as tecnologias CDMA 1x EV-DO e EV-DV. Essa tecnologia CDMA foi escolhida pela União Internacional de Telecomunicações como tecnologia-base para uma das migrações previstas para a terceira geração de telefonia celular garantindo transmissões, por exemplo, de vídeo *on-demand* com alta qualidade. Algumas de suas evoluções já disponíveis, tais como “[CDMA2000](#)” e “W-CDMA”, já permitem que o “[telefone celular](#)” sirva de acesso rápido à Internet.

LTE é um sistema celular digital capaz de funcionar numa ampla gama de tamanhos de bandas com alocações de frequências do espectro em ambos *uplink* e *downlink*, podendo variar de 1,4 a 20 MHz. Conta com uma rede de núcleo de pacote evoluída que permite interoperação com várias tecnologias de acesso, compartilhando 3GPP anteriores (GSM / EDGE e UTRAN) e não-3GPP (egWiFi, CDMA2000 e WiMAX).

³ ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) é um Órgão nacional que tem como função especificar, licenciar e fiscalizar o espectro de radiofrequência utilizado em nível nacional.

A robustez dos canais de rádio da LTE, devida à subdivisão do sinal transmitido em múltiplas subportadoras de faixa estreita, permite interferência de inter-símbolo a ser largamente confinada dentro de um intervalo de guarda, no início de cada símbolo. Usando a tecnologia com múltiplas antenas, facilita a exploração do espaço-tempo com uma nova dimensão. As subportadoras são importantes para a eficiência espectral superior, na medida em que permitem ganho de diversidade para melhorar a robustez da transmissão contra o desvanecimento de múltiplas trajetórias.

Concebido como multisserviço completamente orientado à conexão, o LTE utiliza a comutação por pacote no que tange ao tráfego telefônico. Opera não só em banda larga, mas também em uma gama diversificada de cenários de alocação de frequência. Apoia um conjunto compacto de cinco categorias de terminal móvel, que vão desde terminais relativamente de baixo custo com capacidades semelhantes ao UMTS HSPA aos terminais de alta capacidade que exploram a 4^a geração. Procurando oferecer ampla cobertura de serviços, essa tecnologia explorou taxa de pico de dados, tamanho equipamento móvel, custo e duração da bateria.

Com essa nova tecnologia, os usuários podem navegar pela Internet ou enviar e-mails usando notebooks com HSPA integrado, substituir seus modems DSL fixos por modems HSPA e enviar e receber vídeo ou música usando terminais 3G. Projeta-se, com o LTE, a inclusão de novas aplicações, como TV interativa, blogs de vídeo móvel, jogos avançados e serviços profissionais.

1.4. Revisão da Literatura Especializada

Alguns trabalhos na área da telefonia móvel têm desenvolvido algoritmos para captar a taxa de transmissão da tecnologia WCDMA. Nóbrega (2002) estudou os protocolos TSP e RLP, realizou testes com antenas empregando arranjos lineares nos receptores móveis e desenvolveu uma modelagem nos desvanecimentos do Rayleigh seletivo em frequência e interferência de ruído térmico. Chaves (2004), centrando-se nas antenas inteligentes e na equalização em receptores de usuário no enlace de descida pertinentes aos sistemas WDCMA e HSDPA, propôs algoritmos adaptativos de retro-propagação com subsistemas concorrentes, explorando características específicas de um sinal WCDMA. Heiska (2004) desenvolveu um método de cálculo para estimar o desempenho das redes WCDMA tais como: interferência direta de várias fontes, condições de propagação,

espectro de frequência, *handover* e banda de guarda entre portadoras. Hossain et alii (2007) enfocaram a RNC, atinente à rede UMTS, e elaboraram cálculos sobre a interferência de usuários no processo de conexão da chamada. Navarro (2010) analisou o comportamento das células hexagonais e circulares com o expoente inverso da distância em função da perda na propagação dos sinais de RF.

Han (2004) concentrou-se no desempenho e estimativa do sistema de multipropagação, taxa de erro *bit* (BER) e estimativa de desvanecimento lento e rápido de canais. Bergström (2005), ao tratar dos canais HSDPA, propôs um algoritmo de controle de fluxo para transmissão de pacotes em um enlace reverso. Kurjeniemi (2008), ao enfocar o desempenho do sistema UMTS, analisou, entre outros fatores, o controle de potência dinâmica dos canais e a garantia de robustez do sinal. Qin (2005) desenvolveu técnicas referentes aos canais do enlace direto e reverso, com ênfase no canal piloto e desvanecimento do sinal de RF por multipercorso e técnicas do receptor RAKE e sistemas de propagação através de antenas inteligentes. Ba (2006) focou nos canais dedicados, no que diz respeito ao enlace de descida referente à 3^a. Geração, e desenvolveu equalizadores para serem comparados com os receptores RAKE. Sun (2007) adotou o RAKE para mitigar os efeitos de desvanecimento por multipercorso na sequência direta (DS) do CDMA e García Lozano (2009), ao fazer estudo detalhado sobre a otimização das redes de 3^a. geração, analisou o comportamento desses receptores.

Neste estudo foram descartadas as antenas móveis com aranjos lineares. Adotando-se as técnicas dos receptores RAKE e as antenas inteligentes, procurou-se observar a importância do canal piloto e a degradação dos sinais de rádio por multipercorso. Deu-se atenção aos canais dedicados, mas descartaram-se os equalizadores.

O desempenho das redes WCDMA tem sido um dos interesses das pesquisas acadêmicas. Heiska (2004) desenvolveu um método de cálculo para estimar a interferência direta de várias fontes, as condições de propagação, o espectro de frequência, *handover*, banda de guarda entre portadoras. Ramiro-Moreno (2008) estudou o sistema irradiante: taxa de transmissão, volume de tráfego, eficiência espectral, ruído térmico, interferência por múltiplo acesso, diversidade de frequência e espaço. Outes Carneiro (2004), objetivando o aumento da capacidade do sistema no que se refere ao enlace de subida na tecnologia WCDMA, estudou a taxa de

transmissão de dados no que diz respeito ao volume de tráfego telefônico e o controle de potência, visando à diminuição da interferência das células vizinhas. Hämäläinen (2008), na análise dos transceptores WDCMA, desenvolveu algoritmos para desempenho de sistema rádio, ferramentas de otimização e planejamento pertinente ao espectro de frequência. Tratou ainda da linearidade dos amplificadores, seletividade dos filtros, controle de potência dos transceptores e sistema dinâmico de recursos de transferência de dados. Khalil (2008), utilizando-se de dados geográficos com mapas digitais, estimou a capacidade das redes de acesso e os fatores que mais favorecem a sua degradação. Entretanto, não efetuou o dimensionamento, uma das tarefas que esta pesquisa pretende desenvolver.

O desempenho da transmissão também tem sido alvo de trabalhos acadêmicos. Rodrigues (2006) discutiu o desempenho da transmissão por pacotes no *link* reverso do WCDMA, Rao (2007) analisou as redes de 3^a. geração e Holma (2003) e Vale (2006) se dedicaram ao desempenho do UMTS.

Nesta pesquisa analisou-se a taxa de transmissão em função da portadora WCDMA, mas não se tomou por alvo o desempenho das comutações por pacote e por circuito. Apesar de ter como pressuposto a relevância dos canais do HSDPA na taxa de transmissão de dados, não foram desenvolvidos algoritmos para fins de fluxo de transmissão e de interferência do co-canais e do canal adjacente. Este estudo não tratou do desempenho e interferência da rede 3G e não tem por alvo o sistema de multipropagação via rádio, a linearidade dos amplificadores e a seletividade dos filtros. No que concerne à canalização, o foco deste estudo está no detalhamento e na otimização do espectro de frequência, dos tipos de *handover* capazes de manter a conexão do sinal, e no controle de potência do sistema rádio em ambas as direções, no que concerne aos valores de máximo, desconsiderando a interferência no que se refere às células vizinhas. Realizou-se um estudo detalhado da propagação e das antenas do sistema WCDMA, destacando-se o dimensionamento do sistema telefônico no escoamento do volume de tráfego, atentando para a relação sinal-ruído e sua importância nas conexões via rádio do tipo ponto a ponto e ponto-multiponto.

Uma das questões centrais dos trabalhos acadêmicos envolve o consumo de energias (JARKKO, 2003; LAIHO, 2002; KHAIRUL 2006), a qualidade de serviço e de usuário (SOLDANI, 2005) e a otimização das redes de 3^a. geração (AXELSSON, 2005; GARCIA LOZANO, 2009). Daí surgiram os trabalhos que compararam a rede

WCDMA com a multiplexação OFDM (ALAM, 2007) e investigam o emprego das tecnologias UMTS, WCDMA e HSDPA na estruturação da TV digital (MAKLUF, 2011).

Este estudo, porém, não trata de recursos para o aperfeiçoamento do consumo da bateria e não tem por alvo de investigação os serviços e os processos de administração da rede com suas particularidades.

Alguns estudos optaram por simulações em laboratório e em campo. Holma (2003) analisou o desempenho do UMTS quanto à sincronização da estação rádio base, a retransmissão de pacotes e a diversidade na recepção. Comparando a tecnologia WCDMA e WIMAX, foram realizadas simulações através do MATLAB para analisar a arquitetura, camada física, robustez, mobilidade e cobertura (ASLAM, UMAIR e SALA, 2009).

Partindo do pressuposto de que os serviços prestados pela rede móvel não são inocentes, na medida em que essa tecnologia funciona com irradiação elétrica e magnética, e que as medições dos campos elétricos de suas antenas não são disponibilizadas para os pesquisadores avaliarem o seu impacto na saúde da comunidade e para o fomento de políticas públicas nesse sentido, esta pesquisa realizou medições em campo referentes à taxa de transmissão, prospecções de campo elétrico e magnético e modelos de transmissão via radio propagação. É justamente para colimar essas lacunas que se encontra a contribuição deste trabalho. A proposta de sistemas computacionais virtuais de medições é uma ferramenta que abre a “caixa de pandora” de irradiações para que a tecnologia da rede móvel siga o seu percurso em direção à geração do desenvolvimento sustentável.

1.5. Organização do Trabalho

O trabalho está organizado em **6 capítulos**. Este primeiro capítulo apresenta a justificativa, tece um panorama histórico da telefonia celular, expõe as relevantes tecnologias de telefonia móvel, traz os objetivos do trabalho e faz uma revisão da literatura especializada. No segundo capítulo apresentam-se as bases técnicas que envolvem o sistema CDMA; no terceiro capítulo são apresentadas as resoluções matemáticas para operação do sistema computacional virtual CDMA-1; no quarto capítulo apresenta-se a resolução computacional CDMA-2, responsável pelos

modelos de propagação e faixa de frequência de serviços. O quinto capítulo é dedicado às resoluções matemáticas necessárias para a operação virtual do sistema computacional na vertente WCDMA e o sexto capítulo traz os resultados das prospecções dos níveis de radiação não-ionizante em campo. Por fim, apresentamos as conclusões. Nos apêndices I a V acham-se conceitos gerais das tecnologias da rede móvel de telefonia.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TÉCNICOS DO SISTEMA CDMA

Introdução

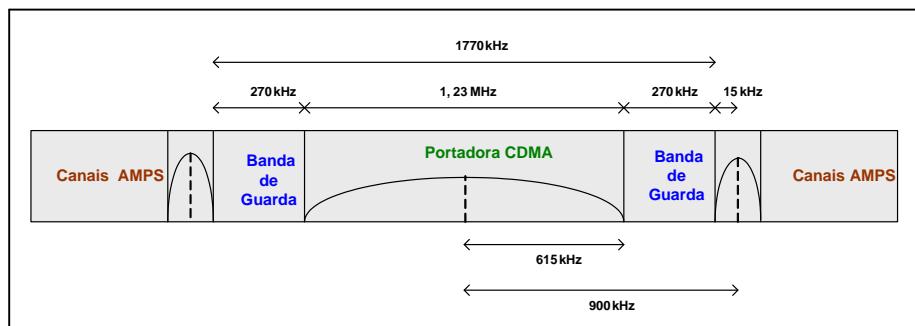
Este capítulo dedica-se à exposição de conceitos, métodos e técnicas fundamentais que envolvem o sistema computacional CDMA virtual, desenvolvidos por Kiszka (2010). Trata-se de conjuntos de regras e/ou procedimentos que manipulam conhecimentos para resolução de problemas em diversas áreas de dados domínios, da mesma forma que os peritos resolveriam, utilizando as lógicas simbólicas, procedimentos e regras, oriundas da prática para encontrar as dadas soluções.

1.1 – Sistema Celular Digital CDMA: Padrão CDMA (IS-95)

A técnica de múltiplo acesso CDMA oferece algumas vantagens em termos de aumento de capacidade sobre os acessos FDMA e TDMA para aplicações em sistemas de comunicação móvel. O sistema celular digital baseado nessa técnica foi padronizado como Interim Standart 95 (IS-95) e foi projetado para ser compatível com o sistema analógico AMPS, BTS e EM, podendo ser produzidas para operação dual-mode, operação que permite compartilhar o mesmo espectro de frequência com tecnologias distintas, por exemplo, AMPS e CDMA. Uma produção piloto de equipamentos dual-mode CDMA IS-95/AMPS foi disponibilizada pela empresa Qualcomm em 1994. O protocolo IS-95 permite a cada usuário dentro de uma célula e em células adjacentes utilizar a mesma banda de frequência, com base na técnica de espalhamento espectral empregada. Através desse protocolo é desnecessário o planejamento de frequência em uma área de serviço não atendida. Para uma transição suave do AMPS para IS-95, cada canal IS-95 ocupa aproximadamente 1.23 MHz de espectro em cada enlace, o que equivale a 10% do espectro disponível para o serviço celular.

A figura 1.1 mostra a portadora CDMA com 1,23 MHz, acrescida das bandas de guarda de 270 kHz , totalizando 1770 kHz. [2.1]

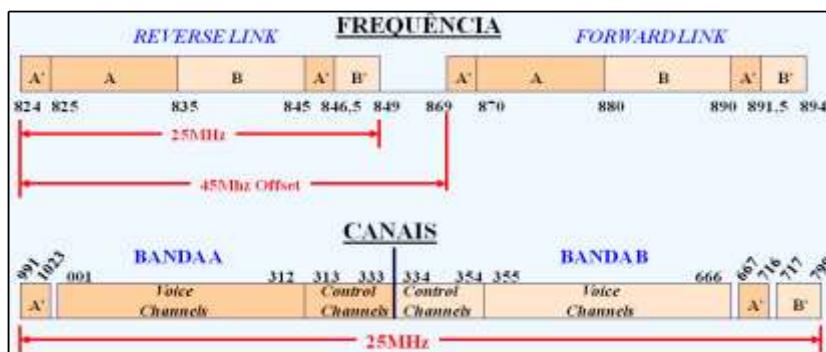
Figura 1.1 – Portadora CDMA



O serviço móvel celular ocupa uma banda de 25 MHz por operadora (Bandas “A” e “B”). Os esforços da Qualcomm e associados resultaram na adoção do Padrão IS-95, para CDMA celular. [2.2]

A figura 1.2 “Espectro de frequência” mostra as bandas A e B através das quais o sistema AMPS e CDMA compartilham o mesmo espectro de frequência, distribuindo serviços de telefonia móvel. [2.2]

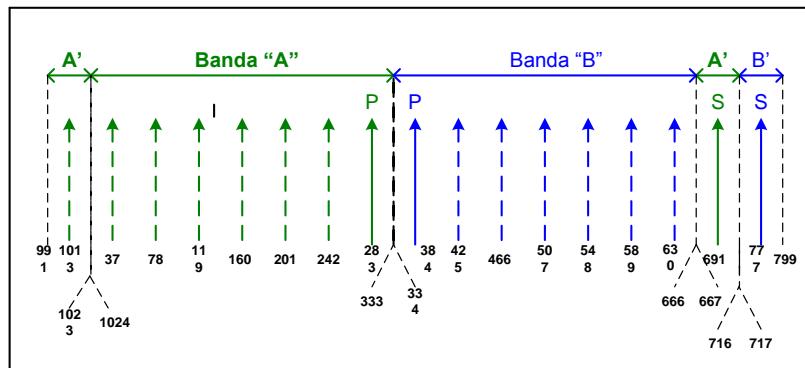
Figura 1.2 – Espectro de Frequência



A figura 1.3 “Portadoras CDMA por banda” exibe a ocupação das portadoras CDMA nas bandas A e B. A banda A apresenta oito portadoras, contendo uma portadora primária (P) que cai no canal 283 do AMPS e uma portadora secundária (S) que cai no canal 691. A banda B apresenta nove portadoras, sendo que a portadora primária cai no canal 384 do AMPS e a portadora secundária sobre

cai no canal 777. Há uma sequência de ocupação das portadoras CDMA na seguinte ordem: portadora primária, portadora secundária e, depois, as demais portadoras por banda.

Figura 1.3 – Portadoras CDMA por Banda



No próximo item serão explicadas as técnicas de espalhamento espectral e desespalhamento utilizadas na tecnologia CDMA. [2.4]

1.2 – Espalhamento Espectral

As técnicas atuais de espalhamento espectral se desenvolveram a partir da década de 40, no âmbito das aplicações militares. Somente nos últimos 20 anos, as técnicas adquiriram grande popularidade nas comunicações e os artigos acerca do assunto começaram a aparecer na literatura especializada, apontando o aprimoramento de componentes e circuitos. [2.3]

A técnica de espectro espalhado consiste em combinar o sinal de informação (voz, dado, sinalização) com um código cuja taxa de transmissão é bem superior à taxa de transmissão da informação. O resultado é o espalhamento da informação em uma banda muito maior que o espectro utilizado.

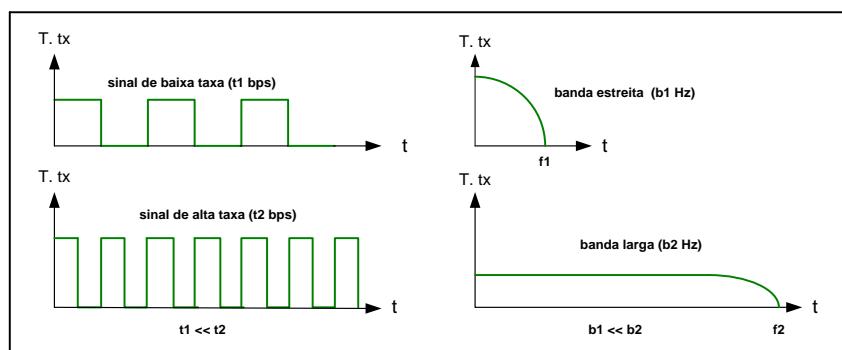
A principal característica do sistema de espectro espalhado está relacionada à sua banda passante, que é bem superior àquela dos sinais de banda base, ou modulados por meio de técnicas convencionais. A maneira como o espectro é espalhado é essencial, normalmente realizado por um código independente do dado transmitido. O receptor precisa de uma réplica do código, sincronizado em tempo, para recuperar os dados. [2.3]

A vantagem do método é que a quantidade de energia por banda torna-se pequena, garantindo uma maior imunidade à interferência. Além disso, esta diferença na concentração de energia permite uma fácil diferenciação, e consequentemente separação entre sinais espalhados (codificados) e sinais não espalhados mesmo que utilizem a mesma portadora no mesmo tempo. Ocorre lembrar que a largura da banda ocupada por um sinal digital tem função direta com sua taxa de transmissão de *bits*. Quanto maior a taxa de transmissão, maior a largura de banda necessária, desde que se mantenha o mesmo tipo de modulação.

[2.3]

A figura 1.4 “Relação entre taxa de transmissão e largura de banda” mostra a técnica de espalhamento espectral com sua respectiva taxa de transmissão da informação e código:

Figura 1.4 - Taxa de Transmissão e Largura de Banda



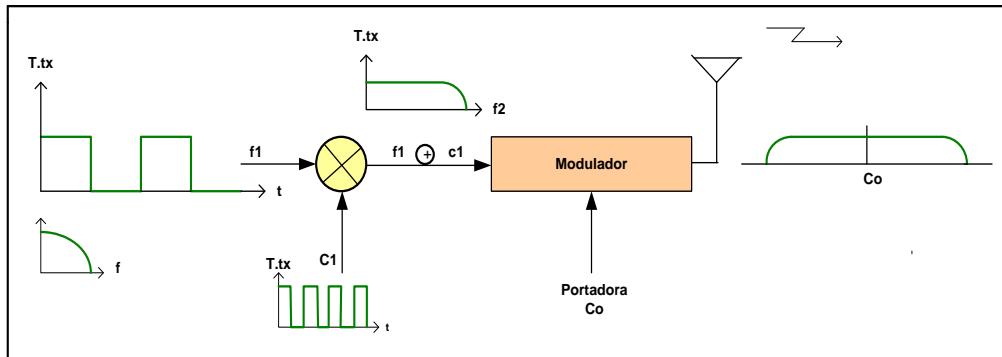
A tecnologia de espalhamento espectral combina com dois ou mais sinais, sendo que um deles diz respeito à informação de voz ou dados com taxa de transmissão baixa para a qual usa um código de identificação de canal com uma taxa de transmissão elevada. Esta combinação é feita através da operação “ou exclusivo”: a saída reconhece a entrada (nível lógico 1) que exibe níveis diferentes. Há espalhamento na transmissão do sinal quando os níveis lógicos entre X e Y são diferentes; há desespalhamento na recepção quando os níveis lógicos de entrada são iguais. A tabela 1.1 mostra a operação “ou exclusivo” que tem como resultado os sinais espalhado e desespalhado. [2.2]

Tabela 1.1 – Operação “OU Exclusivo”

| x | y | Sinal transmitido | Sinal Recebido |
|---|---|-------------------|----------------|
| 0 | 0 | 0 | desespalhado |
| 0 | 1 | 1 | espalhado |
| 1 | 0 | 1 | espalhado |
| 1 | 1 | 0 | desespalhado |

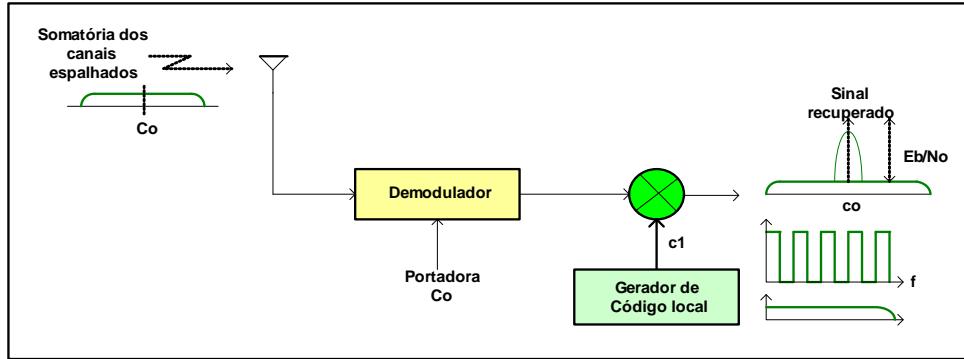
O processo de transmissão da informação voz, dados, ou sinalização “f1” combinada com um código de alta taxa de transmissão “c1” faz a operação “ou exclusivo” “f1 + c1”. Modulada com uma portadora “Co”, faz o processo de espalhamento espectral, de modo que a energia do sinal é distribuída em toda a banda de frequência, compreendida em 1,23 MHz. A figura 1.5 “Espalhamento espectral” mostra a técnica de espalhamento espectral através de um canal de rádio. [2.1]

Figura 1.5 – Espalhamento Espectral



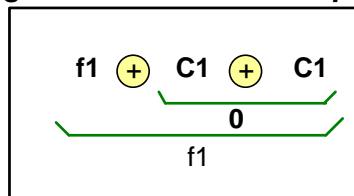
Na recepção do sinal o processo é inverso: recebe-se a somatória de todos os sinais espalhados com seus respectivos códigos de identificação distintos para cada canal de rádio frequência. O sinal é demodulado com a portadora de “Co” e consequentemente faz o seu batimento com seu respectivo código “C1”, no qual o sinal será desespalhado. A figura 1.6 apresenta “Desespalhamento espectral”: [2.4]

Figura 1.6 – Desespalhamento Espectral



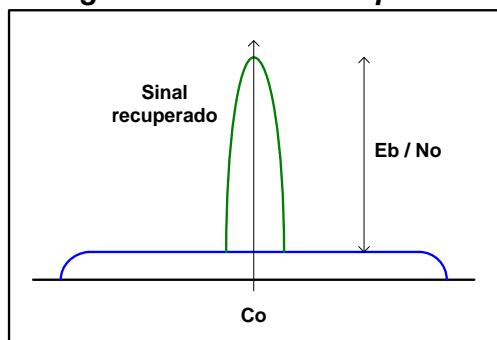
Realiza-se na recepção a operação “OU exclusivo” com o sinal espalhado proveniente da transmissão, que, por sua vez, é desespalhado com respectivo código de identificação do canal. Com a expressão na figura 1.7 mostra-se o sinal recuperado na recepção: [2.4]

Figura 1.7 - Sinal de Recepção



Outro parâmetro importante para o sistema CDMA é a energia de bit do sinal desejada após o seu desespalhamento, obtida pela divisão da somatória das energias de *bit* dos sinais espalhados dos usuários interferentes e com as contribuições das interferências externas, denominadas Eb/No. A figura 1.8 mostra o sinal recuperado, com a relação da energia de *bit* e a contribuição do ruído: [2.4]

Figura 1.8 – Sinal Recuperado



As vantagens dos sistemas de espectro espalhado são:

- ❖ Baixa probabilidade de interceptação do sinal, devido à aleatoriedade do código de espalhamento.
- ❖ Possibilidade de esconder o sinal no ruído de fundo, de forma a dificultar a sua recepção por aqueles que não conhecem o código de espalhamento.
- ❖ Facilidade em atingir diversidade em canais com percurso múltiplo.
- ❖ Acesso múltiplo por divisão de código, permitindo o endereçamento de um grupo seletivo de usuários no mesmo canal.

No item a seguir apresenta-se a matriz de Hadamard, as principais características dos códigos Walsh e a sua ortogonalidade e a matriz de Walsh com seus respectivos códigos dando origem a seus respectivos canais.

1.3 – Configuração dos Canais

No sistema CDMA, todos os usuários transmitem em uma mesma banda de rádio frequência de 1,23 MHZ. Com a finalidade de evitar a interferência mútua no enlace direto entre a BTS e o EM, utilizam-se códigos de Walsh para separar individualmente usuários (voz ou dados) enquanto eles simultaneamente ocupam a mesma banda. Os respectivos códigos de Walsh são usados no protocolo de interfase rádio IS-95 e são setados em 64 sequências ortogonal binária. Geram-se os códigos a partir da matriz de Hadamard, que é uma forma recursiva de se obter uma matriz de ordem duas vezes superior à ordem da matriz anterior. A figura 1.9 mostra a matriz de Hadamard. [1.3]

Figura 1.9 - Matriz de Hadamard

| | | | |
|---------------------|--|----|----------------|
| $0 \rightarrow$ | $0 \quad 0 \quad \quad 0 \quad 0$ $0 \quad 1 \quad \quad 0 \quad 1$ $0 \quad 0 \quad \quad 1 \quad 1$ $0 \quad 1 \quad \quad 1 \quad 0$ | ou | $X_{2n} =$ |
|---------------------|--|----|----------------|

A principal característica dos códigos de Walsh é sua ortogonalidade, ou seja, eles possuem correlação cruzada zero. Duas sequências são ortogonais quando o resultado de uma operação “ou exclusivo” entre elas resulta em outra sequência com um número de “1” igual ao número de “0”. A figura 1.10 mostra uma sequência ortogonal com uma operação “OU exclusivo”: [2.4]

Figura 1.10 – Sequência Ortogonal

| | | | |
|-------|---|---|---|
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| <hr/> | | | |
| 0 | 1 | 1 | 0 |

A ortogonalidade garante uma boa isolação entre os canais do sistema e a perfeita recuperação do sinal só é possível se for aplicado no demodulador um sinal idêntico ao aplicado a transmissão. As tabelas 1.2, 1.3 e 1.4 ilustram o processo da transmissão e recepção de uma sequência ortogonal. [2.4]

Na transmissão é realizada a operação “Ou Exclusivo”, da “Informação” como a “Sequência ortogonal” e tendo como resultado o “Sinal transmitido”. A tabela 1.2 apresenta a transmissão de uma sequência ortogonal: [2.2]

Tabela 1.2 – Transmissão de uma Sequência Ortogonal

| Transmissão | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| Informação | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Sequência Ortogonal | 1001 | 1001 | 1001 | 1001 | 1001 |
| Sinal Transmitido | 0110 | 1001 | 1001 | 0110 | 0110 |

Na recepção com sequência correta, realiza-se a operação “Ou exclusivo” do “Sinal recebido” com a “sequência ortogonal correta”, significando que a informação foi transmitida, como exemplifica a tabela 1.3: [2.3]

Tabela 1.3 – Recepção de uma Sequência Ortogonal Correta

| Recepção com Sequência Correta | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|
| Sinal recebido | 0110 | 1001 | 1001 | 0110 | 0110 |
| Sequência ortogonal correta | 1001 | 1001 | 1001 | 1001 | 1001 |
| Informação | 1111 | 0000 | 0000 | 1111 | 1111 |
| | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |

Na recepção com sequência incorreta é realizada a operação “Ou Exclusivo” do “Sinal recebido” com a “Sequência ortogonal incorreta” resultando uma informação incorreta, conforme tabela 1.4:

Tabela 1.4 – Recepção de uma Sequência Ortogonal Incorreta

| Recepção com Sequência Incorreta | | | | | |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|
| Sinal Recebido | 0110 | 1001 | 1001 | 0110 | 0110 |
| Sequência Ortogonal Incorreta | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 | 1111 |
| Informação | 1001 | 0110 | 0110 | 1001 | 1001 |
| | ? | ? | ? | ? | ? |

A utilização desta técnica só ocorre no enlace direto, onde a geração dos códigos é síncrona. No enlace reverso, como não é possível estabelecer este sincronismo, os códigos de Walsh têm outra aplicação. A matriz de Walsh é composta de 64 códigos (0 a 63) e o código de cada canal é composto no enlace direto, como mostra a tabela 1.5: [1.7]

Tabela 1.5 – Matriz de Walsh

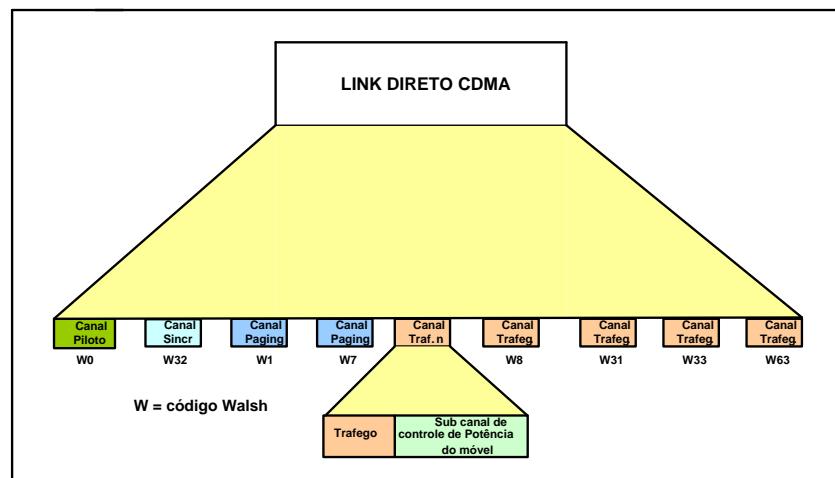
O próximo item trata do diagrama de bloco dos canais do enlace direto com suas respectivas funções, taxa de transmissão, códigos, destacando-se a sua importância na transmissão da informação.

1.3.1 – Canais do Enlace Direto (BTS para EM)

Enlace direto é a transmissão da BTS para o EM. Na tecnologia CDMA o enlace direto utiliza uma combinação de divisão em frequências, observando as sequências de máximo comprimento e as técnicas de múltiplo acesso através de sinais ortogonais. Opera-se a divisão de frequências quando o espectro celular disponível é dividido em canais de largura de banda igual a 1,23 MHz. [1.7]

O enlace direto é composto pelos seguintes canais: Piloto, Sincronismo, Paging, Tráfego. A figura 1.11 mostra os tipos de canais do enlace direto, com seus respectivos códigos distribuídos com uma portadora 1,23 MHz de largura de banda. [1.3]

Figura 1.11 – Tipos de Canais do Enlace Direto



Alocam-se os 64 códigos de Walsh disponíveis: 55 canais de “tráfego”, 1 canal de “sincronismo”, 1 canal de “piloto”, 7 canais de “paging” para a primeira portadora de RF. Caso a BTS possua mais de uma portadora, não haverá canais de “paging” e “sincronismo”, resultando 63 canais de “tráfego”. A tabela 1.6 exibe a distribuição dos canais do enlace direto a partir da segunda portadora de RF: [1.3]

Tabela 1.6 – Canais de RF com Segunda Portadora de RF

| Tipo de Canal | Quantidade | Código de Walsh |
|----------------------|-------------------|------------------------|
| Tráfego | 56 ou 63 | W8 – W63 ou W1 – W63 |
| Paging | 7 ou nenhum | W1 – W7 |
| Sincronismo | 1 ou nenhum | W32 |
| Piloto | 1 | W0 |

Como mostra a tabela 1.6 há quatro canais - piloto, sincronismo, paging e tráfego, cada um com sua especialidade. O **Canal Piloto** não carrega informação e transmite constantemente pela BTS. É o primeiro canal a ser sintonizado pelo EM, permitindo-lhe o acesso ao sistema. O código relacionado possibilita que as sequências geradas na BTS e no EM fiquem alinhadas. O código de Walsh relacionado ao canal piloto é o código zero e a mensagem transmitida é formada apenas por *bits* zero. Logo, toda informação extraída do piloto está relacionada com as sequências PN. O canal piloto provê o terminal móvel com temporização e referência de fase. O EM mede a RSR do canal piloto e também dá uma indicação de qual é o mais forte setor de serviço para o EM. Além disso, o canal piloto permite ao móvel obter uma referência de intensidade de sinal para a comparação e possíveis realizações de troca de canal, e é o canal de maior intensidade de sinal com, aproximadamente, de 20% da potência da portadora irradiada pela BTS. [1.14]

O **Canal de Sincronismo** é usado no acesso do sistema, logo após a sintonia do canal piloto, para carregar informações de banda base. A informação é contida nas mensagens do canal de sincronismo, que notifica o EM de informações importantes a respeito do sistema de sincronização e parâmetros. A EM usa o canal de sincronismo apenas quando está ingressando no sistema, no início de sua ligação com a BTS. Este canal está configurado com o código de Walsh 32. [1.14]

Após o recebimento das mensagens do canal de sincronismo o móvel estará sincronizado ao sistema. A partir deste ponto passa-se a monitorar o **Canal de Paging**. Sua função é manter o EM informado dos dados do sistema, localizando-o em caso de uma chamada ser recebida, enviando informações para troca de canal e controle de potência. A taxa de transmissão é de 4.800 ou 9.600 bps. Pode-se ter até sete canais de *paging* (w1 á w7) dentro de uma portadora CDMA, sendo que o

canal padrão é o Walsh 1. Embora possam existir sete canais *paging* por setor, cada EM somente monitora um canal *paging*. [1.14]

O **Canal de Tráfego** é utilizado na transmissão de informação (voz, dados e sinalização podem estar presentes). A taxa de transmissão dos quadros é variável: depende do VOCODER (codificador e decodificador de voz) utilizado. Se o codificador de voz escolhido possui taxa máxima líquida de 8.550 bps, as taxas de transmissão líquida (voz no formato QCELP) e bruta (voz no formato QCELP, *bits* indicadores de qualidade do quadro e mais os tail bits) variam conforme um conjunto de taxas denominado de Multiplex Option 1. Se a escolha for de codificação de voz, a taxa máxima líquida de 13.300 bps, as taxas de transmissão líquida e bruta variarão em conformidade com um conjunto de taxas denominadas de Multiplex Option 2, como ilustra a tabela 1.7: [2.4]

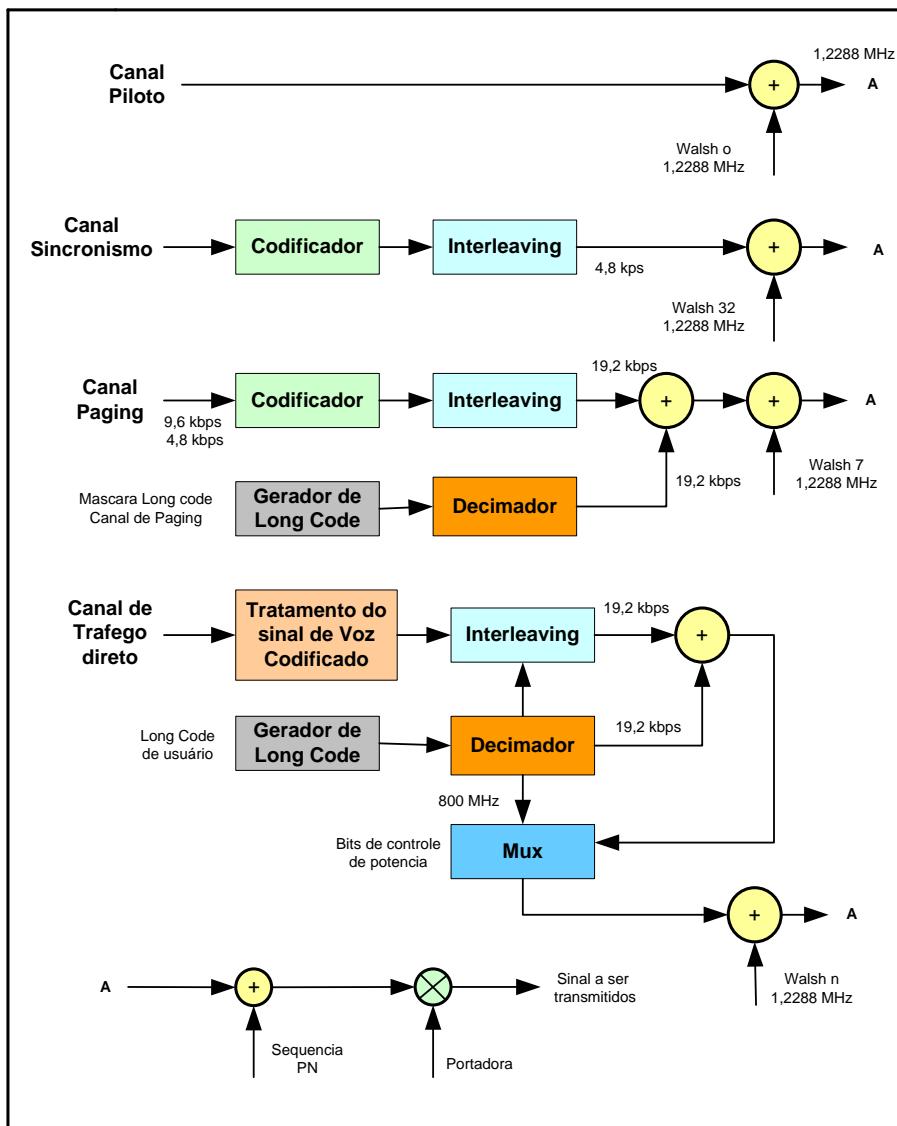
Tabela 1.7 – Vocoder de Taxas Variáveis

| | Mutiplex Option – 1 | | Mutiplex Option - 2 | |
|-------|---------------------|------------|---------------------|------------|
| Taxa | Taxa Líquida | Taxa Bruta | Taxa Líquida | Taxa Bruta |
| plena | 8.550 bps | 9.600 bps | 13.300 bps | 14.400 bps |
| 1/2 | 4.000 bps | 4.800 bps | 6.700 bps | 7.200 bps |
| 1/4 | 2.000 bps | 2.400 bps | 2.700 bps | 3.600 bps |
| 1/8 | 800 bps | 1.200 bps | 1.000 bps | 1.800 bps |

As variações entre as taxas podem correr *frame* a *frame*. O receptor detecta a taxa e processa o *frame* corretamente. Esta técnica permite uma variação dinâmica da taxa do canal, de acordo com a atividade da voz do usuário. Enquanto o usuário não está falando, ocorre uma redução na taxa de transmissão, mas, quando começa a falar, o sistema instantaneamente aumenta a taxa de transmissão. Como consequência, tem-se um decréscimo na interferência gerada em outros sinais CDMA e, com isso, o aumento da capacidade do sistema. [2.1]

A figura 1.12 apresenta o diagrama de bloco dos canais do enlace direto bem com a interligação dos mesmos para serem transmitidos e modulados: [1.14]

Figura 1.12 Canais do Enlace Direto



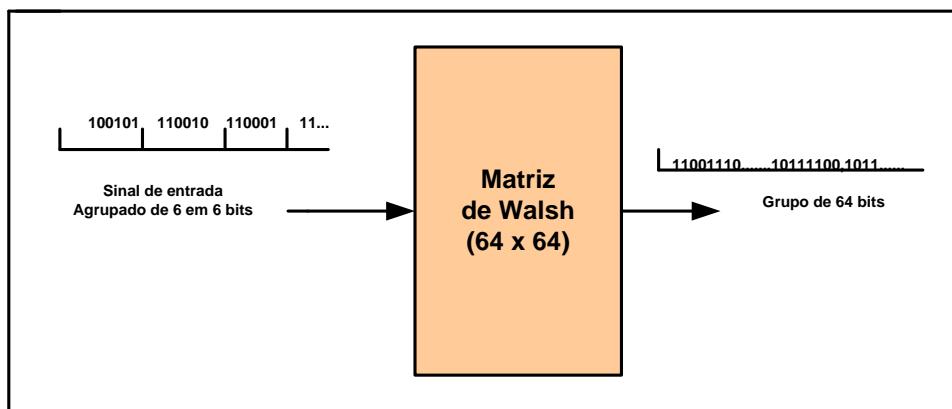
O próximo item trata dos canais do enlace reverso, bem como de seus respectivos tipos, funções e o diagrama de bloco, interligando todos os canais no processo da demodulação do sinal.

1.3.2 – Canais do Enlace Reverso (EM – BTS)

Através do enlace reverso é estabelecida a comunicação no sentido do EM para a BTS. No canal reverso utilizam-se as sequências PN de 32.768 bits. Aqui, entretanto, adota-se sempre o mesmo offset para todos os EM. Os sinais de diferentes terminais são distinguidos pelo uso de um código chamado de “long code” cujo comprimento é 2^{42-1} bits e os usuários são diferenciados por diferentes offsets

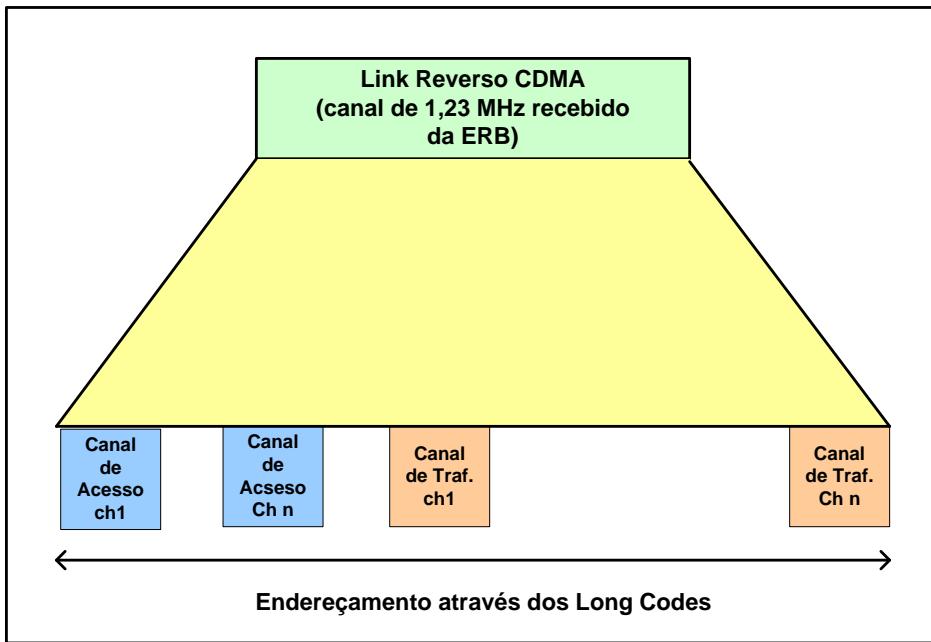
da mesma sequência. Devido à enorme quantidade *time offsets* possíveis, consegue-se um altíssimo grau de privacidade no sistema. A informação a ser transmitida no enlace é codificada e tratada pelo terminal móvel com o objetivo de evitar a ocorrência de erros. Após este tratamento, agrupam-se os *bits* em conjuntos de 6 *bits* (*code words*). Em cada *code word* endereça-se uma linha da tabela de Walsh (64 linhas X 64 colunas) e dessa forma para cada 6 *bits* de entrada tem-se 64 *bits* de saída. Este tipo de tratamento, chamado de modulação ortogonal, é utilizado para melhorar a qualidade do enlace em relação à recuperação de informação original, caso a mensagem recebida venha acrescida de erros. A figura 1.13 mostra a utilização do código de Walsh no *link reverso*: [2.3]

Figura 1.13 – Código de Walsh no Enlace Reverso



Dessa forma, fica fácil observar que as funções de Walsh são utilizadas de maneira diferente nos enlaces direto e reverso. Enquanto no enlace direto são usadas para distinguir os diversos canais envolvidos, no enlace reverso, em que os canais de acesso e tráfego são diferenciados apenas pelo conteúdo das informações que transportam, servem para a correção de erros. A figura 1.14 mostra a composição dos canais do enlace reverso com seus respectivos tipos e *Long Codes*: [1.3]

Figura 1.14 – Configuração do Enlace Reverso



Os canais de acesso e de tráfego reverso têm suas especialidades. O **Canal de Acesso** permite a comunicação entre o EM e a BTS, quando o terminal não está utilizando o canal de tráfego. Em todas as transmissões no canal utiliza-se uma taxa de transmissão fixa de 4.800 bps. Através desse canal, são efetuadas as origens de chamada, resposta a buscas, ordenações e registros. Pode-se ter um ou mais canais de acesso para cada canal de *paging*. É feita a diferenciação entre os canais de acesso de um código chamado de *long code*, caracterizado como uma sequência de 2^{42-1} bits que operam em duas aplicações distintas. Em uma das aplicações distinguem-se os canais de acesso e na outra identificam-se os EM quando estes estão no canal de tráfego. [1.6]

A BTS responde às mensagens recebidas no canal de acesso do móvel através do canal de *paging* associado. De forma similar, o móvel responde às mensagens do canal de *paging* através da transmissão no canal de acesso relacionado. [1.6]

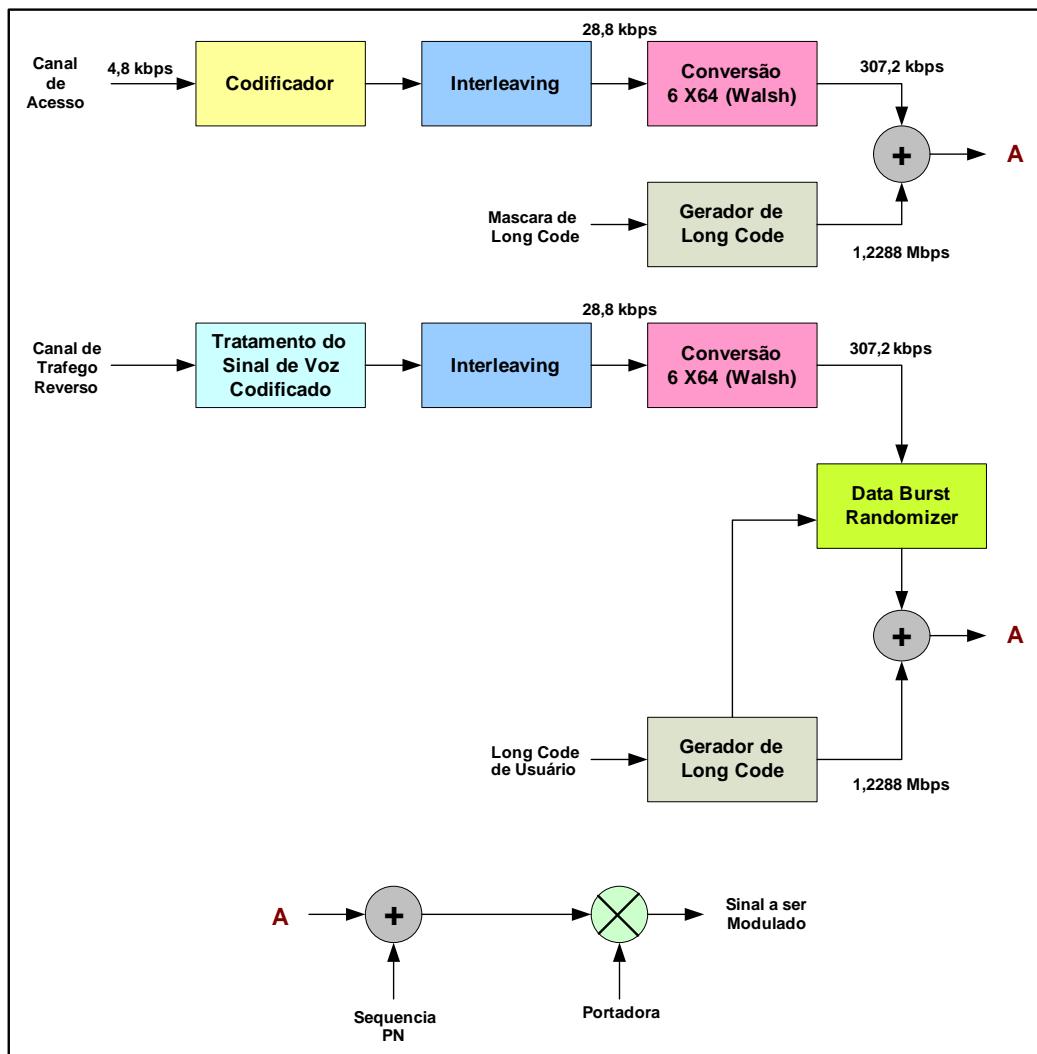
A aquisição do canal é um processo randômico. Diversos EM podem estar associados a um canal *paging* e podem simultaneamente tentar utilizar um determinado canal de acesso. O EM escolhe aleatoriamente o canal dentro de um conjunto de canais disponíveis. Quando dois ou mais EM escolhem o mesmo canal de acesso, é possível recebê-los através da BTS, mas esta transmissão simultânea

tem como consequência uma degradação da qualidade do canal. A BTS controla a transmissão para prevenir um excesso de transmissões simultâneas por diversos EM. Este controle é feito através de parâmetros contidos em *Access Parameters Message* enviado no canal de paging. [2.4]

O formato e a estrutura de quadro do **Canal de Tráfego Reverso** são idênticos ao existente no canal de tráfego direto. A diferença entre os dois tipos é que, no enlace direto, o canal é identificado pela função de Walsh associada e, no reverso, pelo *long code* de usuário. A sequência PN do piloto no canal direto possui apenas uma sequência de *long code* de usuário. Complementarmente, a PN do piloto do canal direto também possui apenas uma sequência de *long code* de identificação de usuário. A distinção entre eles pode ser obtida por diferentes *offsets* de fase desta sequência. Há duas opções de *long code* de usuário, uma que chamamos de *long code* público e outra denominada *long code* privado. O “público” é gerado por um algoritmo que utiliza, como dado de entrada, o número de série do terminal móvel (ESN). O “privado” é obtido por um processo de criptografia bastante específico e que é descrito em um documento de acesso restrito chamado Apêndice A da IS-95A . [1.2]

A figura 1.15 apresenta o diagrama de bloco dos canais do enlace reverso, com suas respectivas etapas de interligação para serem transmitidos e modulados: [1.7]

Figura 1.15 – Canais do Enlace Reverso



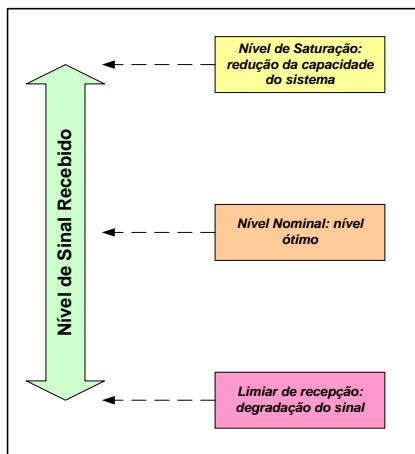
No próximo item será feita uma explanação do controle de potência do enlace direto e reverso, mostrando sua importância na capacidade do sistema em se ajustar o nível de transmissão e recepção dos sinais de RF.

1.4 – Controle de Potência

Em um sistema celular é desejável obter a capacidade maximizada em termos de chamadas simultâneas dentro da mesma banda. No sistema CDMA esta maximização é alcançada quando a potência de cada móvel é controlada de maneira a minimizar a interferência que cada um causa nos demais. O valor exato de potência é um ponto crítico. Se o nível for muito baixo, a interferência será mínima, entretanto a taxa de erro de *bits* será excessivamente elevada, degradando a qualidade do canal. O nível excessivamente elevado degrada a qualidade do

canal. Pode-se eliminar o problema de deteriorização do canal, mas ocorre um aumento da interferência em outros canais, reduzindo a capacidade do sistema. Importa observar a deteriorização do ponto ótimo de funcionamento. A figura 1.16 mostra o ponto de nível ótimo de potência a ser transmitido: [2.4]

Figura 1.16 – Controle de Potência



Atinge-se o limite máximo da capacidade do sistema quando os móveis deixam de ter potência suficiente para se sobrepor à interferência dos outros usuários que compartilham a mesma portadora. Por isso, o CDMA IS-95-A é dotado de um sistema de controle de potência preciso.

A qualidade do sinal é medida por meio da relação entre a energia de *bit* e a densidade espectral dos sinais interferentes (outros usuários + ruído térmico), chamada de Eb/No. A relação entre Eb/No e FER (taxa de erro de *frame*) é função de uma série de variáveis, inclusive da velocidade do móvel. Pode-se dizer que o sinal de voz apresenta uma qualidade aceitável quando a taxa de erro de *frame* for da ordem de 1%. Para terminais parados ou movendo com velocidade baixa, consegue-se um FER de 1% com Eb/No da ordem de 3 a 4 dB. Em velocidades maiores será necessária uma relação Eb/No de 6 a 7 db, para o mesmo FER. Esta diferença ocorre porque em velocidades altas o controle não consegue compensar os *fadings* sofridos pelo sinal. [2.4]

A potência ótima será aquela necessária para atingir o FER desejado (1%). O provedor de serviços pode alterar este valor, tornando-o menor para melhorar a qualidade do sistema em detrimento da capacidade, assim como também poderá aumentá-lo em horários de pico, admitindo uma pior qualidade para conseguir maior capacidade do sistema. A faixa permitida típica de FER é de 0,2 á 3% e um valor

máximo de 3 *frames* errados seguidos. O FER pode exceder o valor desejado em determinado instante, pois o controle de potência é estatístico. Logo, a análise do FER deve ser feita por valores médios. [1.14]

O processo de controle tem basicamente três objetivos:

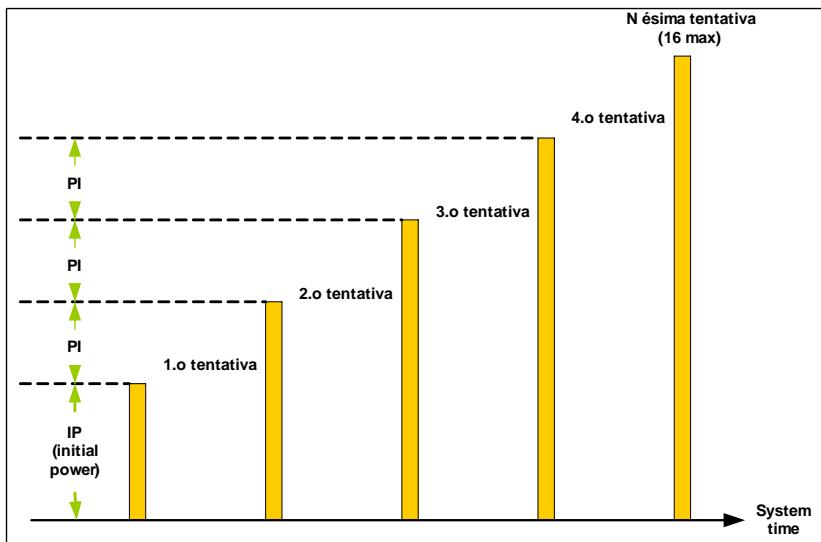
- ❖ Controlar a potência do móvel no seu acesso inicial.
- ❖ Controlar a potência do móvel quando estiver no canal de tráfego reverso.
- ❖ Controlar a potência de transmissão da BTS.

Existem formas diferentes de efetuar o controle, dependendo do sentido de transmissão (enlaces direto e reverso). Estas formas são o *open loop* e o *closed loop*, tratados no subitens que se seguem.

1.4.1 – Controle de Potência do Estado Inicial

Em processo de controle *open loop*, o acesso inicial ao sistema pode ocorrer somente após a conclusão de todo o processo de sintonia de canal piloto, canal de sincronismo e canal de *paging*. Até este momento a BTS ainda não recebeu nenhum sinal proveniente do EM e, portanto, não tem como tomar nenhuma decisão no sentido de alterar a potência do terminal. O móvel, ao utilizar o canal de acesso, inicia a transmissão com uma potência chamada IP (*initial power*) que é função do controle de potência *open loop*. Após a transmissão, aguarda-se a resposta da BTS. Caso isso não ocorra, a potência do móvel é aumentada e o processo se repete até que a estação responda. A figura 1.17 mostra as tentativas de ajuste de potência gradativo, a partir da potência inicial até a sua décima sexta tentativa: [2.2]

Figura 1.17 – Processo de Ajuste da Potência Inicial



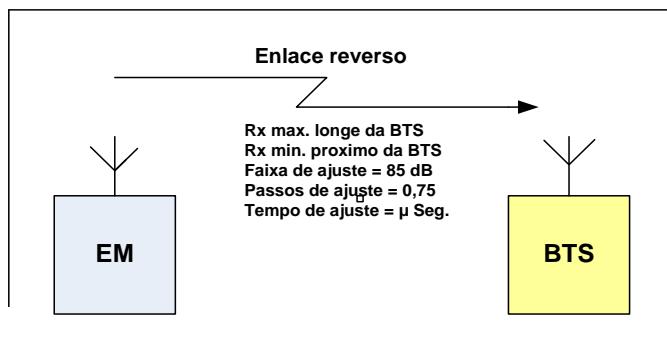
1.4.2 – Controle de Potência do Enlace Reverso

1.4.2.1 - Controle “Open Loop”

Este tipo de controle é realizado exclusivamente pelo EM, cuja potência de transmissão é ajustada de acordo com a intensidade do sinal recebido. A recepção de sinais de níveis elevados indica que o móvel está perto da BTS e, como consequência, pode-se transmitir uma menor potência para produzir o nível necessário no receptor da BTS. [1.14]

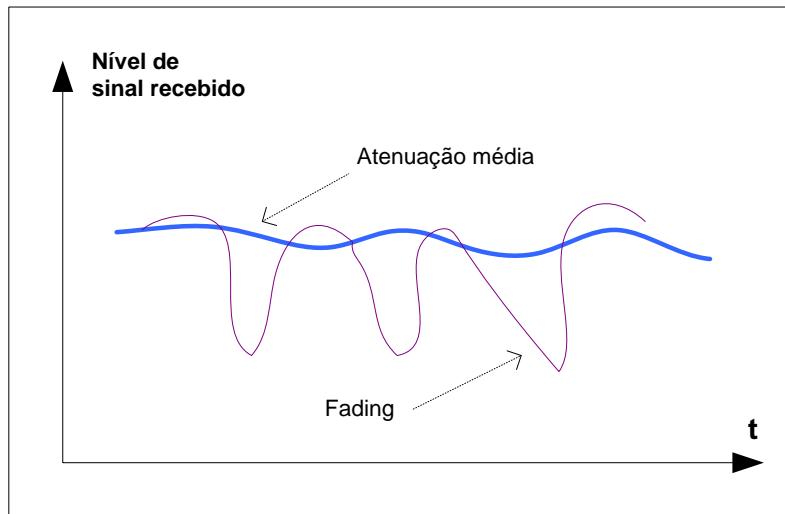
Em uma faixa dinâmica de 85 dB obtém-se o controle *loop*, o qual opera continuamente em *steps* de 0,75 dB ou menos. A figura 1.18 mostra o controle de potência reverso:

Figura 1.18 – Controle Open Loop



Caso ocorra uma degradação súbita do nível recebido pelo móvel, o sistema de controle de potência *open loop* responde rapidamente em um tempo de poucos microssegundos. A figura 1.19 ilustra as atenuações do nível do sinal através das atenuações médias e *fadings* ocorridos na propagação dos sinais de rádio: [2.4]

Figura 1.19 – Atenuação Média do Sinal



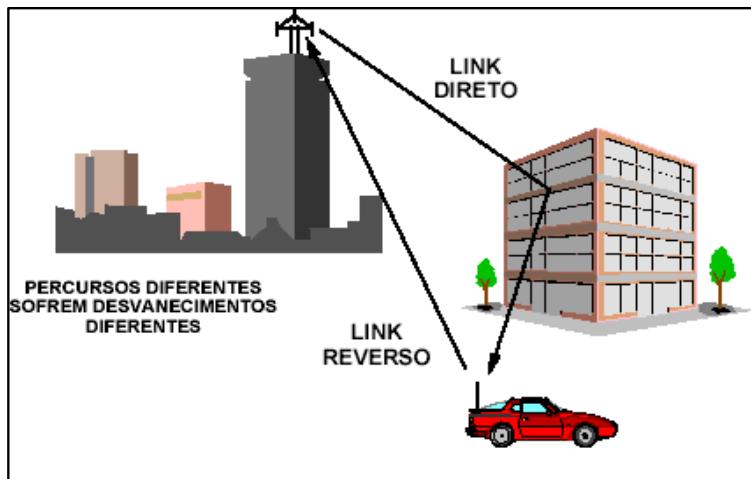
A velocidade de atuação é rápida o suficiente para compensar perdas de atenuação no percurso e sombreamento, mas não tão rápida a ponto de conseguir compensar *fadings* rápidos (tipo Rayleigh) que ocorrem no enlace direto. O sistema compensa as perdas de forma média.

1.4.2.2 - Controle Closed Loop

No sistema celular há uma separação de 45 MHz entre os canais de transmissão e recepção, o que permite uma comunicação *full duplex*. Esta separação tem importante implicação no processo de controle de potência, pois torna independentes os desvanecimentos ocorridos nos enlaces direto e reverso. Como consequência imediata, a BTS não consegue determinar com precisão a perda que o sinal está sofrendo a partir da medição da perda no *link* reverso, já que o desvanecimento ocorrido nos dois sentidos é diferente. O controle *open loop* permite um razoável controle de potência para um procedimento mais acurado na correção de desvanecimentos rápidos tipo Rayleigh. A figura 1.20 mostra os

caminhos distintos de sinais de rádio, percorridos por meio do enlace direto e reverso: [2.3]

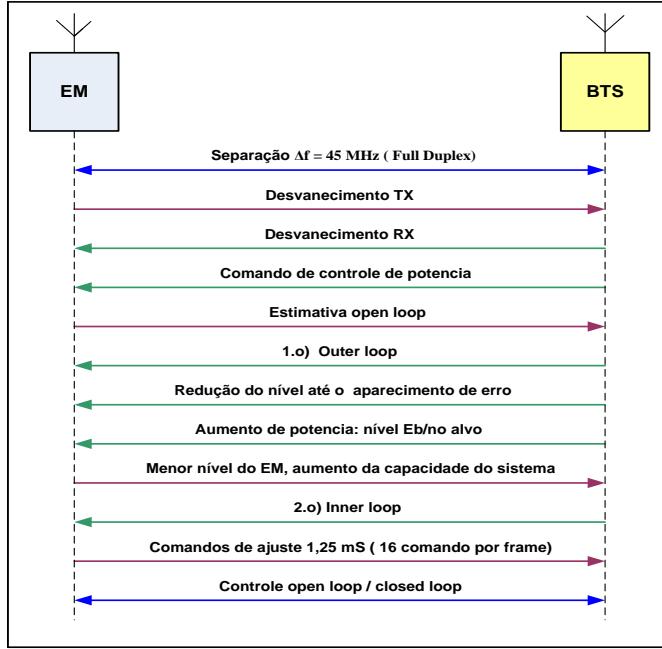
Figura 1.20 – Enlace Direto e Reverso



Para tornar o sistema preciso o suficiente a ponto de corrigir os desvanecimentos rápidos, o CDMA possui o controle *closed loop*, cuja potência do móvel é controlada também por um comando enviado a BTS. O nível determinado por este processo combinará com o nível estimado pelo *open loop* e o resultado da combinação determinará o nível total transmitido. Há duas fases distintas para o controle *closed loop*: *inner loop* e *outer loop*. [1.14]

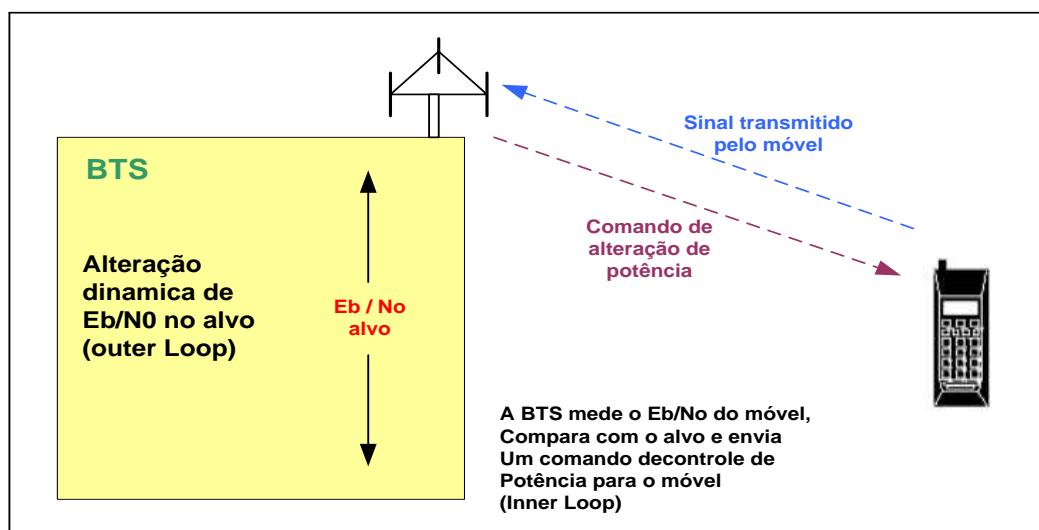
A função *outer loop*, exclusiva da BTS, é utilizada para ajustar o valor Eb/No, alvo *frame a frame*, ou seja, a cada 20 ms. A BTS reduz o alvo gradativamente até que ocorra um erro no sinal recebido. Ocorrendo o erro, o valor é aumentado e o processo se repete. Em outras palavras, o *outer loop* permite a BTS determinar o Eb/No alvo para cada usuário individual e dinamicamente, baseado na taxa de erro ocorrida na comunicação com cada terminal. A execução deste procedimento garante o funcionamento com a menor potência possível, o que permite a maximização da quantidade usuários no sistema. A figura 1.21 mostra o controle de potência na modalidade “Close Loop” mencionado no texto: [1.14]

Figura 1.21 – Controle de Potência Close Loop



Determinado o Eb/No alvo, passa-se a executar a função *inner loop*, que envolve tanto a BTS quanto o terminal móvel. Cada demodulador da BTS mede a relação EB/No de cada terminal e compara com o valor alvo destinado àquele usuário (determinado no *outer loop*). O resultado da comparação é enviado ao móvel com um comando de ajuste de potência. A figura 1.22 exemplifica o ajuste de potência do tipo *inner loop* e *outer loop*: [1.14]

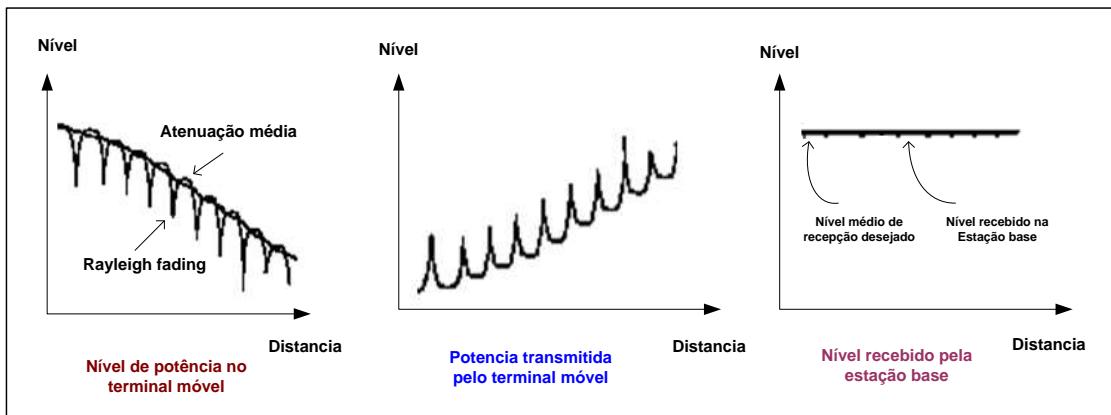
Figura 1.22 – Inner Loop e Outer Loop



Os comandos de ajuste são enviados para o subcanal de controle de potência, dentro do canal de tráfego, a cada 1,25 ms (800 vezes por segundo) ou seja, 16 comandos por *frame*. O aumento ou redução do nível pode ser feito em *step* de 1dB (típico). Esta velocidade é suficiente para corrigir os desvanecimentos Rayleigh. [2.3]

Utilizando conjuntamente os controles *open loop* e *closed loop*, pode-se compensar *fadings* de 20 a 30 dB dentro de um intervalo de 20 ms, mantendo constante o nível recebido pela BTS. A figura 1.23 ilustra o controle de potência do enlace reverso: [2.4]

Figura 1.23 – Controle de Potência do Link Reverso



1.4.3 – Controle de Potência do Enlace Direto

Quando conectado, o móvel mede o FER (taxa de erro de frame) e o reporta à BTS. Com base nesta informação, a potência do canal de tráfego é ajustada pela estação.

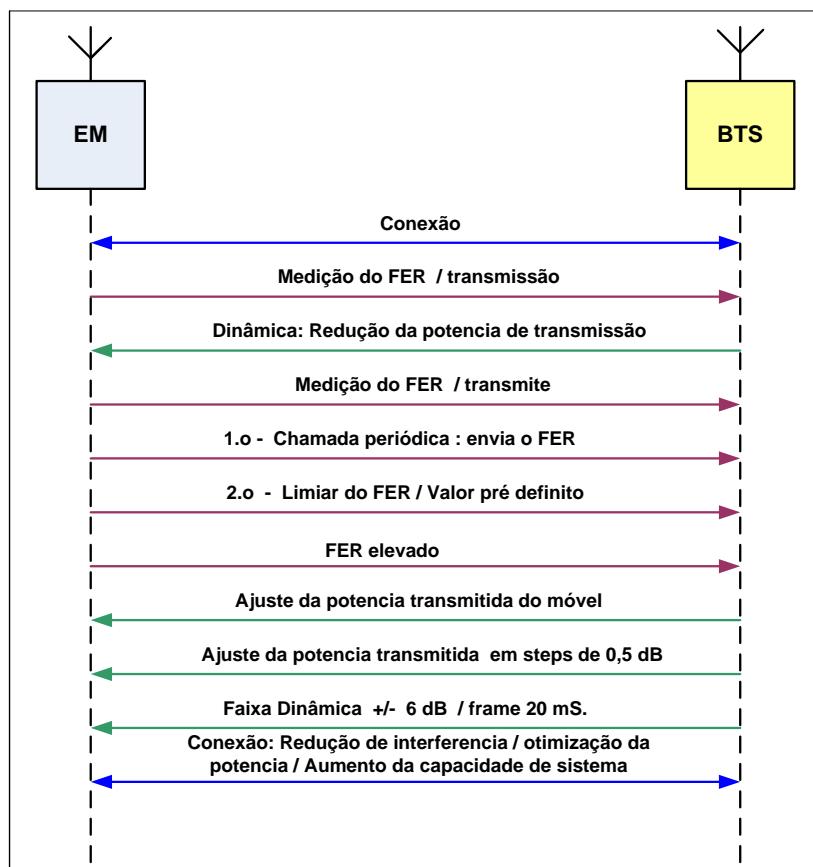
A dinâmica do controle de potência no enlace direto consiste na BTS reduzir periodicamente a potência transmitida ao terminal móvel. Este, por sua vez, mede a taxa de erro de *frame* (FER) e o informa à BTS. O processo pode ocorrer de duas maneiras. Frequentemente, na primeira chamada periódica envia-se, o FER, independentemente da aceitabilidade do valor. Na segunda, por limiar, o FER somente será reportado quando atingir um determinado valor pré-definido. As duas formas podem ser usadas em conjunto ou podem ser desabilitadas. [2.3]

Ao perceber que o FER está elevado, a estação ajusta sua potência de transmissão compensando a perda. Este ajuste é normalmente realizado em *steps* pequenos (mais ou menos 0,5) dB. A taxa de variação é mais lenta que a utilizada

no enlace reverso e ocorre uma vez a cada frame (20 ms). A faixa dinâmica está limitada em mais ou menos 6 dB. [2.3]

A figura 1.24 descreve os sinais envolvidos no processo de controle de potência do *link* direto:

Figura 1.24 – Controle de Potência do Enlace Direto



A vantagem deste processo é que a BTS transmitirá somente a potência necessária ao funcionamento do móvel, reduzindo a interferência causada em outros usuários na mesma frequência. Além disso, permite uma otimização da distribuição da potência nos canais de tráfego, destinando uma quantidade menor de sinal aos terminais com melhores condições de propagação e uma quantidade maior para os terminais em condições menos favoráveis.

No próximo item discorre-se sobre os tipos de modulação e demodulação empregados no sistema CDMA tais como BPSK , QPSK e OQPSK.

1.5 – Modulação e Demodulação BPSK no Sistema CDMA

1.5.1 – Modulador BPSK

O esquema de modulação digital básico chamado BPSK e do desempenho em um ambiente de ruído Gaussiano tem uma concepção simplificada. O usuário que enviar um **+1**, transmitirá um sinal cossenoide positivo; aquele que enviar um **-1** transmitirá um cossenoide negativo. A expressão para BPSK **E** é a energia por símbolo, e **T** é o tempo de duração de cada símbolo. A informação é armazenada na fase do sinal modulado **s+1 (t)** e **s-1 (t)**. Se a informação transmitida é **1**, o sinal modulado é **s+1(t)** com uma fase de **0**. Se a informação transmitida é **-1**, então o sinal modulado é **s-1 (t)** com uma fase de **¶**, ou 180 graus. [1.7]

O modulador BPSK é de fácil implementação. A entrada do modulador, que é um multiplexador, consiste de símbolos de dados. Os dados podem ser qualquer um dos dois **a + 1** ou **a - 1**. Os dados são multiplexados por uma portadora $\cos(2\pi f.t)$ escalada pelo coeficiente $\sqrt{2E/T}$. A saída do multiplexador é o correspondente sinal modulado. [1.7]

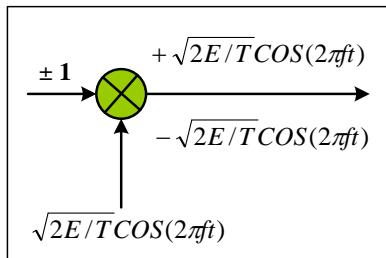
São duas as equações do modulador (2.1) e (2.2):

$$-1: S - 1 (t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cdot \cos(2\pi f.t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E}{T}} \cdot \cos(2\pi f.t) \quad 0 < t < T \quad (2.2)$$

$$-1: S - 1 (t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cdot \cos(2\pi f.t + \pi) = -\sqrt{\frac{2E}{T}} \cdot \cos(2\pi f.t) \quad 0 < t < T \quad (2.2)$$

Na figura 1.25 apresentam-se os sinais do modulador BPSK:

Figura 1.25 – Modulador BPSK

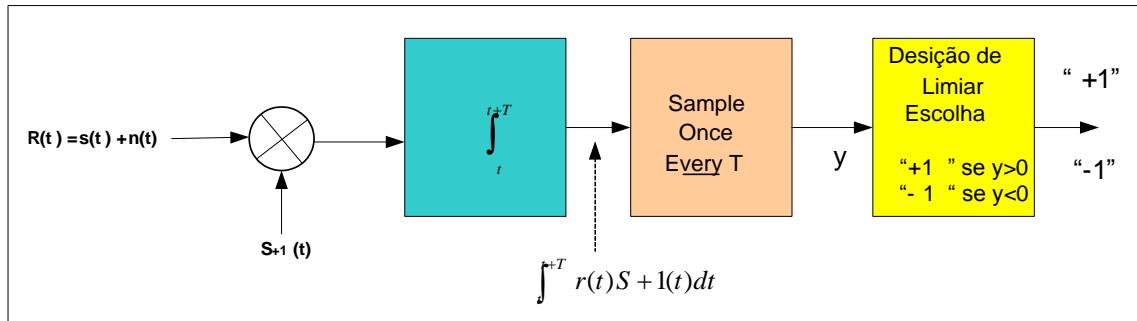


1.5.2- Demodulador BPSK

Uma implementação do BPSK é a aproximação do filtro combinado. O recebido sinal **r(t)** tem dois componentes: o sinal transmitido é originalmente **si(t)**

onde i poderia ser qualquer um dos dois, $+1$ ou -1 , e ruído $n(t)$, que é introduzido pelo canal. O sinal recebido $r(t)$ é multiplicado pelo sinal de $s+1(t)$. O multiplicado resultado é então integrado acima de um *bit* de intervalo T . A figura 1.26 apresenta o diagrama de bloco do demodulador: [1.7]

Figura 1.26 – Demodulador BPSK



Se o transmissor envia **a+1** { $si(t) = s+1(t)$ }, então o integrado resultado é

$$y = \frac{2E}{T} \int_0^T \cos^2(2\pi ft) dt + \sqrt{2E/T} \int_0^T \cos(2\pi ft)n(t) dt \quad (2.3)$$

onde o primeiro termo é o período do sinal que é utilizado para o limiar de decisão e o segundo termo é a contribuição do ruído. Na ausência do ruído, o primeiro termo é reduzido para: [1.7]

$$\frac{2E}{T} \int_0^T \cos^2(2\pi ft) dt = \frac{2E}{T} \left(\frac{1}{2}\right) = +\frac{E}{T} \quad (\text{para } +1) \quad (2.4)$$

Se o transmissor envia **a-1** { $si(t) = s-1(t)$ }, então o resultado integrado é:

$$y = -\frac{2E}{T} \int_0^T \cos^2(2\pi ft) dt - \sqrt{2E/T} \int_0^T \cos(2\pi ft)n(t) dt \quad (2.5)$$

Na ausência do ruído, o primeiro termo reduz para:

$$-\frac{2E}{T} \int_0^T \cos^2(2\pi ft) dt = -\frac{2E}{T} \left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{E}{T} \quad (\text{para } -1) \quad (2.6)$$

$$\int_0^{k/f} \cos(2\pi ft) \sin(2\pi ft) dt = 0 \quad k=0,1,2,3,\dots$$

Portanto, um segundo sinal BPSK em quadradura pode ser adicionado ao primeiro sem introdução de interferência para o outro. Esta técnica, conhecida como QPSK, dobra a largura de banda eficiente do BPSK porque está apta para transmitir um *bit* adicional durante T. [1.7]

1.6 – Modulador e demodulador QPSK

1.6.1 – Modulador QPSK

Com o objetivo de enviar dois bits de informação, o sistema QPSK requer o uso de quatro símbolos 0,1,2 e 3. A tabela 1.8 mostra o mapeamento entre símbolos transmitidos e *bits*: [1.7]

Tabela 1.8 – Mapeamento de Símbolos e bits

| Símbolo Transmitido | Bits representados |
|---------------------|--------------------|
| 0 | + 1 , + 1 |
| 1 | - 1 , + 1 |
| 2 | - 1 , - 1 |
| 3 | + 1 , - 1 |

Para transmitir quatro diferentes símbolos, o transmissor QPSK deve ser capaz de enviar quatro formas de onda diferentes: $s_0(t)$, $s_1(t)$, $s_2(t)$ e $s_3(t)$. Cada sinal corresponde a um dos quatro símbolos, que é: [1.7]

$$\text{Símbolo 0: } s_0(t) = \sqrt{2E/T} \cos(2\pi ft + \pi/4) \quad 0 < t < T \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Símbolo 1: } s_1(t) &= \sqrt{2E/T} \cos(2\pi ft + 3\pi/4) \\ &= \sqrt{2E/T} \sin(2\pi ft + \pi/4) \quad 0 < t < T \end{aligned} \quad (2.8)$$

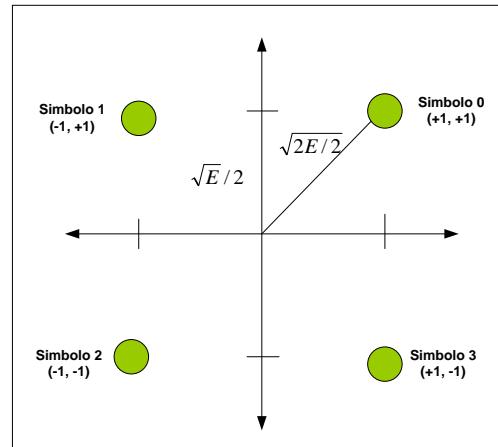
$$\begin{aligned} \text{Símbolo 2: } s_2(t) &= \sqrt{2E/T} \cos(2\pi ft + 5\pi/4) \\ &= -\sqrt{2E/T} \cos(2\pi ft + \pi/4) \quad 0 < t < T \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} \text{Símbolo 3: } s_3(t) &= \sqrt{2E/T} \cos(2\pi ft + 7\pi/4) \\ &= -\sqrt{2E/T} \sin(2\pi ft + \pi/4) \quad 0 < t < T \end{aligned} \quad (2.10)$$

Onde **E** é a energia por símbolo. O transmissor muda a fase da forma de onda do cosseno, dependendo do símbolo que está para ser transmitido. A fase

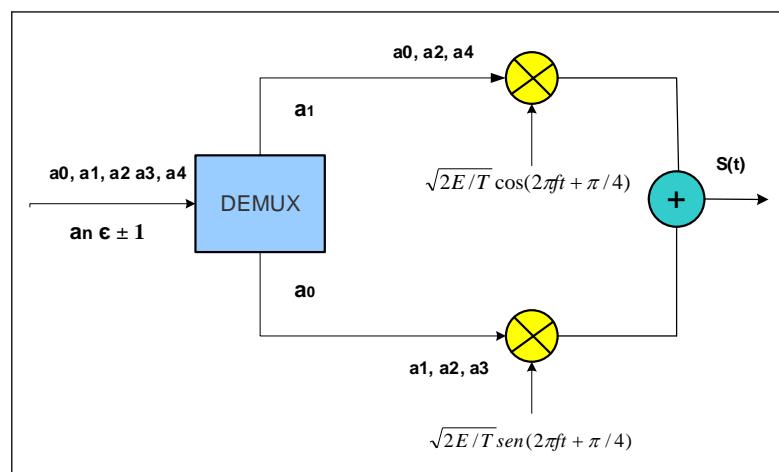
pode mudar para um dos quatro estados: 45, 135, 225 e 315 graus. A figura 1.27 representa a constelação do sinal espacial do tipo QPSK: [1.7]

Figura 1.27 - Constelação QPSK



A entrada para o modulador são os dados de *bits* $\{a_n\}$; $n = 0, 1, 2, 3$. Os *bits* de dados podem ser qualquer um dos dois, +1 ou -1. Os *bits* de dados são alimentados dentro do demultiplexador (DEMUX), onde o fluxo de *bits* é separado. O fluxo de *bits* restante ainda é multiplicado por uma portadora em fase, e o fluxo de *bits* anterior é multiplicado pela portadora de quadratura. A saída dos multiplicadores é combinada no adicionador para formar o sinal QPSK. A figura 1.28 apresenta o diagrama de bloco do modulador do tipo QPSK: [1.7]

Figura 1.28 – Modulador QPSK

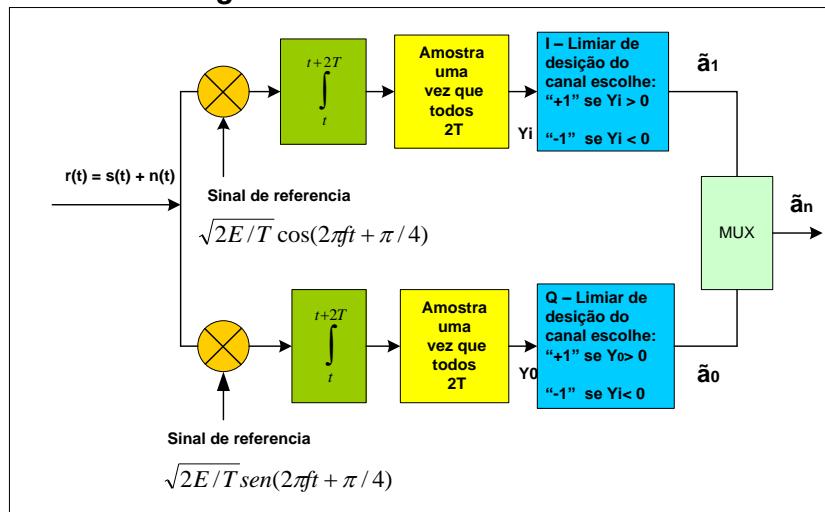


1.6.2 – Demodulador QPSK

O receptor QPSK pode usar o mesmo filtro combinador e aproxima-se de um provável detector máximo, exceto no caso de outro ramo ser adicionado para um componente em quadratura. O sinal recebido $r(t)$ é alimentado dentro de dois caminhos separados, um caminho em fase e o outro caminho em quadratura, onde os sinais são multiplicados por seus respectivos sinais de referência. Os resultados multiplicados são integrados e alimentados dentro do limiar de decisão. A regra de decisão é a mesma do sistema BPSK, que decide **+ 1**, se y for maior que **zero**, e decide **- 1**, se y for menor que **zero**. A decisão dos resultados é multiplexada pelo multiplexador (MUX) para formar o recuperado fluxo *bit* de dado \tilde{a}_n . [1.7]

Nesta correlação de implementação, a probabilidade de enviar **a + 1** é igual à probabilidade de enviar **a - 1**. Assume-se que o demodulador é coerente, o que significa que as fases do sinal de referência são combinadas perfeitamente com as fases das portadoras da modulação. A figura 1.29 ilustra a implementação do demodulador: [1.7]

Figura 1.29 – Demodulador QPSK

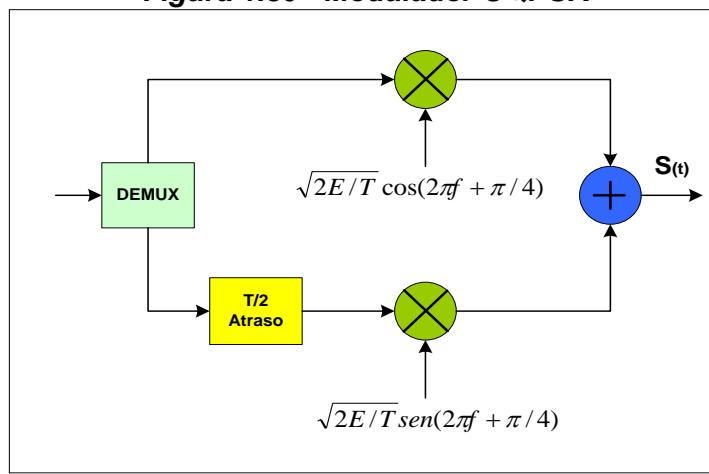


1.6.3 - Aplicações no Sistema IS-95 CDMA

O sistema IS-95 CDMA usa QPSK tanto para *link* direto quanto para o reverso. O *link* reverso, em particular, usa uma variável do QPSK chamada *offset quadrature phase shift keying* (OQPSK). OQPSK difere do convencional QPSK por ser anterior ao multiplicador de portadora: um atraso de meio *bit* de intervalo (em relação ao caminho I) é colocado no caminho Q. Isto é feito para evitar uma

transição de fase de 180 graus que ocorre no sistema convencional QPSK. Por exemplo, na transição do símbolo **0** para o símbolo **3**, o sinal vai da transição de uma fase de 180 graus para a origem. No domínio do tempo, o sinal envelope cai e momentaneamente alcança zero. Este cruzamento de zero demanda muito da faixa dinâmica do amplificador de potência. Assim, usa-se OPSK no enlace reverso onde o amplificador de potência do móvel limita ambos em tamanho e desempenho. O atraso extra de meio *bit* no caminho **Q** assegura que não haverá transição exata entre símbolos **0** e **2** e entre símbolos **1** e **3**, e, portanto, não cruza zero. A figura 1.30 exemplifica o modulador do tipo OQPSK: [1.7]

Figura 1.30 - Modulador OQPSK

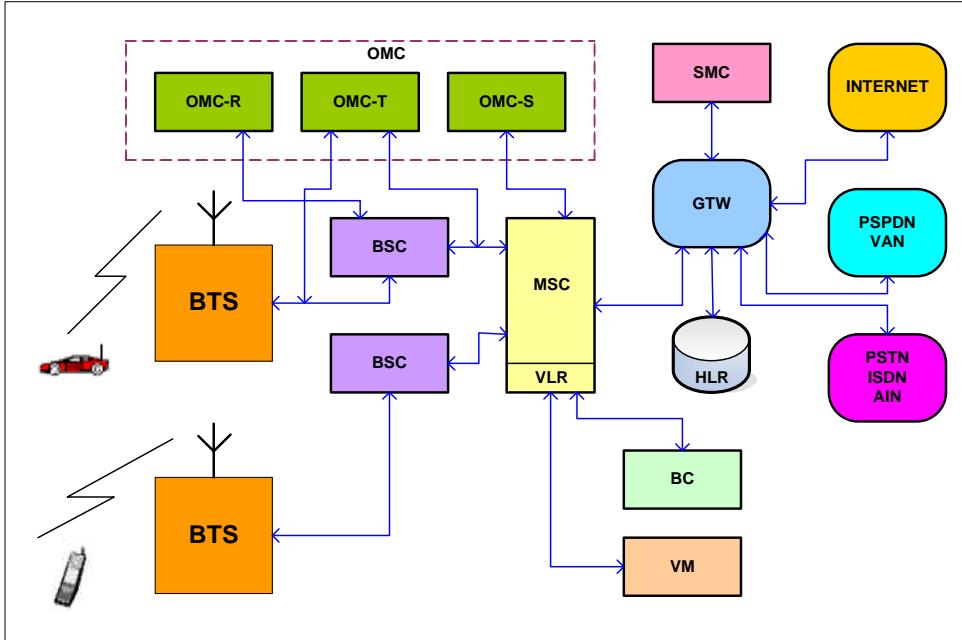


No item a seguir será apresentada a infraestrutura dos equipamentos envolvidos na tecnologia CDMA e discutida a sua funcionalidade, indispensável para o entendimento de operação do sistema.

1.7 – Composição da Infraestrutura do Sistema CDMA

A infraestrutura empregada no sistema CDMA é projetada para ser flexível em termos de capacidade e funções, sendo viável em centrais públicas móveis de diferentes portes e diferentes aplicações da PSTN, além de permitir a absorção das atuais tecnologias. Além disso, este sistema baseia-se no princípio de crescimento em blocos (modular), que facilita a expansão do sistema. A figura 1.31 mostra a interligação dos equipamentos envolvidos no sistema, bem como a interligação dos blocos: [2.4]

Figura 1.31 – Infraestrutura do Sistema CDMA



Seguem-se os detalhamentos da infraestrutura do Sistema CDMA:

- ❖ **MSC**, equipamento com função de comutação. Apresenta-se com característica de um computador de grande porte para aplicações em telefonia. Suas principais funções: Processamento de chamada, gerenciamento do sistema móvel celular, tarifação e bilhetagem, coleta de dados de tráfego, autorização do controle e troca de canais de RF. [2.3]
- ❖ **BSC**, equipamento de rádio chamado de controladora. Funciona com interface entre a BTS e a MSC e permite fazer o gerenciamento das BTS, o controle de tráfego telefônico e o controle da potência das BTS e EM. [1.14]
- ❖ **BTS**, equipamento de rádio que funciona como interface entre o terminal móvel e a BSC. É com ele que se faz a área de cobertura de uma célula, possibilitando assim a comunicação sem fio entre o terminal móvel e a BTS. [2.3]
- ❖ **HLR**, equipamento que apresenta a função de banco de dados, armazena o cadastro dos usuários pertencentes à área de registro e contém o registro dos serviços contratado pelo usuário. [2.4]
- ❖ **VLR**, equipamento com função de banco de dados que contém informações temporárias sobre os assinantes visitantes. Essas informações são armazenadas na MSC e podem servir aos assinantes visitantes. Interligamos

o VLR com uma conexão através MSC. Quando EM visita uma nova área, o VLR conectado à nova MSC requisita do HLR o perfil do EM. [1.14]

- ❖ **OMC**, plataforma centralizada que fornece uma fácil operação do sistema, gerenciamento da rede e rapidez na detecção e correção de falhas. Tem como função de gerenciamento de falhas, gerenciamento de desempenho e configuração. Pode-se verificar o sistema rádio através do terminal OMC-R; sistema de transmissão através do OMC-T e o sistema de comutação através do OMC-S. [2.4]
- ❖ **SMC**, equipamento responsável pela transmissão de mensagens curtas ao *display* do móvel. [2.4]
- ❖ **BC**, equipamento com função de centro de tarifação e bilhetagem.
- ❖ **VM**, equipamento responsável pela caixa postal.
- ❖ **GTW**, interface que interliga rede de dados (internet), ISDN, AIN, PSTN e PSPDN.

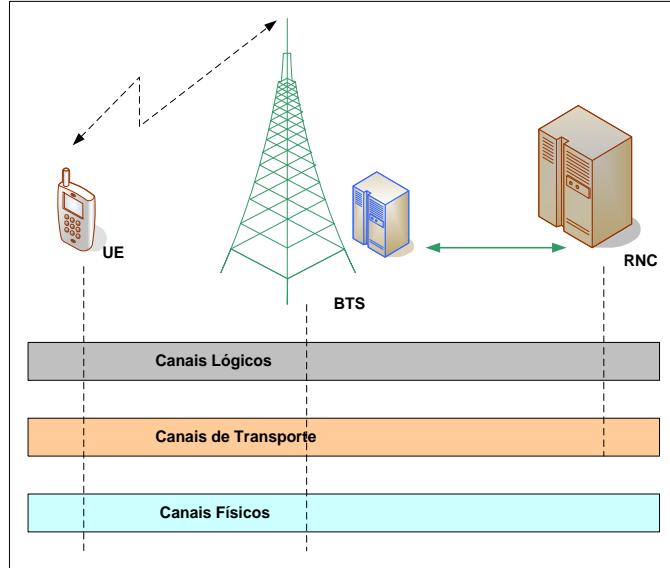
No próximo item, dedicado à tecnologia WCDMA, são abordados os tipos de canais empregados na interface aérea, a arquitetura de rede, os protocolos envolvidos do sistema, a rede de transporte, a capacidade de sistema, os tipos de modulação e as comparações entre tecnologias WCDMA, GSM e CDMA-2000.

1.8 – Sistema de Canais WCDMA

O sistema WCDMA disponibiliza banda de frequência para os usuários e taxa de transmissão, através das funções de controle. Dependendo do tipo de serviço empregado, os canais de controle são responsáveis pela troca de informações entre os equipamentos de conexão liberando os serviços voz, dados e vídeo, através dos canais de tráfego. Este sistema apresenta uma família de canais composta por três camadas: canais lógicos, canais de transporte e canais físicos. Os canais lógicos descrevem os tipos de informações que deverão ser transmitidos; os canais de transporte descrevem a forma como os canais lógicos são transferidos e os canais físicos são responsáveis pela rede de transporte, através do meio sem fio. Os canais do WCDMA diferem em número e função comparados com o sistema GSM. [1.36]

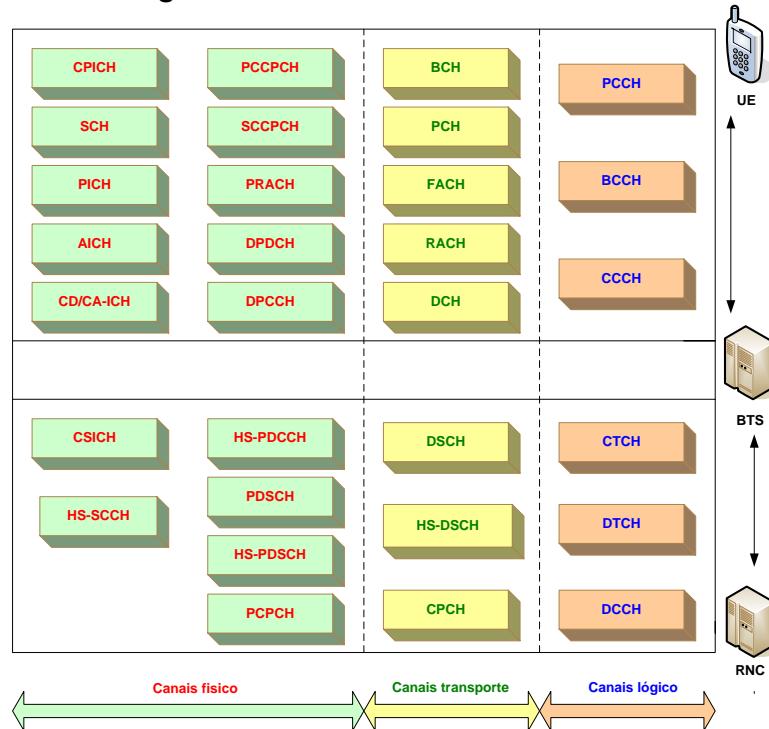
A figura 1.32 a seguir exemplifica a interligação dos canais lógicos, transporte e físicos na conexão da infra estrutura: UE, BTS e RNC.

Figura 1.32 – Sistema de Canais WCDMA



Na figura 1.33 a seguir são mostrados os canais físicos, transporte e lógicos com suas respectivas interligações da estação móvel, estação radio base e RNC: [1.36]

Figura 1.33 – Canais Sistema WCDMA



1.8.1 - Grupo de Canais de Controle

- *Broadcast Control Channel (BCCH):* canal do enlace direto usado para transferir informações de sistema em broadcast.

- *Paging Control Channel* (PCCH): canal de enlace direto usado para transferir informações de busca, quando a célula não tem informação sobre onde o UE está localizado.
- *Common Control Channel* (CCCH): canal bidirecional ponto a ponto que transfere informações de controle entre a rede e UE.
- *Dedicated Control Channel* (DCCH): Canal bidirecional que transfere informações de controle entre a rede e uma UE formadas através dos canais.
- *Common Traffic Channel* (CTCH): canal do enlace direto ponto-multiponto usado na transferência de informações de usuários entre a rede e um grupo específico de UEs.
- *Dedicated Traffic Channel* (DTCH): canal bidirecional ponto a ponto usado na transferência de tráfego entre a rede e uma UE específica.

1.8.1.1 - Canais de Transporte

São oferecidos serviços através da camada 1 às camadas superiores, por meio da constituição de dois grupos:

- Grupo de canais de transporte comuns, presente nos enlaces diretos e reversos para informações não relacionadas a um usuário específico (comum a vários usuários)
- Grupo de canais de transporte dedicados: canais presentes nos enlaces diretos e reversos para o transporte de informação a um usuário específico.

1.8.2.2 - Grupo de Canais de Transporte Comum

- *Broadcast channel* (BCH) – canal de enlace direto ponto-multiponto usado no transporte de informação de sistema, possue taxa de transmissão fixa e é sempre transmitido na área de cobertura de uma célula.
- *Forward Access Channel* (FACH) – canal no enlace direto ponto-multiponto usado no transporte de informação de controle para UE específica ou para várias Ues.
- *Pading Channel* (PCH) – canal de enlace direto ponto-multiponto usado no transporte de informação de controle visando a localização de uma UE, quando a rede não reconhece a localização do usuário.

- *Random Access Channel* (RACH) – Canal de transporte do enlace reverso usado para transportar informações provenientes da UE.
- *Common Packet Channel* (CPCH) – Canal de transporte do enlace reverso usado em conjunto com o canal DCH (Dedicated Channel) do enlace direto para prover o controle de potência.
- *Downlink Shared Channel* (DSCH) – Canal de transporte do enlace direto por várias UEs. Esse canal é associado com um ou vários DCHs.
- *High Speed Dowlink Shared* (HS-DSCH): Canal de transporte do enlace direto compartilhado por várias UEs. Esse canal é associado com um canal físico DPCH do enlace direto e com um ou mais canais físicos HS-SCCH.

1.8.1.3 – Grupo de Canais de Transporte Dedicados

- *Dedicated Channel* (DCH) – Canal bidirecional ponto a ponto transmitido pelos enlaces direto e reverso dentro da área coberta da célula de/para uma UE específica.
- *Enhanced Dedicated Channel* (E-DCH) – Canal ponto a ponto transmitido pelo enlace reverso dentro da área de cobertura da célula de/para uma UE específica. [1.42]

1.8.2 - Mapeamento Canais Lógicos e Transporte

Os canais lógicos WCDMA devem, obrigatoriamente, ser mapeados nos canais de transporte e vice-versa. O mapeamento é realizado em cada camada pelo ponto de acesso de serviço. Convém ressaltar que um serviço nada mais é do que um conjunto de primitivas ou operações que uma determinada camada oferece para uma ou mais camadas superiores. As figuras 1.34 e 1.35 a seguir mostram o mapeamento dos canais lógico, transporte e físico através do *link* de descida e do *link* de subida:

Figura 1.34 – Mapeamento dos Canais no Link de Descida

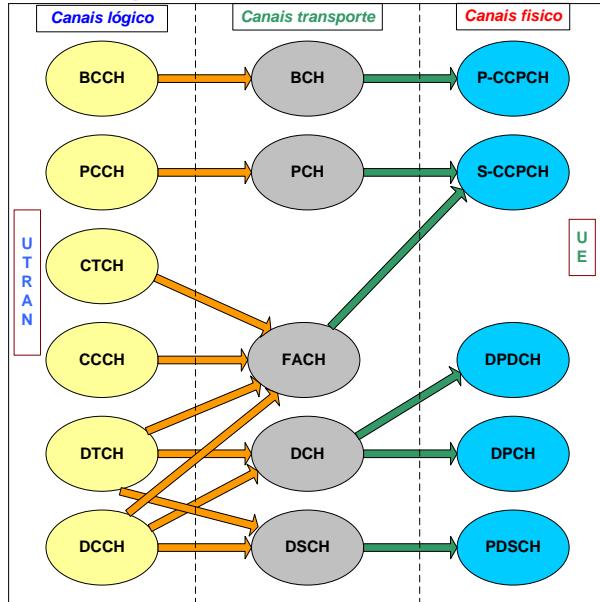
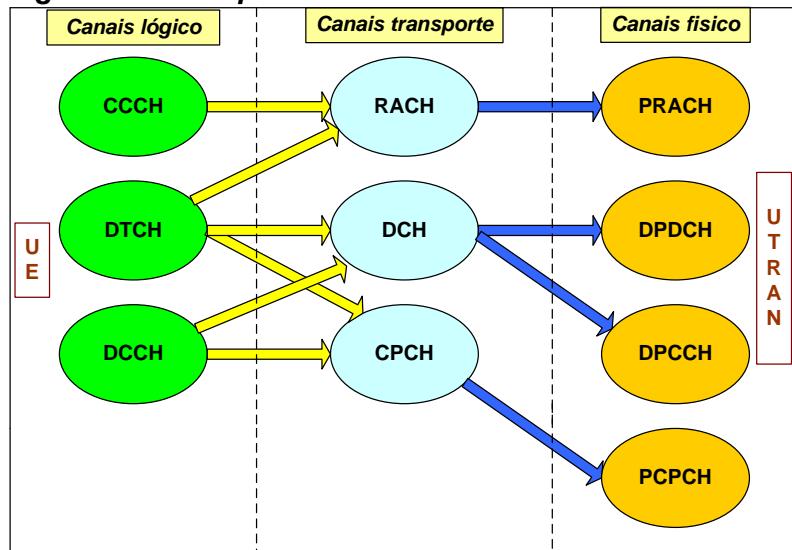


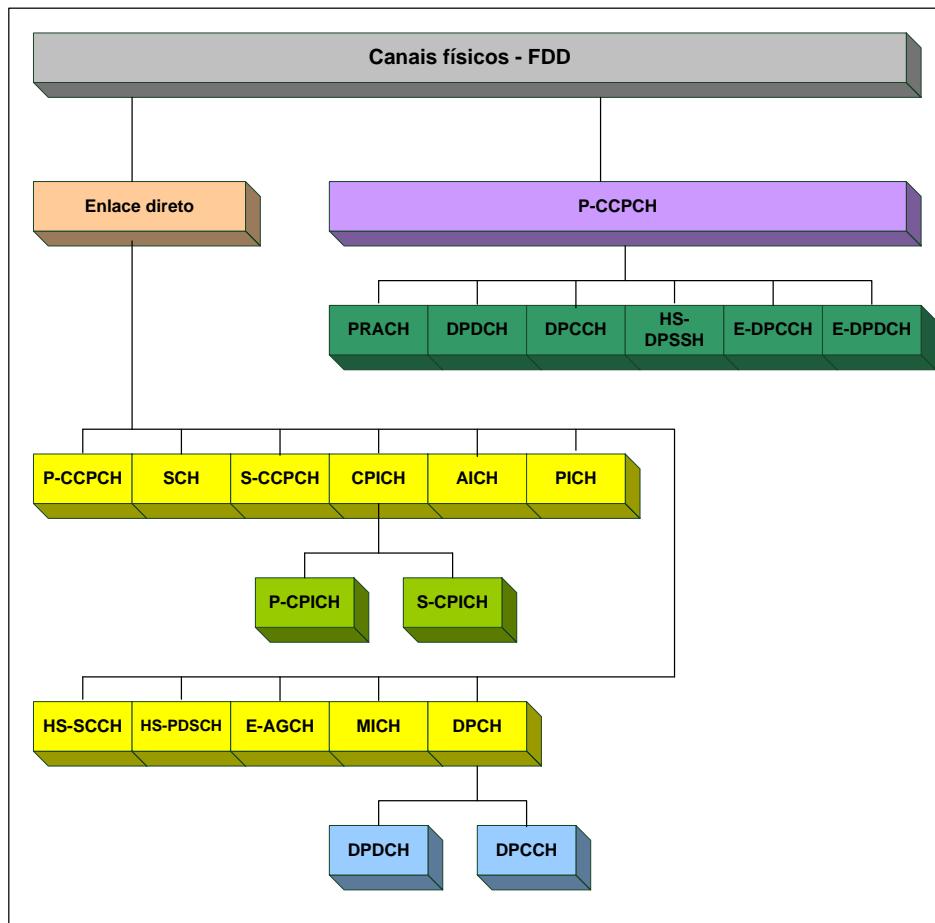
Figura 1.35 – Mapeamento dos Canais no Link de Subida



1.8.3 – Canais Físicos

Os canais físicos são responsáveis pela codificação e transmissão dos canais de transporte pela rede aérea. Esses canais são formados por quadros de RF e intervalos de tempo de canal (ITC ou time slot). Na tecnologia FDD o comprimento do quadro de RF é de 15 ITCs com duração igual a 10 ms e taxa de transmissão de 38.400 chips. O comprimento da cada ITC é igual a 2560 chips. A figura 1.36 a seguir mostra os canais físicos diretos e reversos na duplexação FDD:

Figura 1.36 - Canais Físicos do Link Direto e Reverso



1.8.3.1 – Canais Físicos do Enlace Direto

- Canal piloto comum (CPICH) – É um canal físico do enlace direto que transporta uma sequência de *bits* pré-definidas com taxa de transmissão fixa 30 kbps, usado na sincronização da EU. Existem dois tipos de canais.
 - ❖ Canal piloto primário (P-CPICH) apresenta o mesmo código de canalização para todos os canais P-CPICH, misturado pelo código primário e único por célula.
 - ❖ Canal piloto secundário (S-CPICH) apresenta um código de canalização arbitrário, misturado pelo código primário, secundário ou ambos e com número variável por célula.

- Canal físico de controle comum primário (P-CCPCH) é um canal do enlace direto que transporta uma sequência com uma taxa fixa de 30 kbps, usado para transmitir o canal de transporte BCH.
- Canal físico de controle secundário (S-CCPCH) é um canal do enlace direto usado para transmitir os canais de transporte FACH e PCH.
- Canal de sincronismo (SCH) é um canal físico do enlace direto usado pela EU na procura de células em uma determinada área de cobertura. O canal SCH é formado por dois subcanais: primário e secundário. Apresenta um quadro de 10 ms, dividido em 15 IT com comprimento de 256 *chips* cada.
 - ❖ Canal primário do SCH é formado por um código modulado de comprimento de 256 chips. Este canal é transmitido em cada IT e é o mesmo para cada célula do sistema.
 - ❖ Canal secundário do SCH – chamado de código de sincronismo secundário – é formado pela transmissão cíclica de 15 sequências de código modulados com comprimento de 256 chips cada, em paralelo com o primário.
- Canal indicador de aquisição (AICH) é um canal físico do enlace direto com uma taxa fixa 256 SF, usado para transportar o indicador de aquisição (AI). Corresponde à assinatura do canal PRACH. A estrutura de quadro é formada por uma sequência de 15 IT de acesso consecutivo, com comprimento de 5120 *chips* cada.
- Canal indicador de busca (PICH) é um canal físico do enlace direto com uma taxa fixa 256 SF usado para transportar o indicador de busca. Esse canal está sempre associado a um S-CCPCH em que é mapeado o canal de transporte PCH. Apresenta um quadro de RF de 10ms de comprimento e é formado por 300 bits.
- Canal de controle compartilhado de alta velocidade (HS-SCCH) é um canal físico do enlace direto com uma taxa fixa 60 kbps e 128 SF, usado para transportar sinalização relacionada com a transmissão do canal HS-DSCH.
- Canal físico de controle compartilhado de alta velocidade (HS-PDSCH) é um canal físico do enlace direto usado para transportar o canal compartilhado HS-DSCH. Este canal pode utilizar as modulações QPSK ou 16QAM.

- Canal de acesso permitido absoluto (E-AGCH) é um canal físico do enlace direto com uma taxa fixa de 256 SF, usado para transportar o canal do enlace reverso E-DCH.
- Canal de indicação multimídia broadcast e serviço *multicast* (MICH) é um canal físico do enlace direto com uma taxa fixa 256 SF, usado para transportar a notificação de indicação MBMS. Esse canal está sempre associado a um S-CCPCH em que é mapeado o canal de transporte FACH.
- Canal físico dedicado (DPCH) é um canal físico do enlace direto, transporta os dados dedicados gerados na camada 2 e superiores. Basicamente, há dois tipos de canais físicos dedicados, os que transportam e os que não transportam os parâmetros indicadores de combinação de formato de transporte (*transport format combination indicator – TFCI*).
- Canal físico dedicado fracionário (F-DPCH) transporta informações de controle geradas pela camada 1, tipicamente os comandos de controle de potência de transmissão (TPC).
- Canal de acesso permitido relativo (E-RGCH) é um canal físico dedicado ao enlace direto com taxa fixa que transporta a permissão relativa gerada pelo canal de transporte do enlace reverso E-DCH.
- Canal indicador híbrido (E-HICH) é um canal físico dedicado ao enlace direto com taxa de transmissão fixa que transporta o reconhecimento do indicador híbrido gerado pelo canal de transporte do enlace reverso E-DCH.

1.8.3.2 – Canais Físicos do Enlace Reverso

Os canais físicos do enlace reverso também podem ser categorizados em dois grupos: canais comuns e canais dedicados.

O grupo de canais comum é formado pelo canal PRACH e o DPDCH, E-DPCCH e HS-DSCH. As características de cada um desses canais são apresentadas a seguir:

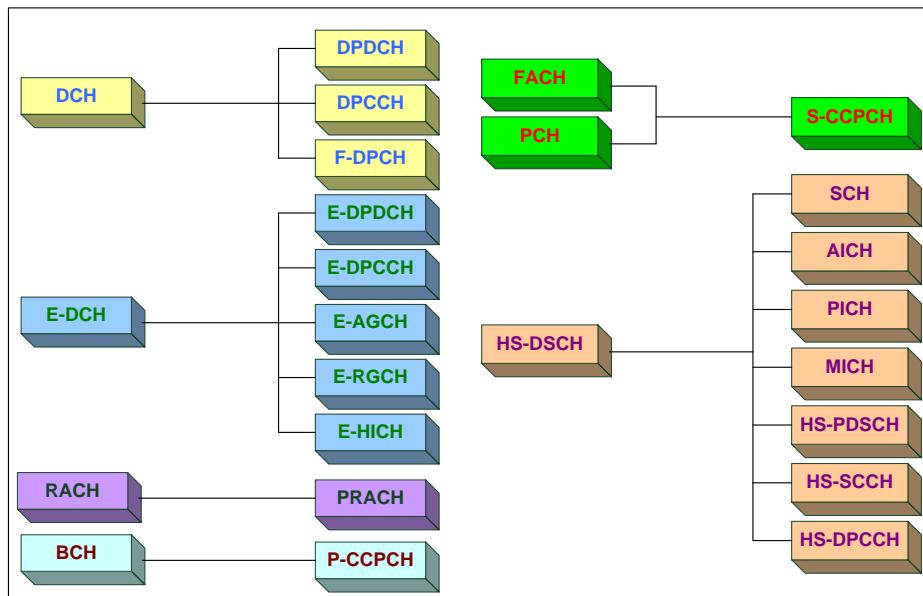
- Canal físico de acesso randômico (PRACH): pertence ao enlace reverso usado para transportar o canal RACH. A sua transmissão é baseada no acesso randômico no começo de um número bem definido de intervalos de tempo, chamado intervalo de tempo de acesso. Existem 15 intervalos de

tempo de acesso para um conjunto de dois quadros, os quais são separados por 5.120 *chips*.

- Canal físico de dados dedicado (DPDCH) é um canal físico do enlace reverso, usado para transportar o canal DCH. Pode não existir nenhum, bem como podem existir vários canais DPCHs em cada enlace de RF. A estrutura do quadro do canal é dividida em 15 ITCs de comprimento igual a Tslot = 2560 *chips* cada, correspondendo a um período de controle de potência.
- Canal físico de controle dedicado (DPCCH) é um canal físico do enlace reverso, usado para transportar as informações de controle geradas pela camada 1. A estrutura de quadro é dividida em 15 ITCs de comprimento igual a Tslot = 2560 *chips* cada, correspondendo a um período de controle de potência. Essas funções de controle são formadas pelos campos:
 - ❖ Bits pilot, usado para suportar as estimativas do canal para sua detecção coerente.
 - ❖ Informação de retorno, usado para suportar técnicas de requisição de retorno de informação da EU para os pontos de acesso UTRAN.
 - ❖ Comandos de controle de potência, usados para controlar a potência na interface aérea.
 - ❖ Indicador de combinação de formato de transporte, usado para indicar ao receptor sobre a combinação de formato dos canais de transporte.
- Canal físico de controle dedicado associado com a transmissão (HS-DPCCH)
 - Canal físico do enlace reverso, usado para transportar sinalização de retorno relacionado à transmissão do canal do enlace reverso HD-DSCH.
- Canal físico de dados melhorado (DPDCH) – É um canal físico do enlace reverso, usado para transportar o canal E-DCH. Pode não existir nenhum, ou podem existir vários canais E-DPDCHs em cada enlace de RF.
- Canal físico de controle dedicado melhorado (E-DPCCH) – É um canal físico de enlace reverso, usado para transportar as informações de controle geradas pela camada 1.

A figura 1.37 a seguir ilustra o mapeamento entre os canais de transporte e físicos: [1.42]

Figura 1.37 – Canais de Transporte nos Canais Físico



1.9 – Canais HSDPA da tecnologia WCDMA FDD

Na fase inicial do desenvolvimento do UMTS previu-se que o tráfego de dados teria de seguir a tendência vivida a partir de redes fixas em que a quota do IP foi dominante. Concebida como canal IP, a padronização do 3GPP fomentou o surgimento de manipulação do tráfego IP no núcleo da UMTS Network (CN), por meio da introdução de novos blocos de construção como o IP multimídia, ampliando a capacidade de dados globais da rede, o que, por sua vez, passou a demandar o desenvolvimento e aperfeiçoamento de dados da UTRAN e da sua interface aérea. O desenvolvimento do DSCH abriu o caminho para as melhorias adicionais e significativas de uma rede com taxa de transmissões mais elevadas de *bits*, motivando o aparecimento do HSDPA que emprega técnicas com modulação adaptativa (AMC) e permitindo o aumento da taxa de transferência de dados e a redução de altos picos de taxas. [1.36]

A tabela 1.9 a seguir mostra as características relevantes do HSDPA, na tecnologia WCDMA FDD:

[1.36]

Tabela 1.9 - Parâmetros HSDPA

| HSDPA - WCDMA | |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| Parâmetros | Especificações |
| ❖ Acesso Múltiplo | DS-CDMA |
| ❖ Duplexação | FDD |
| ❖ Taxa de Chip (Mbit/s) | 3,84 |
| ❖ Comprimento do quadro | 10 ms |
| ❖ Modulação dados | FDD-DL-UL:BPSK / QPSK |
| ❖ Espalhamento | FDD-UL: BPSK; DL:QPSK |
| ❖ Controle de potência | Close loop, outer loop – 1500 step/s |
| ❖ Diversidade | Rake: BTS e EM |
| ❖ Taxa de transmissão - HSDPA | 7200 / 384 kbit/s |
| ❖ Taxa de transmissão - HSPA | 14,4 / 5,8 Mbit/s |
| ❖ Taxa de transmissão – HSPA + | 42 / 11,5 Mbit/s |
| ❖ Canalização | 5 MHz |

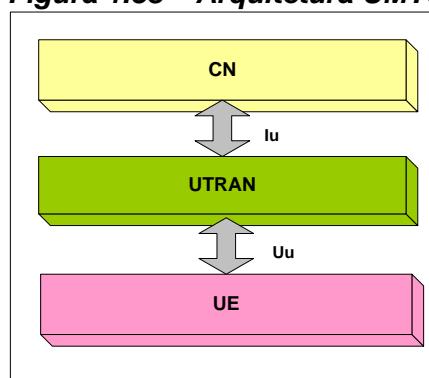
1.10 – Arquitetura de Rede UMTS

A arquitetura da rede UMTS é formada pelos seguintes elementos de rede:

- Equipamento de usuário (UE)
- Rede de suporte (CN)
- Rede universal de acesso de RF (UTRAN)

A figura 1.38 a seguir mostra a arquitetura UMTS.

Figura 1.38 – Arquitetura UMTS



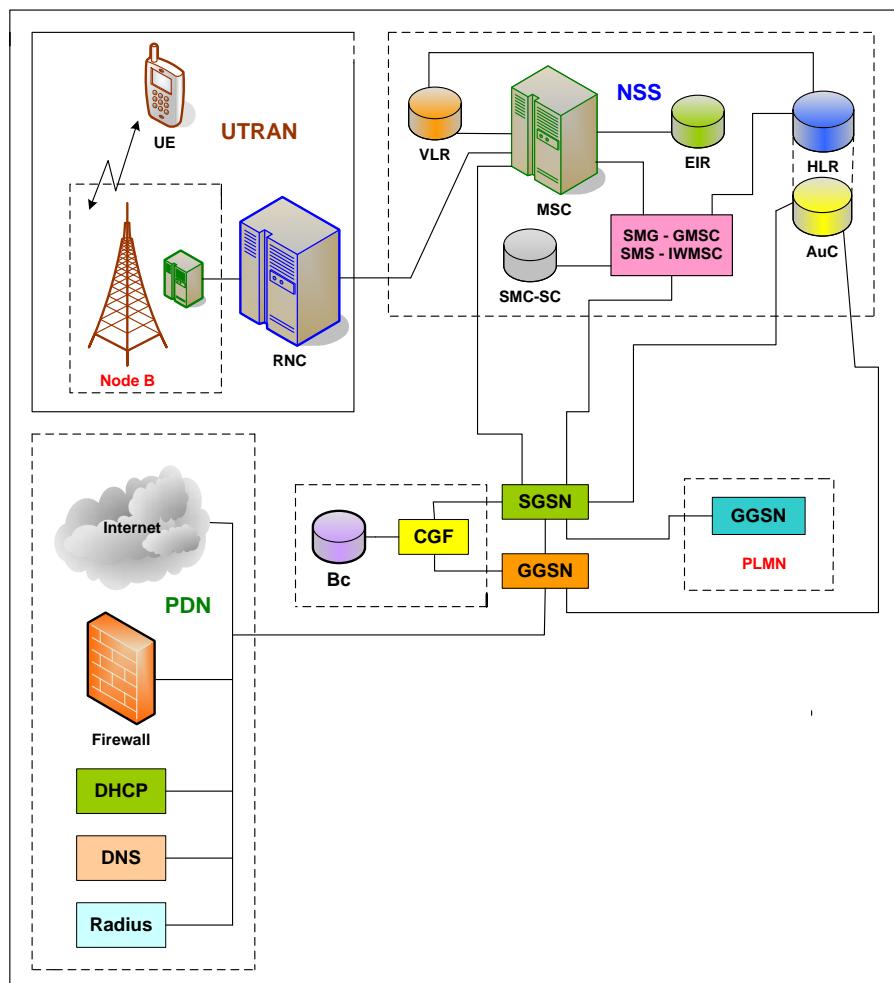
As interfaces Iu e Uu transportam os protocolos os quais são divididos em duas estruturas:

- Protocolos do plano de usuário: implementam os serviços de acesso à interface aérea (por exemplo, transporte de dados de usuário pela rede),

- Protocolos do plano de controle: implementam o controle da interface aérea e as conexões entre EU e rede (por exemplo, requisições de serviços, controle dos diferentes recursos de transmissão e *handover*⁴).

A arquitetura da rede UMTS utiliza a mesma rede de suporte (*core network*) implementada nos padrões GPRS e EDGE, o que possibilita a migração suave entre as tecnologias 2G e 3G. Com essa configuração, a maioria dos serviços e aplicações desenvolvidos nas redes 2,5G e 2,75 G pode ser reaproveitada nas redes 3 G. A principal diferença entre as arquiteturas das redes 2G e 3G está nas interfaces e nos protocolos que implementam a interface aérea (RF), como mostra a figura 1.39 a seguir: [1.42]

Figura 1.39 – Arquitetura da Rede UMTS



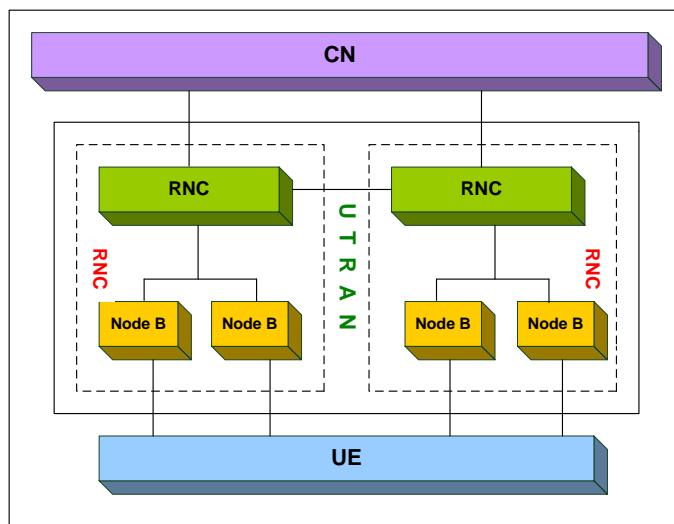
⁴ Troca de canal.

A arquitetura UTRAN é formada por um conjunto de subsistemas de rede de RF chamado RNC conectados à rede de suporte CN. O subsistema RNS é composto pelos seguintes elementos de rede:

- ❖ Controlador de rede de RF conhecido por RNC,
- ❖ Node B.

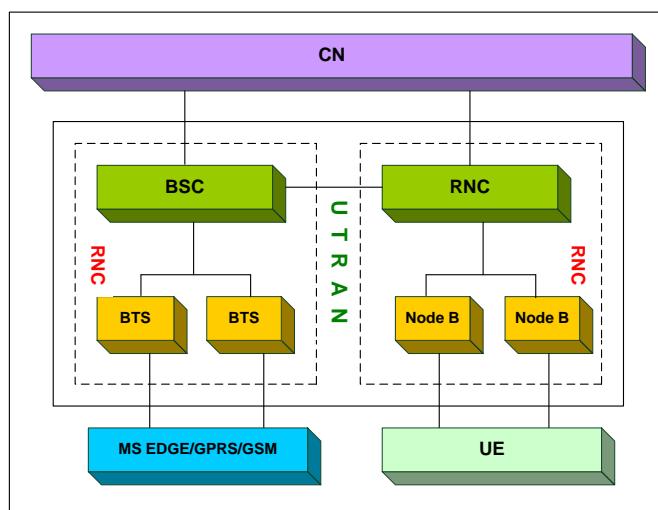
A figura 1.40 a seguir mostra a arquitetura UTRAN, com as suas interfaces:

Figura 1.40 – Arquitetura UTRAN



O sistema RNS pode ser conectado ao sistema do controlador de estação base BSS da rede GERAN (GSM EDGE Radio Access Network), conforme a figura 1.41 a seguir: [1.42]

Figura 1.41 – Sistema RNS



Controlador da rede de RF (RNC) é o elemento de rede UMTS responsável pela conexão da interface aérea da rede de suporte, com as funções:

- ❖ Gerenciamento dos recursos de RF,
- ❖ Gerenciamento dos Node B,
- ❖ Localização de equipamento de usuários,
- ❖ Gerenciamento de mobilidade.

O *Node B* é o elemento da rede UMTS responsável pela interconexão da interface aérea com a infraestrutura celular, responsável pelas funções:

- Controle de sinais de RF presentes na interface aérea,
- Espalhamento espectral,
- Controle dos canais físicos,
- Mapeamento dos canais físicos na portadora de RF.

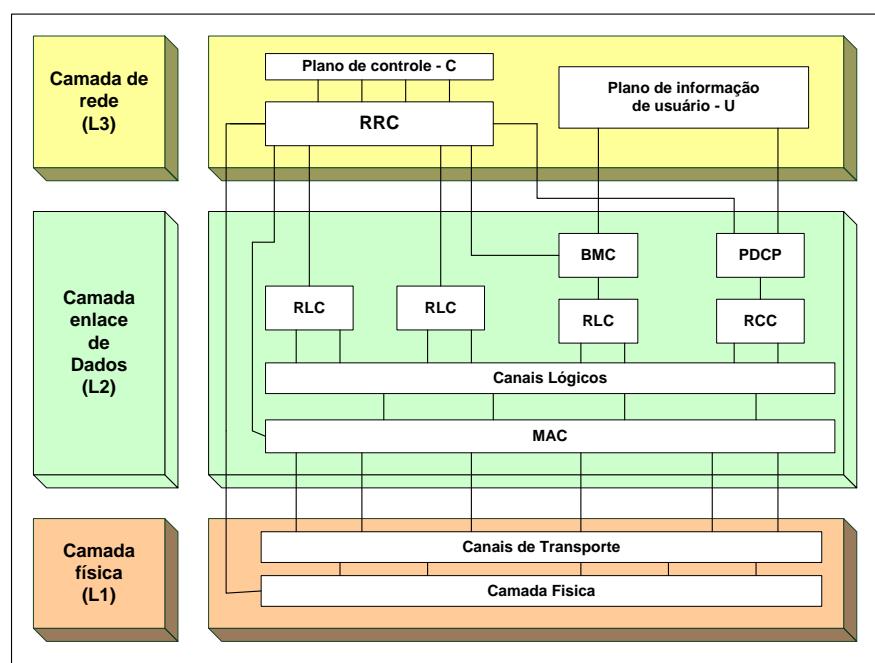
1.11 – Arquitetura dos Protocolos da Interface Aérea UMTS

A arquitetura da interface aérea UMTS é formada por três camadas de protocolos, conforme descrito a seguir:

- Camada física (L1)
- Camada de enlace de dados (L2)
- Camada de rede (L3).

A figura 1.42 mostra a arquitetura do protocolo da interface aérea UMTS:

Figura 1.42 – Arquitetura do Protocolo da Interface Aérea UMTS



1.11.1 - Camada de Rede – L3

A camada 3 é dividida em duas subcamadas formadas pelos planos de controle ou sinalização e informação de usuários. Os recursos de RRC são responsáveis pelas seguintes funções:

- Difusão das informações de sistema para todas as UEs: provê o transporte das informações de sistema originadas na rede para todas as UEs.
- Estabelecimento, restabelecimento, manutenção e liberação de uma conexão RRC entre UE e UTRAN.
- Alocação, reconfiguração e liberação do recurso de RF para a conexão RRC: aloca, reconfigura e libera os recursos de RF, por exemplo código de canais.
- Funções de mobilidade na conexão RRC, tais como *handover*.
- Controle da qualidade de serviço.

1.11.2 – Camada de Enlace de Dados – L2

A camada 2 é dividida nas seguintes subcamadas:

- ❖ Controle de acesso ao meio – MAC
- ❖ Controle do enlace de rádio – RLC
- ❖ Protocolo de convergência de dados por pacotes – PDCP
- ❖ Controle de *broadcast* e *multicast* - BMC

A subcamada RLC é responsável pelas seguintes funções:

- Segmentação e remontagem das PDUs
- Transferência de dados de usuário e QoS.
- Correção de erros pelo método de retransmissão apenas no modo de transferência de dados com reconhecimento da informação.
- Controle de sequência das PDUs.
- Controle de fluxo, permite o receptor RLC controlar a taxa de transferência da informação , respeitando a capacidade do transmissor.
- Descarte das unidades de dados de serviço – SDU.

A subcamada MAC é responsável pelas funções:

- Mapeamento entre os canais lógicos e de transporte.
- Prioridade no encaminhamento do fluxo de dados de uma EU.
- Multiplexagem e demultiplexagem das unidades de protocolos de dados.
- Medida do volume de tráfego nos canais lógicos.

- Comutação do canal de transporte.
- Criptografia.

A subcamada de controle de *broadcast* e *multicast* – BMC é responsável pelos serviços de difusão para as células e apresenta as seguintes funções:

- Armazenamento das mensagens de difusão para as células.
- Monitoramento do volume de tráfego e recursos de RF como, por exemplo, a taxa de transmissão.
- Agendamento das mensagens BMG, de acordo com um agendamento preestabelecido.
- Transmissão das mensagens BMC para as UEs

1.11.3 – Camada Física

A camada física de transporte é responsável pelas transferências das informações pela interface aérea, as quais realizam as tarefas:

- Detecção de erros nos canais de transporte e indicação deles para as camadas superiores.
- Codificação e decodificação de correção de erros nos quadros.
- *Interleaving* dos canais de transporte.
- Multiplexação e demultiplexação dos canais de transporte.
- Mapeamento dos canais de transporte nos canais físicos.
- Modulação e espalhamento dos canais físicos.
- Demodulação e desespalhamento dos canais físicos.
- Sincronização da frequência e tempo (*chip*, *bit*, ITC e quadro).
- Medições e indicador de parâmetros de qualidade de enlace para as camadas superiores tais como: Taxa de erro no quadro, potência de interferência, potência de transmissão.
- Controle de potência por *loop fechado*.
- Processamento dos sinais de RF.

1.12 – Núcleo da Rede – CN

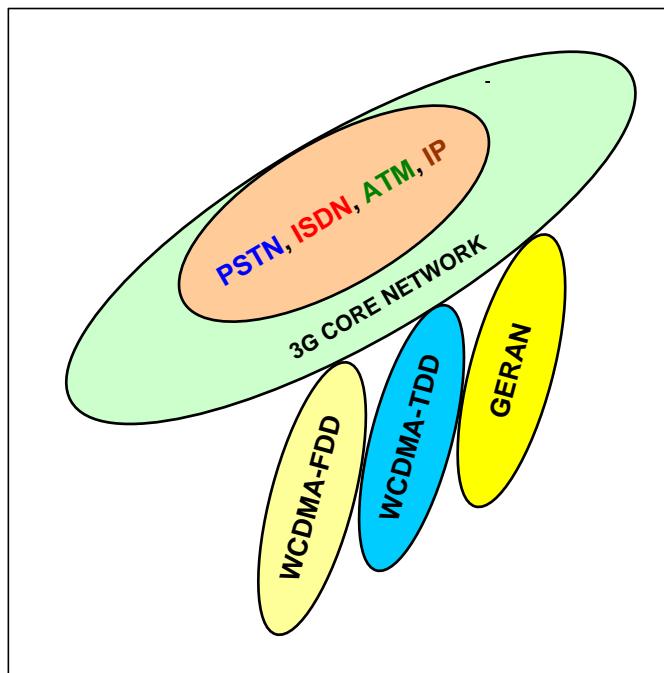
O núcleo da rede UMTS pode ser interpretado como uma plataforma básica para todos os serviços de comunicações prestados aos usuários. Os serviços básicos de comunicações incluem a tradicional comutação por circuito e pacotes, e

também incluem o projeto de parceria do 3G(3GPP) R5, introduzindo também um novo subsistema chamado de IP multimídia (IMS). O 3 GPP R5 substituiu as redes tradicionais pela tecnologia IP com o objetivo de simplificar, universalizar e consequentemente reduzir custos.

O IMS acolhe o padrão IP, compondo um mundo IP baseado em serviços sofisticados para comunicações móveis, com interconexão com outras rede e com requisitos de QoS para suporte de outras redes: as redes de transporte como PDH, SDH, a canalização através do PCM ou com as células ATM.

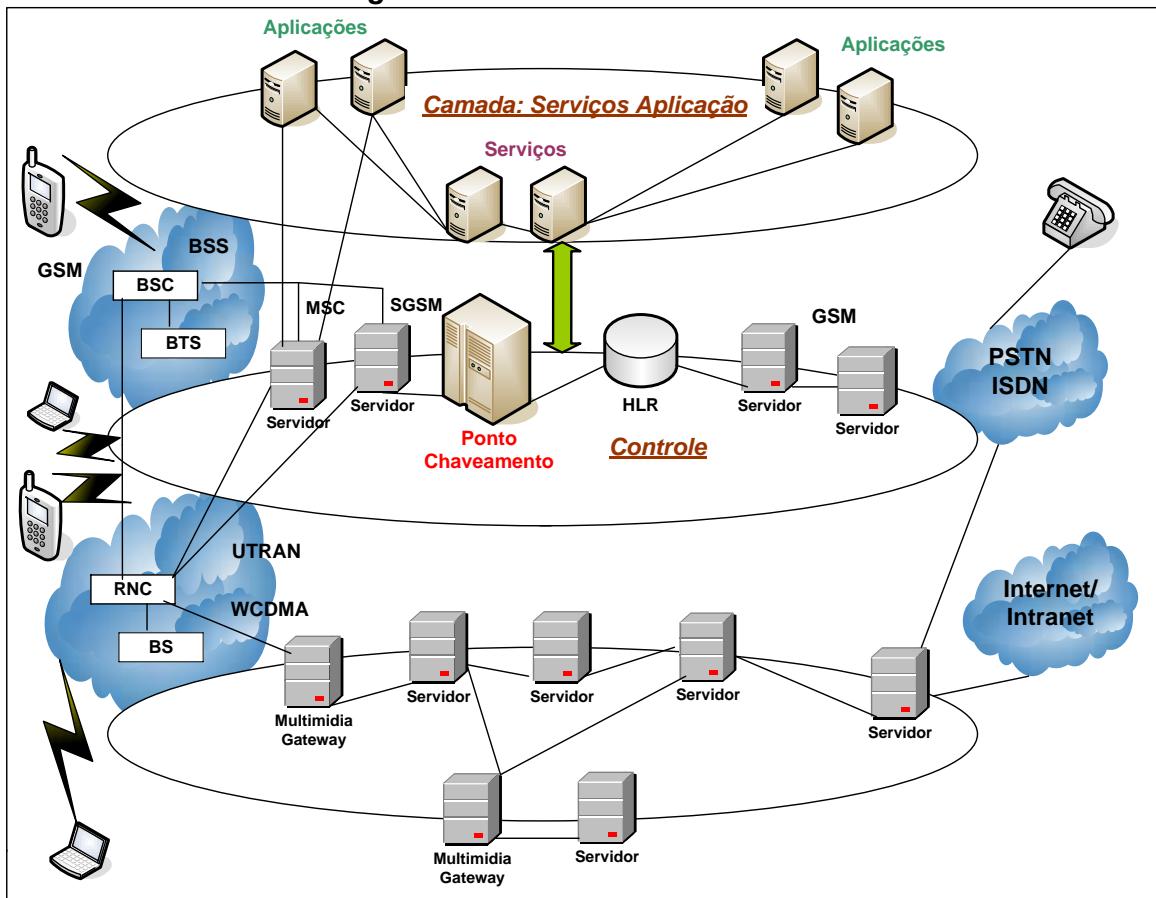
O UMTS apresenta uma arquitetura para utilização de um núcleo universal que é capaz de lidar com um vasto conjunto de rede de acesso. A parte principal da rede UMTS não evoluiu simplesmente como uma rede convencional sem fio, mas sim como uma tecnologia avançada e com grandes impactos no núcleo de comutação. A figura 1.43 mostra um sistema de multirede conectando no core UMTS: [1.36]

Figura 1.43 – Universal Core para Acesso sem Fio



A figura 1.44 a seguir mostra o núcleo da rede UMTS com a camada de serviços e aplicação, interligada com a camada de controle constituído dos servidores, MSC, SGSM, HLR, interligando, por sua vez, com a rede GSM constituída da BTS, BSC e conectando-se com a rede PSTN, ISDN, UTRAN, WCDMA e, por fim, interligando com os servidores da Internet, Intranet. [1.37]

Figura 1.44 – Núcleo da Rede UMTS



1.13 - Rede de Transporte UMTS

A tecnologia de transporte mais utilizada, até o presente, para a transmissão de informação (voz, imagem e dados) em redes celulares baseia-se na tecnologia por multiplexação por divisão de tempo (TDM), alheia às recentes tendências de evolução da rede de transporte. Mesmo com a emergente comutação por pacotes

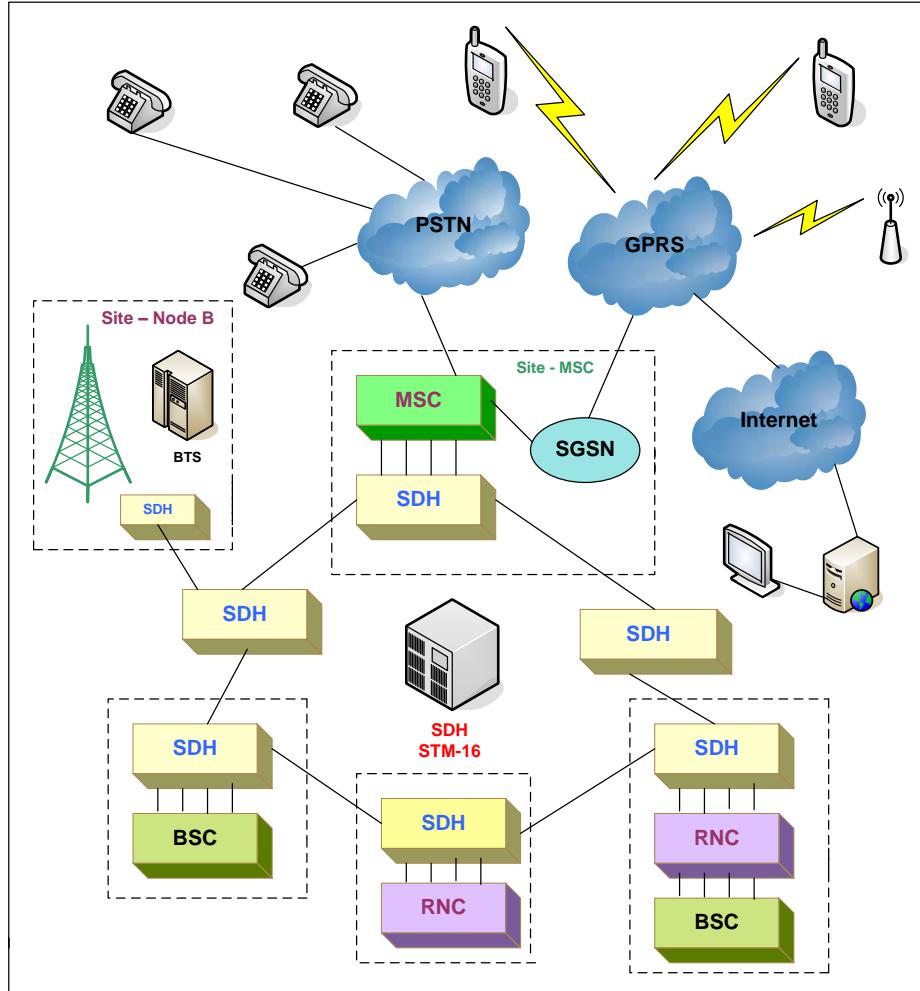
como GPRS, diversos serviços são transmitidos pelas tecnologias de transmissão convencionais, como, por exemplo, o PDH, SDH. [1.36]

A rede de transporte atual não pode atender aos requisitos de serviços de dados baseados em TDM, pois, por ter sido desenvolvida para serviços de comutação por circuito, é muito limitada para ajustar a flexibilidade e obter eficiência para serviços de dados. A tecnologia TDM aloca recursos de transporte com base na abordagem de divisão de tempo e trata de serviços de voz e dados de forma igual em termos de compartilhamento de largura de banda, sem considerar que o tráfego em rajadas é capaz de lidar com pacotes de dados e fluir de modo mais flexível e eficiente.

O TDM não suporta bem o tratamento de dados e serviços de voz, devido à sua rigidez de alocação de largura de banda, desperdiçando largura de banda residual. O desenvolvimento de um sistema CDMA de banda larga WCDMA foi baseado no pressuposto de que a maior parte dos serviços seria em rajadas, e os serviços de voz deveriam ser tratados simultaneamente. Isso demanda o acesso por rádio de arquitetura flexível à UMTS que, por sua vez, também requer uma tecnologia de transporte flexível em vez de usar, por exemplo, a primeira hierarquia E1 no lado da rede. Essas limitações impulsionaram o desenvolvimento de tecnologias de transporte alternativas para a UMTS. Duas soluções alternativas foram consideradas. No início optou-se pela tecnologia e serviço ATM e mais tarde implantou-se a tecnologia IP, que se mantém até os dias atuais. [1.36]

Um sistema misto de gerações de sistemas móveis tais como 2G, 3G, cada BSC / RNC vai concentrar capacidade para o NSS e elementos GPRS. Assim, mesmo que o volume total seja menor do que no acesso da rede, uma rede integrada de transporte irá adicionar a eficiência e desempenho global como ilustrado na figura 1.45, que exemplifica a interconexão da rede de transporte SDH interligando Node B, BSC, MSC e RNC: [1.37]

Figura 1.45 – Rede de Transporte SDH



Consequentemente, uma rede baseada em SDH fornecerá uma capacidade flexível, permitindo uma base para suporte multiprotocolo bem como a conectividade básica. A rede de acesso é rigorosa em relação a atraso, por exemplo, tráfego WCDMA precisa transportar ATM com circuitos TDM. Assim, as especificações 3GPP recomendam ATM sobre conexão semi-permanente ponto a ponto para rede RAN. Por outro lado, na transmissão CN, em que a eficiência é mais importante, o tráfego pode viajar na parte superior do ATM ou em pacotes IP.

1.14 – Planejamento da Capacidade do Sistema

O Planejamento da capacidade tem como objetivo definir o número máximo de canais (transceptores) na EBR em uma determinada área de uso. Normalmente este planejamento é feito pela primeira vez durante a fase do dimensionamento e a segunda vez, em paralelo com o planejamento de cobertura da célula.

O planejamento e a distribuição de recursos de transceptores (canais de rádio) estão limitados pela largura de banda que o serviço móvel dispõe através do orgão regulamentador do espectro de frequência em questão. O site do sistema móvel celular é composto da seguinte infraestrutura:

- Torre , gabinete e aterramento
- Sistema irradiante: cabo, conectores, divisores, diplexadores, amplificadores e antenas.
- Estação rádio base: transceptores
- Sistema de Energia: QDCA e QDCC
- Sistema de refrigeração: ar condicionado ou trocador de calor
- Sistema de transmissão da estação rádio base para a estação controladora e depois para a central: *minilink* ou fibra óptica.

A área de cobertura ou iluminação de uma célula é definida pela altura da torre e pelos tipos de antena utilizados: dual banda, tri banda e tetra banda de frequência (800 MHz; 900 MHz; 1800 MHz; 1900 MHz). O ganho da antena mais a potência dos canais dos transceptores determinam o ERP ou EIRP do site. As aberturas vertical e horizontal caracterizam o lóbulo principal de cobertura do setor da célula. O *tilt* ou inclinação da antena, seja mecânico seja elétrico, determina o raio de cobertura da célula. O controle de potência de cada canal de rádio (*transceptor*) é de extrema importância para que não haja interferência destrutiva no cocanal e canal adjacente das células vizinhas. O espectro de frequência é restrito, licenciado e controlado e, para atingir tal recurso, deve-se usar a técnica de reúso de frequência. É necessário definir o raio de abrangência da célula nos padrões: macro, micro ou pico. A área de cobertura do sistema móvel é estruturada em quatro tipos de área: urbano denso, urbano, semi-urbano e rural.

Para atender o usuário de forma eficiente, foi utilizado o padrão de qualidade de serviço (QoS) no sistema móvel. O dimensionamento de canais (transceptores) é vital para o funcionamento do sistema, por isso deu-se preferência ao modelo estatístico do tráfego telefônico, em que a perda de chamada ou conexão é de 1% e 2%, o que significa que a cada 100 tentativas de chamada uma ou duas conexões não são completadas. As quantidades de circuitos ou transceptores são extraídas de Erlang B, indicadas na tabela 1.10 a seguir: [1.38]

Tabela 1.10 - Erlan B

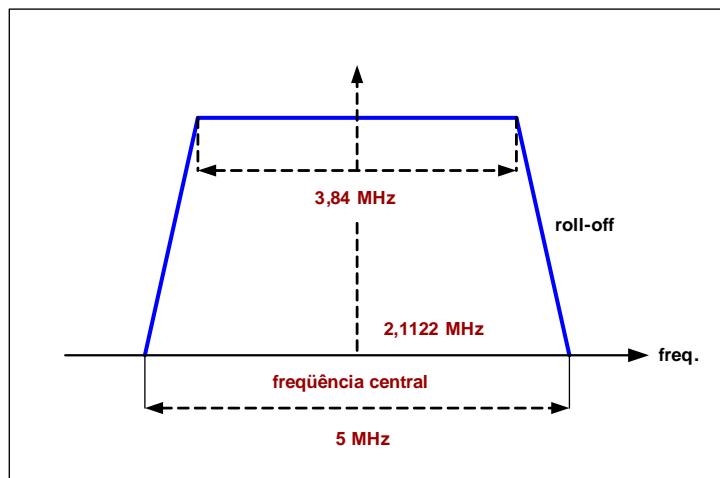
| Numero de canais | Grau de serviço | | Numero de canais | Grau de serviço | |
|------------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|-------|
| | 1 % | 2 % | | 1 % | 2 % |
| 1 | 0,01 | 0,02 | 51 | 38,80 | 41,19 |
| 2 | 0,15 | 0,22 | 52 | 39,70 | 42,12 |
| 3 | 0,46 | 0,60 | 53 | 40,60 | 43,06 |
| 4 | 0,87 | 1,07 | 54 | 41,51 | 44,00 |
| 5 | 1,36 | 1,66 | 55 | 42,41 | 44,94 |
| 6 | 1,91 | 2,28 | 56 | 43,32 | 45,80 |
| 7 | 2,50 | 2,94 | 57 | 44,22 | 46,82 |
| 8 | 3,13 | 3,63 | 58 | 45,13 | 47,76 |
| 9 | 3,78 | 4,35 | 59 | 46,04 | 48,70 |
| 10 | 4,46 | 5,08 | 60 | 46,95 | 49,64 |
| 11 | 5,16 | 5,84 | 61 | 47,86 | 50,59 |
| 12 | 5,88 | 6,62 | 62 | 48,77 | 51,53 |
| 13 | 6,61 | 7,40 | 63 | 49,69 | 52,48 |
| 14 | 7,35 | 8,20 | 64 | 50,60 | 53,43 |
| 15 | 8,11 | 9,01 | 65 | 51,52 | 54,38 |
| 16 | 8,88 | 9,83 | 66 | 52,44 | 55,33 |
| 17 | 9,65 | 10,66 | 67 | 53,35 | 56,28 |
| 18 | 10,44 | 11,49 | 68 | 54,27 | 57,23 |
| 19 | 11,23 | 12,33 | 69 | 55,19 | 58,18 |
| 20 | 12,03 | 13,18 | 70 | 56,11 | 59,13 |
| 21 | 12,84 | 14,04 | 71 | 57,03 | 60,08 |
| 22 | 13,65 | 14,90 | 72 | 57,96 | 61,04 |
| 23 | 14,47 | 15,76 | 73 | 58,88 | 61,99 |
| 24 | 15,30 | 16,63 | 74 | 59,80 | 62,94 |
| 25 | 16,12 | 17,51 | 75 | 60,73 | 63,90 |
| 26 | 16,96 | 18,38 | 76 | 61,65 | 64,86 |
| 27 | 17,80 | 19,27 | 77 | 62,58 | 65,81 |
| 28 | 18,64 | 20,15 | 78 | 63,51 | 66,77 |
| 29 | 19,49 | 21,04 | 79 | 64,43 | 67,73 |
| 30 | 20,34 | 21,93 | 80 | 65,36 | 68,69 |
| 31 | 21,19 | 22,83 | 81 | 66,29 | 69,65 |
| 32 | 22,05 | 23,73 | 82 | 67,22 | 70,61 |
| 33 | 22,91 | 24,63 | 83 | 68,15 | 71,57 |
| 34 | 23,77 | 25,53 | 84 | 69,08 | 72,53 |
| 35 | 24,64 | 26,44 | 85 | 70,02 | 73,49 |
| 36 | 25,51 | 27,34 | 86 | 70,95 | 74,45 |
| 37 | 26,38 | 28,25 | 87 | 71,88 | 75,41 |
| 38 | 27,25 | 29,17 | 88 | 72,82 | 76,38 |
| 39 | 28,13 | 30,08 | 89 | 73,75 | 77,34 |
| 40 | 29,01 | 31,00 | 90 | 74,68 | 78,31 |
| 41 | 29,89 | 31,92 | 91 | 75,62 | 79,27 |
| 42 | 30,77 | 32,84 | 92 | 76,56 | 80,24 |
| 43 | 31,66 | 33,76 | 93 | 77,49 | 81,20 |
| 44 | 32,54 | 34,68 | 94 | 78,43 | 82,17 |
| 45 | 33,43 | 35,61 | 95 | 79,37 | 83,13 |
| 46 | 34,32 | 36,53 | 96 | 80,32 | 84,10 |
| 47 | 35,21 | 37,46 | 97 | 81,24 | 85,07 |
| 48 | 36,11 | 38,39 | 98 | 82,18 | 86,04 |
| 49 | 37,00 | 39,32 | 99 | 83,12 | 87,00 |
| 50 | 37,90 | 40,62 | 100 | 84,06 | 87,97 |

1.15 – Modulação em UMTS

O sistema UMTS utiliza a técnica da modulação chaveamento por deslocamento de fase quaternário (QPSK) para a interface aérea, onde são transmitidos dois *chips* por cada símbolo utilizado na duplexação FDD e TDD nos dois sentidos de transmissão, *link* de subida e *link* de descida para baixas taxas de transmissão. Pode-se ter como alternativa a transmissão de 3 *chips* por símbolo na modulação 8PSK, melhorando assim a taxa de transmissão. [1.35]

Na prática a modulação QPSK apresenta uma taxa de 3,84 Mcps para entrar no modulador com uma frequência de 3,84 MHz, com uma portadora de 5 MHz de espaçamento com um filtro de 0,22 roll-off, e com uma frequência central canalizada em 200 KHz. A figura 1.46 abaixo mostra que a operadora tem que estar alocada na faixa de 2100 a 2015 MHz: [1.41]

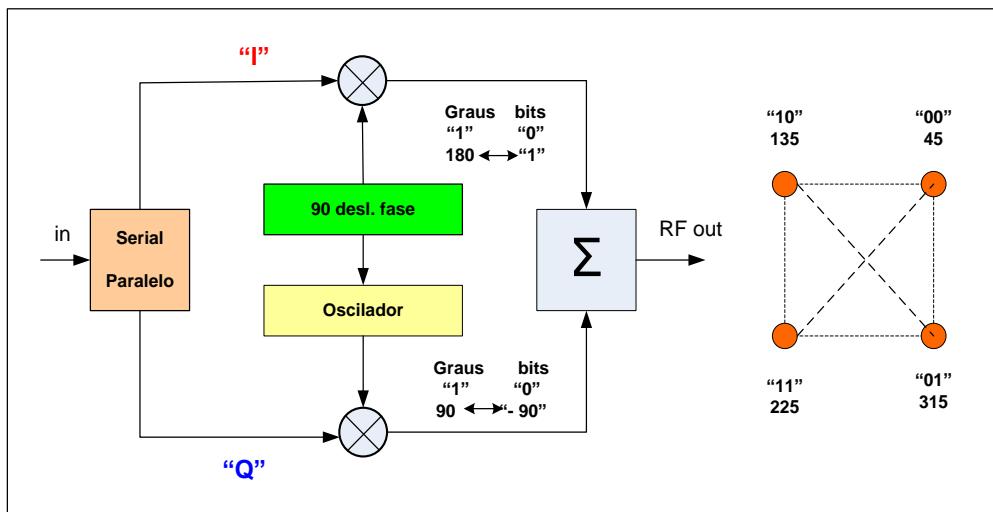
Figura 1.46 – Banda de Frequência da Portadora WCDMA



O método de modulação utilizado é de interesse uma vez que tem estreita relação com a capacidade total do sistema e com o desempenho. O WCDMA utiliza na modulação o chaveamento de fase em quadradura (QPSK), que é uma variante dupla QPSK, assim como 16 QAM com os seus métodos de modulação. O QAM acoplado com codificação e modulação adaptativa (AMC) foram os recursos mais significativos do WCDMA especificados pelo 3GPP release 5, em associação com as melhorias do HSDPA. Por exemplo, alguns canais físicos do enlace de descida (P-CCPCH, SCCPCH, CPICH, AICH, AP-AICH, CSICH, PICH, PDSCH, HSSCPCH) usam a modulação QPSK, enquanto os canais da camada física do enlace de

descida HS-PDSCH podem usar um QPSK ou 16 QAM, de acordo com a taxa de transmissão requerida. O método de modulação QPSK expressa um único *bit* e seu status usando uma diferente fase da portadora. Os *bits* no processo de modulação são manipulados em pares, gerando quatro combinações possíveis de 2 *bits*, como mostra a figura 1.47:

Figura 1.47 – Modulação QPSK

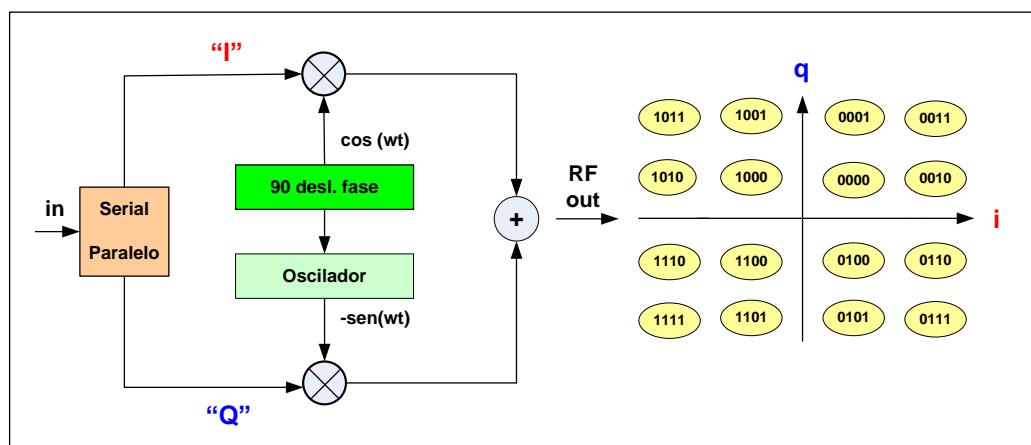


Os dados a serem modulados (canais físicos) são convertidos do formato de série para paralelo. Após esta conversão, os dados são reconvertisdos nas ramificações “I” e “Q”. O ramo “I” o bit 1 representa uma mudança de fase de 180 graus e o bit 0 entende que a fase da portadora não mudou. No ramo “Q” o bit com valor “1” representa mudança de fase de 90 graus e o bit 0 representa uma mudança de fase de -90 graus. Os dois bits são combinados em “I” e “Q”, o que representa deslocamento de fase. Por exemplo, quando os valores de bit alteram de “00” para “11” significa que houve uma mudança de fase de 180 graus.

Mudanças de amplitude muito grande podem causar problemas, especialmente se a largura de banda via rádio for muito grande. A BTS deve ter amplificadores lineares a fim de garantir as mudanças de amplitude apresentadas ao longo de toda a banda utilizada. Para eliminar as mudanças rápidas de amplitude, optou-se pela modulação QPSK dupla (quadrante duplo). Portanto, tanto o QPSK quanto o dual QPSK empregam o mesmo espectro de frequência, mas o dual QPSK tem um sinal mais suave, permitindo que os amplificadores operem em regiões não lineares, sem problemas significativos.

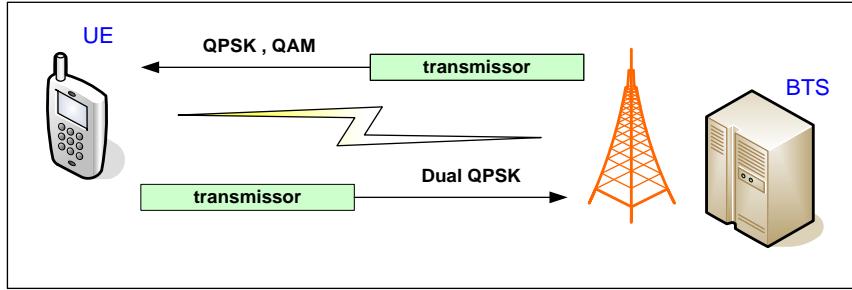
Esta operação aparentemente simples tem um impacto significativo especialmente nos terminais móveis, reduzindo a taxa medida de pico e resultando amplificadores com maior potência e custos. Poderia ser utilizada a modulação QPSK convencional em ambas as direções (*Up* e *down link*), mas acarretaria maior consumo de energia e preço do EM e reduziria o tempo de operação da bateria. O amplificador linear é muito preciso e caro. Usando o dual QPSK estes inconvenientes desaparecem, mas esta é uma opção pouco viável para terminal móvel, sendo melhor aplicado para BTS. Por esses motivos, a modulação QAM foi empregada no WCDMA para os sistemas HSDPA, conforme ilustrado na figura 1.48: [1.36]

Figura 1.48 – Modulação 16 QAM



O HSDPA atinge taxas de transmissão mais elevadas do que as realizadas no 3 GPP R4, já a modulação QPSK não conseguia atingir este objetivo. A modulação em quadradura consegue atingir resultados melhores na combinação de amplitude e fase, formando um diagrama de constelação de sinal. A melhora na transmissão de dados é alcançada ao optar-se por um número maior de *bits* por símbolos. A modulação combina dois ramos de portadoras com uma diferença de fase de 90 graus ortogonal, oferecendo uma melhor robustez no enlace de subida e proporcionando taxa de transmissão melhorada no sistema WCDMA. O nível de modulação QAM pode atingir até 64 QAM, mas, devido ao custo e restrição do espectro frequêncial, tem-se utilizado 16QAM. A figura 1.49 mostra a interface aérea com as variáveis do modelo QPSK:

Figura 1.49 – Modulação na Interface Aérea



1.16 – Troca de Canais com o Sistema (*handoff*)

O sistema móvel celular requer troca de canal físico para permitir a continuidade da conexão e o sistema RNC é responsável pela gerência da troca de canal no sistema móvel. Existem três tipos básicos de troca de canal no sistema UMTS: *hard handover*, *soft handover* e *softer handover*. Os modos *soft handover* e *softer handover* são de exclusividade do sistema FDD e da tecnologia CDMA.

Uma estação móvel que se aproxima do limite de uma célula pode passar por um processo de *soft handover* que, por sua vez, conecta através do canal físico com três BTS vizinhas simultaneamente. Cada BTS transmite a mesma informação através dos canais físicos e a UE deve estar apta a decodificar os três canais físicos de diferente BTS. Toda BTS participa do processo *soft handover*. Se a estação não muda de célula, mas troca de canal dentro da mesma célula, esta operação é conhecida como *softer handover*.

Em suma, com o *softer handover* ocorre a troca de canal do equipamento móvel dentro da mesma célula. Com o intra RNC *soft handover* ocorre a troca de canais entre estação rádio base diferente sobre o controle da mesma RNC. Com o *inter soft handover* ocorre a troca de canal da estação móvel sobre o controle de diferentes RNC.

Existem também 3 tipos de *hard handover*. *intra hard handover* em frequência, através do BTS sobre o controle de diferentes RNC. *Inter hard handover* em frequência, através de células ou BTS sobre o controle da mesma RNC. O intersistema *hard handover* troca de canal entre tecnologias idênticas e ou diferentes, por exemplo, UMTS ou GSM. As figuras 1.50, 1.51, 1.52 e 1.53 exemplificam os tipos de *hard handoff*, *Inter-frequency hard handover*, *Inter-system handover*, *Intra-frequency softer handover* e *Intra-frequency soft handover*.

Figura 1.50 - Inter-frequency Hard Handover

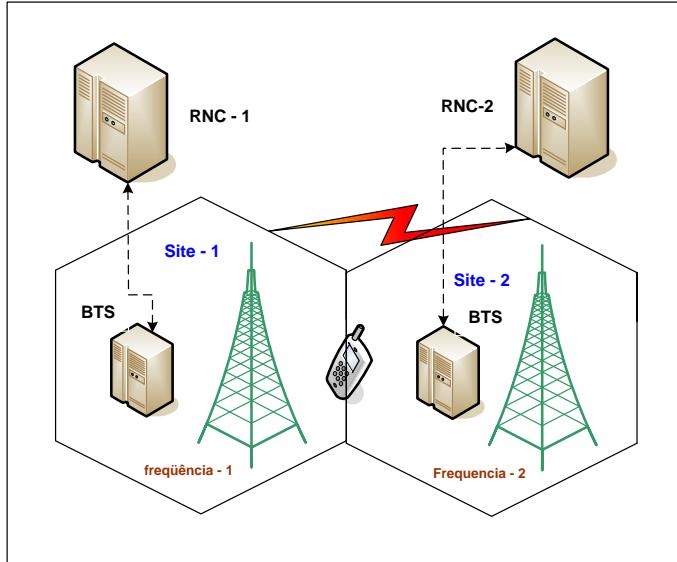


Figure 1.51 - Inter-System Handover

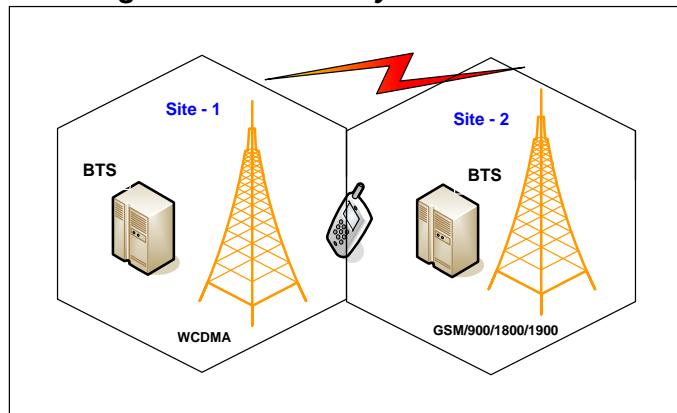
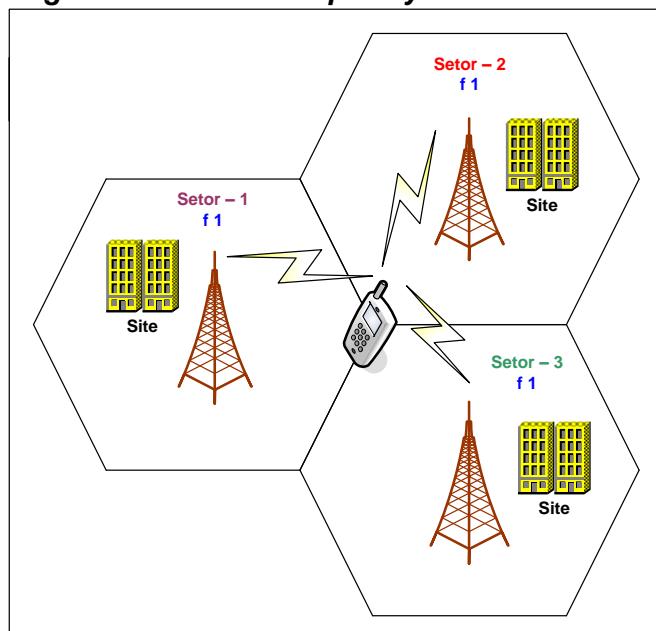
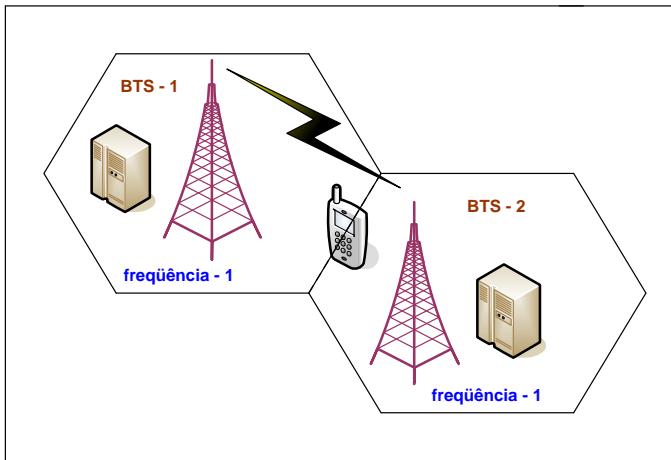


Figura 1.52 - Intra-frequency Softer Handover



[1.36]

Figura 1.53 - Intra-Frequency Soft Handover



1.17 – Controle de Potência WCDMA

O controle de potência ou controle automático de ganho do sistema WCDMA é crucial para o funcionamento do EM, isto porque cada unidade móvel opera com a mesma frequência. Cada terminal gera interferência no cocanal e aumento de ruído global na célula. O equipamento móvel mais distante da estação base requer mais potência e a reação é contrária, caso o equipamento móvel se ache mais próximo fisicamente da estação rádio base.

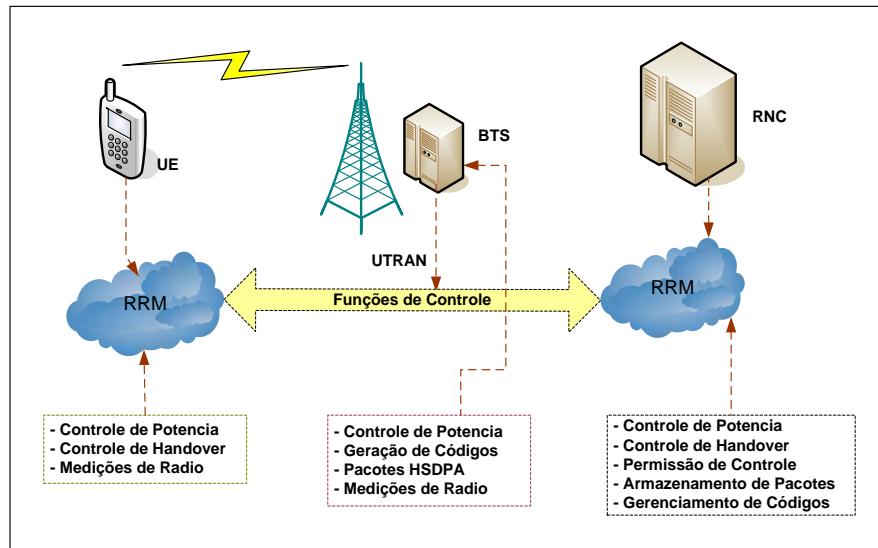
O desvanecimento rápido se deve ao multipercorso pelo fenômeno de reflexão no ambiente do tipo urbano. Sendo assim, a BTS tem que fornecer qualidade de serviço QoS ao usuário, independentemente da distância. Além disso, o controle dinâmico para potência visa a prorrogar o tempo de bateria do aparelho móvel.

A BTS tem como tarefa primordial ajustar, igualar e manter todas as potências que chegam na antena de recepção da BTS com a mesma intensidade. Para corrigir as variações de potência e os desvanecimentos rápidos, o sistema em *loop* gera 1500 comandos de controle de correção de potência. A potência não atendida em seu valor nominal de trabalho traz como resultado a redução da capacidade de sistema ou seja a redução dos números de canais.

No caso de recebimento de muitos quadros errados ou de aumento considerável da taxa de *bits* errados, tem-se como resultado uma degradação da QoS; melhora-se a conexão aumentando a intensidade de potência. A perda no espaço livre do enlace rádio entre BTS e UE resulta na diminuição da relação sinal

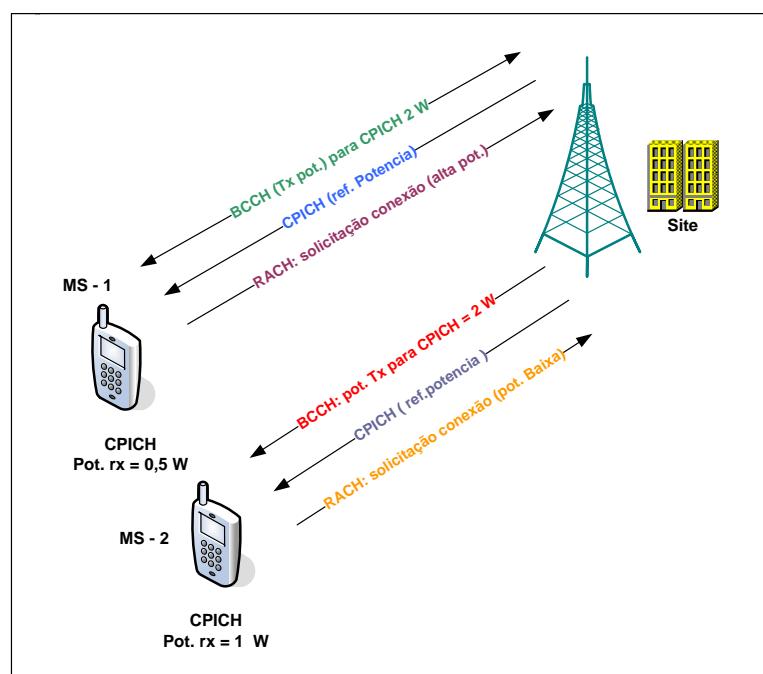
ruído e aumento considerável do BER. A figura 1.54 ilustra as funções básicas de controle e funcionamento entre: UE, BTS, e RNC. [1.41]

Figura 1.54 – Funções Base de Controle



A figura 1.55 mostra os canais de controle envolvidos no controle de potência no enlace de subida e de descida. Os canais BCCH e CPICH realizam controle de potência nos enlaces de subida e descida, e o canal RACH realiza o controle somente no enlace de subida do MS-1:

Figura 1.55 – Funções de Controle de Potência



A tabela 1.11 a seguir traz as classes de potência nos tipos de duplexação do tipo FDD e TDD pertinentes aos equipamentos móveis padronizados pela UMTS usadas nos cálculos.

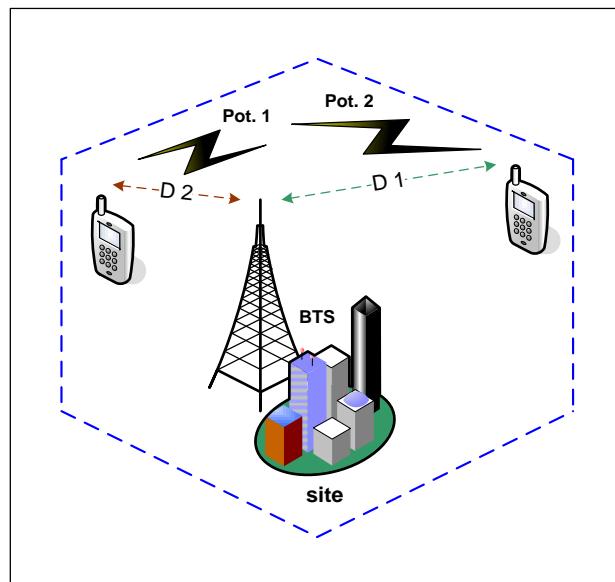
Tabela 1.11 – Classes de Potência do UE

| Equipamento Móvel – UE | | | | |
|------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| EIRP | FDD | | TDD | |
| Classe Potência | Potência de saída máxima (dBm) | Tolerancia (dB) | Potência de saída máxima (dBm) | Tolerancia (dB) |
| 1 | + 33 | + 1 / - 3 | ----- | ----- |
| 2 | + 27 | + 1 / - 3 | + 24 | + 1 / - 3 |
| 3 | + 24 | + 1 / - 3 | + 21 | + 2 / - 2 |
| 4 | + 21 | ± 2 | ----- | ----- |

[1.41]

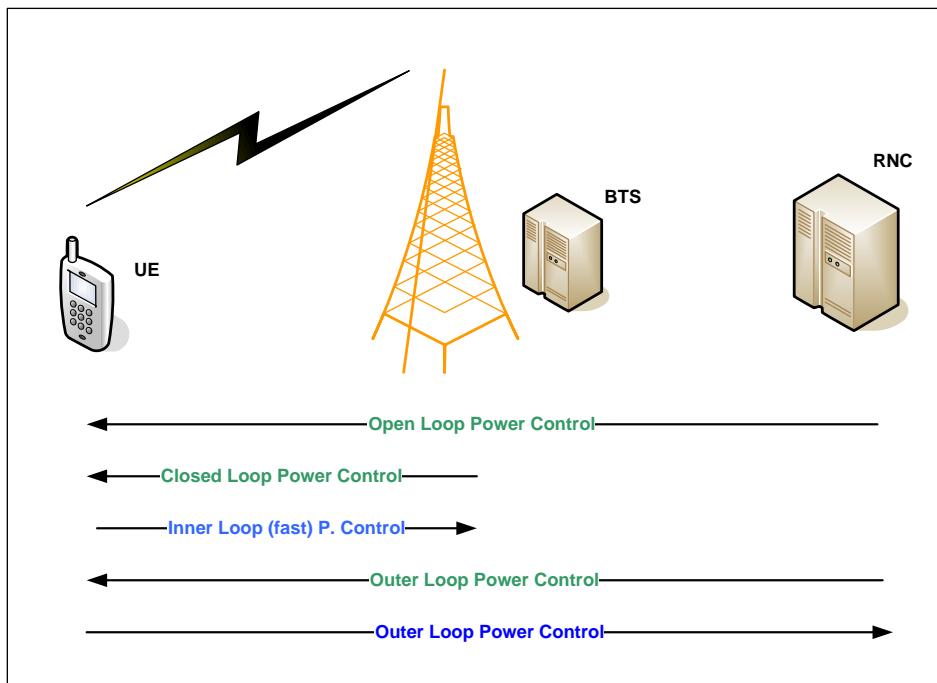
A figura 1.56 mostra o controle de potência P1 e P2, em função das distâncias D1 e D2 na interligação do sistema radio entre UE e BTS:

Figura 1.56 – Controle de Potência: Próximo e Distante



A figura 1.57 mostra os tipos de controle de potência utilizados no sistema aéreo WCDMA, englobando o *link* direto e reverso, tais como: *Open Loop Power Control*, *Closed Loop Power Control*, *Inner Loop Power Control*, *Outer Loop Power Control*. Esses controles asseguram aos canais a mesma potência da interface aérea, diminuindo drasticamente a interferência no cocanal e no canal adjacente, além de aumentar a capacidade do sistema:

Figura 1.57 – Principais Controle de Potência WCDMA



[1.37]

1.18 – Comparações do WCDMA, GSM, CDMA 2000

A tabela 1.12 a seguir apresenta os pontos notáveis do sistema WCDMA e CDMA 2000 usados como referência no desenvolvimento do dimensionamento e cálculos da interfase aérea:

Tabela 1.12- Pontos Notáveis do WCDMA e CDMA 2000

| Principais Diferenças: WCDMA / CDMA 2000 | | |
|--|--|--------------------------------------|
| | WCDMA | CDMA 2000 |
| Portadoras: largura banda | 5 MHz | 1,25 MHz |
| Taxa Transmissão: Chips | 3,84 Mcps | 1,2288 Mcps |
| Controle de Potência | 1500 Hz: Dow / Up link | 800 Hz: Dow / Up link |
| Sincronização BTS | Desnecessário | Sim: através do GPS |
| Dados em pacote | Chaveamento em pacotes | Chaveamento em circuito |
| Diversidade de TX enlace de descida | Obrigatório no método closed / open loop | Suporte opcional no método open loop |

[1.37]

A tabela 1.13 a seguir ressalta os pontos relevantes das tecnologias CDMA 2000, GSM e WCDMA e os valores tipos de referência com o objetivo de ter valores comparativos no desenvolvimento dos cálculos:

Tabela 1.13 – Pontos Relevantes: CDMA 2000 / GSM / WCDMA

| Banda 1900 MHz - Enlace de Subida – CDMA / GSM / WCDMA | | | |
|---|-----------|------|-------|
| | CDMA 2000 | GSM | WCDMA |
| MS -Tx: potência (dBm) | 23 | 30 | 21 |
| BTS: Sensibilidade (dBm) | -124 | -110 | -124 |
| BTS: antena: ganho em diversidade (dB) | 3 | 4 | 3 |
| Margem de interferência (dB) | 3 | 0 | 3 |
| Margem de fading rápido (dB) | 4 | 0 | 2 |
| BTS: ganho de antena (dBi) | 18 | 18 | 18 |
| MS: perda no corpo (dB) | 3 | 3 | 3 |
| MS: ganho da antena (dBi) | 0 | 0 | 0 |
| LOS: perda máxima (dB) | 158 | 159 | 158 |

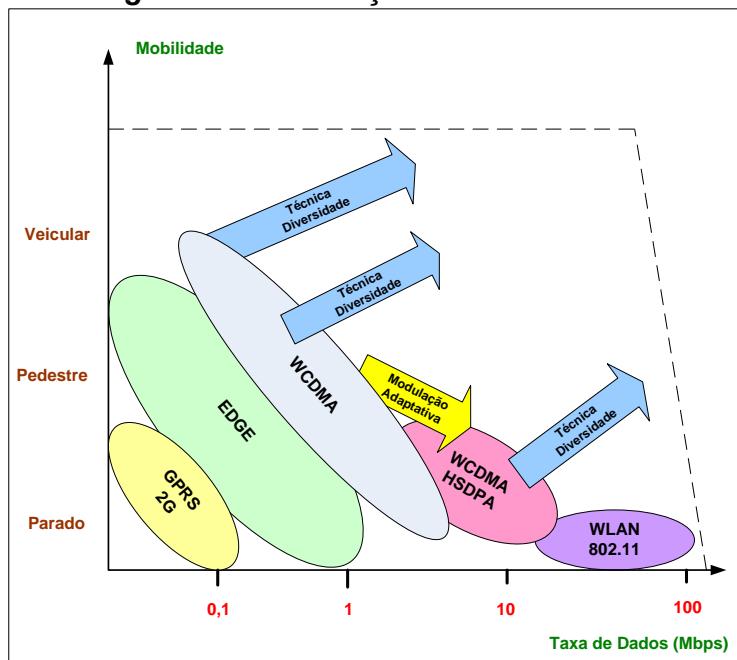
A tabela 1.14 destaca as taxas de transmissão típicas do sistema EGPRS, WCDMA e CDMA 2000 1X, para fins de dimensionamento de sistema móvel:

Tabela 1.14 – Taxa de Transferência em Área de Borda de Célula

| Taxa de Transferência: máxima e média em borda de célula | | | |
|---|------------|----------|--------------|
| | EGPRS | WCDMA | CDMA 2000 1X |
| Padrão absoluto máximo | 473,6 kbps | 2 Mbps | 307 kbps |
| Média | 128 kbps | 240 kbps | 80 kbps |
| Borda de célula | 128 kbps | 384 kbps | 128 kbps |

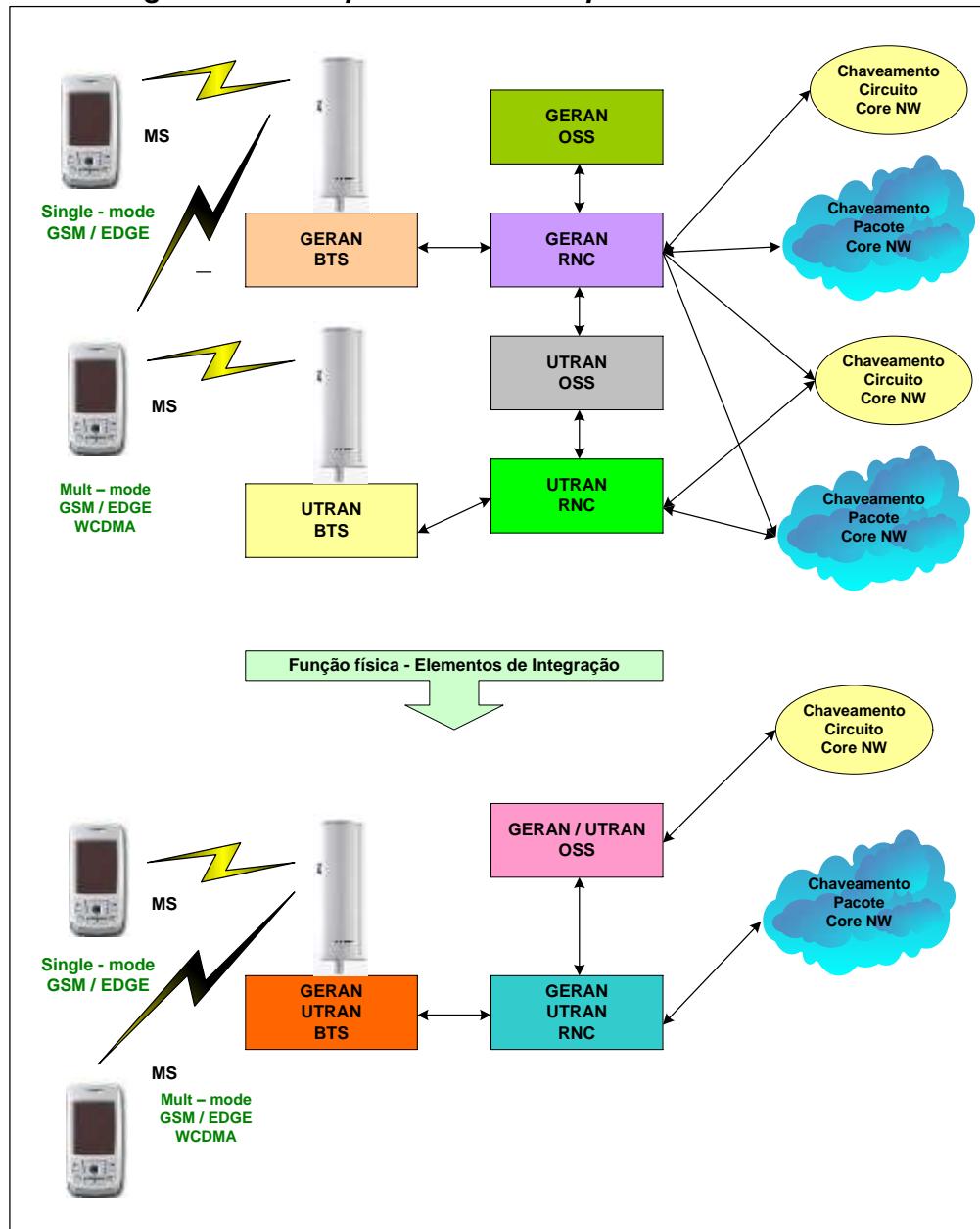
A figura 1.58 ilustra a evolução das redes sem fio em função de sua taxa de transferência de dados, levando em conta a trajetória do terminal móvel nas condições de parado, andando e deslocamento veicular:

Figura 1.58 – Evolução da Rede sem Fio



A figura 1.59 detalha a arquitetura de rede em um sistema irradiante UMTS com os ME nas condições *single* e *mult mode*, conectando-se ao sistema rádio através das BTS do tipo GERAN e UTRAN as quais se interligam com os subsistemas OSS e RNC, que, por sua vez, são interligados no core do sistema nas modalidades de chaveamento por circuito e pacote:

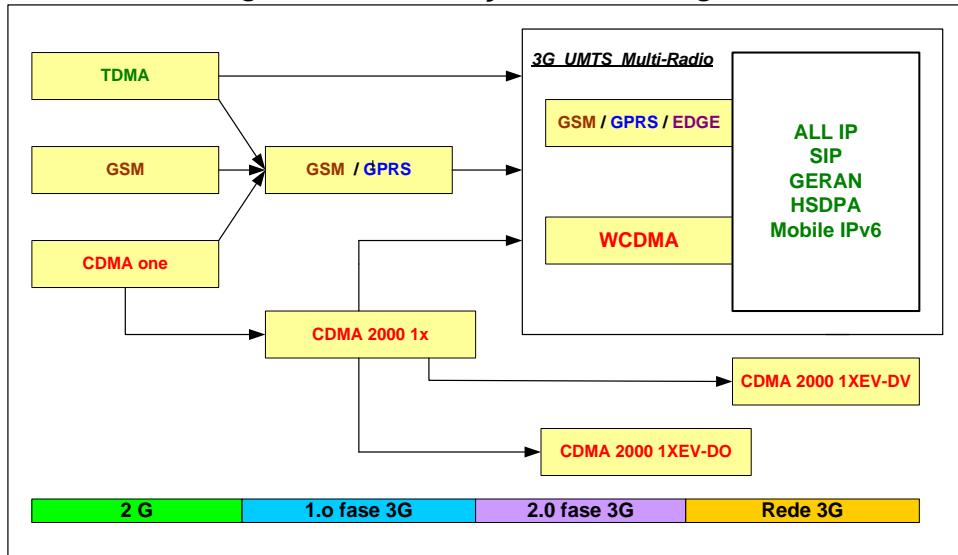
Figura 1.59 - Arquitetura de Rede por Multi Radio UMTS



A figura 1.60 ilustra a evolução suave da rede de 2^a. geração, através das tecnologias TDMA, GSM e CDMA one, convergindo para a 1^a. fase do processo da

3^a. geração, através das tecnologias GPRS e CDMA 2000, e convergindo para a 2^a. fase da 3^a. geração para as tecnologias GPRS, EDGE, WCDMA e CDMA 2000 1XEV-DO e migrando para a 3^a. geração com a rede IP:

Figura 1.60 – Evolução da Tecnologia 3



O próximo item trata da tecnologia GSM, tendo em vista a sua importância, na 3^a. geração de telefonia móvel, conhecida como WCDMA, resultante da fusão suave das tecnologias CDMA e GSM. Serão comentados os seguintes tópicos: linha do tempo do GSM; introdução do GSM no Brasil; hierarquia TDMA e espectro de frequência; arquitetura de rede GSM; interface aérea e IT TDMA; tipos de canais; *handover*; visão geral GPRS; Visão Geral da Tecnologia EDGE; rede de transporte WCDMA.

1.19 - SISTEMA GSM

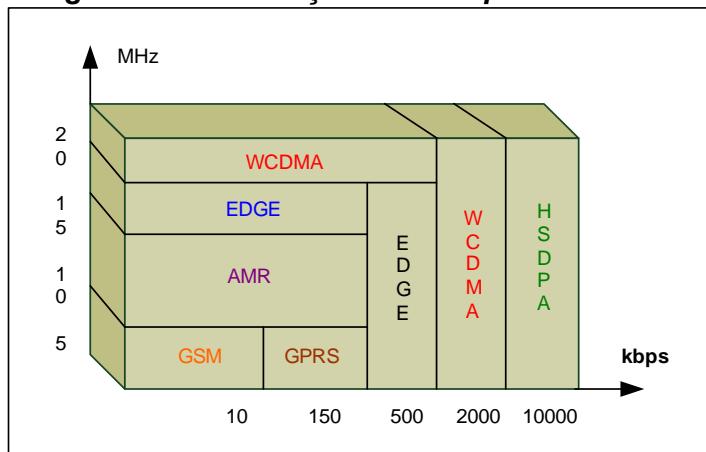
A abertura para o acesso à Internet e aos serviços relacionados com a multimídia levou ao crescimento do sistema global para dispositivos móveis (GSM), que se tornou o padrão dominante de rádio. O desafio atual é tornar a terceira geração (3G) de tecnologias de acesso de rádio competitiva e rentável.

Existem várias tecnologias 3G reconhecidas, que podem ser resumidas em dois principais caminhos de evolução de 3G. A primeira tecnologia concebida e desenvolvida, e a mais amplamente apoiada, foi a UMTS e a segunda foi CDMA 2000, com transição suave, competitiva e eficiente em termos de custo e benefício.

Os primeiros passos dessa evolução ocorreram com a implantação da rede de pacotes GPRS, introduzidos na rede de transporte GSM. Mais tarde, a adaptativa multi-taxa (AMR), aumentou a eficiência espectral e de qualidade de serviços de voz. As taxas de dados para a global evolução (EDGE) foram melhoradas, com a introdução de velocidade de modulação mais eficaz, codificação e sistemas de retransmissão, que impulsionaram o serviços de dados.

Ao conjunto de serviços 3G UMTS projetado para esta sinergia foi acrescentado o desenvolvimento de GERAN, uma nova arquitetura de rede de acesso de rádio, baseada em GSM / EDGE tecnologias totalmente harmonizada com o UTRAN, através de uma ligação comum com a rede de núcleo UMTS. Hoje, a padronização UMTS é realizada em parceria com a 3^a. Geração com um projeto de normalização conhecido como 3GPP. A evolução do GSM para a UMTS é apresentada na figura 1.61 a seguir:

Figura 1.61 – Evolução do GSM para 3G/UMTS



[1.39]

1.19.1– Hierarquia TDMA e Espectro de Frequência

Este item trata da estrutura determinística do acesso TDMA bem como a formação dos quadros e faixas de frequências utilizadas no GSM em nível mundial e a transição do espectro de frequência para 3.^a geração.

A interface aérea emprega um espectro limitado e licenciado de frequências, também disponível e adequado para os serviços sem fio. As operadoras de telefonia celular têm que se adequar aos espectros de frequência disponível. Para isso, o espectro electromagnético foi dividido em um número de faixas e subfaixas pelos

órgãos reguladores nacionais e internacionais. Alguns países já se utilizavam dessas frequências com outros serviços, de modo que tiveram que fazer a limpeza do espectro ou recolocação dos serviços em outra faixa de frequência. O efeito resultante é que as faixas de frequências celulares não são exatamente as mesmas em todo o mundo.

A partir daí, foram feitos muitos acordos internacionais sobre as frequências de 900 MHz a 1800 MHz, que resultaram em grandes economias de escala, caminhando para uma padronização mundial, com redução do preço de aparelhos e permissão de expansão desse sistema mundial. O GSM foi originalmente projetado para trabalhar com uma faixa de 900 MHz conhecido como GSM primário, mas essa faixa foi ampliada para 1800 MHz e 1900 MHz.

A figura 1.62 mostra a faixa de 900 MHz a qual apresenta um intervalo de 20MHz entre as faixas de 890 - 915MHz e 935 - 960MHz. A subfaixa mais baixa de 890 a 915 MHz é utilizada no enlace de subida, devido à perda no espaço livre ser menor nas frequências mais baixas. A faixa de 915 – 960 MHz é utilizada na descida do enlace. As figuras 1.62, 1.63, 1.64 e 1.65 mostram os espectros de frequência utilizados para os padrões do GSM, assim caracterizados:

- ❖ **P-GSM** - conhecido com GSM primário totalizando 125 portadoras de 200KHz (25MHz : 200kHz = 125 portadoras com 8 canais, totalizando 1000 canais por sistema).
- ❖ **E-GSM** - conhecido como GSM estendido para aumentar a capacidade oferecida pelo P-GSM (35 MHz : 200 kHz = 175 portadoras, totalizando 1400 canais por sistema).
- ❖ **R-GSM** - inclui os padrões P-GSM e E-GSM, aumentando os canais de RF (39 MHz : 200kHz = 195 portadoras totalizando 1560 canais por sistema).
- ❖ **GSM 1800** - compondo 375 portadoras de 200 kHz, totalizando 3000 canais por sistema.

- ❖ **PCS 1900** - compõe 300 portadoras de 200 kHz, totalizando 2400 canais por sistema.

Figura 1.62 – Espectro de Frequência Padrão P-GSM

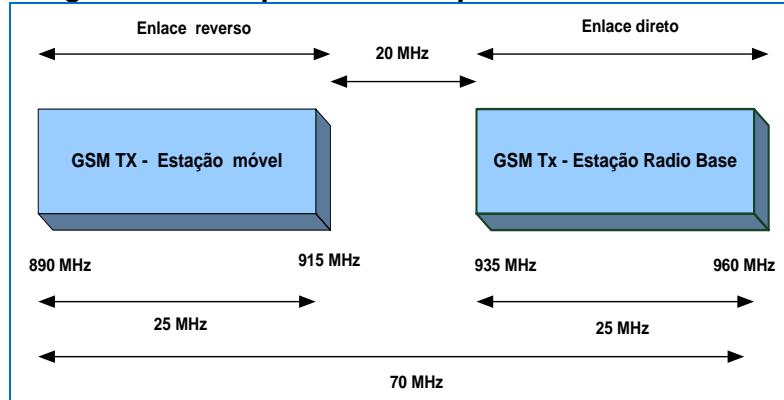


Figura 1.63 – Padrão E-GSM

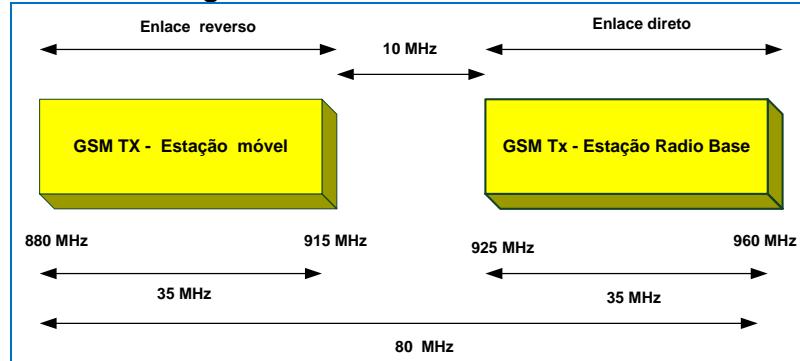


Figura 1.64 – GSM 1800

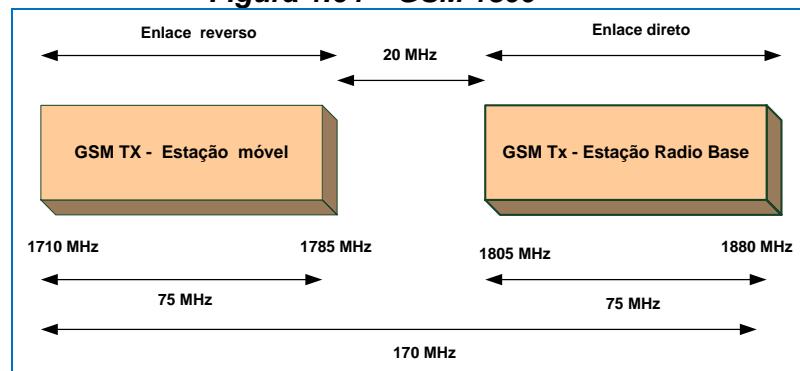
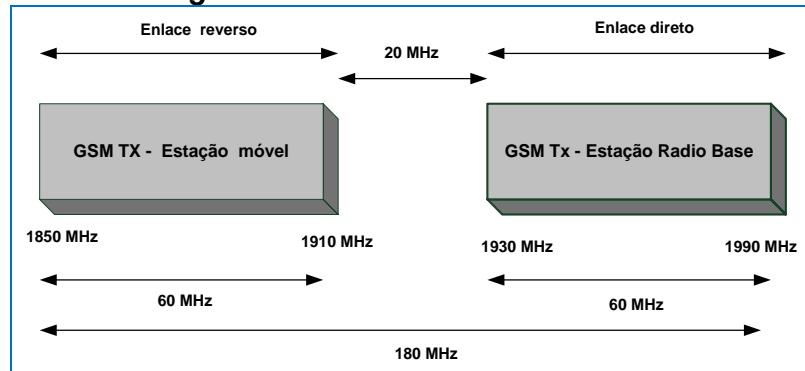
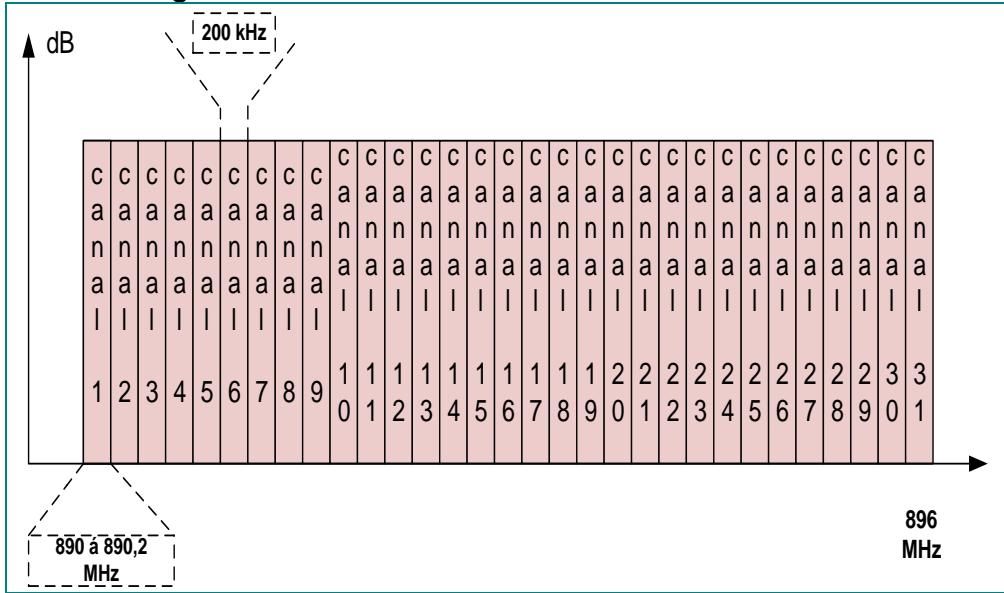


Figura 1.65 – Padrão PCS 1900



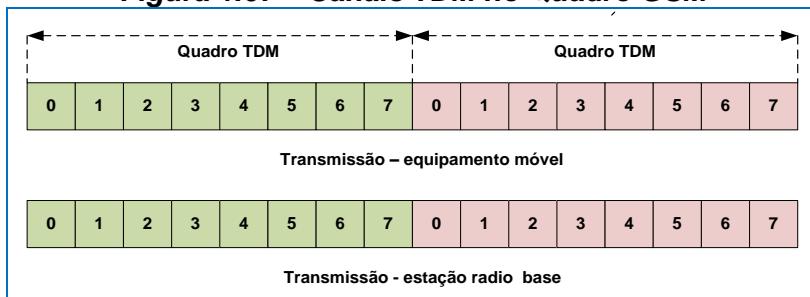
O sistema GSM combina dois tipos de multiplexação, designados de FDM e TDM. O primeiro tipo é empregado na transmissão das portadoras do sinal de rádio e o segundo é utilizado na formação dos canais lógicos responsáveis pelos sinais de tráfego telefônico e controle. O sistema P-GSM emprega a duplexação FDD caracterizado como sistema duplex. O sistema FDM funciona com duas sub-bandas de 25 MHz, um na transmissão e outro recepção, totalizando 125 portadoras de 200 KHz. Cada portadora de 200 KHz compartilha um canal com 8 intervalos de tempo e com uma largura de banda de 25 KHz TDM, totalizando um sistema 1000 canais. A figura 1.66 mostra as portadoras de RF do sistema GSM no espectro de frequência de 25 MHz: [1.39]

Figura 1.66 – Portadoras de 200 kHz Link de Subida



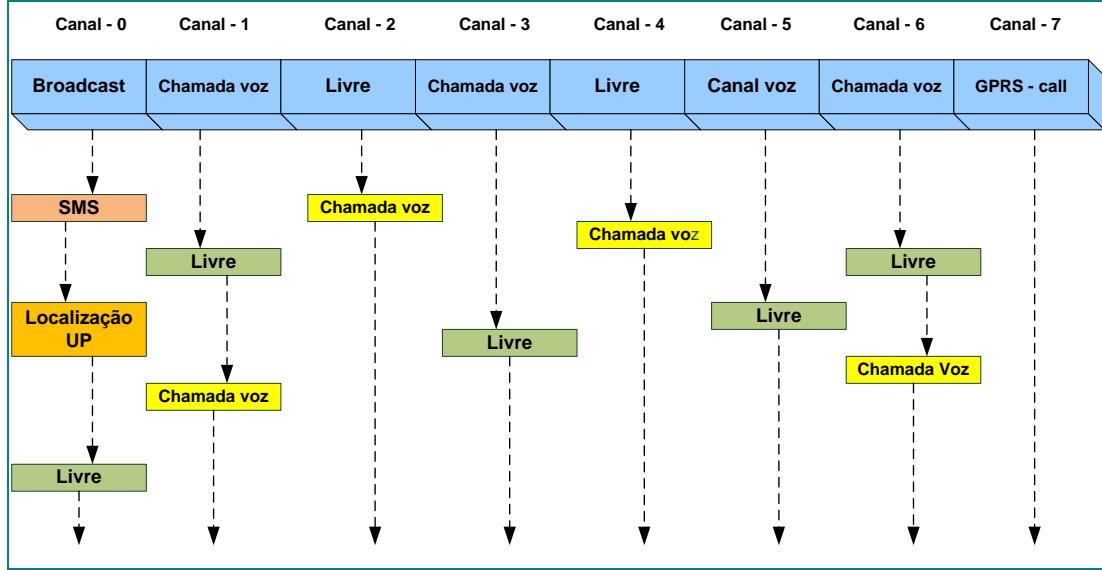
A figura 1.67 ilustra o *link* de subida e de descida com oito intervalos de tempo ou canais compondo o quadro TDM inseridos dentro de uma portadora (200KHz):

Figura 1.67 – Canais TDM no Quadro GSM



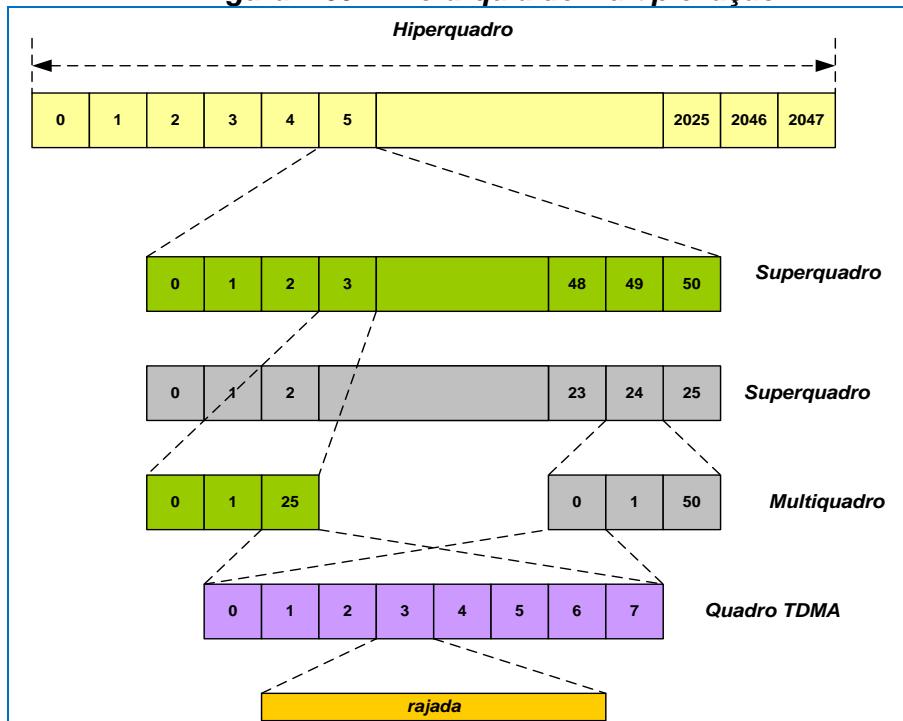
Dentro do quadro TDM, cada canal pode transportar sinais de voz, dados ou controle. O sistema GSM trabalha com saltos de frequência no transporte das informações, para minimizar as interferências ou *fadding* ocasionados por multipercurso. Evita-se assim que o usuário permaneça no mesmo canal durante a conexão. A figura 1.68 exibe o TDM com os respectivos serviços, voz, SMS:

Figura 1.68 - Composição do Quadro TDM



O sistema GSM apresenta uma estrutura de acesso de TDMA com as seguintes estruturas: hiperquadro, composto de 2048 superquadros com uma temporização de 3 horas, 28 minutos e 53 segundos. O superquadro apresenta duas composições, uma de 56×26 multiquadro de 6,12 segundos e outra de 26×51 com multiquadro com 6,12 segundos. O multiquadro apresenta duas versões, uma de 51 quadros com 235 milisegundos e outra de 26 quadros de 120 milisegundos. O frame apresenta uma temporização de 4,615 milisegundos com 8 intervalos de tempo. A figura 1.69 mostra o sistema de hierarquia TDMA:

Figura 1.69 – Hierarquia de Multiplexação TDMA



O padrão GSM baseia-se em um sistema de multiportadora por acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA), acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA) e duplexação por divisão de frequência (FDD). A tabela 1.15 a seguir mostra os padrões de frequências adotados mundialmente:

Tabela 1.15 – Bandas do 3 G

| GSM – Bandas de Frequência | | |
|----------------------------|--|-----------------------|
| Frequência | Faixas Utilizada | Local |
| 400 MHz | 450,4 - 457,6 MHz 460,4 – 467,6 MHz ou 478,8 – 486 MHz 488,8 – 496 MHz | Europa |
| 800 MHz | 824 – 849 MHz / 869 – 894 MHz | América |
| 900 MHz | 880 – 915 MHz / 925 – 960 MHz | Europa, Ásia e África |
| 1800 MHz | 1710 – 1785 MHz / 1805 – 1880 MHz | |
| 1900 MHz | 1850 – 1910 MHz / 1930 – 1990 MHz | America |

[1.39]

No próximo item será descrita a arquitetura de rede GSM, caracterizando as particularidades de cada equipamento no processo de transmissão dos serviços.

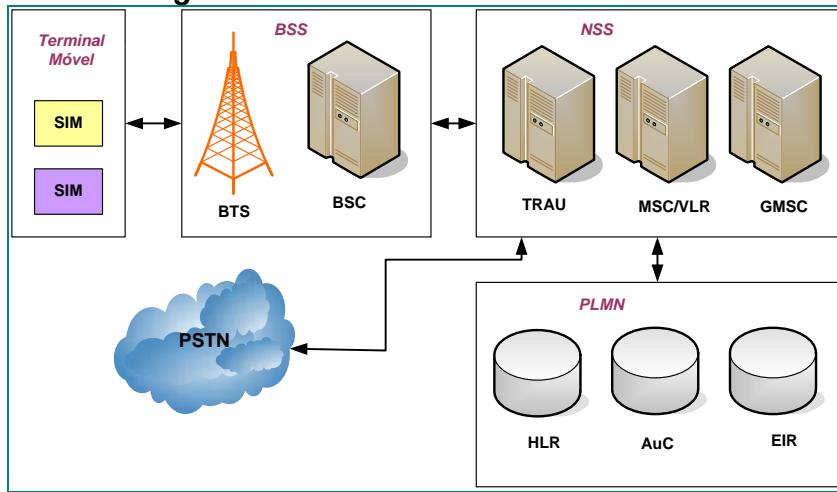
1.19.2 – Arquitetura de Rede GSM

O desenvolvimento do sistema global para comunicações móveis (GSM) remete ao grupo formado pela Conferência Européia das Administrações de Correio e Telecomunicações (CEPT) para tratar do desenvolvimento de um padrão de sistema móvel de telefone a ser usado em toda a Europa, haja vista que a infraestrutura de telecomunicações era monopólio estatal. Conhecido como Grupo Celular especial ou GSM, a sigla passou a ser usada para o sistema global para comunicações móveis.

A relação comercial no contexto da Europa unificada exigia a criação de um sistema único de telefonia móvel no velho continente, que foi padronizado para operar em três principais frequências, 900 MHz, 1800 MHz e 1900 MHz. O GSM é o mais bem sucedido dos sistemas celulares de segunda geração e tem uma adoção generalizada na Ásia e na América. [1.41]

A figura 1.70 exibe os blocos de infraestrutura da rede GSM:

Figura 1.70 - Infraestrutura Básica GSM



A arquitetura geral da rede GSM é composta de blocos funcionais nas modalidades de sistema de transmissão, rede, segurança e comutação. Ressalte-se que a evolução do GSM em termos de rede 3G não deve ser vista como uma tecnologia aleatória, mas como parte integrante desta infraestrutura.

1.19.2.1- Estação Móvel (MS)

O equipamento móvel é constituído de um cartão inteligente chamado módulo de identidade do assinante (SIM). O SIM oferece mobilidade pessoal pois o usuário pode remover o cartão SIM de um dispositivo móvel e colocá-lo em outro sem necessidade de informar o operador de rede. O SIM apresenta as seguintes funções:

- O equipamento móvel é responsável pela interligação do assinante à rede.
- O módulo SIM contém as seguintes informações.
 - ❖ Identidade internacional do assinante móvel (IMSI)
 - ❖ Identidade temporária do assinante móvel (TMSI)
 - ❖ Identidade da área de localização (LAI)
 - ❖ Chave de autenticação do assinante (KI)
 - ❖ Número interlacional da estação móvel (MSISDN)

Há cinco classes de potência de RF, cujos valores, na potência de saída para o GSM900 e 1800, são dados pela tabela 1.16:

Tabela 1.16 – Classes de Potência

| Classe de Potência | Potência de Saída | | | |
|--------------------|-------------------|-----|----------|-----|
| | GSM 900 | | GSM 1800 | |
| | Watts | dBm | Watts | dBm |
| 1 | 20 (desativada) | - | 1 | 30 |
| 2 | 8 | 39 | 0,25 | 24 |
| 3 | 5 | 37 | 4 | 36 |
| 4 | 2 | 33 | 4 | 36 |
| 5 | 0,8 | 29 | 4 | 36 |

1.19.2.2 - Controlador de Estação Rádio Base (BSC)

O Controlador de Estação Rádio Base é responsável pelo gerenciamento de controle de um grupo de estações transceptoras (BT). Todas as operações requeridas pela BTS são recebidas via BSC. Esta, por sua vez, incorpora uma matriz de comutação digital, usada para conectar os canais de RF da interface aérea com os circuitos terrestres provenientes da central de comutação celular. Essa matriz permite ao BSC realizar *handovers* (troca de canal) entre os canais de RF sob controle, sem o envolvimento da MSC. Proporciona os saltos de frequência quando o usuário se desloca entre células, gerenciamentos dos canais de tráfego e controle.

1.19.2.3 - Estação Transceptora Base (BTS)

Responsável pelas conexões nas interfaces aéreas sem fio com a EM; basicamente é formado por um transceptor de RF e por um sistema irradiante constituído de antenas, cabos e conectores.

1.19.2.4 - Transcodificador (XCDR)

É responsável pela conversão dos sinais de voz provenientes da MSC (64 kbps) no padrão específico pelas normas GSM, utilizado na transmissão sobre a interface aérea. Se os canais de voz PCM de 64 kbps fossem transmitidos na interface aérea sem nenhuma modificação, iriam ocupar uma faixa muito grande de banda de RF, introduzindo uma ineficiência no espectro de frequência, ou seja, a banda usada para transmitir canais de RF de 64 Kbps reduziria sensivelmente a capacidade de canais de voz na interface do sistema. Em síntese, o transcodificador assume as tarefas:

- Conversão da taxa de 64 kbps da MSC para 16 kbps do GSM.
- Algoritmo de taxa plena (*Full Rate*): codificação do canal de voz de 64 Kbps em 13 Kbps, acrescentando 3 Kbps de dados de controle, que é denominado TRAU.
- Algoritmo de taxa plena melhorado (*Enhanced Full Rate*): para a codificação do sinal de voz, presente na fase 2 do GSM, sendo opcional na rede. A codificação do canal de voz de 64 Kbps em 12,2 Kbps e por sua vez o TRAU passa a ser de 3,8 Kbps.

1.19.2.5 - Sistema de Comutação de Rede (NSS)

É responsável pelas funções de comutação, controle e gerenciamento da mobilidade dos assinantes. É composto pelos seguintes elementos de rede: MSC; HLR; VLR; AuC; EIR; IWF; EC; OMS; NMC; OMC.

1.19.2.6 - Central de Comutação Celular (MSC)

Elemento central de sistema de comutação de rede, é responsável pelas seguintes tarefas:

- Processamento de chamadas, conexão e desconexão.
- Gerenciamento do tráfego telefônico
- Controle de *handover*
- Tarifação do sistema.
- Controle de potência dos canais de tráfego e controle.
- Operação de manutenção preventiva e corretiva.

1.19.2.7 - Registro de Localização Local (HLR)

É um banco de dados, responsável pela administração e controle de dados do assinante, com as seguintes especificações: identidade nacional e internacional, localização corrente do usuário, serviços suplementares contratados com a operadora, Estado do assinante (registrado e não registrado) e Chave de autenticação.

1.19.2.8 - Registro de Localização de Visitante (VLR)

É um banco de dados responsável pela localização do assinante móvel visitante com as seguintes tarefas:

- Identidade internacional do assinante móvel (IMSI)
- Identidade da área de localização (LAI)
- Identidade temporária do assinante móvel (TMSI)
- Número Internacional ISDN da estação móvel (MSISDN)
- Número da estação móvel visitante (MSRN)

1.19.2.9- Centro de Autenticação (AuC)

É responsável pelas funções de autenticação e criptografia. Essas funções são processos realizados simultaneamente, no AuC e na MS, para prover segurança ao sistema, evitando por exemplo, a clonagem de MS. Normalmente o Auc é residente no hardware do HLR.

1.19.2.10 – Registro de Identidade de Equipamento (EIR)

Apresenta a base de dados dos números de identidade internacional do equipamento móvel (IMEI), os quais devem únicos por EIR.

1.19.2.11 – Função de Interfuncionamento (IWF)

É responsável pela interface da rede GSM com os demais tipos de redes de dados pública e privada e apresenta as seguintes funções:

- Adaptação da taxa dos dados.
- Conversor de protocolos.

1.19.2.12 – Supressor de Eco (EC)

É o elemento de rede responsável pela retirada do eco presente nas conexões entre a MSC e RTPC. O efeito do mesmo pode ser provocado por diversos fatores, tais como:

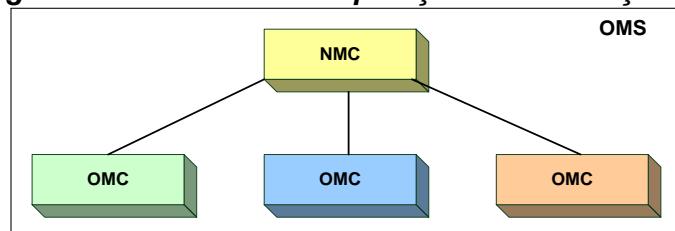
- Atraso de propagação na interface aérea em função da distância.
- Atraso de propagação provocado pelo processo de transcodificação.
- Geração de eco na bobina híbrida, que transforma dois fios em quatro fios e vice-versa.

O sistema de operação e manutenção permite a administração, operação, manutenção e supervisão centralizada e remota (Gerência de Rede) que forma a rede GSM. Por razões de confiabilidade o OMS foi dividido em dois subsistemas: Centro de Gerenciamento de Rede e Centro de operação e manutenção. Segue as tarefas e figura 1.71 dos centros.

O Centro de Gerenciamento de Rede (NMC) apresenta as seguintes tarefas:

- Monitorar os nós da rede
- Monitorar os dados estatísticos dos elementos de rede.
- Monitorar os OMCs

Figura 1.71 – Sistema de Operação e Manutenção

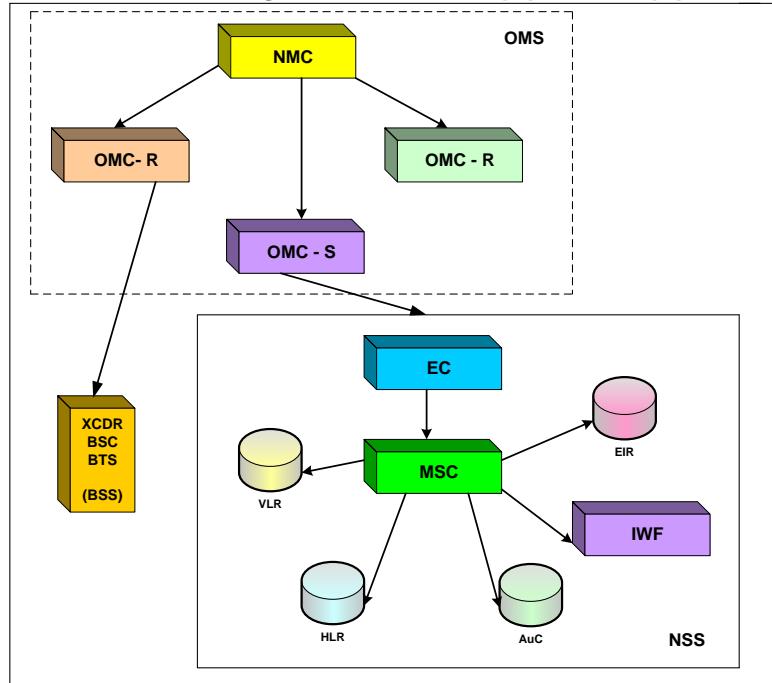


O Centro de Operação e Manutenção (OMC) é o elemento de rede que está interligado com as entidades da rede GSM, tais como: BTS, BSC, XCDR, MSC, HLR, VLR, EIR, IWF, EC, AUC. O OMC apresenta as seguintes funções gerenciais:

- Gerenciamento de eventos e alarmes.
- Gerenciamento de performance do sistema.
- Gerenciamento de configuração.
- Gerenciamento do sistema de estação base (BSN)
- Gerenciamento do sistema de comutação (NSS)

A figura 1.72 mostra a interligação dos equipamentos:

Figura 1.72 – OMC (R) e OMC (S)

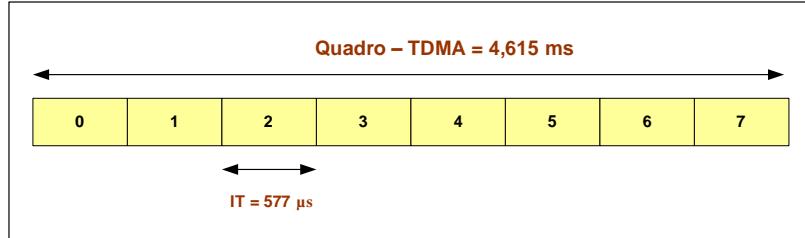


[1.42]

1.19.3 - Interface Aérea e Intervalos de Tempo TDMA.

Uma única portadora de RF GSM possui 200 KHz de largura de banda e pode suportar, simultaneamente, até oito estações móveis (canais). A estrutura de um canal físico em cada portadora de RF é subdividida em oito intervalos de tempo de canal (ITC ou time slots), através da técnica de acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA). Os intervalos de tempo de canal são identificados de 0 a 7, com uma duração de 577 µs cada. A repetição de sequência é chamada de quadro (frame) TDMA, que tem uma duração de aproximadamente 4,62 ms. Os quadros TDMA são constituídos de acordo com o tipo de canal. A figura 1.73 exemplifica ao temporização do canal e quadro TDMA:

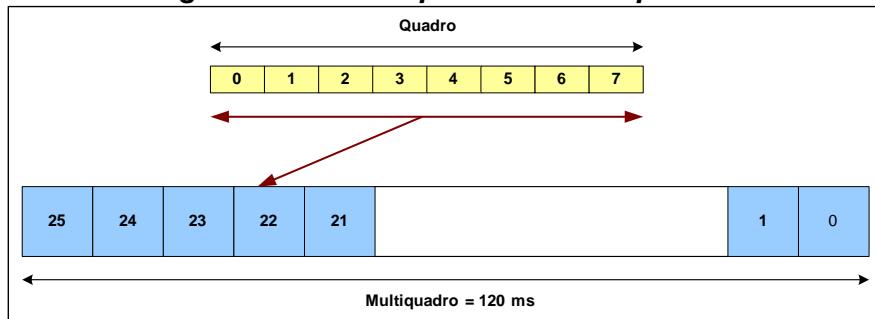
Figura 1.73 – Quadro TDMA



[1.42]

Um multquadro de canais de tráfego de 26 quadros é usado para transportar as informações de voz, dados e controle. Este multquadro tem uma duração de 120 ms, obtida pela expressão: 26 quadros x o IT x 577 μ s = 120 ms. A figura 1.74 ilustra o multquadro com 26 quadros:

Figura 1.74 – Multquadro com 26 quadros



1.19.4– Canais de Tráfego (TCH)

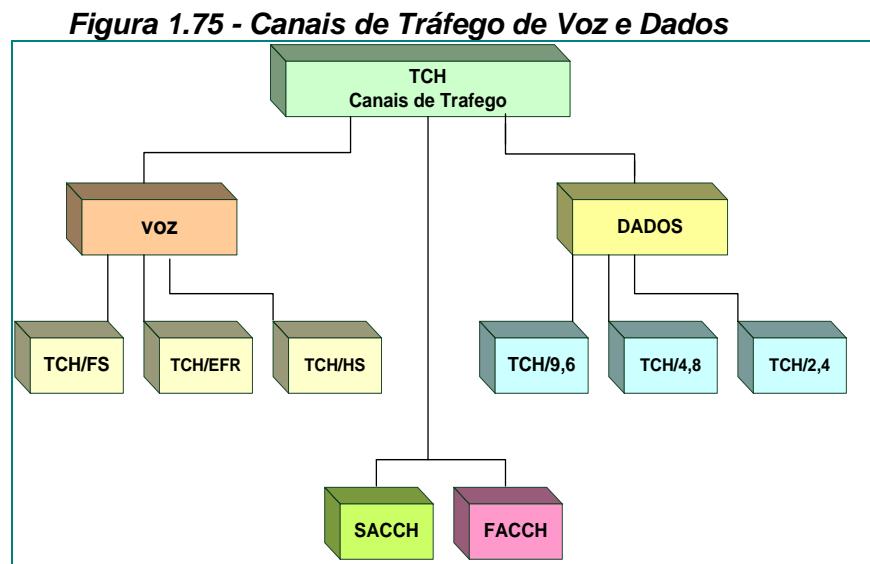
Os canais de tráfego transportam voz e dados no modo de comutação por circuito em diferentes tipos de canais de tráfego. Os canais de transporte de voz são divididos em três diferentes tipos de codificação, conhecidos como: taxa plena (*Full Rate* – FR), meia taxa (*Half Rate* – HR) e taxa plena melhorada (*Enhanced Full Rate* – EFR). A diferença básica entre esses tipos de codificação está no algoritmo usado.

- ❖ Canal de voz com taxa plena (*Full Rate Speech Channel*) – TCH/FS: 13 Kbps.
- ❖ Canal de voz com taxa plena melhorada (*Enhanced Full Rate Speech Channel*) – TCH/EFS: 12,2 Kbps.
- ❖ Canal de voz com meia taxa (*Half Rate Speech Channel*) – TCH/HS: 5,6 Kbps.

Os canais dedicados ao transporte de dados no modo de comutação por circuito são divididos em taxa plena (FR) e meia taxa (HR):

- ❖ Canal de dados com taxa plena – TCH/F 9,6 Kbps.
- ❖ Canal de dados com taxa plena – TCH/F 4,8 Kbps.
- ❖ Canal de dados com taxa plena – TCH/F 2,4 Kbps.
- ❖ Canal de dados com meia taxa – TCH/H 4,8 Kbps.
- ❖ Canal de dados com meia taxa - TCH/H 2,4 Kbps.

A figura 1.75 mostra o diagrama dos tipos de canais de tráfego que transporta por comutação por circuito e pacote:



1.19.5 – Multiquadro de Canais de Controle – 51 Quadros

Os canais de controle são usados para transportar as informações de sinalização e controle entre MS e BTS, que, por sua vez, são divididos em três grupos:

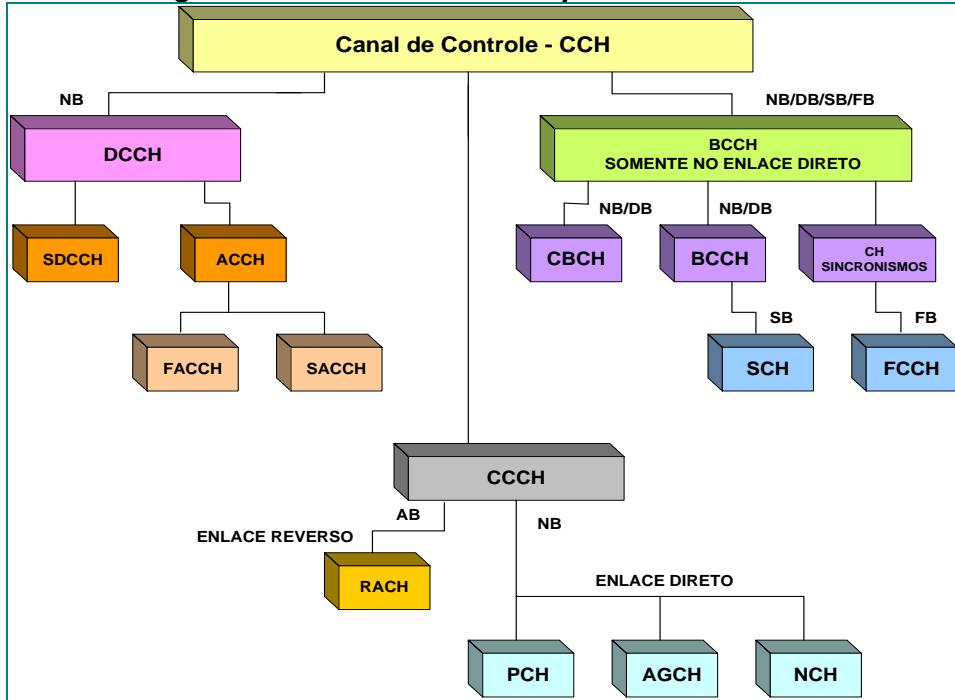
- ❖ Canal de Controle Dedicado – DCCH
- ❖ Canal de Controle Comum – CCCH
- ❖ Canal de Controle por Difusão – BCCH

Esta estrutura é mais complexa que a de 26 quadros, pois varia de acordo com o tipo de canal de controle. A temporização do multiquadro é expressa pelo seguinte cálculo:

$$51 \text{ quadros} \times 8 \text{ IT} \times 577 \mu\text{s} = 235,4 \text{ ms}$$

A figura 1.76 mostra os canais do multiquadro de 51 canais:

Figura 1.76 – Canais do Multiquadro de Controle



O grupo de canal de controle dedicado (*dedicated control channel* – DCCH) é formado pelos canais que estão associados a uma única MS e tem como principais funções o estabelecimento de chamada (*call setup*) e a validação da MS. O grupo DCCH é formado pelos canais:

- ❖ Canal de controle dedicado independente (*stand-alone dedicated control channel* – SDCCH): suporta a transferência de dados de/para uma única MS durante o estabelecimento da chamada e a validação do móvel (por exemplo, sinalização sobre serviços durante o estabelecimento da chamada).
- ❖ Canal de controle associado (*associated control channel* – ACCH) formado pelos canais:
 - Slow ACCH (SACCH) para medidas do enlace de rádio e mensagens de controle de potência; trabalha no enlace direto e reverso.
 - Fast ACCH (FACCH) para mensagens de eventos, tais como handover e autenticação; trabalha no enlace direto e reverso.

Grupo de canal de controle comum (*common control channel*) é formado pelos canais que trabalham nos enlaces diretos e reversos na conexão da chamada e é formado pelos canais:

- ❖ Canal de acesso aleatório (*random access channel* – RACH): usado pela MS, para acessar o sistema, como, por exemplo, originar uma chamada ou responder a uma mensagem de busca.
- ❖ Canal de busca (*paging channel* – PCH) usado pela BTS para buscar (*page*) MS, como, por exemplo, localizar uma MS em uma chamada terminada móvel ou para transmitir mensagens SMS.
- ❖ Canal de acesso permitido (*Access granted channel* – AGCH) usado pela BTS para associar um SDCCH ou SACCH à MS em resposta a uma mensagem de acesso recebida no RACH. A MS sintoniza-se no SDCCH durante o estabelecimento de uma conexão ou em resposta a uma mensagem de busca.
- ❖ Canal de notificação (*notification channel* – NCH) usado pela BTS para notificar uma MS associada a um grupo de voz e para chamadas de voz por difusão.

O **grupo canal de controle de difusão** (*broadcast control channel* – BCCH) é formado por canais que operam somente no enlace direto e é formado pelos seguintes canais:

- ❖ Canal de controle por difusão (*broadcast control channel* – BCCH)
- ❖ Lista células vizinhas e suas frequências. Lista o indicador de potência e transporta informações sobre a rede de identidade da célula.
- ❖ Canal de difusão para as células (*cell broadcast channel* – CBCH): usado para transmitir mensagens de difusão (*broadcast*) para todas as MS que estão na área de cobertura de uma determinada BTS, como, por exemplo, resultados de jogos de futebol, tráfego nas estradas (serviços de mensagens curtas – *short message services* – SMS).
- ❖ Canal de sincronismo (*synchronizing channel* – SCH): transporta informações necessárias ao sincronismo da estrutura de quadro TDMA, informando o número do quadro e o código de identificação da BTS (*base site identity code* – BSIC)
- ❖ Canal de correção de frequência (*frequency correction channel* – FCCH): transmitido no intervalo de tempo do canal zero no BCCH, para que a MS se sintonize na portadora de RF da BTS. [1.42]

1.19.6 – Handover

O procedimento de *handover* é responsável pela manutenção da qualidade do sinal na interferência aérea (radiofrequência – RF). Após o estabelecimento da fase de conversação, o sinal na interface aérea é medido, continuamente, pelo elemento de rede BTS. Quando a qualidade desse sinal cai abaixo do valor especificado pelo operador do sistema, a rede irá decidir entre as possibilidades abaixo elencadas:

- Estabelecimento de um novo canal físico na mesma BTS, em setores diferentes - *Handover Intra BTS*.
- Ligação de um novo canal físico em BTSs distintas, porém gerenciada pela mesma BSC - *Handover Intra BSC*.
- Conexão de um novo canal físico em BTSs diferentes, porém em diferentes BSCs de uma mesma MSC- *Handover Intra MSC*.
- Estabelecimento de um novo canal físico em BTSs diferentes, porém em distintas MSC – *Handover Inter MSC*.

[1.42]

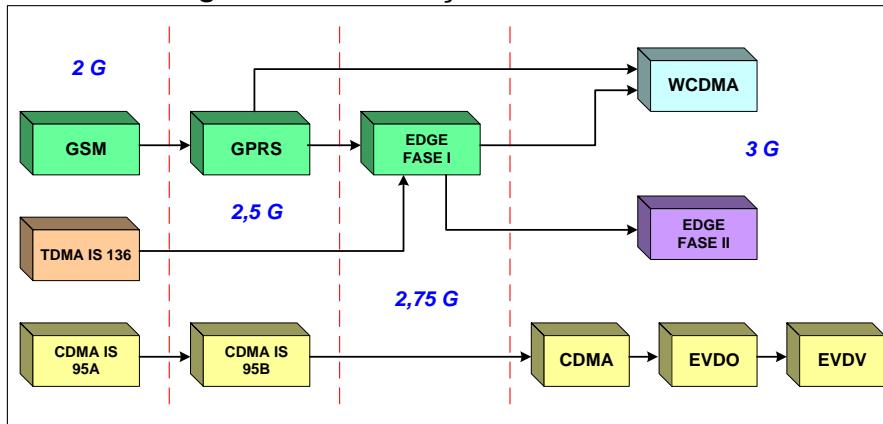
O próximo item apresenta a tecnologia GPRS (*General Packet Radio Service*), com particular interesse no tratamento da comutação por circuito, pacotes, arquitetura da rede.

1.19.7 – Visão Geral da Tecnologia GPRS

Novos serviços e aplicações nas redes GSM são resultantes das evoluções tecnológicas provocadas por mudanças nos perfis dos assinantes que passaram a usar o celular não só para a conversação, mas também para trocar e-mail, acessar páginas na Internet, enviar fotos, mensagens de texto, etc.

Atualmente se encontram em operação os serviços 2,5 GPRS, 2,75 EDGE e o sistema móvel celular de 3^a. geração UMTS, tecnologia WCDMA. A figura 1.77 mostra a evolução suave do GSM:

Figura 1.77 – Evolução do Sistema GSM

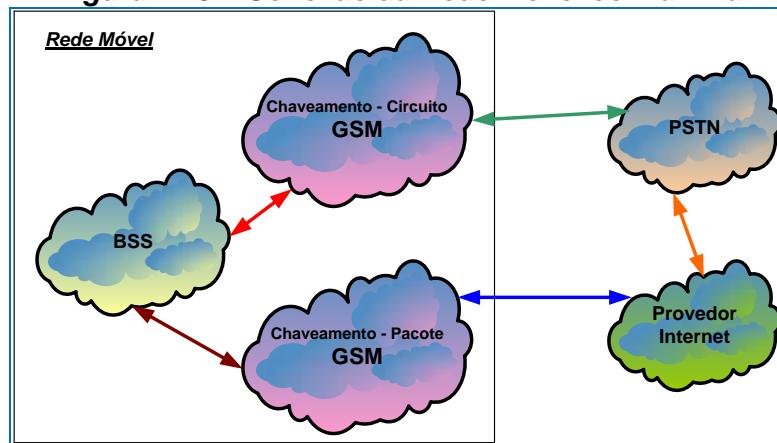


[1.42]

O GPRS é um serviço de tráfego de dados que permite o chaveamento por pacote (pacotes geralmente IPV4 ou IPV6) enviado através da rede móvel. O tráfego de voz continua a ser transmitido na forma de comutação por circuito na rede básica e as redes externas são ligadas entre si através de gateways, o que permite a opção de envio de dados através da rede (IP).

O GPRS permite a introdução de novos serviços de tráfego em tempo não real, por exemplo, baixar e-mail, acesso a serviços bancários, mensagens curtas. O GPRS pode ser utilizado tanto para as redes GSM e UMTS. A figura 1.78 mostra o sistema de estação rádio base com chaveamento por circuito e pacote interligado com a rede fixa de telefonia (PSTN), ambos conectados com provedores de serviço de internet. [1.41]

Figura 1.78 – Conexão da Rede Móvel com a Fixa



1.19.8 – Canais Físicos do GPRS

O protocolo GPRS utiliza a mesma estrutura de quadros TDMA existentes na rede GSM para formar os canais físicos. Os intervalos de tempo de canal (IT ou *time slot*) utilizados para transportar os pacotes são os mesmos empregados no transporte de chamadas por comutação de circuito (TCH). Os canais são chamados de canais de dados por pacote (PDCH) e são alocados em um conjunto comum de canais físicos disponíveis na BTS. O compartilhamento dos canais físicos entre os serviços de comutação de circuito e pacote é realizado dinamicamente de acordo com o princípio da capacidade sob demanda. A figura 1.79 mostra a composição dos canais PDCH e TCH em cada portadora de RF:

Figura 1.79 – Conjunto de Canais Disponíveis na BTS

| | | | | | | | | |
|---------|---|---|-----|---|---|-------|---|---|
| ARFCN 3 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ARFCN 2 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ARFCN 1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ARFCN 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| PDCH | | | TCH | | | Livre | | |

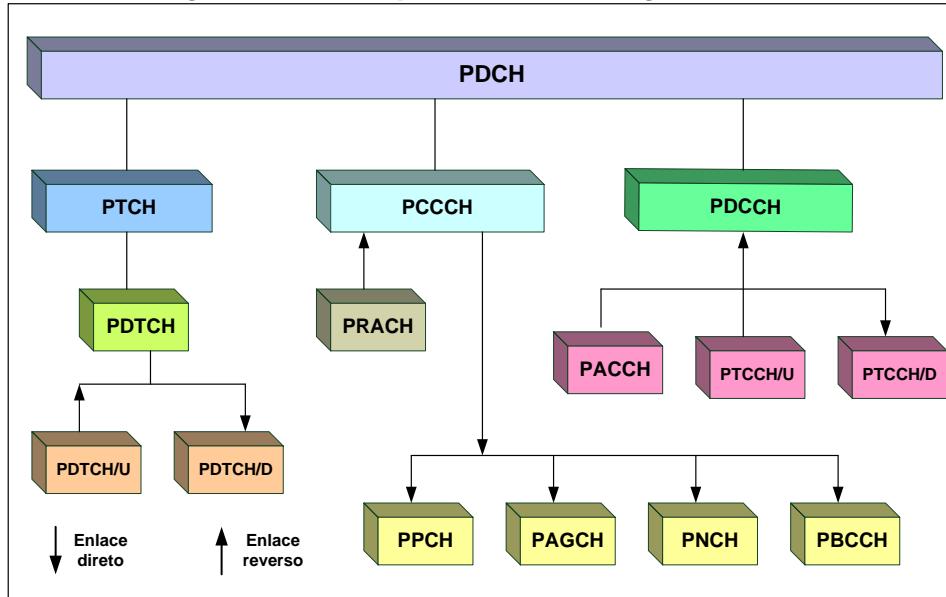
Com a tecnologia GPRS e EDGE, a MS pode operar no modo *multislot*, que representa o número de ITCs simultâneos que a MS pode suportar. A operação no modo multi-ITC determina a taxa máxima de transferência de dados suportada pela MS.

O canal físico dedicado ao serviço GPRS para o transporte de dados por pacotes é o canal de dados por pacote PDCH. Os canais lógicos de dados por pacotes mapeados no canal físico PDCH são divididos em três grupos:

- ❖ Canais de controle comum de pacote – PCCCH
- ❖ Canais de tráfego de pacote – PTCH
- ❖ Canais dedicados de controle de pacotes – PDCCH

A figura 1.80 mostra os grupos de canais lógicos GPRS:

Figura 1.80 – Grupos de Canais Lógicos GPRS



O grupo de canais de controle comum de pacote (PCCCH) é formado por canais lógicos de controle comum de informação de sinalização e é usado no transporte de dados por pacote. Há os seguintes tipos:

- Canal de acesso randômico de pacote (PRACH) – canal do enlace reverso, usado pela MS para iniciar o envio de informação de usuário (dado) ou sinalização.
- Canal de busca de pacote (PPCH) – canal de enlace direto, usado para realizar a busca (*paging*) de uma MS específica para uma posterior transferência de pacotes.
- Canal de permissão de acesso de pacote (PAGCH) – canal de enlace direto usado no estabelecimento da fase de transferência de pacote para enviar associação de recursos a uma MS.
- Canal de notificação de pacote (PNCH) – canal de enlace direto, usado para enviar uma notificação para um grupo de MS.
- Canal de controle *broadcast* de pacote (PBCCH) – canal de enlace direto, usado na transmissão *broadcast* de informação específica do sistema.

O grupo de canais de tráfego de pacotes (PTCH) é formado por canais lógicos de transporte de dados entre a MS e a rede GPRS. Esse grupo de canais é formado pelo canal de tráfego de dados por pacote PDTCH. Todos os canais

PDTCH são unidirecionais, sendo usado no enlace de subida (PDTCH-U) e enlace de descida (PDTCH-D).

O grupo de canais dedicados e controle de pacotes (PDCCH) é formado por canais lógicos dedicados de controle comum de informação, usado no transporte de dados por pacotes de uma MS específica. São eles:

- Canal associado de controle de pacote (PACCH) – transporta informações de sinalização relacionado a uma MS específica, por exemplo reconhecimento de informação e controle de potência.
- Canal de controle de avanço de tempo de pacote no enlace reverso (PTCCH-U) e enlace direto (PTCCH-D) – usado para transmitir *burst* de acesso randômico, visando estimar o avanço de tempo para uma MS específica no modo de transferência de pacotes. [1.42]

No próximo item são apresentadas as principais características da tecnologia EDGE, responsáveis pela implementação da evolução das redes GSM 2G e 2,5 G.

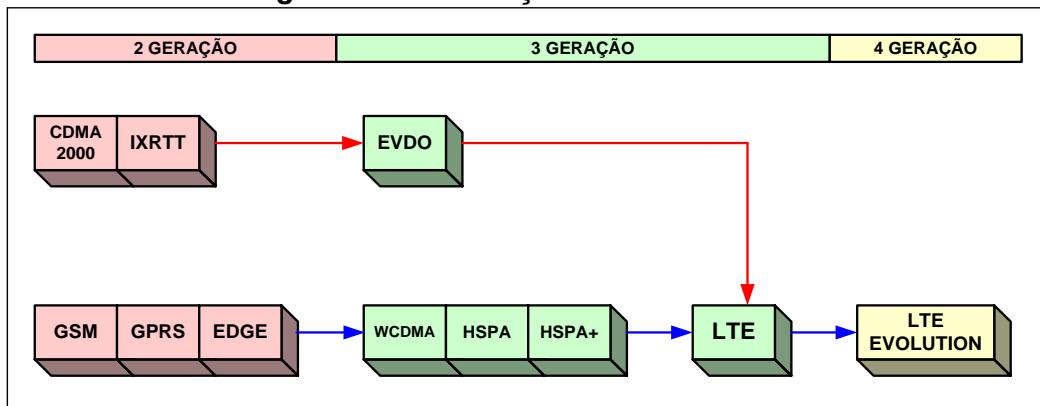
1.19.9 – Visão Geral da Tecnologia EDGE

O EDGE é uma evolução da tecnologia GPRS, também conhecida como GPRS melhorado. O EDGE apresenta as seguintes funcionalidades dentro da tecnologia GPRS:

- Novas facilidades no protocolo de acesso à interfase de área.
- Modulação 8-PSK
- Novos esquemas de codificação de canal.

A figura 1.81 mostra a evolução suave da tecnologia GSM:

Figura 1.81 – Evolução do Sistema GSM



1.19.10- Modulação 8-PSK

A tecnologia EDGE utiliza as modulações GMSK e 8-PSK e, por sua vez, a modulação GMSK é parte integrante da tecnologia GSM. Através desta modulação se obtém uma melhora na eficiência espectral. A modulação 8-PSK utiliza oito símbolos de três *bits*, enquanto o GMSK utiliza apenas um símbolo (1 *bit* por símbolo) do qual se extrai uma taxa de transmissão três vezes maior. Em sua interface aérea é igual a $3 \times 270,833$ kbytes/s. A tabela 1.17 a seguir mostra os *bits* modulados nos símbolos 8-PSK:

Tabela 1.17 – Mapeamento dos Símbolos

| Bits Modulados | Símbolos 8 - PSK |
|-----------------------|-------------------------|
| 1,1,1 | 0 |
| 0,1,1 | 1 |
| 0,1,0 | 2 |
| 0,0,0 | 3 |
| 0,0,1 | 4 |
| 1,0,1 | 5 |
| 1,0,0 | 6 |
| 1,1,0 | 7 |

A figura 1.82 mostra a modulação 8-PSK, representada no diagrama I/Q, e a figura 1.83 ilustra a transmissão da sequência de *bits*, assumindo-se como parâmetro 111011010000001101100110111011000101110011:

Figura 1.82 – Modulação 8PSK

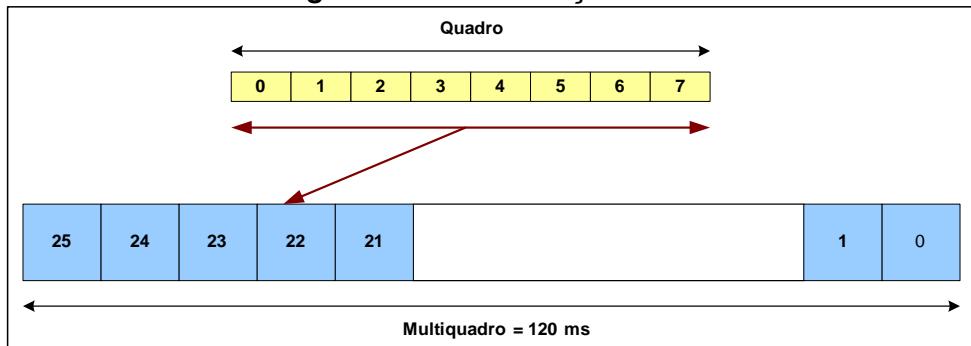
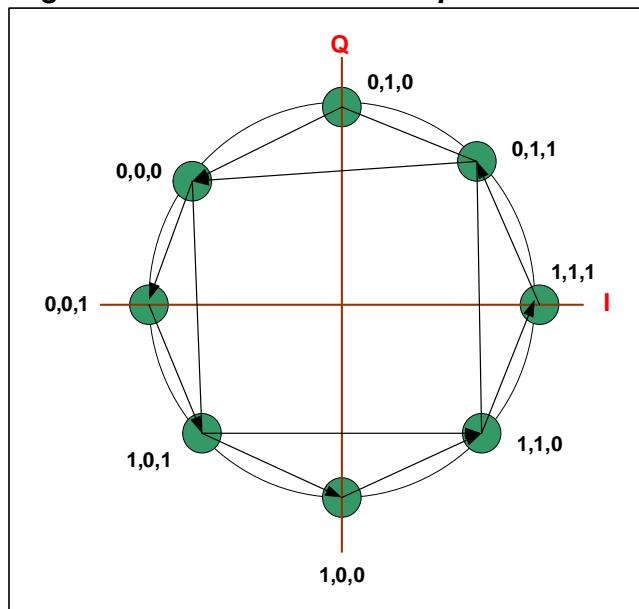


Figura 1.83 – Transmissão Sequência de bits



1.20 - Rede de Transporte WCDMA

O Sistema de Telecomunicações Móvel Universal (UMTS) é a prestação de serviços sem fio que oferece maiores taxas de transmissão de dados do que têm oferecido nas redes GSM, GPRS, EDGE. O UMTS é, portanto, uma evolução para o GSM porque pode oferecer serviços de voz, dados com taxas de *bits* elevadas para as conexões sem fio móveis. Assim, a melhora do UMTS favorece a transmissão de dados em comparação com a interface de rádio GSM.

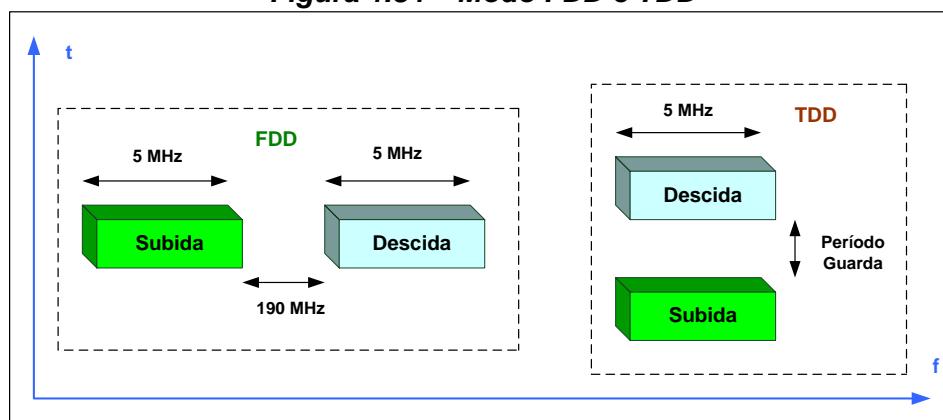
Comparativamente com as tecnologias anteriores, os serviços de dados de alta taxa de transmissão de *bits* torna-se um diferencial. Os serviços de dados podem ser divididos em classes diferentes com base no conteúdo, por exemplo, transação bancária, entretenimento, WEB, mensagens curtas, imagens ou canal de vídeo. Uma vez que a terceira geração de telefonia móvel também é tida como uma prestação de serviço público e não pode ser interrompida, as operadoras de serviços têm que adotar qualidade de serviço (QoS), que deve ser regulamentada e fiscalizada pela ANATEL. [1.42]

A implantação e a estratégia têm que ser planejadas com cuidado. A UMTS opera com uma banda de frequência de 2100 MHz, o que é mais que o dobro em relação a 900 MHz e claramente mais elevado do que o 1800 MHz e a frequência de 1900 MHz. Os sinais de rádio nas frequências mais altas acarretam uma perda maior no sinal de RF no percurso, o que requer um aumento de sites para conseguir

uma área de cobertura de sinal de rádio, resultando em custo elevado na infraestrutura. [1.42]

O WCDMA é baseado na tecnologia de espalhamento espectral do sinal de rádio, combinando uma taxa de transmissão de informação baixa de informação (voz ou dados) com uma taxa de transmissão alta do código identificador. A largura de banda do canal de RF é de 5 MHz totalizando uma eficiência quatro vezes maior que o sistema CDMA, quando todos os usuários utilizam a mesma frequência com códigos distintos. Este sistema suporta dois modos de operação: FDD e TDD. A figura 1.84 apresenta o modo FDD com 190 MHz de banda de guarda de separação entre o *link* de subida e descida e com frequências diferentes. No modo TDD as frequências do *link* de subida e descida são iguais, mas com uma separação no tempo: [1.39]

Figura 1.84 – Modo FDD e TDD



O item a seguir dá tratamento às redes LTE, destacando-se a melhoria dos serviços, com maiores velocidade e menor latência, espectro de frequência, distribuição de canais, evolução gradativa das redes e sistema de transmissão.

1.21- Sistema LTE – 4G

A 4ª. geração de telefonia móvel apresenta um montante mundial de 755 milhões de aparelhos, dos quais o Brasil participa com 14,650 milhões de terminais, o que representa o marcante crescimento anual de 1.018%, sendo que 65% dos terminais apresentam os serviços de banda larga.

Para que esta tecnologia possa dar vazão às taxas de transmissão elevada foram utilizadas as modulações em quadradura do tipo QPSK, 16QAM E 64 QAM,

cujas taxas de transmissão são subdivididas em 5 categorias de operação, iniciando-se com a categoria 1 com 10 Mbps de download e 5 Mbps de upload, podendo atingir 300 Mbps de download e 75 Mbps de download na categoria 5. Para melhorar a área de cobertura no que se refere ao sistema de multi propagação via radio, foram implantados sistemas irradiantes com o emprego das tecnologias MIMO 2X2 e 4X4.

(www.teleco.com.br)

A popularização dos serviços de banda larga móvel em redes domésticas impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias permitindo que os usuários naveguem pela internet ou enviem e-mails usando notebooks com HSPA integrado, substituam os modems DSL fixos pelos modems HSPA e procedam ao envio e recebimento de vídeo ou música usando terminais 3G. Essas aplicações demandam padronização quanto ao aumento de velocidade para transferência de dados, eficiência espectral e redução da latência da rede.

A padronização do 3GPP, que tem projetado redes 3G atuais e investido nas redes 4G, envolve a tecnologia do *Long Term Evolution* (LTE), uma solução móvel para o aumento efetivo da capacidade de dados nas áreas urbanas densas. Inicialmente projetada para prover serviços de banda larga, esta tecnologia e serviço fornece suporte ao tráfego baseado em IP com QoS fim-a-fim e conta com o apoio de outras tecnologias como a OFDMA e MIMO.

O desempenho e a capacidade de operação do 4G envolve taxas no *link* de descida em torno de 150Mbps e a latência tem apresentado um tempo inferior a 10 ms. Além do mais, apresenta portadoras com largura de banda flexível de 5 MHz a 20 MHz nos modos FDD e TDD.

Os principais desafios da rede 4G é minimizar a complexidade do sistema e dos equipamentos dos usuários, permitir a distribuição flexível do espectro de frequência através de novas licenças ou das faixas em operação e incorporar-se a outras redes já em operação, como o GSM e WCDMA, além de oferecer altas taxas de transferência nos enlaces de subida e descida⁵.

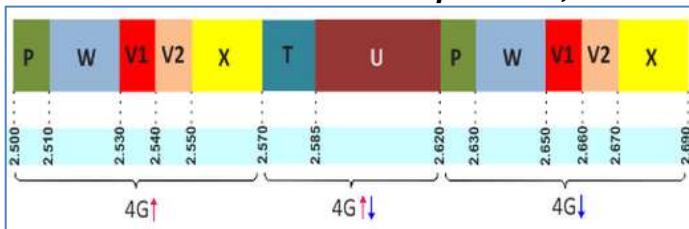
⁵ Informações obtidas de www.teleco.com.br.

1.21.1 – Espectro de Frequência

Inicialmente a ANATEL destinou para a implantação do 4G no Brasil (Res. 544 11/08/2010) a faixa de frequências de 2.500 MHz a 2690 MHz, anteriormente destinadas ao serviço de MMDS. Em 2012 realizou uma licitação de frequências em 2.500 MHz.

A tabela 1.18 a seguir mostra as faixas de frequência utilizadas no âmbito nacional em 2.5 GHz:

Tabela 1.18 – Faixas de Frequência 2,5 GHZ



(www.teleco.com.br)

A faixa de frequência entre 2.500-2.570 MHz e 2.620-2.690 MHz (subfaixas P, W, V e X) foi destinada para a operação FDD (canais separados para transmissão e recepção) e as subfaixas T e U, entre 2.570 e 2.620 MHz, para a operação TDD (transmissão e recepção no mesmo canal).

A tabela 1.19 a seguir exemplifica as subfaixas de frequências com seus respectivos blocos de frequências da estação móvel e ERB:

Tabela 1.19 – Subfaixas e Blocos de Frequência

| Subfaixa (MHz) | Blocos (MHz) | Transmissão | |
|----------------|--------------|-------------------|-------------|
| | | Estação Móvel | ERB |
| P | 10 + 10 | 2.500-2.510 | 2.620-2.630 |
| W | 20+20 | 2.510-2.530 | 2.630-2.650 |
| V1 | 10+10 | 2.530-2.540 | 2.650-2.660 |
| V2 | 10+10 | 2.540-2.550 | 2.660-2.670 |
| X | 20+20 | 2.550-2.570 | 2.670-2.690 |
| T | 15 | 2.570-2.585 (TDD) | |
| U | 35 | 2.585-2.620 (TDD) | |

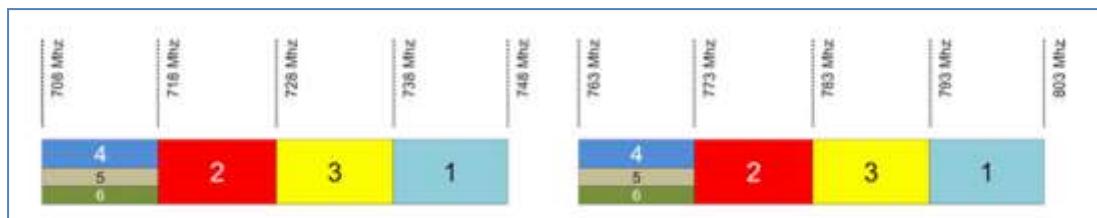
A melhor faixa de frequência para a implantação de 4G é a de 700 MHz que, em função da perda no espaço livre em um sistema via radio, foi liberada com o fim da transição da TV Aberta analógica para a TV aberta digital. No Brasil isto deve ocorrer em 2016.

O Minicom publicou a portaria 14 de 6/02/2013 que estabelece diretrizes para a aceleração do processo de transição da TV Aberta analógica para a TV aberta digital no Brasil e determina que a Anatel inicie os estudos para disponibilizar a faixa de 698 MHz a 806 MHz para 4G.

A Anatel divulgou no dia 21/02/2013 um regulamento sobre nova destinação da faixa de 700 MHz, recomendando a adoção do plano de banda da APT que permite o uso de 90 MHz (45 + 45 MHz) de espectro. Em setembro de 2014 foi solicitada a fixa de frequência de 700 MHz para a implantação do 4G.

A tabela 1.20 a seguir apresenta a distribuição da faixa de 700 MHz destinada para a banda larga móvel 4G (Fonte Anatel):

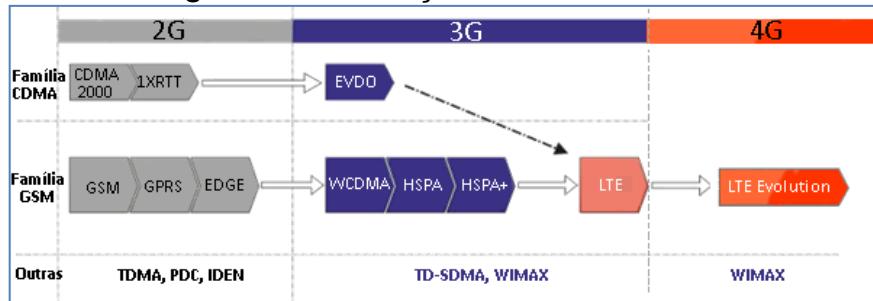
Tabela 1.20 – Faixa de Frequência 700 MHz



1.21.2 - Migração Gradativa das Redes Móveis

A 4^a. geração de sistema celular oferece serviços de dados com alta taxa de transmissão a usuários. Em outubro de 2009 a LTE-Advanced foi avaliada como uma candidata à tecnologia 4G. Padronizado pelo 3GPP, o LTE emprega novas técnicas de modulação na sua interface aérea: OFDM e MIMO. Foi especificado para trabalhar com largura de bandas de 5, 10 15, 20 MHz, mas as velocidades altas somente são obtidas com faixas de 20 MHz, podendo atingir 100 Mb/s de pico de *downlink* e 50 Mb/s de *uplink*. Além do mais, apresenta uma redução da latência e tem como objetivo principal desafogar o tráfego das redes atuais e sua transmissão de voz é VOIP. A figura 1.85 a seguir mostra a transição gradativa das redes móveis:

Figura 1.85– Evolução das Redes Móveis



(www.teleco.com.br)

A tabela 1.21. a seguir mostra as taxas de *downlink* oferecida aos usuários pelas principais operadoras de banda larga:

Tabela 1.21 – Taxa de Transmissão de Usuário

| Geração | 3G | | | | 4G |
|----------------------|----------------|--------------|------------|-------------|---------|
| | Tecnologia | WCDMA (UMTS) | HSPA | HSPA+ | LTE |
| Taxa de Tx (usuário) | 128 a 384 Kbps | 0,3 a 1 Mbps | 3 a 6 Mbps | 5 a 12 Mbps | 40 Mbps |

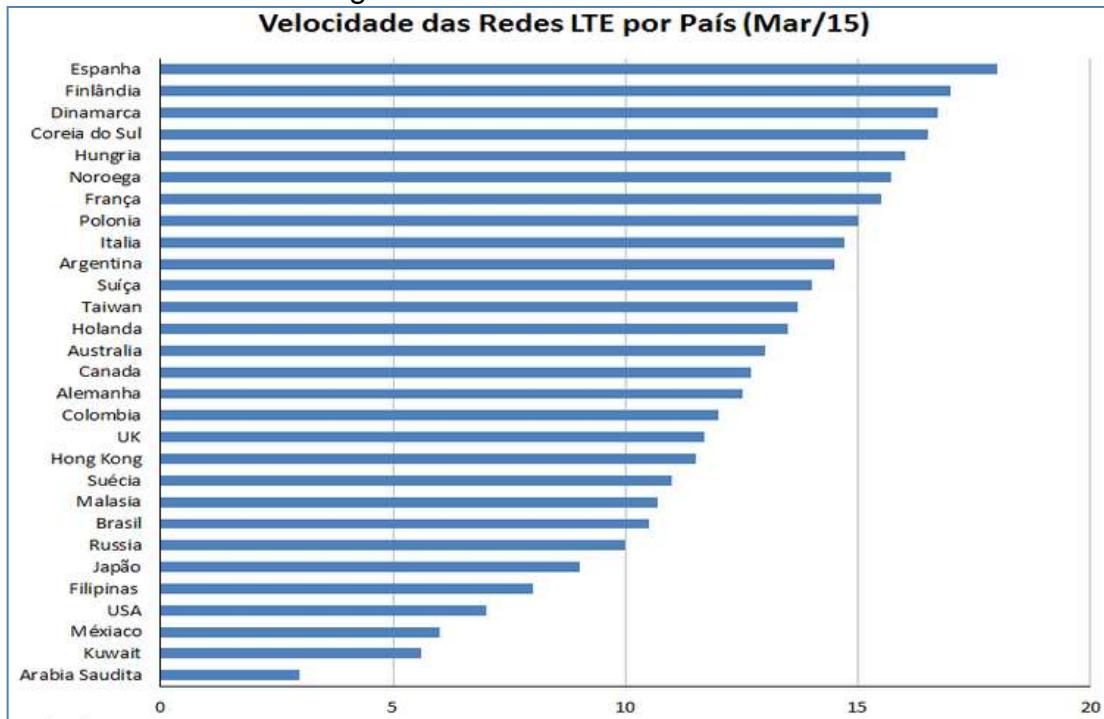
Nota I: Taxa de dados para tecnologia HSPA+ Brasil.

Nota II: Taxa de dados para tecnologia LTE Verizon e AT&T nos EUA.

Nota III: Taxa de dados para tecnologia LTE-Advanced Telstra na Austrália.

A figura 1.86 a seguir exemplifica a velocidade das redes LTE mundialmente, ressaltando a liderança da Espanha com 18 Mbps e a menor com a Arábia Saudita em torno de 3 Mbps. O Brasil se acha acima do Japão e dos EUA!

Figura 1.86 – Rede 4G no Mundo

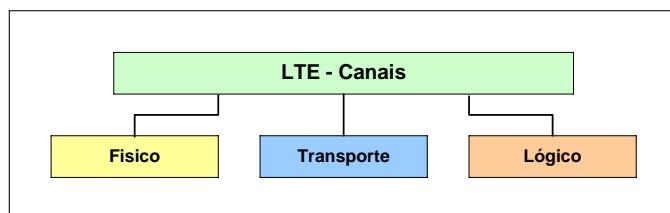


Fonte: Opensignal

1.21.3 – Distribuição de Canais

Os canais do sistema LTE são distribuídos em três modelos: físico, transporte e lógico, conforme mostra a figura 1.87 a seguir:

Figura 1.87 – Canais do LTE

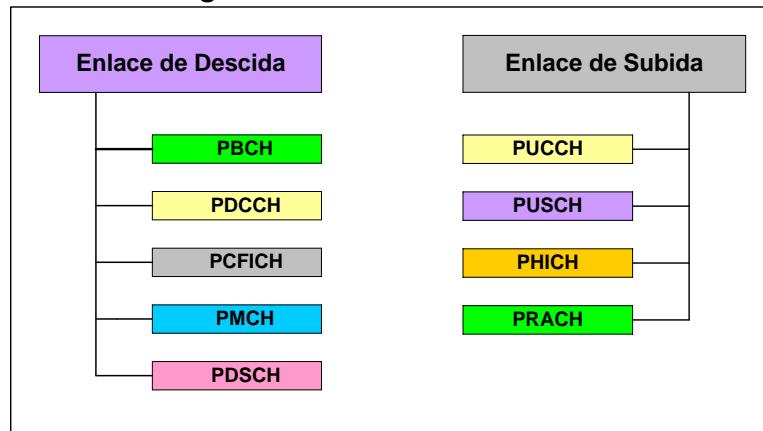


O sistema 4G usou o conceito de rede baseada em IP, em substituição às redes convencionais de comutação por circuito por pacote. Esta tecnologia não usa os canais dedicados como nas redes GSM e WCDMA, cuja função é transportar dados de usuário específico. Isto melhora a eficiência da interface aérea, pois a rede pode controlar recursos em tempo real de acordo com a demanda e não há necessidade de se definir níveis fixos de recursos para cada usuário.

Os canais físicos são divididos em dois grupos: **canais físicos** e **sinais físicos**. Os **canais físicos** transportam as informações provenientes das camadas

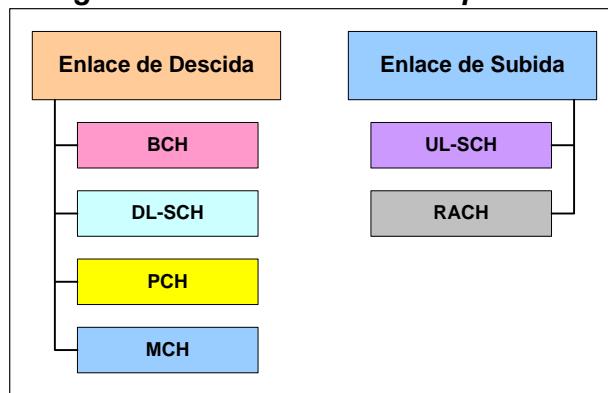
mais altas NAS e os **sinais** físicos são utilizados somente na camada física e não transportam nenhum tipo de informação das camadas superiores. A figura 1.88 a seguir exemplifica a distribuição dos canais físicos, distribuídos no enlace de descida e subida:

Figura 1.88 – Canais Físicos 4G



Os canais de transporte estão distribuídos nos enlaces de descida e subida, que apresentam função semelhante à da terceira geração. A figura 1.89 a seguir exemplifica os canais de transporte:

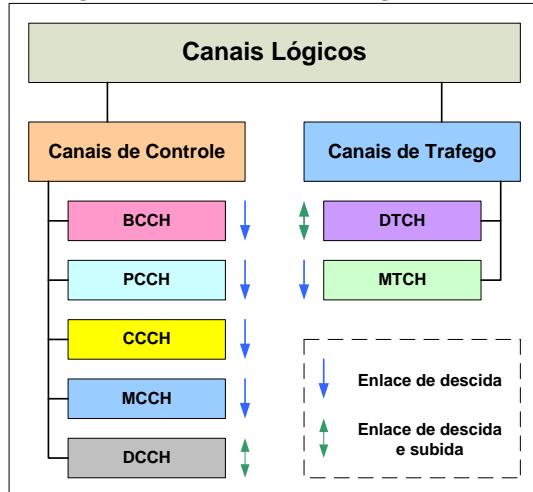
Figura 1.89 – Canais de Transporte 4G



Através da pilha de protocolos do LTE, os canais de transporte são encapsulados pelos canais lógicos, caracterizados por serviços específicos e responsáveis pelas camadas altas do modelo TSP-IP. Cada canal lógico é definido pelo tipo de informação transferida. Geralmente são constituídos em dois grupos: os canais de controle com função operação e supervisão do sistema e os canais de

tráfego que atendem aos serviços de transferência de dados no plano do usuário. A figura 1.90 a seguir exemplifica a distribuição dos canais lógicos:

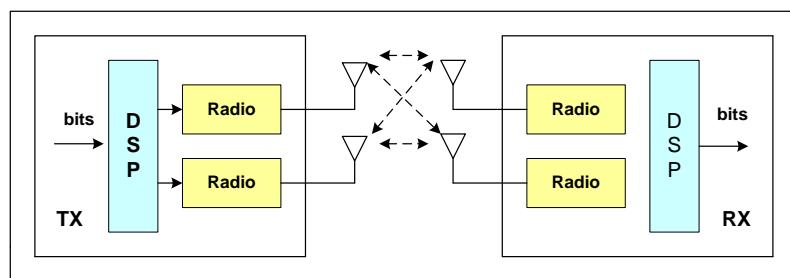
Figura 1.90 – Canais Lógicos 4G



1.21.4 - Sistema de Transmissão

Para o desenvolvimento de sistema irradiante, foi necessário investir em tecnologia de ponta com o propósito de atingir altas taxas de transmissão de dados em sistemas móveis celulares, de que originou o MIMO, um conjunto de antenas na transmissão e recepção, em um sistema irradiante que se utiliza de técnicas de diversidade espacial. Utilizando-se de modulação de alta ordem, com antenas adaptativas e sofisticadas DSP, esta técnica obtém altas taxas de transmissão solicitadas pela regulamentação do LTE. Este conceito foi gradativamente padronizado pelo 3GPP, e atualmente vem se tornando um fator indispensável para novos padrões de sistemas móveis devido à sua eficiência quanto à taxa de transmissão no enlace direto e reverso. A figura 1.91 a seguir exemplifica o modelo espacial do tipo MIMO 2X2:

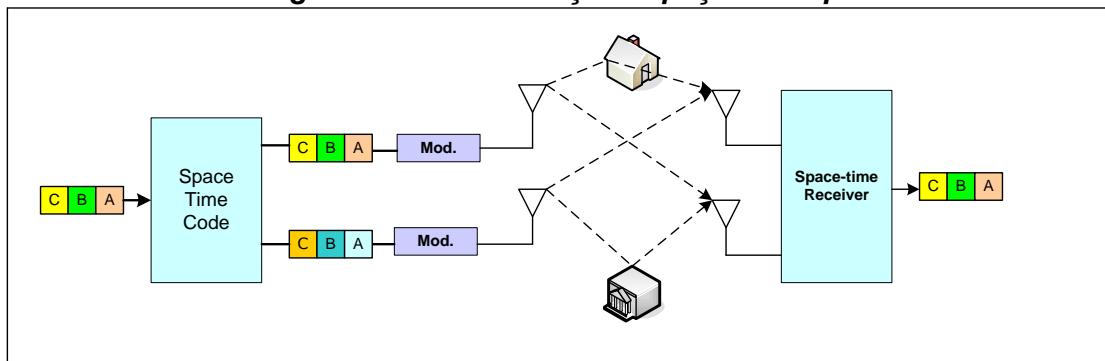
Figura 1.91 – Sistema MIMO 2X2



Fonte 3G Américas

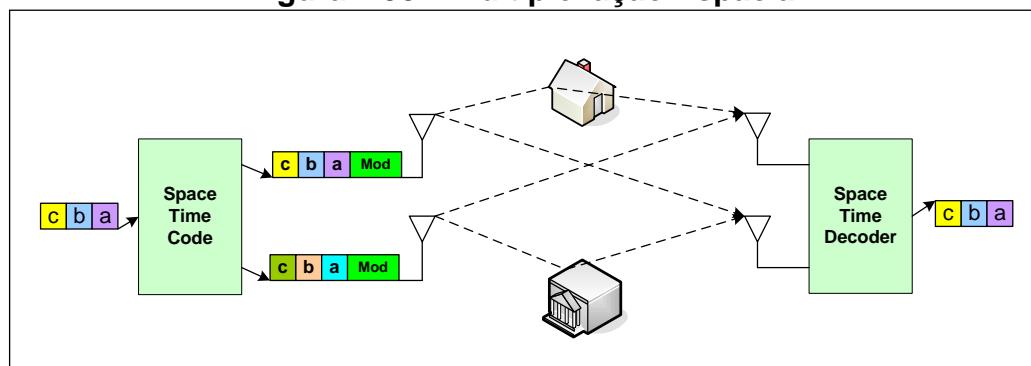
O 3GPP padronizou técnicas de transmissão para o 4G que se vale da tecnologia MIMO, utilizando a codificação espaço-tempo: neste caso o sistema irradiante MIMO fornece ganho de diversidade para superar o desvanecimento plano do sinal causado por multi-percurso. Neste modelo, é feita uma cópia do sinal, codificada de forma diferente e enviada instantaneamente e irradiada por diferentes antenas. O envio da mesma quantidade de informação por diferentes antenas simultaneamente torna mais robusto o sinal recebido. A figura 1.92 a seguir mostra um sistema MIMO utilizando a codificação espaço e tempo:

Figura 1.92 – Codificação Espaço e Tempo



A multiplexação espacial consiste de vários feixes de sinal de radio transmitidos instantaneamente, que chegam ao seu destino. Este recurso é utilizado em sistema de propagação via radio cujos sinais incidem nos obstáculos causando o fenômeno de multipercuso e atraso do sinal. Estes sinais são compensados por algoritmos sofisticados graças à utilização de antenas receptoras que fazem os cálculos baseando-se na reflexão sofrida pelo sinal ao longo do seu percurso. O receptor é equipado com filtros específicos que são capazes de recuperar o sinal original após a chegada do sinal através do tratamento de todos os feixes enviados pelo transceptor. A figura 1.93 a seguir mostra o sistema de multiplexação espacial:

Figura 1.93 – Multiplexação Espacial



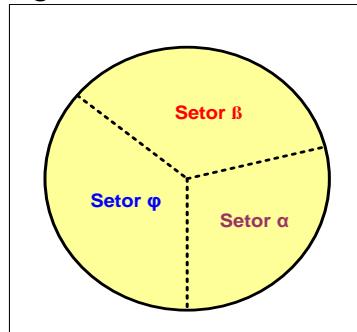
O sistema de propagação MIMO pode ser classificado como *Multi-User MIMO* ou *Single-User MIMO*. A principal diferença entre ambos é que com o *Single-User* um único usuário transmite dados para o receptor enquanto que no caso do *Multi-User* vários usuários transmitem informações para o mesmo receptor simultaneamente. Estes recursos são empregados em sistema de transmissão tanto no enlace de subida quanto para o enlace de descida. O alto custo inviabiliza a utilização do sistema *Single-User* para o uso do enlace de subida devido à sua complexidade e ao aumento do valor para o terminal do usuário.

No item a seguir descreve-se o sistema irradiante composto de antenas do tipo painel utilizado no sistema de telefonia móvel celular, objetivando esclarecer e exemplificar os parâmetros das antenas utilizadas na operação dos cálculos.

1.22 – Composição do Sistema Irradiante

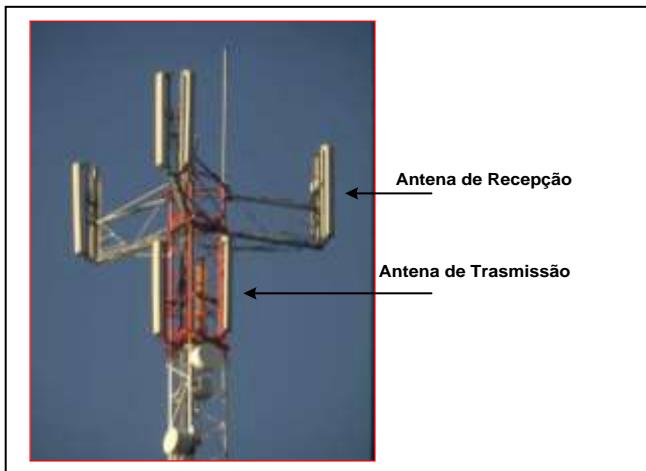
O sistema irradiante empregado em telefonia móvel celular é constituído de antenas do tipo painel e visa a fazer a distribuição dos canais de rádio tais como: tráfego (voz, dados e sinalização) e controle (parâmetros de sistema). É também responsável pela área de cobertura da célula com base no estudo de tráfego telefônico. Uma célula padrão apresenta três setores, sendo que na transmissão é colocada uma antena em cada setor. Na recepção do sistema irradiante, trabalha-se com a diversidade de espaço o que requer a instalação de duas antenas em cada setor. A figura 1.94 abaixo exemplifica uma célula padrão dividida em três partes iguais chamada de setor:

Figura 1.94 - Célula Padrão



As antenas foram instaladas em diferentes posições da torre: as antenas de recepção ficam em cima e as antenas de transmissão ficam logo abaixo. A figura 1.95 abaixo mostra o posicionamento das antenas da torre: [5.5]

Figura 1.95 - Antenas RX e TX



A figura 1.96 mostra a foto de uma antena do tipo painel:

Figura 1.96 – Antena Painel



No próximo item apresenta-se a antena do tipo painel com suas respectivas especificações. A sua importância se deve ao fato de que os cálculos apresentam uma conexão com a internet. Quando for solicitado pelo operador, os cálculos listará as antenas com seus respectivos fornecedores e especificações.

1.22.1 – Antenas Painel

Esta antena opera na faixa de frequência de 800 MHz, (824 – 849 MHz na recepção e 869 – 894 MHz na transmissão) e atende a faixa de frequência no estudo. Foi usada a antena da RFS WORLD, com o código **APXV866513-7**. [5.5]

- A** - Antena.
 - P** - Polarização.
 - X** - Polarização cruzada ± 45 graus.
 - V** - Polarização vertical.

86 - Faixa central de frequência de 860 MHz.

65 - Abertura horizontal de 65 graus.

13 - Ganho da antena de 13 dBi.

7- (inclinação) da antena.

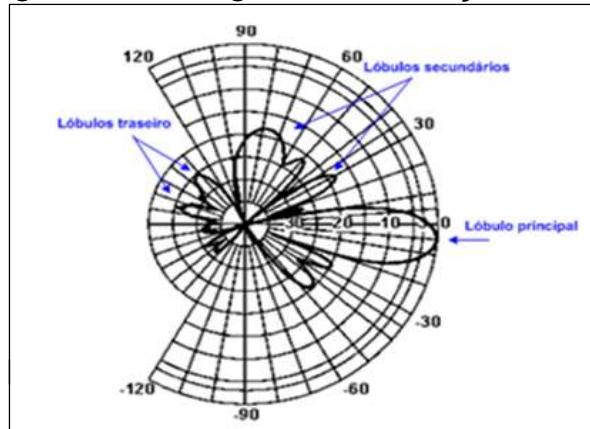
A tabela 1.22 abaixo lista as especificações elétricas e mecânicas da antena relevantes para o estudo, pois serão utilizados nos cálculos os seguintes parâmetros: faixa de frequência, ganho, inclinação, abertura vertical e horizontal, para compor os cálculos e área de cobertura da célula. [5.5]

Tab. 1.22 - Especificações Elétrica e Mecânica APXV866513-7

| Especificações Técnicas - APXV866513-7 | |
|---|----------------------------------|
| Faixa de Frequência, MHz | 824 – 849; 869 - 894 |
| Tipo de Antena | Painel - polarização dupla |
| Ganho da Antena, dBi(dBd) | 14,2 (12,1) |
| Tipo de Conector | 7-16 DIN fêmea |
| Inclinação (Tilt Elétrico), graus | 0 – 10 |
| Abertura Horizontal, graus | 65 |
| Taxa de velocidade de vento, km/h | 160 |
| VSWR | < 1,4:1 |
| Abertura Vertical, graus | 15 |
| Supressão do 1.o Lóbulo Secundário, dB | > 16 |
| Polarização | Polarização dupla $\pm 45^\circ$ |
| Relação de Frente Costa, dB | > 25 |
| Potência Máxima de Entrada, W | 500 |
| Isolação entre as Portas, dB | > 30 |
| Dimensões – H x W x D, mm | 1350 x 330 x 130 |
| Peso, kg | 12 |
| Material do Elemento de Radiação | Latão |
| Material do Radome | Fibra de vidro |
| Material Refletor | Alumínio |
| Área de carregamento máximo de vento, m^2 | 0,45 |
| Velocidade de vento de sobrevivência, km/h | 200 |

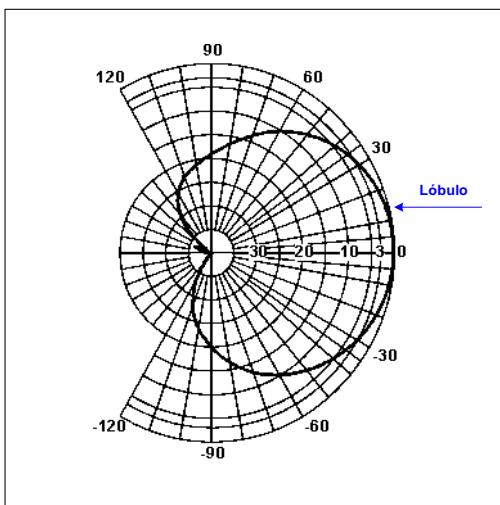
A figura 1.97 abaixo exibe o diagrama de irradiação da antena APXV866513-7 com polarização vertical e lóbulo principal, secundários e traseiros e o ângulo de abertura vertical de 15 graus. O lóbulo principal tem grande importância no estudo em pauta tendo em vista que a maior quantidade de energia está concentrada nele. [5.5]

Figura 1.97 – Diagrama de Irradiação Vertical



Já a figura 1.98 ilustra o diagrama de irradiação da antena APXV866513-7 com a polarização horizontal e abertura de 65 graus: [5.5]

Figura 1.98 – Diagrama de Irradiação Vertical



1.23 – Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo, foram apresentados os fundamentos técnicos detalhadamente do sistema CDMA, com enfoque nos conceitos de espalhamento e desespalhamento espectral e na sua importância no processo de transmissão e recepção de informações. Foram apresentados também os canais do enlace direto e reverso que caracterizam os diversos tipos em função das necessidades das informações a serem transmitidas. Detalhou-se o controle de potência tanto do enlace direto quanto indireto e sua importância para otimizar a capacidade do sistema e foram apresentadas as taxas de transmissão empregadas nos canais de rádio que permitem aumentar ou diminuir a capacidade de sistema dependendo do tipo de *vocoder* utilizado.

Tendo em vista que a abordagem das técnicas de modulação e demodulação empregada para transmissão de sinais de informação é indispensável para a taxa de transmissão de sinais transmitidos no sistema, procurou-se dar destaque a importância do sistema irradiante na área de cobertura da célula. Estes conhecimentos mencionados são imprescindíveis para o entendimento do capítulo a seguir em que se apresentam o equacionamento e as operações dos cálculos para a geração e fornecimento de resultados baseando-nos nas diretrizes da ICNIRP.

CAPÍTULO II

CÁLCULOS CDMA - 1

Introdução

Com o crescimento acelerado e desordenado de estações rádio base mundialmente, espera-se das operadoras de telecomunicações rapidez na implantação de “Sites”, para dar vazão às novas demandas dos usuários que se acostumaram a estar conectado a todo o tempo e para quem, de certo modo, o número de celulares passou a ser um novo registro de identificação nacional.

Como referido na introdução deste trabalho, o crescimento desenfreado de ERBs instaladas no território nacional é uma das motivações deste trabalho que se propõe a construir uma metodologia científica para analisar os níveis permissíveis de campo eletromagnético e densidade de potência gerados por ERBs. Tendo em vista a inacessibilidade dos modelos de predição desses valores aos pesquisadores na área de telecomunicações optou-se pela escolha do desenvolvimento dos cálculos.

Nesse capítulo adotou-se os cálculos do CDMA-1 criado por Kiszka Jr. (2010), com a finalidade de gerar cálculos, gráficos e área de cobertura da célula para a medição dos valores de rádio cuja propagação é emitida pela telefonia móvel.

Procurou-se descrever, passo a passo, todas as etapas necessárias para a operação dos cálculos 1, de modo a facilitar a compreensão da metodologia adotada e dos caminhos que o usuário deve trilhar para obter os resultados da medição dos valores de rádio propagação.

2.1 - Equacionamento do Sistema de Propagação de RF

Para os cálculos desenvolvidos no equacionamento dos cálculos foi utilizada a Resolução 303 da ANATEL que, por sua vez, adotou o equacionamento e valores permissíveis nas diretrizes da ICNIRP. Esta resolução estabeleceu limites permissíveis para exposição de campos elétrico, magnético e eletromagnético, compreendidos na faixa de rádio frequências entre 9 kHz e 300 GHz associadas a operações de estações radiobase de serviços de telecomunicações, bem como definiu métodos de avaliação e procedimentos a serem observados no licenciamento de ERB. [5.7]

Para o cálculo de distância mínima da antena, procurou-se atender os limites de exposição a campos de RF, conforme as diretrizes da ICNIRP. Os cálculos foram

aproximados. Adotando um modelo teórico para propagação no espaço livre e partiu-se das seguintes condições:

- i. o ponto de interesse está suficientemente longe da antena de modo a não existir componente radial do campo elétrico;
- ii. a inexistência, no entorno da BTS, de possíveis pontos de reflexão, ou mudança de polarização do sinal;
- iii. o campo elétrico polarizado linearmente, sendo sua componente tangencial (E_0) uma função linear inversa da distância da fonte emissora.
- iv. uma antena transmissora isotrópica situada no espaço livre, a densidade de potência do campo em um ponto situado a uma distância “d” da antena na região de campo distante da antena.

2.2.1- Potência Efetiva Radiada (ERPN) em dBm

O comprimento de onda (λ) foi definido como sendo a distância na direção de propagação, entre dois pontos sucessivos de uma onda periódica cujas oscilações apresentam a mesma fase. [5.7]

$$\lambda = \frac{c}{f} \dots \text{Comprimento de onda (m)} \quad (3.1)$$

c.....Velocidade da luz (km/s)

f.....Frequência (MHz)

A ERP é obtida pela potência entregue a uma antena, multiplicada pelo seu ganho em relação a um dipolo de meio comprimento de onda, em uma determinada direção. Para o estudo do ERP opera-se com “dBm” e “W”.

Neste item trabalha-se com a ERP com “dBm”: o resultado da expressão é a soma do número de canais de rádio a serem transmitidos através do setor da célula, os quais podem ser caracterizados como canais de tráfego (voz, dados) ou controle (parâmetros de sistema). Adicionando a potência dos canais de rádio provenientes da ERB, tem-se como somatória o ganho da antena. [2.5]

$$\mathbf{ERP_N = 10 \cdot log.N + P_t + G \quad (dBm)} \quad (3.2)$$

ERP_N.....Potência efetiva radiada dos canais de rádio (dBm)

N.....Número de canais de rádio de um setor.

P_t.....Potência transmitida através dos canais de rádio da ERB (dBm)

G.....Ganho da antena (dBd)

2.2.2 – Potência Radiada Efetiva (ERP_N) em (w)

$$\text{ERP}_N = 10 \cdot \frac{\text{ERP}_N}{10} \cdot 10^{-3} \quad (\text{W}) \quad (3.3)$$

ERP_N.....Potência efetiva radiada dos canais de RF (dBm)

2.2.3 - Densidade de Potência no Setor (S_s) em (dBm)

$$S_s = \text{ERP}_N + 10 \cdot \log .2,56 - C - \text{Aten.dir} - 10 \log .4\pi - 20 \log d \quad (\text{dBm}) \quad (3.4)$$

ERP_N..... Potência efetiva radiada dos canais de rádio (dBm)

2,56Valor do fator de reflexão, que leva em conta a possibilidade de que campos refletidos possam se adicionar em fase ao campo incidente direto (dB)

C.....Perdas no cabo de RF, considerando-se as perdas existentes no comprimento do cabo entre a saída do rádio e entrada da antena [2.5]

Aten.dirAtenuação de afastamento do lóbulo principal da antena em relação ao azimute (dB)

20 log d Atenuação da distância entre antena e o ponto a ser medido (m)

Convém lembrar que, devido ao afastamento do lóbulo principal, a atenuação é extraída do diagrama de irradiação da antena.

2.2.4 - Densidade de Potência no Setor (S_s) (w/m²)

A densidade de potência em radiopropagação é definida como a potência expressa por metro quadrado que atravessa uma unidade de área normal em direção da propagação. [1.22]

Tem-se uma onda plana quando a onda eletromagnética cujos vetores de campo elétrico e magnético localizam-se num plano perpendicular à direção de propagação da onda e à intensidade de campo magnético (multiplicada pela impedância do espaço) são iguais à intensidade de campo elétrico. [1.22]

O campo distante deve ser entendido como região do espaço onde os campos elétricos e magnéticos possuem características aproximadamente de onda plana e as componentes de campo elétrico e magnético são perpendiculares entre si e transversais à direção de propagação. O campo distante é maior que o comprimento de onda do sinal emitido, para os casos onde o comprimento máximo

total da antena transmissora for maior que o comprimento máximo total da antena transmissora. [1.22]

$$d = \frac{2 \cdot L^2}{\lambda} \quad (m) \quad (3.5)$$

d.....Distância (m)

L.....Dimensão máxima total da antena transmissora (m)

λComprimento de onda (m)

A densidade de potência da onda plana equivalente (S_{eq}) deve ser entendida como a densidade de potência de uma onda plana que possua um determinado valor de intensidade de campo elétrico ou campo magnético e se exprime em Watts por metro quadrado [5.7].

$$Seq = \frac{E^2}{377} = H^2 \cdot 377 \quad (W/m^2) \quad (3.6)$$

E.....Intensidade do campo elétrico, em (V/m)

H.....Intensidade de campo magnético, em (A/m)

377.....Valor da impedância do espaço livre em (Ω)

No estudo em pauta usa-se ERPi (Potência equivalente isotropicamente radiada), entendida como a potência entregue a uma antena através de um canal de rádio, multiplicada pelo ganho da antena em relação a uma antena isotrópica, numa determinada região [5.7].

$$S = \frac{Pt}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \quad (W/m^2) \quad (3.7)$$

$4 \cdot \pi \cdot d^2$Área da esfera com raio “d”

$$S = \frac{Pt \cdot Gt}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \cdot 2.56 \quad (W/m^2) \quad (3.8)$$

$$\text{ERPi} = P_t \cdot G_t \quad (W) \quad (3.9)$$

ERPi.....Potência efetiva radiada isotrópica. (W)

$$S = \frac{\text{ERPI}}{4 \cdot \pi \cdot d^2} \cdot 2,56 \quad W/m^2 \quad (3.10)$$

$$S_s = 10^{ss/10} \cdot 10^{-3} \quad (W/m^2) \quad (3.11)$$

2.2.5 - Distância Mínima “r” da ERB (m)

Por distância mínima, entende-se a distância entre a ERB e o ponto a ser medido [5.7].

$$r = 8,16 \cdot \sqrt{ERPn(w) : f} \quad (\text{m}) \quad (3.12)$$

ERP_N Potência efetiva radiada com “n” canais de rádio (W)
f Frequência da portadora de RF no sistema CDMA (MHz)

2.2.6 - Campo Elétrico no Setor (Es) (V/m) [5.7]

$$E_s = \sqrt{377 \cdot S_s} \quad (\text{V/m}) \quad (3.13)$$

377 Impedância intrínseca no vácuo (Ω)
S_s Densidade de potência no setor (W/m^2)

2.2.7 - Valores Permissíveis pela ICNIRP: 869 a 894 MHz [5.7]

2.2.7.1 - Campo Elétrico EEMP (exposição máxima permitida) (v/m)

$$E_{EEMP} = 1,37 \cdot \sqrt{f} \quad (\text{V/m}) \quad (3.14)$$

2.2.7.2 - Densidade de Potência SEMP (exposição máxima permitida) (mW/cm^2)

$$S_{EEMP} = f / 2000 \quad (mW/cm^2) \quad (3.15)$$

2.2.7.3 - Densidade de Potência SEMP (exposição máxima permitida) (W/m^2)

$$S_{EEMP} = f / 200 \quad (W/m^2) \quad (3.16)$$

2.2.7.4 - Campo Magnético H (A/m)

$$H = 0,0037 \cdot \sqrt{f} \quad (\text{A/m}) \quad (3.17)$$

2.2.7.5 – Densidade de Fluxo Magnético B (μT)

Densidade de fluxo magnético é a amplitude da grandeza vetorial que representa a força exercida sobre um condutor retilíneo normal na direção do vetor percorrido por uma corrente invariável. [5.7]

$$\mathbf{B} = \sqrt{0,0046 \cdot f} \quad (\mu\text{T}) \quad (3.18)$$

O item a seguir será dedicado às ferramentas utilizadas nos cálculos bem como às maneiras de operacionalizá-lo.

2.3 – Operação dos Cálculos de Torre

2.3.1- Ferramentas Utilizadas nos Cálculos

Foram utilizados dois aplicativos no desenvolvimento dos cálculos. No desenvolvimento do equacionamento utilizou-se a ferramenta “Delphi” e nas animações gráficas, os recursos do “Flash”.

Como não há a necessidade do protótipo ser multiplataforma (ex. rodar tanto em Windows quanto em Linux), optou-se por desenvolvê-lo para uma plataforma mais comum, o Windows.

As principais soluções disponíveis para o desenvolvimento de aplicações para Windows são: Delphi, Visual Basic, Java, .NET. O Visual Basic já foi a ferramenta de desenvolvimento mais utilizada no mercado, porém foi descontinuada pela Microsoft. É ainda usada pela .NET.

O Java e a .NET são linguagens que necessitam de uma máquina virtual para poderem ser executadas. Isso significa que um software desenvolvido em Java ou .NET não roda diretamente no Windows, sendo necessário instalar um *framework* antes, para fazer a ponte necessária. Uma das ferramentas disponíveis no mercado que gera aplicações diretamente para Win32 é o Delphi.

Uma vantagem no emprego do Delphi é que ele é uma ferramenta RAD (*Rapid Application Development*), que possibilita um rápido desenvolvimento visual de aplicações. Isso é importante principalmente no desenvolvimento de protótipos criados para testar hipóteses e obter um rápido *feedback* para possíveis melhorias.

A opção pelo Delphi é proveitosa também pela disponibilidade de uso de um grande número de componentes, *free* e pagos, os quais possibilitam expandir as funcionalidades da própria ferramenta. Um desses componentes permite executar animações “Flash” dentro do *software*, principal ferramenta do mercado para

desenvolvimento de animações vetoriais, além de jogos e aplicações Web. Por isso, optou-se por desenvolver a animação do software em Flash, e rodá-lo dentro dos cálculos utilizando o componente já disponível no Delphi.

Para os cálculos desenvolvido, utilizou-se o Delphi 2007, da *Code Gear* (uma sub-empresa da Borland), rodando apenas na plataforma Windows. Não foi empregado nenhum banco de dados na obtenção de especificações de cabos e antenas. Todas as informações estão contidas em arquivos HTML carregadas pelo software. Nas animações gráficas foi utilizada a ferramenta Flash CS3 da Adobe. Por isso, para as animações serem executadas, é necessário instalar o Flash Player, cujo software é *free*.

Foram utilizados ainda dois componentes que não vêm instalados com o Delphi: um é o “Edit” (campo que pode receber entrada) com setas para baixo e para cima. Este componente faz parte do Projeto JEDI, um conjunto de componentes *free* que pode ser obtido no site. O outro componente é responsável por abrir animações Flash no Delphi. Ele não vem instalado por padrão, mas pode ser instalado pelo próprio Delphi.

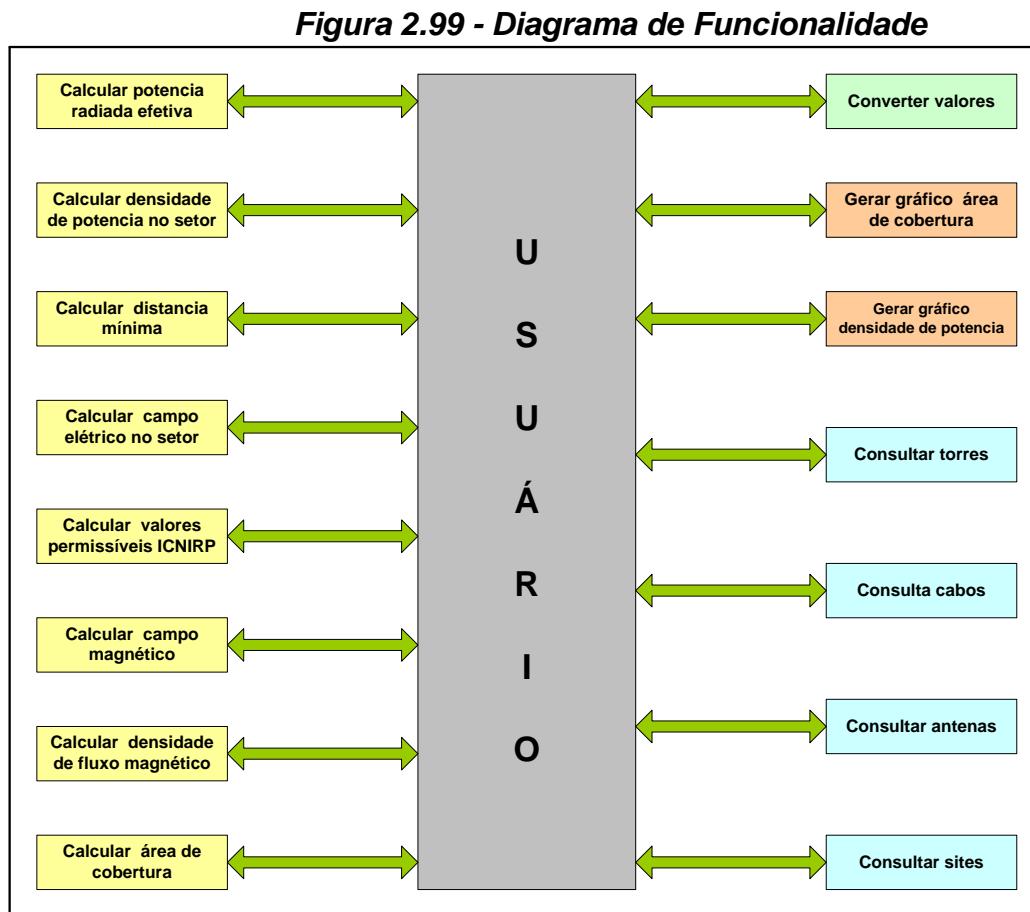
<http://www.delphi-jedi.org/>

No próximo item, apresentam-se os recursos do cálculos 1.

2.3.2 – Funções Realizadas através do Cálculos 1

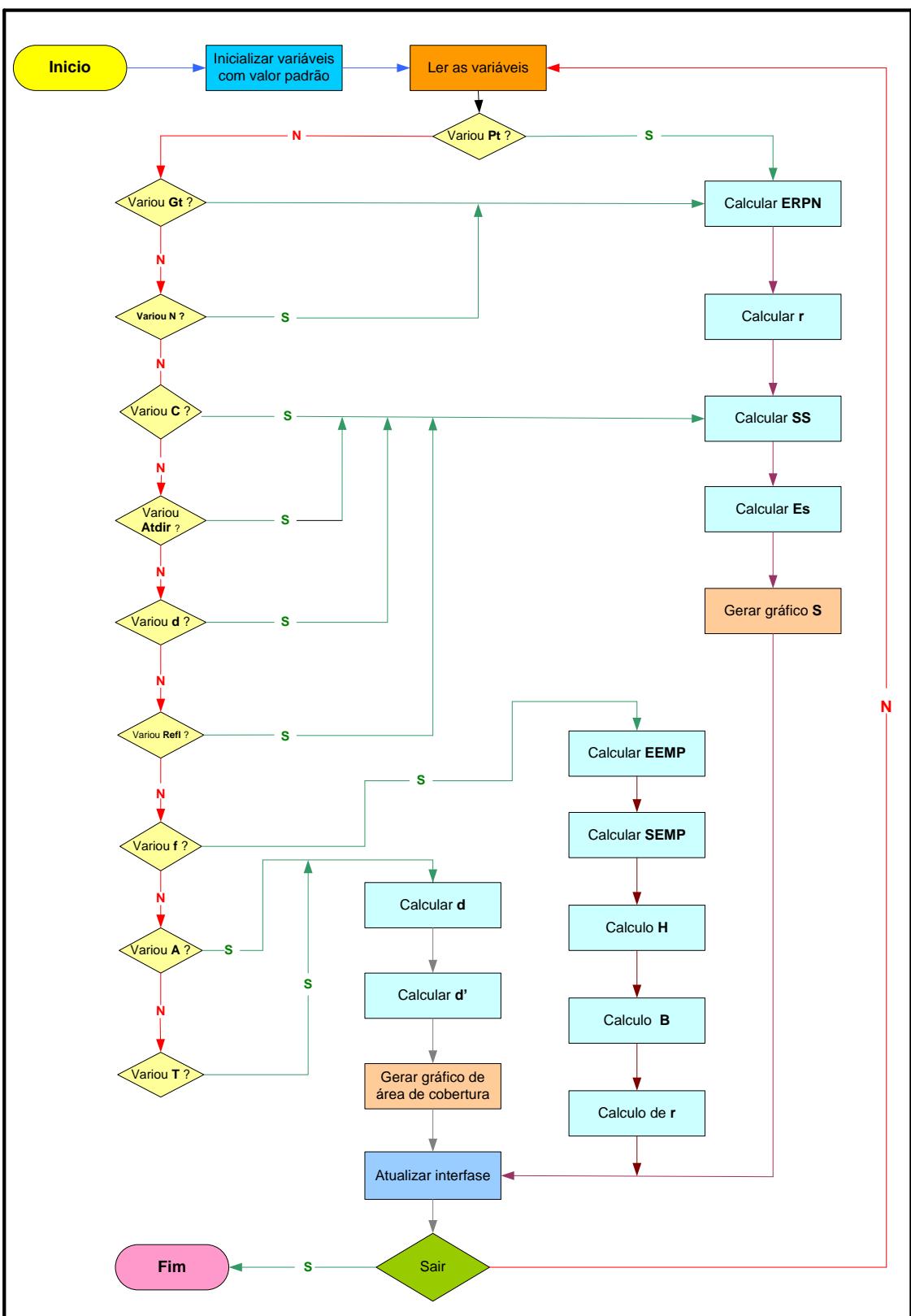
Os cálculos permite ao usuário realizar diferentes tipos de cálculos como: potência irradiada efetiva, densidade de potência no setor, distância mínima, campo elétrico no setor, valores permissíveis de densidade de potência e campo elétrico recomendados pela ICNIRP, campo magnético, densidade de fluxo magnético. Permite realizar conversões de sinais lineares (Watt e Volt) em valores exponenciais (dB). Além do mais, permite fazer o levantamento de especificações de cabos antenas e sites, construir gráficos de densidade de potência em uma célula e área de cobertura em um setor, buscar sites de estações rádio base e, ainda caracterizar os tipos de torres.

A figura 2.99 abaixo lista ao usuário os recursos que os cálculos pode proporcionar através do seu diagrama de funcionalidade:



A figura 2.100, por meio de um fluxograma, apresenta a operação e os recursos disponíveis dos cálculos:

Figura 2.100 – Fluxograma dos Cálculos

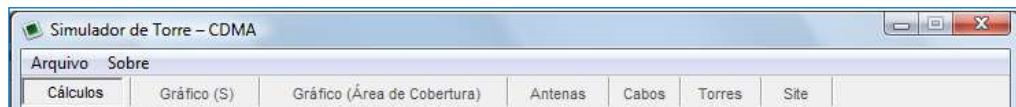


No item 2.4, apresenta-se os cálculos, mostrando todos os recursos disponíveis através de telas gráficas com seus respectivos campos.

2.4 – Descrição dos Cálculos de torre CDMA

Os cálculos de torre CDMA é constituído de um “Arquivo” onde são disponibilizados os seguintes campos: cálculos, gráfico “S”, gráfico de (Área de Cobertura), Antenas, Cabos, Torres e Site. A figura 2.101 abaixo ilustra os campos do cálculos.

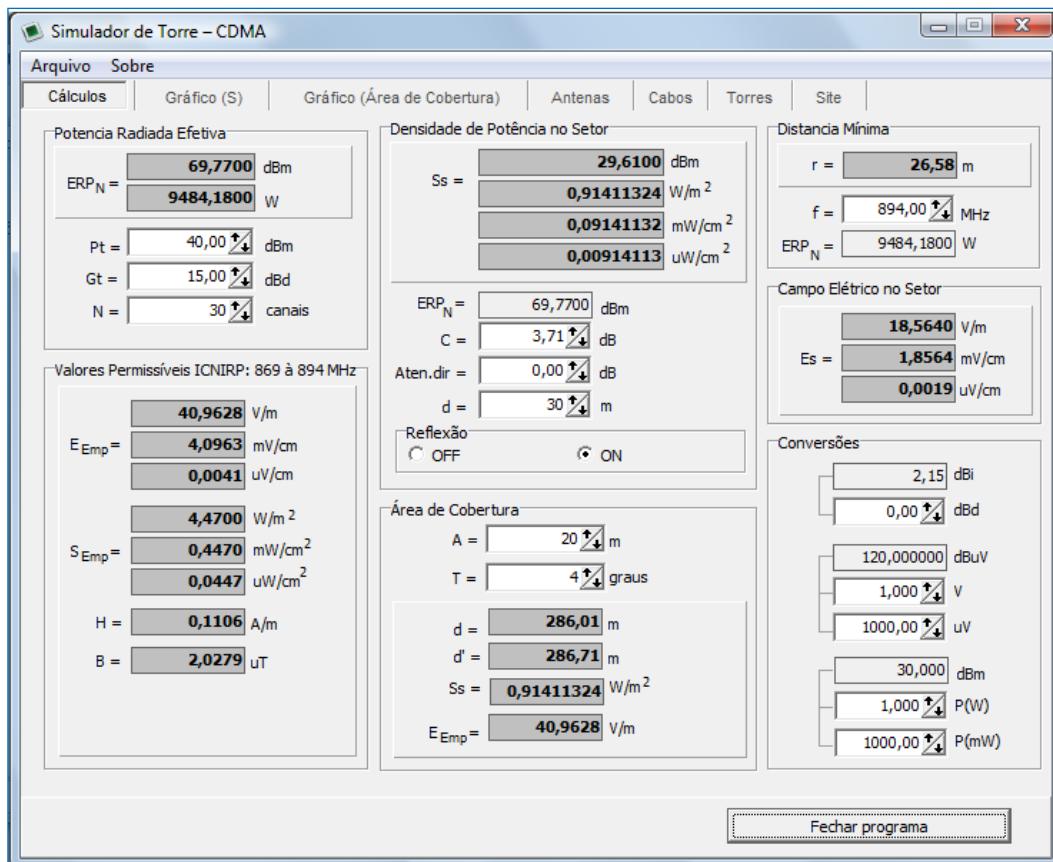
Figura 2.101 – Campos de Cálculos



2.4.1 – Campo de Cálculos

O campo “Cálculos” é constituído de seis grandezas: Potência Radiada Efetiva, Valores Permissíveis pela ICNIRP, Densidade de Potência no Setor, Distância Mínima, Campo Elétrico no Setor, Área de Cobertura, Conversões. A figura 2.102 mostra a tela com as funções do campo de “Cálculo”:

Figura 2.102 - Campo de Cálculos



2.4.2 – Campo de Potência Radiada Efetiva (ERP_N)

No campo de potência radiada efetiva, podem-se obter os resultados nas unidades: “dBm” ou em “W”. As variáveis de entrada para se alcançar os resultados da ERP_N são: potência do canal do rádio (Pt) dado em “dBm”; ganho da antena (Gt) dado em “dBd”; quantidade de canais de rádio (N). Quando se inserem as variáveis (Pt; Gt; N), o valor de “ERP_N” é automaticamente recalculado. O “Pt” apresenta um ajuste de potência compreendida de 40 a 45 (dBm); o “Gt” apresenta uma faixa de ajuste de ganho: de 5 a 25 (dBd) e “N” apresenta uma faixa de ajuste de canais de rádio entre 1 e 200 canais.

A figura 2.103 abaixo mostra o campo “ERP_N” com suas respectivas variáveis de entrada “Pt”, “Gt”, “N”:

Figura 2.103 - Potência Radiada Efetiva

The screenshot shows a software window titled "Potência Radiada Efetiva". It displays two main sections: calculated results and input parameters. The results section shows $ERP_N = 63,4100 \text{ dBm}$ and $2192,8000 \text{ W}$. The input parameters section contains three fields with up/down arrows for adjustment: $Pt = 40,00 \text{ dBm}$, $Gt = 13,00 \text{ dBd}$, and $N = 11 \text{ canais}$.

No item 2.4.3, será explicado através do campo “Valores Permissíveis ICNIRP” valores de Campo Elétrico, Densidade de Potência, Campo Magnético e Densidade de Fluxo Magnético.

2.4.3 – Campo “Valores Permissíveis ICNIRP”

Através deste campo apresentam-se as seguintes grandezas: Campo Elétrico com exposição máxima permissível (E_{EMP}) com unidades em V/m, mV/cm, μ V/cm; Densidade de Potência com exposição máxima permissível (S_{EMP}) com unidades em w/m^2 , mV/cm^2 , μ V/cm²; Campo Magnético (H) dado em A/m; Densidade de Fluxo Magnético (B) dado em μ T.

Quando varia a frequência (f) do campo da “Distância Mínima” os valores de E_{EMP} , S_{EMP} , H e B são recalculados automaticamente. Os valores de frequência, compreendidos no estudo em pauta, estão entre 869 e 894 MHz, seguindo as normas da Resolução N° 303 da ANATEL que adotou as Diretrizes da ICNIRP para

a limitação de exposição de campos elétricos, magnéticos e eletromagnético na faixa de radiofrequência que vai de 9 kHz a 300 GHz.

A figura 2.104 a seguir mostra o campo “Valores Permissíveis ICNIRP”

Figura 2.104 - Valores Permissíveis

| Valores Permissíveis ICNIRP: 869 à 894 MHz | |
|--|----------------------------------|
| $E_{Emp} =$ | 40,9628 V/m |
| | 4,0963 mV/cm |
| | 0,0041 uV/cm |
| $S_{Emp} =$ | 4,4700 W/m ² |
| | 0,4470 mW/cm ² |
| | 0,0447 uW/cm ² |
| $H =$ | 0,1106 A/m |
| $B =$ | 2,0279 uT |

2.4.4 – Campo de Densidade de Potência no Setor (Ss)

Densidade de potência em radiopropagação é a potência que atravessa uma área unitária normal na direção de propagação, expressa em watts por metro quadrado w/m^2 .

Através do campo de “Densidade de Potência no Setor”, obtém-se os resultados nas unidades: “dBm” w/m^2 , mV/cm^2 , $\mu V/cm^2$. Tem-se também neste campo o cálculo do “ERPN” expresso em “dBm”. As variáveis da “Densidade de Potência no Setor” são constituídas pelos seguintes parâmetros:

1. “Atenuação” de sinal de RF no cabo (C) em função do seu comprimento físico, dado em “dB”, com o qual pode-se ajustar as perdas entre 0 e 30 (dB).
2. “Atenuação de Direção” (Aten. Dir.) dada em “dB”: é o afastamento do ângulo horizontal (azimute) do lóbulo principal da antena, com o qual se ajustam as perdas entre 0 e 30 (dB).
3. “Distância da Antena” (d): a distância da antena do ponto a ser medido é dada em “m” e pode ser ajustada de 0 a 200 (m). O valor de “Reflexão do Sinal” de RF apresenta como consequência um aumento na densidade de potência no setor de 4,08 dB em função das reflexões (solo, água, ou edificação) ocasionadas por multipercuso do sinal de RF.

Quando é inserida qualquer uma das variáveis (C; Aten.dir; d; Reflexão) o valor de S_s e o de ERP_m são automaticamente recalculados. A figura 2.105 ilustra o campo de “Densidade de Potência no Setor”.

Figura 2.105 - Densidade de Potência no Setor

| Densidade de Potência no Setor | |
|--------------------------------|--|
| $S_s =$ | 23,2500 dBm 0,21134890 W/m ² 0,02113489 mW/cm ² 0,00211349 uW/cm ² |
| $ERP_N =$ | 63,4100 dBm |
| $C =$ | 3,71 dB |
| $Aten.dir =$ | 0,00 dB |
| $d =$ | 30 m |
| Reflexão | <input type="radio"/> OFF <input checked="" type="radio"/> ON |

No item 2.4.5, será feito um detalhamento a respeito da “Área de Cobertura” e sua importância na iluminação (área de cobertura) da célula.

2.4.5 – Campo de Área de Cobertura

A área de cobertura é definida como região onde o sinal de RF está espalhado em todos os setores da célula. Uma área de cobertura ineficiente ocasiona a queda do sinal de RF e traz como consequência a interrupção da comunicação. Obtém-se a “Área de Cobertura” através da potência do canal de rádio, altura da antena, ganho da antena e inclinação da antena em direção ao solo.

No estudo em pauta o campo “Área de Cobertura” é obtido com as variáveis: altura (A) da antena em relação ao solo, dada em “m” com uma altura ajustável de 0 a 60 (m) e com ângulo de inclinação da antena (T) em relação ao solo, expressa em graus, com uma faixa de ajuste de 1 a 16 (graus).

A operação no campo de “Área de Cobertura” é realizada em dois passos. Primeiramente alteraram-se os valores de “A” e “T” para que os valores da (d) distância da torre no ponto a ser medido e a (d') distância da antena no ponto sejam recalculados. As distâncias de ambas são expressas em metros. O segundo passo consiste em entrar no campo “Gráfico (área de cobertura)” onde se acessa o gráfico (área de cobertura) expresso em função dos valores inseridos em “A” e “T”, conforme descrição do primeiro passo.

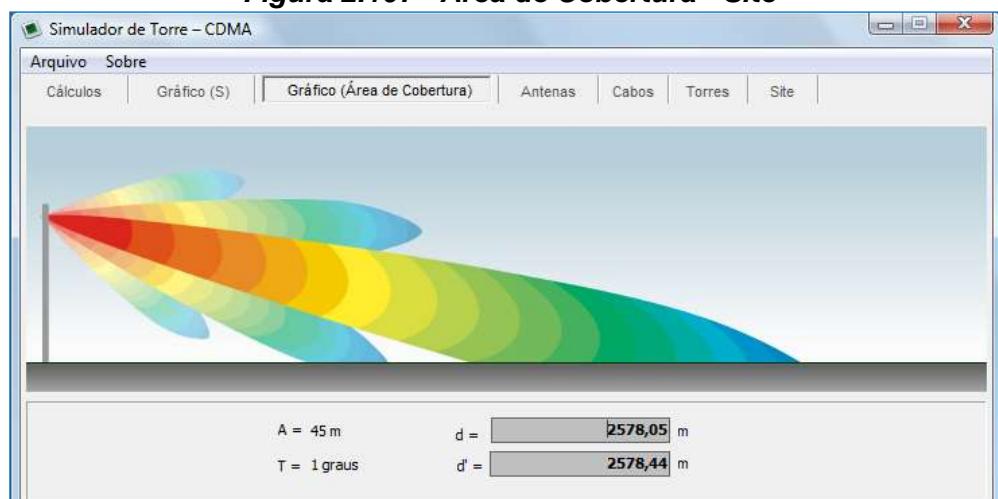
Os valores de “Densidade de Potência no Setor” (S_s) e o “Campo Elétrico efetivo máximo permitido” (E_{EMP}) não são alterados neste campo. A figura 2.106 a seguir exemplifica o campo de Área de Cobertura”:

Figura 2.106 - Área de Cobertura

| Área de Cobertura | |
|--------------------|-----------------------------|
| A = | 20 m |
| T = | 4 graus |
| d = | 286,01 m |
| d' = | 286,71 m |
| S _s = | 0,21134890 W/m ² |
| E _{EMP} = | 40,9628 V/m |

A figura 2.107 abaixo mostra um exemplo de área de cobertura onde foram inseridos os valores da altura de antena “A” com 45 metros e com ângulo de inclinação “T” com 1 grau; a partir dos quais se chega aos lóbulos principais e secundários irradiados pela antena:

Figura 2.107 - Área de Cobertura - Site



O item 2.4.6 trata do campo da “Distância Mínima” para a obtenção dos valores permissíveis da ICNIRP.

2.4.6 – Campo de Distância Mínima (r)

No campo de distância mínima são apresentados os valores para exposição máxima permitida para campo elétrico, densidade de potência, campo magnético e densidade de fluxo magnético. Através do campo da “Distância Mínima” expressa

em metros obtém-se como variável a frequência (f) operando na faixa frequência de 869 a 894 (MHz). Se se altera a frequência no campo de “Distância Mínima” ocorrem alterações em dois campos: “Distância Mínima” e “Valores Permissíveis”.

A figura 2.108 ilustra o campo de distância mínima.

Figura 2.108 - Distância Mínima

| Distância Mínima | |
|--------------------|-------------|
| r = | 12,78 m |
| f = | 894,00 MHz |
| ERP _N = | 2192,8000 W |

2.4.7 – Campo Elétrico no Setor (Es)

Os valores de “Campo Elétrico no Setor” são obtidos através do campo Es. Pode-se alterar o “Es” quando se variam os valores de “Perda no Cabo” cujas atenuações podem ser ajustadas de 0 a 30 (dB). Mudando os valores de “At Dir” pode-se estimar as perdas de 0 a 30 (dB). A “Perda da Distância” (d) entre a antena e o ponto a ser medido permite alterar a distância de 0 a 600 (m). O coeficiente de reflexão, por sua vez, atua através do “Es” como reforço do sinal de RF. Os resultados podem ser obtidos em V/m; mV/cm e μ V/cm.

O valor de “Es” também podem ser alterado através do campo “ERP_N” modificando os valores de “Pt”; “Gt”; “N”. A figura 2.109 mostra um exemplo de cálculo de “Es”.

Figura 2.109 - Campo Elétrico no Setor

| Campo Elétrico no Setor | |
|-------------------------|------------|
| 8,9263 | V/m |
| 0,8926 | mV/cm |
| 0,0009 | μ V/cm |

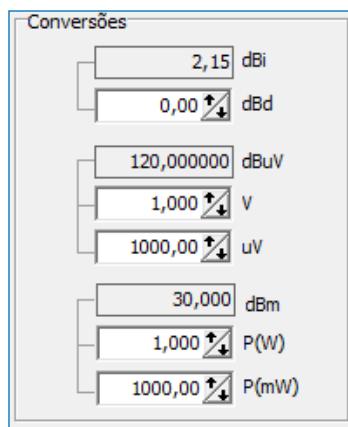
2.4.8 – Campo de Conversões

Através do campo de “Conversões” é possível fazer a transformação de valores utilizados no campo de “Cálculos”, o que facilita a obtenção de resultados, dispensando o uso de fórmulas e calculadoras.

Em antenas, os ganhos podem ser expressos em dBd (decibel dipolo) ou dBi (decibel isotrópico). O campo de conversão permite que se faça a alteração de valores de dBd para dBi.

O campo elétrico “ E_{EMP} ”, situado no campo de “Valores Permissíveis ICNIRP”, pode ter seus valores expressos em V/m, mV/cm e μ V/m. Através do campo de “Conversões” pode-se entrar com os valores em Volts e micro Volts, obtendo-se os resultados em dB μ V. A figura 2.110 mostra o campo de conversões.

Figura 2.110 – Conversões



2.4.9 – Gráfico de Densidade de Potência “S”

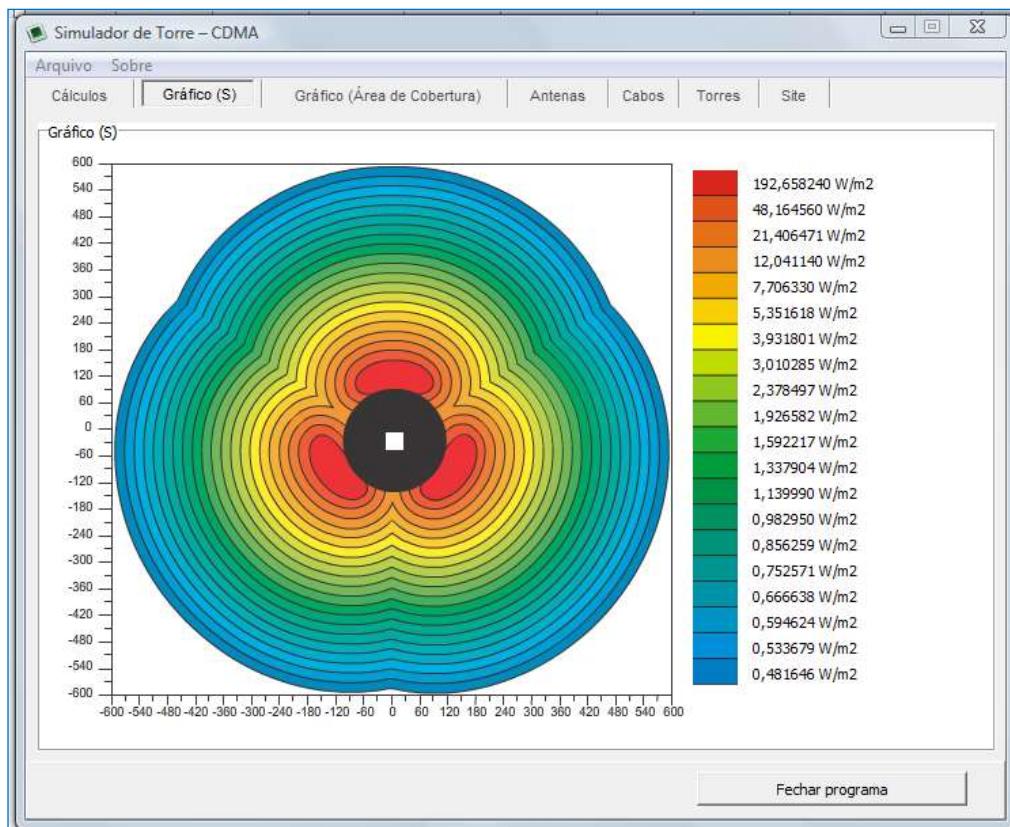
O gráfico da densidade de potência ilustra a distribuição do sinal de RF através dos canais de rádio envolvendo os três setores de uma célula. Toma-se como pressuposto que a distribuição do sinal de RF é uniforme em toda a sua distribuição e apresenta uma área de cobertura livre de zona de sombra.

Este campo mostra a variação (aumento ou diminuição) da densidade de potência “S” quando se alteram as variáveis: Potência do Canal de Rádio (P_t), Ganho da Antena (G_t), Número Canais de Rádio (N), Perdas no Cabo (C), Atenuação Direcional (A_{dir}) e Reflexão do Percurso (R_{refl}).

O gráfico de Densidade de Potência oferece um raio de cobertura de 600 metros a partir do centro da célula. A Densidade de Potência é maior no centro da célula e vai diminuir gradativamente à medida que se distancia do centro. O gráfico mostra que, próximo ao centro da célula, o nível de “S” apresenta um valor de 192,658240 W/m’2 (vermelho) e quando se afasta do centro da célula o nível de “S”, a uma distância de 600 metros o valor de “S” apresenta um valor de 0,481646 w/m² (azul escuro)

A figura 2.111 a seguir exemplifica a variação da densidade de potência em função da distância:

Figura 2.111 - Densidade de Potência “S”

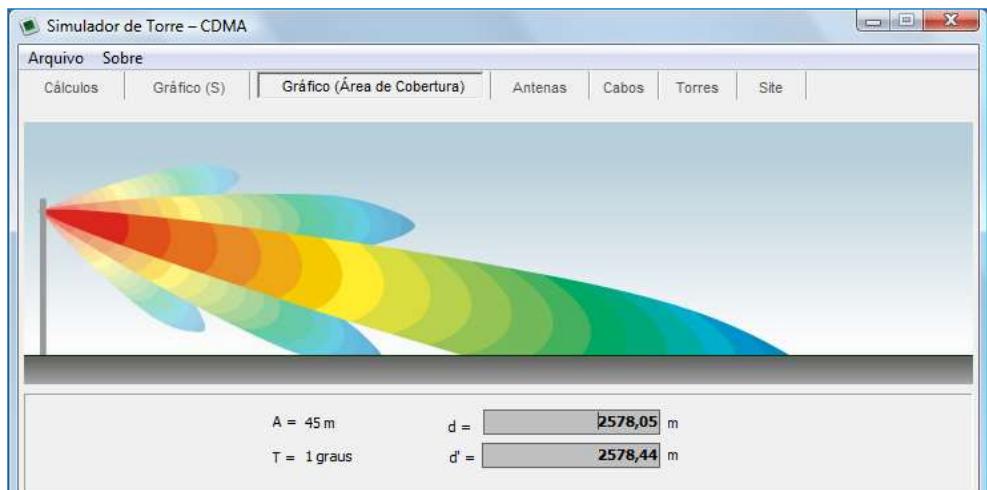


2.4.10 – Gráfico de Área de Cobertura

Por definição, assume-se que como área de cobertura o local geográfico circunscrito por sinais de radiofrequência. A área de cobertura em cada setor de célula pode apresentar um raio diferente em função do estudo do tráfego telefônico. Os parâmetros responsáveis pela área de cobertura são: altura da antena (A) em relação ao solo e ângulo de inclinação da antena (T) em relação ao solo. Pode-se ajustar a altura da antena de 0 a 60 (m) e o ângulo de inclinação de 1 a 16 (graus) através do campo de cálculo de “Área de Cobertura”. Quando se alteram os valores de “A” e “T” tem-se como consequência o redimensionamento do Gráfico de área de cobertura. Observou-se então que quanto menor for o ângulo de inclinação da antena maior será a área de cobertura e vice-versa.

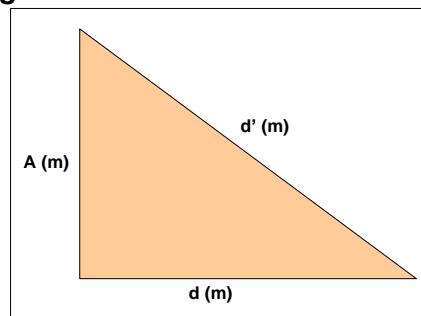
A figura 2.112 exemplifica o “Gráfico de Área de Cobertura” com a altura da antena na torre posicionada a 45 metros do solo e o ângulo de inclinação a 1 grau. Obteve-se como resultado um raio de 2.578,05 metros de abrangência.

Figura 2.112 - Área de Cobertura



A figura 2.113 abaixo exibe a altura de antena (A), distância da torre no ponto a ser medido (d) e distância da antena com inclinação no ponto a ser medido (d').

Figura 2.113 - Distância da Medição



No próximo item descreve-se o resumo dos cálculos e gráficos mencionados nos itens anteriores.

2.5 - Resumo do Campo de Cálculo

Para revisar e reforçar os conhecimentos mencionados nos itens anteriores mencionados, foi construída uma tabela da operação dos cálculos.

A tabela 2.19 apresenta um resumo no menu de Cálculo: Potência Radiada Efetiva, Valores Permissíveis pela ICNIRP, Densidade de Potência no Setor, Distância Mínima, Campo Elétrico no Setor, Área de Cobertura. Menu Gráfico de “S” e Gráfico de Área de Cobertura.

A marca “X” nas células indica que as variáveis do sistema alteram o resultado dos valores calculados. Por exemplo, quando é variado o valor da potência de transmissão do canal de rádio (P_t), tem-se como consequência a alteração dos os valores calculados: Potência Efetiva Irradiada (ERP_N); Densidade de Potência no Setor da Célula (S_s); Distância mínima(r); Campo Elétrico no Setor da Célula (E_s); Valores de Densidade de Potência (S) do Gráfico. A tabela 2.23 mostra as funções dos cálculos.

Tabela 2.22 - Funções dos Cálculos

| Valor Calculado | Variáveis do Sistema | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|----------------|------|------|--------|------|-------|------|------|------|
| | P _t | G _t | N | C | At.dir | d | Refl. | f | A | T |
| ERP _N | X | x | x | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- |
| E _{EMP} | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | X | ---- | ---- |
| S _{EMP} | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | X | ---- | ---- |
| H | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | X | ---- | ---- |
| B | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | X | ---- | ---- |
| S _s | x | x | x | x | x | x | x | ---- | ---- | ---- |
| d | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | X | X |
| d' | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | X | X |
| R | x | x | x | ---- | ---- | ---- | ---- | X | ---- | ---- |
| E _s | x | x | x | x | x | x | x | ---- | ---- | ---- |
| Gráfico (S) | x | x | x | x | x | x | x | ---- | ---- | ---- |
| Área Abertura | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | ---- | X | X |

2.6 – Campo de Antenas

Com o objetivo de aproximar os resultados calculados dos valores reais, foram utilizadas as informações de fabricantes de antenas para a extração das especificações técnicas bem como de suas características construtivas, elétricas e mecânicas. Através do campo de “Cálculo”, foram inseridos dados para obter resultados. Pode se retirar as especificações elétricas de fabricantes para a realização dos os cálculos: faixa de frequência de operação, ganho, inclinação da antena em relação ao solo, diagrama de irradiação vertical e horizontal.

Para o estudo em pauta foram escolhidos os fornecedores de sistema irradiante relevante a nível mundial: RFS World, Andrew e Kathrein. Como fornecedor de antena em nível nacional optou-se pela Brasilsat. Os fornecedores citados podem ser encontrados em qualquer site de sistema de telefonia móvel instalado a nível mundial.

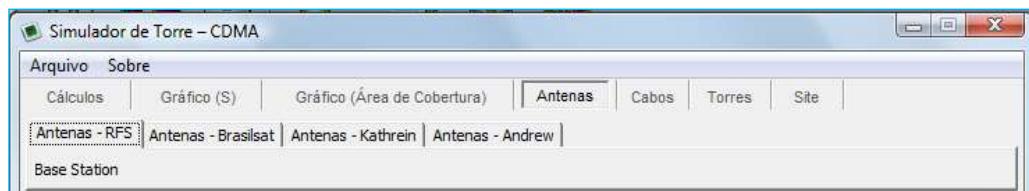
Para importar as especificações técnicas dos fornecedores de produtos, é necessário manter os cálculos conectado à Internet de onde se extrai os dados contidos em arquivos HTML carregados através os cálculos. Com o objetivo de manter as especificações de sistema irradiante atualizadas e seguras, não foi desenvolvido nenhum banco de dados para extrair as especificações. Isso significa que os cálculos requer uma conexão com a internet para o seu funcionamento.

Através do campo de “Antenas” chega-se aos fabricantes: RFS, Brasilsat, Kathrein e Andrew.

2.6.1 – Antenas RFS (Rádio Frequency System)

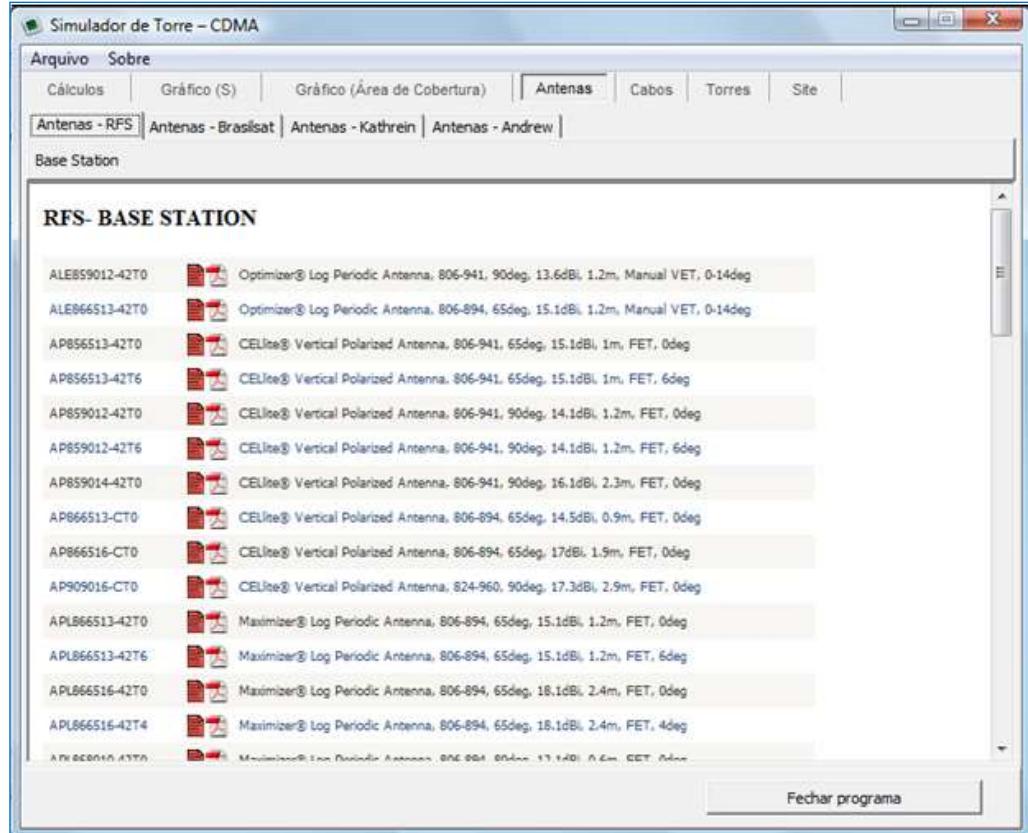
Quando se conecta ao campo com de “Antenas – RFS” aparece um outro campo chamado Base Station. Foram utilizadas as antenas Base Station nas ERBs de telefonia celular. A figura 2.114 abaixo mostra o campo “Antena – RFS” do tipo Base Station:

Figura 2.114 - Tipos de Antenas da RFS



Quando se entra no campo Base Station aparecem três colunas: código da antena (ALE859012-42T0), arquivo em PDF e especificações resumidas: Optimezer; Log Periodic Antenna (faixa larga de frequência de operação); 806-941 (faixa de frequência); 90deg (abertura horizontal); 13,6 dBi (ganho da antena); 1,2m (altura da antena); Manual VET, 0-14 deg (tilt elétrico ajustável). A figura 2.115 ilustra o campo “Base Station”.

Figura 2.115 - Antena da RFS Base Station



Quando se posiciona em “PDF” habilita-se o “Data Sheet” (folha de dados) da antena com as especificações detalhadas: foto, características elétricas e mecânicas, diagrama de irradiação vertical e horizontal. A figura 2.116 abaixo mostra as especificações da antena ALE859012-42T0.

Figura 2.116 - Product Data Sheet - ALE859012-42T0

Technical Data Sheet

ALE859012-42T0

Optimizer® Log Periodic Antenna, 806-941, 90deg, 13.6dBi, 1.2m, Manual VET, 0-14deg

ALE859012 Series

Technical Specifications

Electrical Specifications

| | |
|---------------------------|-----------------|
| Frequency Range, MHz | 806-941 |
| Horizontal Beamwidth, deg | 90 |
| Vertical Beamwidth, deg | 16 |
| Electrical Downtilt, deg | 0-14 |
| Gain, dBi (dBd) | 13.6 (11.5) |
| Front-To-Back Ratio, dB | 40 |
| Polarization | Vertical |
| VSWR | < 1.5:1 |
| Impedance, Ohms | 50 |
| Maximum Power Input, W | 500 |
| Lightning Protection | Direct Ground |
| Connector Type | 7-16 DIN Female |

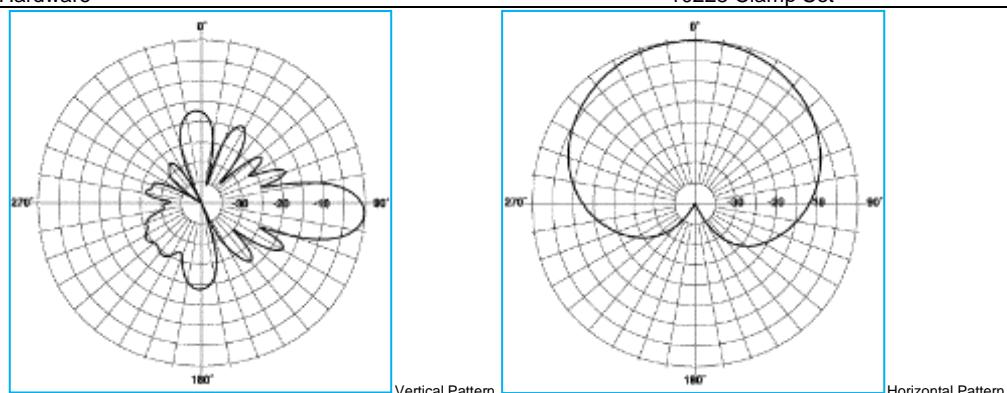
Mechanical Specifications

| | |
|--|---------------------------------------|
| Dimensions - HxWxD, mm (in) | 1227 x 257 x 197 (48.3 x 10.1 x 7.75) |
| Weight w/o Mtg Hardware, kg (lb) | 8 (18) |
| Survival Wind Speed, km/h (mph) | 200 (125) |
| Rated Wind Speed, km/h (mph) | 200 (125) |
| Max Wind Loading Area, m ² (ft ²) | 0.39 (4.2) |
| Maximum Thrust @ Rated Wind, N (lbf) | 1169 (263) |
| Wind Load - Side @ Rated Wind, N (lbf) | 916 (206) |
| Radome Material | UV Resistant ABS |
| Shipping Weight, kg (lb) | 9.1 (20) |
| Packing Dimensions, HxWxD, mm (in) | 1448 x 406 x 305 (57 x 16 x 12) |

Ordering Information

Mounting Hardware

10228 Clamp Set



2.6.2– Antenas da Brasilsat

Conectando-se no campo “Brasilsat Antenas”, habilita-se uma “Lista Geral” de especificações: faixa de frequência (824 – 894 MHz), modelo, diâmetro, polarização, ganho médio (dBi), cruzada dB (polarização usada em sistema irradiantes de ERBs

+/- 45 graus), frente e costa (dB), VSWR (dB), Antenas Omnidirecionais – Terminação DIN 7/16 (tipo de conector que se usa na antena), Antenas Setorizadas tipo Painel.

Por exemplo, posicionando-se no código da antena “SDVD82-607-I” abre-se o Data Sheet da antena com sua foto, características elétricas, ambientais e mecânicas. A figura 2.117 a seguir mostra as características da antena “SDVD82-607- I”.

Figura 2.117 – Data Sheet antena SDV71 – 608 -1

| SDV82-607-I | |
|---|-----------------------------------|
|  | |
| CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS | CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS |
| Frequência de Operação 824-894MHz | Diametro |
| Polarização linear | Área de Exposição ao Vento |
| Ganho (+ 0.2) | ::Frontal 500,00m ² |
| Inicio da Faixa 0,00 dBi | ::Lateral 0,81m ² |
| Méio da Faixa 9,20 dBi | Movimentação |
| Final da Faixa 0,00 dBi | ::Azimute (fino) 160,00 |
| Perde de Meia Potência[Freq. Central] 60 (H) | ::Elevação = |
| Discriminação Polarização Cruzada 23,00 dB | Diametro do tubo de Montagem = mm |
| Relação Frente-Costas | Número de Barras de Azimute = |
| VSWR (Perda de Retorno) 20 | Peso Líquido Kg |
| Potência Máxima de Entrada 1.3 (17,7 dB) W | Embalagem |
| Envoltorias (EDI) | ::Peso Total (típico) 2,00 kg |
| Anatel Resol. N/A | ::Volume m ³ |
| Terminação (flange) do Alimentador | ::Dimensões m |
| CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS | |
| Vento Operacional - Km/h | Material do Refletor |
| Vento de Sobrevelvémia 120,00 Km/h | Material da Estrutura |
| Choques e Vibrações | Acabamento |
| Atmosfera | ::Refletor |
| | ::Estrutura |
| | Precisão de Superfície mm |

2.6.3 – Antenas Kathrein

Posicionando no campo “Antenas – Kathrein”, tem-se acesso a uma lista de antenas que estão na faixa de 806 a 960 (MHz) e às suas especificações, como Model (modelo), Freq (frequência), Gain (ganho), Pol (polarização), HBW (abertura horizontal), Tilt (ângulo de inclinação), Data Sheet (folha de dados). Por exemplo, seguindo o primeiro código chega-se a: Model 739418; Freq 806 – 960; Gain 17; Pol V (vertical); HBW 90; Tilt 0; Data Sheet 739418 PDF. A figura 2.118 abaixo mostra as especificações resumidas das antenas:

Figura 2.118 - Antenas Kathrein 806 – 960 MHz

The screenshot shows a Windows application window titled "Simulador de Torre - CDMA". The menu bar includes "Arquivo", "Sobre", "Cálculos", "Gráfico (S)", "Gráfico (Área de Cobertura)", "Antenas", "Cabos", "Torres", and "Site". Below the menu is a toolbar with buttons for "Antenas - RFS", "Antenas - Brasilsat", "Antenas - Kathrein" (which is highlighted in blue), and "Antenas - Andrew". A sub-menu "806-960" is open under "Antenas". The main content area is titled "KATHREIN_Base Station" and displays two tables of antenna models:

| Model | Freq | Gain | Pol | HBW | Tilt | Data Sheet |
|---------|---------|------|-----|-----|------|----------------------------|
| 739 418 | 806-960 | 17 | V | 90 | 0 | 739418.pdf |
| 739 619 | 806-960 | 9 | X | 65 | 0 | 739619.pdf |
| 739 620 | 806-960 | 12 | X | 65 | 0 | 739620.pdf |
| 739 623 | 806-960 | 17 | X | 65 | 0 | 739623.pdf |
| 739 624 | 806-960 | 18 | X | 65 | 0 | 739624.pdf |
| 739 632 | 806-960 | 15 | X | 65 | 6 | 739632.pdf |
| 739 633 | 806-960 | 15 | X | 65 | 12 | 739633.pdf |
| 739 634 | 806-960 | 17 | X | 65 | 6 | 739634.pdf |
| 739 636 | 806-960 | 18 | X | 65 | 6 | 739636.pdf |

| Model | Freq | Gain | Pol | HBW | Tilt | Data Sheet |
|---------|---------|------|-----|-----|------|----------------------------|
| 739 648 | 806-960 | 13 | X | 90 | 0 | 739648.pdf |
| 739 649 | 806-960 | 15 | X | 90 | 0 | 739649.pdf |
| 739 650 | 806-960 | 16.5 | X | 90 | 0 | 739650.pdf |

[Fechar programa](#)

Posicionando no “Model” 739418. pdf, são mostradas as fotos da antena com o diagrama de irradiação horizontal e vertical, bem como as suas especificações elétricas. A figura 2.119 abaixo ilustra o “Model” 739418. pdf.

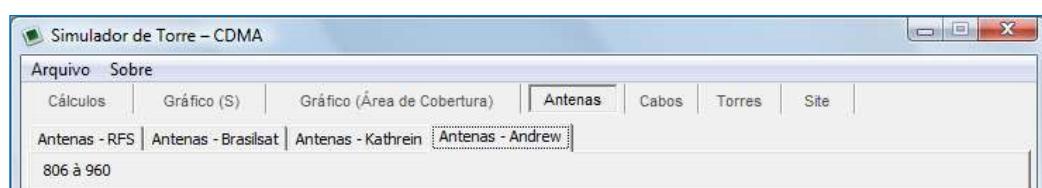
Figura 2.119 – Data Sheet Antena 739 418



2.6.4 – Antenas da Andrew

Quando se posiciona o campo “Andrew - Antenas”, tem-se acesso à lista das antenas utilizadas na faixa de frequência: 806 – 960 MHz. A figura 2.120 abaixo mostra o campo “Antenas – Andrew”.

Figura 2.120 - Antenas Andrew – 806 a 960 MHz



Conectando-se ao campo “806 a 960” acessa-se à lista das características das antenas: Type (tipo), Range MHz (faixa de frequência), Gain dBd/dBi (ganho), HBW (abertura horizontal), Beam Tilt (ângulo de feixe), polarização no menu “Andrew Antenas”, e as especificações como, type, Range MHz, Gain dBd/dBi, HBW, Beam Tilt, Pol. A figura 2.121 a seguir mostra as especificações da antena de forma reduzida:

Figura 2.121 - Antenas Andrew

The screenshot shows a software window titled "Simulador de Torre – CDMA". The menu bar includes "Arquivo" and "Sobre". The main menu bar has tabs: "Cálculos", "Gráfico (S)", "Gráfico (Área de Cobertura)", "Antenas" (which is selected and highlighted in blue), "Cabos", "Torres", and "Site". Below the main menu, there is a sub-menu with tabs: "Antenas - RFS", "Antenas - Brasilsat", "Antenas - Kathrein", and "Antenas - Andrew" (which is also highlighted in blue). The main content area displays a table of antenna specifications for the frequency range "806 à 960".

| Type | Range MHz | Gain dBd/dBi | HBW | Beam Tilt | Pol | Download Patterns All • Clear | Download Specifications All • Clear |
|----------------|--------------------|---------------------|------------------------|--------------|--------------|----------------------------------|--|
| LBX-3316DS-VTM | 806-896 870-960 | DualPol® | 15.7/17.8 15.9/18.0 | 33 33 | 2-12 2-12 | | ±45° |
| LBX-3316DS-T0M | 806-896 870-960 | DualPol® | 15.8/17.9 16.3/18.4 | 34 33 | 0 0 | | ±45° |
| LBX-3319DS-T0M | 806-896 870-960 | DualPol® | 18.7/20.8 19.2/21.3 | 34 33 | 0 0 | | ±45° |
| LBX-3319DS-VTM | 806-896 870-960 | DualPol® | 18.0/20.1 18.5/20.6 | 34 33 | 0-8 0-8 | | ±45° |
| DB844G45ZAXY | 806-896 870-960 | Directed Dipole™ | 14.6/16.7 15.1/17.2 | 45 45 | 0 0 | | Vertical |

Para visualizar o data sheet de uma antena, basta posicionar em seu código de onde se extraem as informações desejadas. Por exemplo, posicionando no código “LBX-3316DS-VTM”, acessa-se à lista dos seguintes dados: foto, especificações gerais, elétricas, mecânicas. A figura 2.122 a seguir exemplifica a antena LBX-3316DS-VTM:

Figura 2.122 – Data Sheet Antena LBX-3316DS-VTM

| General Specifications | | | |
|--|--|--------------|--|
| Antenna Type | DualPol® | | |
| Brand | DualPol® Teletilt® | | |
| Operating Frequency Band | 806 – 960 MHz | | |
| Electrical Specifications | | | |
| Frequency Band, MHz | 806–896 | 870–960 | |
| Beamwidth, Horizontal, degrees | 33 | 33 | |
| Gain, dBd | 15.7 | 15.9 | |
| Gain, dBi | 17.8 | 18.0 | |
| Beamwidth, Vertical, degrees | 15.0 | 14.0 | |
| Beam Tilt, degrees | 2-12 | 2-12 | |
| Upper Sidelobe Suppression (USLS), typical, dB | 15 | 15 | |
| Front-to-Back Ratio at 180°, dB | 36 | 37 | |
| Isolation, dB | 30 | 30 | |
| VSWR Return Loss, db | 1.4:1 15.6 | 1.4:1 15.6 | |
| Intermodulation Products, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc | -150 | -150 | |
| Input Power, maximum, watts | 500 | 500 | |
| Polarization | ±45° | ±45° | |
| Impedance, ohms | 50 | 50 | |
| Lightning Protection | dc Ground | dc Ground | |
| Mechanical Specifications | | | |
| Color | Light gray | | |
| Connector Interface | 7-16 DIN Female | | |
| Connector Location | Bottom | | |
| Connector Quantity | 2 | | |
| Wind Loading, maximum | 981.7 N @ 100 mph 220.7 lbf @ 100 mph | | |
| Wind Speed, maximum | 241.4 km/h 150.0 mph | | |

2.7 – Cabos

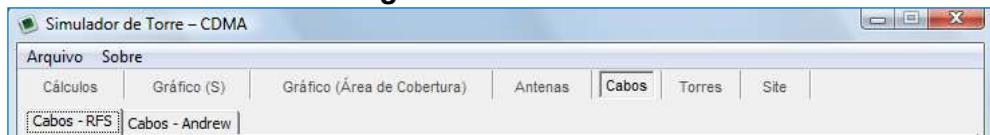
Com o objetivo de informar e capacitar o usuário a operar os cálculos, opta-se pelos valores calculados o mais próximo possível do real. Foi inserido um item “Cabos” na faixa de frequência de operação através do sistema irradiante. Os cabos utilizados em transmissão de sinais de rádio são do tipo corrugado de cobre com dielétrico de ar ou espuma de polietileno. Para que as informações se mantenham atualizadas, não foi criado nenhum banco de dados de cabos. Todas as informações são extraídas do site do fornecedor através de um link com a Internet.

Através do campo de “Densidade de Potência no Setor” (Ss), aumenta-se o tamanho físico do cabo e, consequentemente, incrementam-se as “Perdas no Cabo” (C) e, além disso, alteram-se os valores dos “Gráficos”: “Densidade de Potência no Setor”, “Campo Elétrico no Setor” (Es).

Optou-se por fornecedores relevantes de cabos a nível mundial: RFS e Andrew, para assegurar que em qualquer site de ERB os fornecedores citados possam ser encontrados.

Quando se posiciona o campo “Cabos” listam-se os fornecedores: RFS e Andrew. A figura 2.123 mostra o campo “Cabos” e seus respectivos fornecedores: “RFS” e “Andrew”.

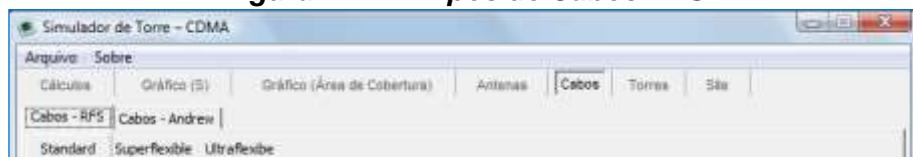
Figura 2.123 – Cabos



2.7.1 – Cabos RFS

Posicionando-se no campo “Cabos RFS”, extraem-se os tipos de cabos: “Standard”, “Superflexible”, “Ultraflexible”. A figura 2.124 a seguir ilustra os “Cabos RFS”:

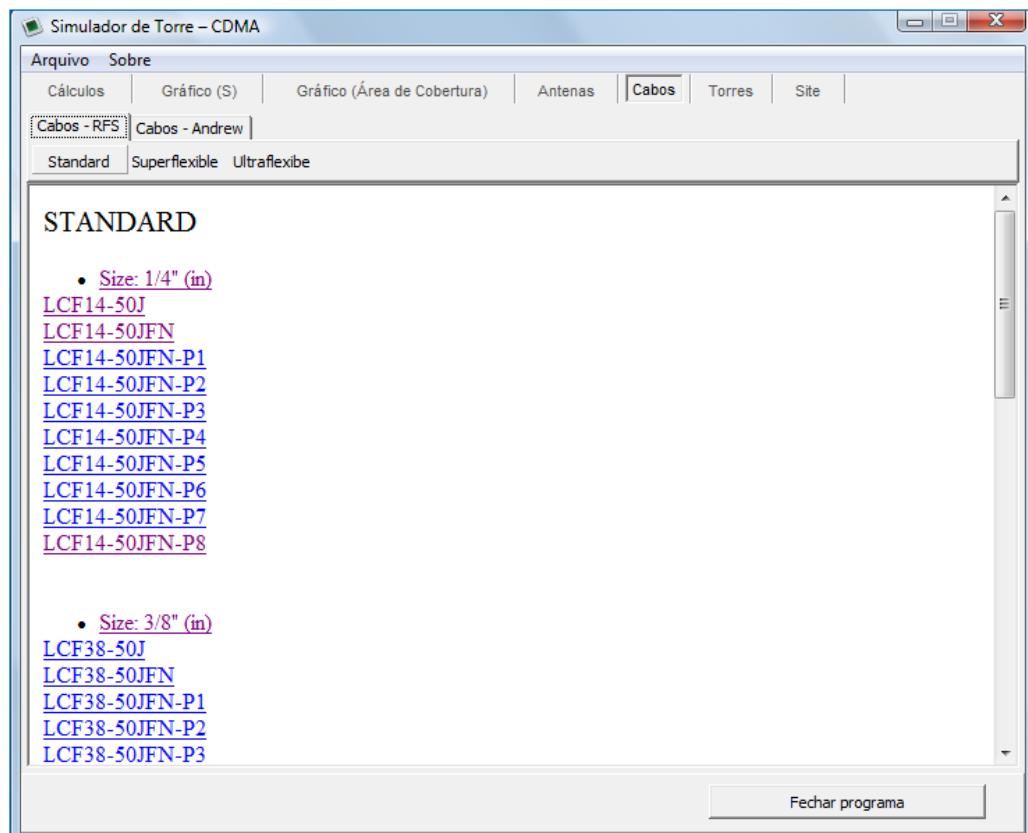
Figura 2.124 - Tipos de Cabos RFS



2.7.1.1 – Cabos Standard

Quando se posiciona em “Standard”, listam-se os códigos dos cabos. A figura 2.125 apresenta os códigos de cabos com size $\frac{1}{4}$ " (diâmetro $\frac{1}{4}$ de polegada) e Size $\frac{3}{8}$ " (diametro 3/8 polegada).

Figura 2.125 - Cabos RFS Standard



Quando se opta, por exemplo, pelo código “CF14 – 50J”, chega-se ao Data Sheet do cabo: foto do cabo, tabela de atenuação *versus* frequência e potência e características técnicas do cabo. A figura 2.126 abaixo mostra um exemplo de cabo Standard.

Figura 2.126 – Cabo LCF14-50J

Technical Data Sheet

LCF14-50J

1/4" CELLFLEX® Low loss Flexible Cable

Product Description

Features/Benefits

Technical Specifications

Structure

| | | | |
|------------------|-------------------|----------------------|------------|
| Inner Conductor: | Copper-Clad Wire | Aluminum [mm (in)] | 2.4 (0.09) |
| Dielectric: | | [mm (in)] | 6.0 (0.24) |
| Outer Conductor: | Corrugated Copper | [mm (in)] | 7.5 (0.3) |
| Jacket: | Polyethylene, PE | [mm (in)] | 10 (0.39) |

Mechanical Properties

| | | |
|--|------------------|-------------------------|
| Weight, approximately | [kg/m (lb/ft)] | 0.11 (0.074) |
| Minimum bending radius, single bending | [mm (in)] | 40 (1.6) |
| Minimum bending radius, repeated bending | [mm (in)] | 120 (5) |
| Bending moment | [Nm (lb-ft)] | 1.9 (1.4) |
| Max. tensile force | [N (lb)] | 890 (200) |
| Recommended / maximum clamp spacing | [m (ft)] | 0.5 / 1.0 (1.75 / 3.25) |

Electrical Properties

| | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------|
| Characteristic impedance | [Ω] | 50 +/- 1.5 |
| Relative propagation velocity | [%] | 83 |
| Capacitance | [pF/m (pF/ft)] | 80 (24) |
| Inductance | [μH/m (μH/ft)] | 0.205 (0.063) |
| Max. operating frequency | [GHz] | 15.8 |
| Jacket spark test RMS | [V] | 5000 |
| Peak power rating | [kW] | 10.9 |
| RF Peak voltage rating | [V] | 1050 |
| DC-resistance inner conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 6.1 (1.86) |
| DC-resistance outer conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 4.4 (1.34) |

Recommended Temperature Range

| | | |
|--------------------------|-------------|--------------------------|
| Storage temperature | [°C (°F)] | -70 to +85 (-94 to +185) |
| Installation temperature | [°C (°F)] | -40 to +60 (-40 to +140) |
| Operation temperature | [°C (°F)] | -50 to +85 (-58 to +185) |



1/4" CELLFLEX® Superflexible Foam Dielectric Coaxial Cable

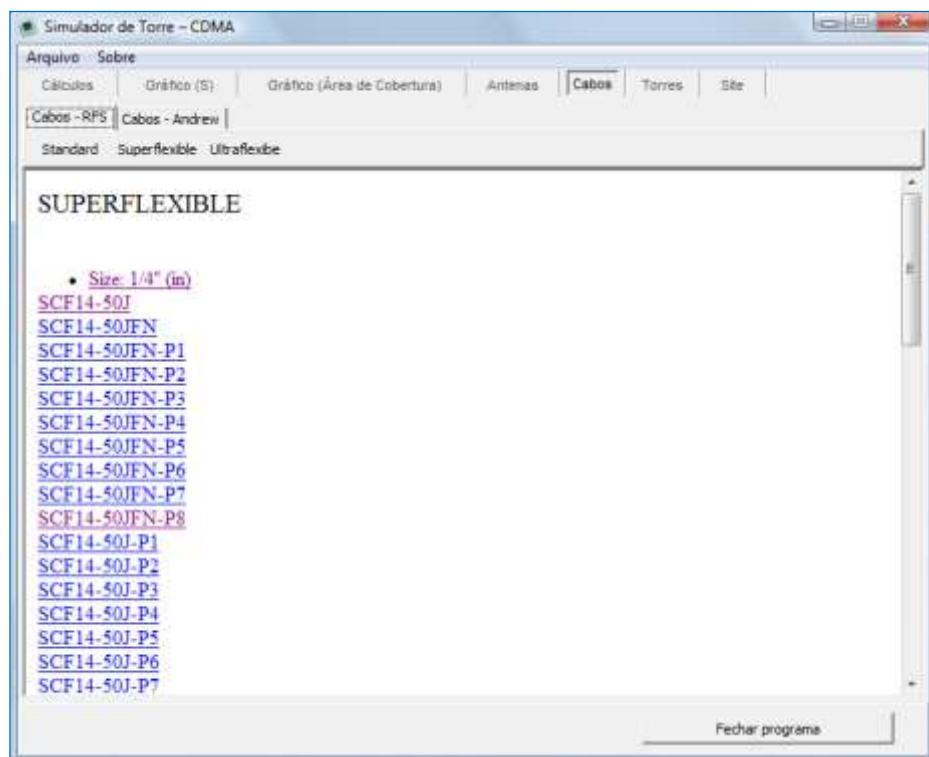
Attenuation Table

| Frequency [MHz] | Attenuation [dB/100m] | Attenuation [dB/100ft] | Power [kW] |
|-----------------|-----------------------|------------------------|------------|
| 0.5 | 0.291 | 0.089 | 10.9 |
| 1.0 | 0.412 | 0.126 | 10.9 |
| 1.5 | 0.505 | 0.154 | 10.9 |
| 2.0 | 0.583 | 0.178 | 10.9 |
| 10 | 1.31 | 0.399 | 5.56 |
| 20 | 1.86 | 0.566 | 3.92 |
| 30 | 2.28 | 0.695 | 3.20 |
| 50 | 2.95 | 0.900 | 2.47 |
| 88 | 3.94 | 1.20 | 1.85 |
| 100 | 4.20 | 1.28 | 1.73 |
| 108 | 4.37 | 1.33 | 1.67 |
| 150 | 5.17 | 1.58 | 1.41 |
| 174 | 5.58 | 1.70 | 1.30 |
| 200 | 6.00 | 1.83 | 1.21 |
| 300 | 7.40 | 2.25 | 0.985 |
| 400 | 8.59 | 2.62 | 0.848 |
| 450 | 9.13 | 2.78 | 0.798 |
| 500 | 9.65 | 2.94 | 0.755 |
| 512 | 9.77 | 2.98 | 0.745 |
| 600 | 10.6 | 3.24 | 0.686 |
| 700 | 11.5 | 3.51 | 0.632 |
| 800 | 12.4 | 3.77 | 0.589 |
| 824 | 12.6 | 3.83 | 0.580 |
| 894 | 13.1 | 4.00 | 0.556 |
| 900 | 13.2 | 4.01 | 0.554 |
| 925 | 13.4 | 4.07 | 0.546 |
| 960 | 13.6 | 4.15 | 0.535 |
| 1000 | 13.9 | 4.24 | 0.523 |
| 1250 | 15.7 | 4.78 | 0.464 |
| 1500 | 17.3 | 5.27 | 0.421 |
| 1700 | 18.5 | 5.64 | 0.393 |
| 1800 | 19.1 | 5.82 | 0.381 |
| 2000 | 20.2 | 6.16 | 0.360 |
| 2100 | 20.8 | 6.33 | 0.351 |
| 2200 | 21.3 | 6.49 | 0.342 |
| 2400 | 22.3 | 6.81 | 0.326 |
| 3000 | 25.3 | 7.70 | 0.288 |
| 3500 | 27.5 | 8.39 | 0.265 |
| 4000 | 29.7 | 9.05 | 0.245 |
| 5000 | 33.7 | 10.3 | 0.216 |
| 6000 | 37.4 | 11.4 | 0.195 |
| 7000 | 40.8 | 12.4 | 0.178 |
| 8000 | 44.1 | 13.5 | 0.165 |
| 9000 | 47.3 | 14.4 | 0.154 |
| 10000 | 50.3 | 15.3 | 0.145 |
| 12000 | 56.1 | 17.1 | 0.130 |
| 14000 | 61.5 | 18.8 | 0.118 |
| 15800 | 66.2 | 20.2 | 0.110 |

2.7.1.2 – Cabo Superflexible

O posicionamento no campo “Superflexible” leva à listagem dos códigos dos cabos. A figura 2.127 abaixo mostra seus respectivos cabos:

Figura 2.127 - Cabo Superflexible



Quando se designa, por exemplo, o código “SCF14 – 50J” obtém-se o data sheet foto, tabela de atenuação versus frequência e características técnicas do cabo. A figura 2.128 abaixo ilustra o cabo SCF14-50j.

Figura 2.128 – Cabo SCF14-50J

Technical Data Sheet

SCF14-50J

1/4" CELLFLEX® Superflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

CELLFLEX® 1/4" superflexible cable

Application: OEM jumpers, BTS inter-cabinet connections, GPS lines



Features/Benefits

Technical Specifications

Structure

| | | | |
|------------------|-------------------|----------------------|-------------|
| Inner Conductor: | Copper-Clad Wire | Aluminum [mm (in)] | 1.9 (0.075) |
| Dielectric: | | [mm (in)] | 4.3 (0.170) |
| Outer Conductor: | Corrugated Copper | [mm (in)] | 6.5 (0.26) |
| Jacket: | Polyethylene, PE | [mm (in)] | 7.8 (0.31) |

Mechanical Properties

| | | |
|--|------------------|---------------------------|
| Weight, approximately | [kg/m (lb/ft)] | 0.07 (0.05) |
| Minimum bending radius, single bending | [mm (in)] | |
| Minimum bending radius, repeated bending | [mm (in)] | 25 (1.0) |
| Bending moment | [Nm (lb-ft)] | 0.7 (0.5) |
| Max. tensile force | [N (lb)] | 600 (135) |
| Recommended / maximum clamp spacing | [m (ft)] | 0.20 / 0.20 (0.67 / 0.67) |

Electrical Properties

| | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------|
| Characteristic impedance | [Ω] | 50 +/- 1 |
| Relative propagation velocity | [%] | 82 |
| Capacitance | [pF/m (pF/ft)] | 82.0 (25.0) |
| Inductance | [μH/m (μH/ft)] | 0.207 (0.063) |
| Max. operating frequency | [GHz] | 20.4 |
| Jacket spark test RMS | [V] | 5000 |
| Peak power rating | [kW] | 5.5 |
| RF Peak voltage rating | [V] | 740 |
| DC-resistance inner conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 10.40 (3.17) |
| DC-resistance outer conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 6.60 (2.01) |

Recommended Temperature Range

| | | |
|--------------------------|-------------|--------------------------|
| Storage temperature | [°C (°F)] | -70 to +85 (-94 to +185) |
| Installation temperature | [°C (°F)] | -40 to +60 (-40 to +140) |
| Operation temperature | [°C (°F)] | -50 to +85 (-58 to +185) |

1/4" CELLFLEX® Superflexible Foam Dielectric Coaxial Cable

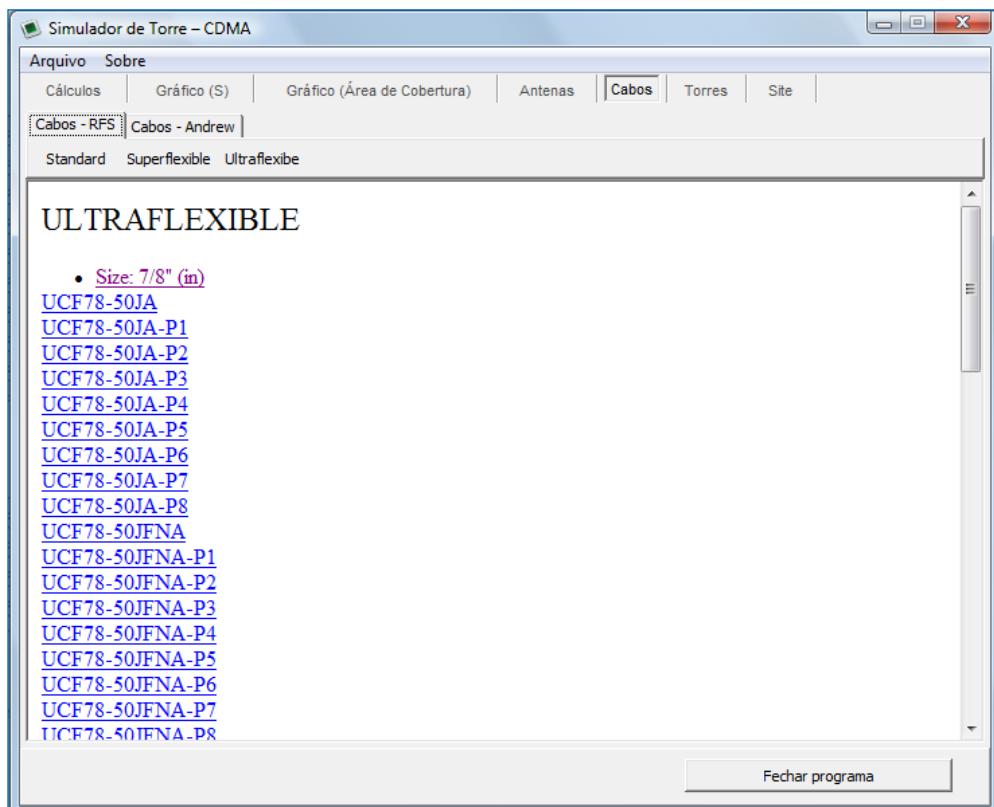
Attenuation Table

| Frequency [MHz] | Attenuation [dB/100m] | Attenuation [dB/100ft] | Power [kW] |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| 0.5 | 0.401 | 0.122 | 5.50 |
| 1.0 | 0.568 | 0.173 | 5.50 |
| 1.5 | 0.696 | 0.212 | 5.50 |
| 2.0 | 0.804 | 0.245 | 5.50 |
| 10 | 1.81 | 0.550 | 3.66 |
| 20 | 2.56 | 0.781 | 2.58 |
| 30 | 3.15 | 0.960 | 2.10 |
| 50 | 4.08 | 1.24 | 1.62 |
| 88 | 5.45 | 1.66 | 1.21 |
| 100 | 5.82 | 1.77 | 1.14 |
| 108 | 6.06 | 1.85 | 1.09 |
| 150 | 7.17 | 2.19 | 0.922 |
| 174 | 7.75 | 2.36 | 0.854 |
| 200 | 8.33 | 2.54 | 0.794 |
| 300 | 10.3 | 3.13 | 0.643 |
| 400 | 12.0 | 3.65 | 0.553 |
| 450 | 12.7 | 3.88 | 0.519 |
| 500 | 13.5 | 4.10 | 0.491 |
| 512 | 13.6 | 4.15 | 0.485 |
| 600 | 14.8 | 4.52 | 0.446 |
| 700 | 16.1 | 4.91 | 0.411 |
| 800 | 17.3 | 5.27 | 0.382 |
| 824 | 17.6 | 5.35 | 0.376 |
| 894 | 18.4 | 5.59 | 0.360 |
| 900 | 18.4 | 5.61 | 0.359 |
| 925 | 18.7 | 5.70 | 0.354 |
| 960 | 19.1 | 5.81 | 0.347 |
| 1000 | 19.5 | 5.94 | 0.339 |
| 1250 | 22.0 | 6.71 | 0.300 |
| 1500 | 24.3 | 7.41 | 0.272 |
| 1700 | 26.1 | 7.94 | 0.254 |
| 1800 | 26.9 | 8.20 | 0.246 |
| 2000 | 28.5 | 8.69 | 0.232 |
| 2100 | 29.3 | 8.93 | 0.226 |
| 2200 | 30.1 | 9.2 | 0.220 |
| 2400 | 31.6 | 9.6 | 0.209 |
| 3000 | 35.8 | 10.9 | 0.185 |
| 3500 | 39.1 | 11.9 | 0.169 |
| 4000 | 42.2 | 12.9 | 0.157 |
| 5000 | 48.0 | 14.6 | 0.138 |
| 6000 | 53.4 | 16.3 | 0.124 |
| 7000 | 58.6 | 17.8 | 0.113 |
| 8000 | 63.4 | 19.3 | 0.104 |
| 9000 | 68.1 | 20.8 | 0.097 |
| 10000 | 72.6 | 22.1 | 0.091 |
| 12000 | 81 | 24.8 | 0.081 |
| 14000 | 89 | 27.2 | 0.074 |
| 16000 | 97 | 29.6 | 0.068 |
| 18000 | 105 | 31.9 | 0.063 |
| 20000 | 112 | 34.2 | 0.059 |
| 20400 | 113 | 34.6 | 0.058 |

2.7.1.3 – Cabos Ultraflexible

Quando se conecta em Ultraflexible, chega-se à lista dos respectivos códigos “Ultraflexible”. A figura 2.129 abaixo exemplifica os respectivos códigos:

Figura 2.129 – Cabo RFS Ultraflexible



Quando se posiciona no código “UCF78 – 50JA” extraem-se os dados: data sheet, foto, tabela de atenuação versus frequência, potência, e características de construção. A figura 2.130 abaixo lista as especificações do cabo:

Figura 2.130 – Cabo UCF78-50JA

Technical Data Sheet

UCF78-50JA

7/8" CELLFLEX® Ultraflexible Foam-Dielectric Coaxial Cable

Product Description

Features/Benefits

Technical Specifications

Structure

| | | | |
|------------------|------------------------|-------------|-------------|
| Inner Conductor: | Corrugated Copper Tube | [mm (in)] | 9.5 (0.374) |
| Dielectric: | | [mm (in)] | 21.3 (0.84) |
| Outer Conductor: | Corrugated Copper | [mm (in)] | 25.2 (0.99) |
| Jacket: | Polyethylene, PE | [mm (in)] | 27.8 (1.09) |

Mechanical Properties

| | | |
|--|------------------|----------------------------|
| Weight, approximately | [kg/m (lb/ft)] | 0.45 (0.302) |
| Minimum bending radius, single bending | [mm (in)] | 90 (3.5) |
| Minimum bending radius, repeated bending | [mm (in)] | 125 (5) |
| Bending moment | [Nm (lb-ft)] | 13.0 (9.6) |
| Max. tensile force | [N (lb)] | 1440 (324) |
| Recommended / maximum clamp spacing | [m (ft)] | 0.8 / 1.0 (2.75 / 3.25) |

Electrical Properties

| | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------|
| Characteristic impedance | [Ω] | 50 +/- 1 |
| Relative propagation velocity | [%] | 88 |
| Capacitance | [pF/m (pF/ft)] | 76 (23.2) |
| Inductance | [μH/m (μH/ft)] | 0.190 (0.058) |
| Max. operating frequency | [GHz] | 4.9 |
| Jacket spark test RMS | [V] | 8000 |
| Peak power rating | [kW] | 83 |
| RF Peak voltage rating | [V] | 2880 |
| DC-resistance inner conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 3.0 (0.914) |
| DC-resistance outer conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 1.15 (0.35) |

Recommended Temperature Range

| | | |
|--------------------------|-------------|--------------------------|
| Storage temperature | [°C (°F)] | -70 to +85 (-94 to +185) |
| Installation temperature | [°C (°F)] | -40 to +60 (-40 to +140) |
| Operation temperature | [°C (°F)] | -50 to +85 (-58 to +185) |



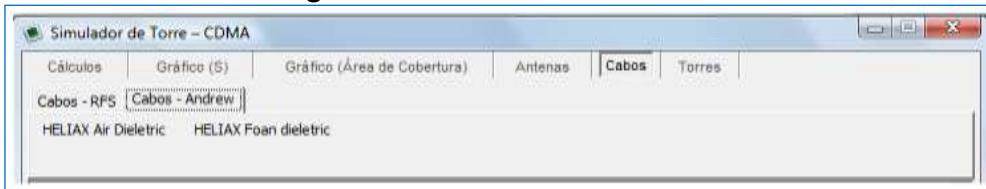
7/8" CELLFLEX® Ultra-Flexible Low-Loss Foam Dielectric Coaxial Cable Attenuation Table

| Frequency [MHz] | Attenuation [dB/100m] | Attenuation [dB/100ft] | Power [kW] |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
| 0.5 | 0.0841 | 0.0256 | 83.0 |
| 1.0 | 0.119 | 0.0363 | 83.0 |
| 1.5 | 0.146 | 0.0445 | 69.4 |
| 2.0 | 0.169 | 0.0514 | 60.0 |
| 10 | 0.379 | 0.116 | 26.7 |
| 20 | 0.539 | 0.164 | 18.8 |
| 30 | 0.66 | 0.202 | 15.3 |
| 50 | 0.86 | 0.262 | 11.8 |
| 88 | 1.15 | 0.351 | 8.80 |
| 100 | 1.23 | 0.375 | 8.24 |
| 108 | 1.28 | 0.390 | 7.91 |
| 150 | 1.52 | 0.462 | 6.67 |
| 174 | 1.64 | 0.500 | 6.17 |
| 200 | 1.76 | 0.537 | 5.74 |
| 300 | 2.18 | 0.665 | 4.64 |
| 400 | 2.54 | 0.775 | 3.98 |
| 450 | 2.71 | 0.826 | 3.74 |
| 500 | 2.87 | 0.874 | 3.53 |
| 512 | 2.90 | 0.885 | 3.49 |
| 600 | 3.16 | 0.964 | 3.20 |
| 700 | 3.44 | 1.05 | 2.94 |
| 800 | 3.70 | 1.13 | 2.74 |
| 824 | 3.76 | 1.15 | 2.69 |
| 894 | 3.93 | 1.20 | 2.57 |
| 900 | 3.94 | 1.20 | 2.57 |
| 925 | 4.00 | 1.22 | 2.53 |
| 960 | 4.09 | 1.25 | 2.48 |
| 1000 | 4.18 | 1.27 | 2.42 |
| 1250 | 4.73 | 1.44 | 2.14 |
| 1500 | 5.24 | 1.60 | 1.93 |
| 1700 | 5.62 | 1.71 | 1.80 |
| 1800 | 5.81 | 1.77 | 1.74 |
| 2000 | 6.16 | 1.88 | 1.64 |
| 2100 | 6.34 | 1.93 | 1.60 |
| 2200 | 6.51 | 1.98 | 1.55 |
| 2400 | 6.84 | 2.09 | 1.48 |
| 3000 | 7.79 | 2.37 | 1.30 |
| 3500 | 8.52 | 2.60 | 1.19 |
| 4000 | 9.22 | 2.81 | 1.10 |
| 4900 | 10.4 | 3.17 | 0.97 |

2.7.2 – Cabos Andrew

O posicionamento em Cabos da Andrew leva aos tipos de cabos: Heliax Air Dielectric (dielétrico a ar) e Heliax Foan dielectric (dielétrico de spuma). Através da figura 2.131 mostram-se os padrões de “Cabos Andrew”:

Figura 2.131 - Cabos da Andrew



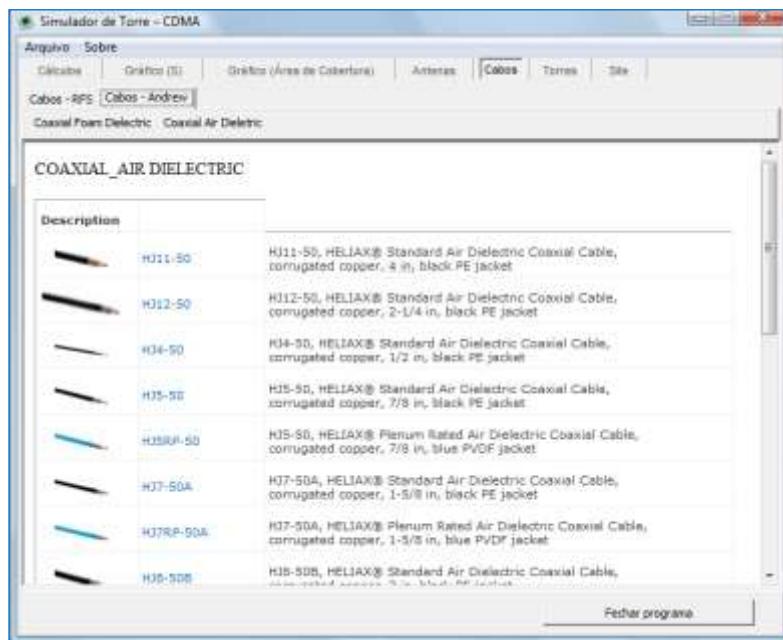
2.7.2.1 – Cabos Heliax Air Dielectric

Posicionando na opção “Coaxial Air Dielectric”, chega-se à lista das características construtivas: foto, código, resumo das especificações.

São especificações resumidas do cabo: HJ11-50 (código, heliax , impedância de 50 Ohms); Standard Air Coaxial Cable (cabo coaxial padrão dielétrico ar); Corrugated Cooper (corrugado cobre); 4 In (quatro polegadas de diâmetro); black PE jacket (jaqueta preta).

A figura 2.132 exemplifica a opção “Coaxial Air Dielectric”.

Figura 2.132 - Cabo Heliax Air Dielectric



Quando se opta pelo código “HJ11-50”, listam as especificações detalhadas do produto: foto, materiais de construção, dimensões, especificações elétrica, mecânicas, ambientais, condições padrões, tabela de atenuação. A figura 2.133 seguir mostra o data sheet do cabo HJ11-50:

Figura 2.133 – Cabo HJ11-50

| Construction Materials | |
|--------------------------|-------------------|
| Jacket Material | PE |
| Dielectric Material | PP |
| Flexibility | Standard |
| Inner Conductor Material | Copper tube |
| Jacket Color | Black |
| Outer Conductor Material | Corrugated copper |

| Dimensions | |
|----------------------|---|
| Nominal Size | 4 in |
| Cable Volume | 69.9 ft ³ /kft 6493.7 L/km |
| Cable Weight | 3.72 kg/m 2.50 lb/ft |
| Diameter Over Jacket | 101.600 mm 4.000 in |
| Inner Conductor OD | 39.370 mm 1.550 in |
| Outer Conductor OD | 97.536 mm 3.840 in |

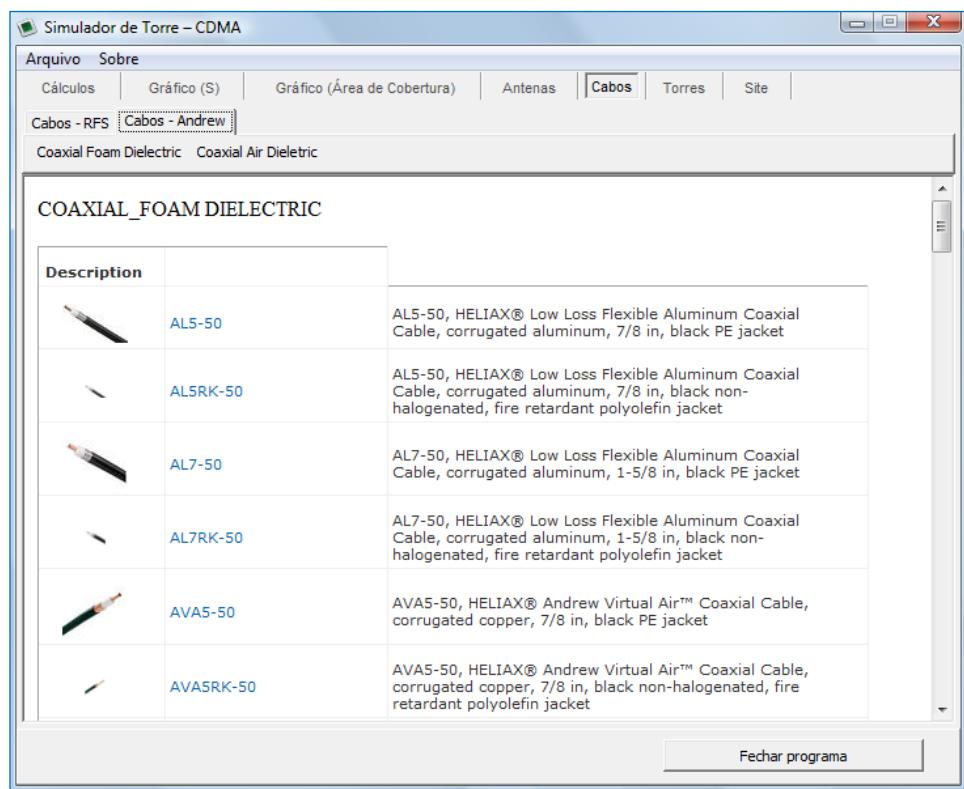
| Electrical Specifications | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Cable Impedance | 50 ohm ±0.5 ohm |
| Capacitance | 22 pF/ft 72 pF/m |
| dc Resistance, Inner Conductor | 0.361 ohms/km 0.110 ohms/kft |
| dc Resistance, Outer Conductor | 0.131 ohms/km 0.040 ohms/kft |
| dc Test Voltage | 21000 V |
| Inductance | 1.870 µH/m 0.570 µH/ft |
| Insulation Resistance | 100000 mOhm |
| Jacket Spark Test Voltage (rms) | 10000 V |
| Operating Frequency Band | 1 – 1000 MHz |
| Peak Power | 1100.0 kW |
| Power Attenuation | 7.485 |
| Velocity | 92% |

| frequency (MHz) | Attenuation (dB/100 m) | Attenuation (dB/100 ft) | Average Power (kW) |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| 0.5 | 0.023 | 0.007 | 1048.73 |
| 1 | 0.033 | 0.01 | 738.97 |
| 1.5 | 0.041 | 0.012 | 601.75 |
| 2 | 0.047 | 0.014 | 519.96 |
| 10 | 0.108 | 0.033 | 227.80 |
| 20 | 0.155 | 0.047 | 158.66 |
| 30 | 0.192 | 0.058 | 128.07 |
| 50 | 0.252 | 0.077 | 97.44 |
| 88 | 0.343 | 0.105 | 71.61 |
| 100 | 0.368 | 0.112 | 66.72 |
| 108 | 0.384 | 0.117 | 63.93 |
| 150 | 0.462 | 0.141 | 53.19 |
| 174 | 0.502 | 0.153 | 48.90 |
| 200 | 0.544 | 0.166 | 45.16 |
| 300 | 0.688 | 0.21 | 35.70 |
| 400 | 0.816 | 0.249 | 30.11 |
| 450 | 0.875 | 0.267 | 28.06 |
| 500 | 0.933 | 0.284 | 26.33 |
| 512 | 0.946 | 0.288 | 25.95 |
| 600 | 1.043 | 0.318 | 23.56 |
| 700 | 1.147 | 0.349 | 21.42 |
| 800 | 1.246 | 0.38 | 19.70 |
| 824 | 1.27 | 0.387 | 19.34 |
| 894 | 1.337 | 0.407 | 18.37 |
| 960 | 1.399 | 0.426 | 17.56 |
| 1000 | 1.435 | 0.437 | 17.11 |

2.7.2.2 – Cabos Heliax Foam Dielectric

Optando-se por “Heliax Air Dielectric”, tem-se acesso ao código do cabo e às especificações resumidas do mesmo. Por exemplo, escolhendo pelo AL5-50, tem-se a descrição resumida: foto, código, (*low, loss, flexible, aluminum, coaxial, cable*) cabo coaxial alumínio de baixa perda, (7/8 in) diâmetro 7/8 de polegada, (*black PE jacket*) capa externa preta. A figura 2.134 mostra os Cabos Heliax Foam Dielectric:

Figura 2.134 - Cabos Heliax Foam Dielectric



Posicionando no campo “Heliax Foam Dielectric”, tem-se: o código do cabo e as especificações detalhadas do mesmo. A figura 2.135 a seguir descreve o data sheet do produto:

Figura 2.135 – Cabo Heliax Foam Dielectric - AL5-50

| Electrical Specifications | | | |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| Cable Impedance | 50 ohm ± 1 ohm | | |
| Capacitance | 22 pF/ft 72 pF/m | | |
| dc Resistance, Inner Conductor | 0.410 ohms/kft 1.435 ohms/km | | |
| dc Resistance, Outer Conductor | 0.500 ohms/kft 1.641 ohms/km | | |
| dc Test Voltage | 6000 V | | |
| Inductance | 0.184 μ H/m 0.056 μ H/ft | | |
| Insulation Resistance | 100000 M Ω | | |
| Jacket Spark Test Voltage (rms) | 8000 V | | |
| Operating Frequency Band | 1 – 5000 MHz | | |
| Peak Power | 91.0 kW | | |
| Pulse Reflection | 0.5% | | |
| Velocity | 91% | | |
| Return Loss | | | |
| Frequency Band | VSWR | Return Loss (dB) | |
| 806–960 MHz | 1.13 | 24.30 | |
| 1700–2000 MHz | 1.13 | 24.30 | |
| Frequency (MHz) | Attenuation (dB/100 m) | Attenuation (dB/100 ft) | Average Power (kW) |
| 0.5 | 0.085 | 0.026 | 91.00 |
| 1 | 0.12 | 0.037 | 64.46 |
| 1.5 | 0.147 | 0.045 | 52.60 |
| 2 | 0.17 | 0.052 | 45.53 |
| 10 | 0.382 | 0.117 | 20.25 |
| 20 | 0.543 | 0.165 | 14.27 |
| 30 | 0.667 | 0.203 | 11.61 |
| 50 | 0.865 | 0.264 | 8.95 |
| 88 | 1.155 | 0.352 | 6.70 |
| 100 | 1.234 | 0.376 | 6.28 |
| 108 | 1.284 | 0.391 | 6.03 |
| 150 | 1.521 | 0.464 | 5.09 |
| 174 | 1.642 | 0.501 | 4.71 |
| 200 | 1.766 | 0.538 | 4.39 |
| 300 | 2.183 | 0.665 | 3.55 |
| 400 | 2.539 | 0.774 | 3.05 |
| 450 | 2.703 | 0.824 | 2.86 |
| 500 | 2.858 | 0.871 | 2.71 |
| 512 | 2.895 | 0.882 | 2.68 |
| 600 | 3.15 | 0.96 | 2.46 |
| 700 | 3.421 | 1.043 | 2.26 |
| 800 | 3.676 | 1.12 | 2.11 |
| 824 | 3.735 | 1.138 | 2.07 |
| 894 | 3.903 | 1.19 | 1.98 |
| 960 | 4.057 | 1.237 | 1.91 |
| 1000 | 4.148 | 1.264 | 1.87 |
| 1250 | 4.685 | 1.428 | 1.65 |
| 1500 | 5.18 | 1.579 | 1.49 |
| 1700 | 5.551 | 1.692 | 1.39 |
| 1800 | 5.73 | 1.747 | 1.35 |

No item a seguir exemplificam-se os tipos de torres empregadas na telefonia móvel celular.

2.8 – Torres

Com a intenção de deixar os cálculos mais próximo possível da situação real, foi inserido um item designado “Torres”, através do qual pode-se caracterizar os tipos de torres empregadas em uma localidade.

Optando-se pelo campo “Torres”, tem-se acesso à lista dos tipos de infraestrutura: poste, torres fixas, torres móveis e estruturas camoufladas, *roof-top* (cavale em estrutura metálica instalada no topo de um edifício onde foi fixado o sistema irradiante). A figura 2.136 a seguir ilustra os tipos de infraestrutura em forma cilíndrica (postes):

Figura 2.136 – Estrutura Cilíndrica (poste)



No item 2.9 faz-se uma abordagem dos sites instalados no Brasil, em que as localidades se acham distribuídas por estado, cidade, endereço e coordenadas geográficas e apresentam-se os órgãos prestadores de serviço móvel celular (Operadoras).

2.9 – Site

Para garantir a atualização dos cálculos, foi acrescentado um item designado “Site” onde são encontradas as localidades servidas por ERBs no Brasil. Este campo é de grande importância para avaliar a quantidade de ERBs instaladas no território nacional bem como certificar o seu licenciamento e compartilhamento através do Órgão regulamentador (Anatel).

Designa-se como site compartilhado aquela localidade onde duas ou mais operadores de serviços de telefonia móvel (Operadoras) dividem a infraestrutura (torre, cabine, local) para a distribuição dos serviços. Salienta-se que, também aqui, para manter os dados atualizados e seguros, não foi criado nenhum banco de dados; todas as informações são acessadas *on line* através da Internet.

Quando se posiciona no campo “Site”, fecha-se um *link* com a Anatel, através do qual se chega à lista de todos os “Sites” instalados dentro da cobertura nacional.

A figura 2.137 a exemplifica o campo “Site”.

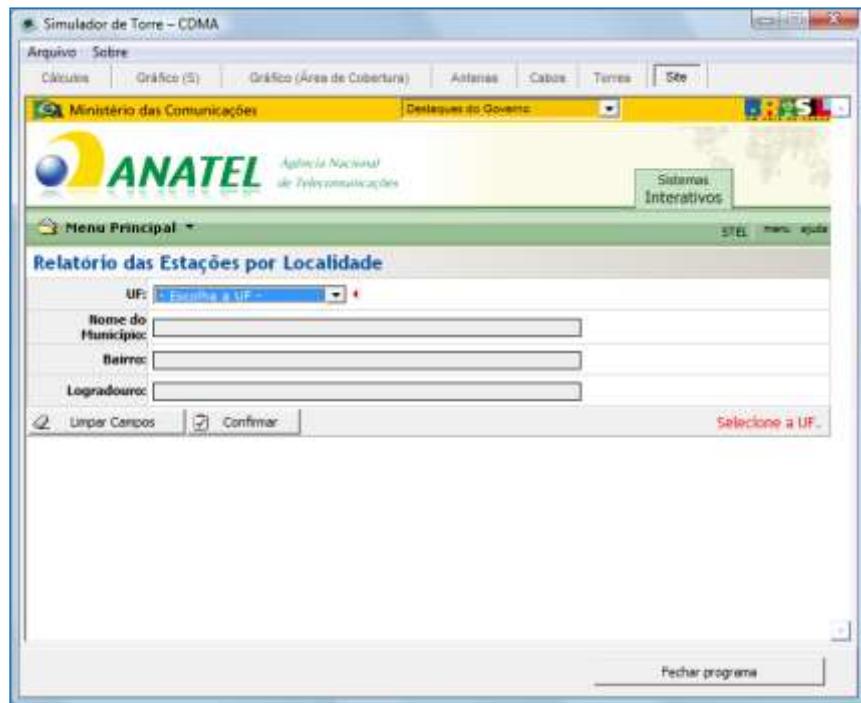
Figura 2.137 – Site



2.9.1 – Relatório das Estações por Localidade

Os resultados da pesquisa dependem da elaboração de um relatório das ERBs por Localidade, no qual são preenchidos os campos UF, Nome do Município, Bairro, Logradouro e o posicionamento em “Confirmar”. Para limpar os dados inseridos, posiciona-se em “Limpar Campos”. A figura 2.138 detalha o formato do campo “Relatórios das Estações por Localidades” cujos resultados dependem do Preenchimento dos Dados.

Figura 2.138 – Relatório das Estações por Localidade

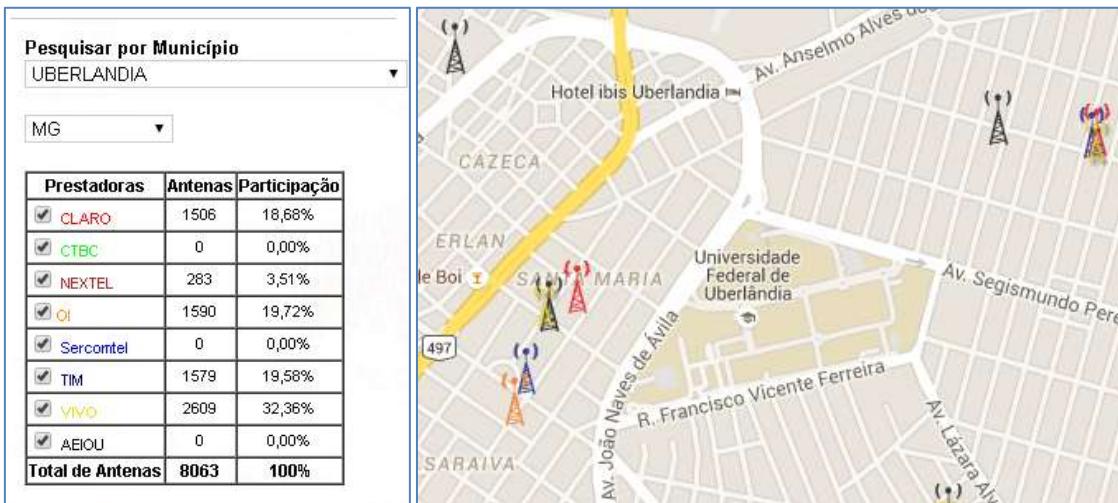


Por exemplo, quando se preenche a UF como MG e município de Uberlândia, constata-se que existem nove operadoras do sistema móvel em Uberlândia: Claro, CTBC, Nextel, TIM, OI, Sercontel, Tim, Vivo e AEIOU. O teste permitiu o levantamento no município de Uberlândia com 380 ERBs instaladas, 8063 antenas instaladas pelas operadoras do sistema, 18/09/2015 às 09:40:57 horas. Pode-se imprimir este relatório e exportar para uma planilha Excel. A figura 2.139 e 2.140 abaixo exemplifica os resultados:

Figura 2.139 – Número de ERBs em Uberlândia



Figura 2.140 - Operadoras do Sistema Móvel



(www.telebrasil.com.br)

É possível também listar todas as ERBs de um bairro de um determinado município. Por exemplo, inserindo os dados UF (MG), Município (Uberlândia), Bairro (Santa Monica) chega-se a cinco Operadoras de Telecomunicações: Claro S.A., CTBC Celular S.A., Telemig Celular S.A., TIM Nordeste S.A., TNL PCS S.A.

Foram encontrados 23 ERBs no dia 18/09/2015 às 09:44:32 horas. Vide Figura 2.141 que mostra o “Resultado da Consulta”.

Figura 2.141 – ERBs no Bairro de Santa Monica

| Empresas Autorizadas no Estado : MG | |
|--|--|
| Serviço: | 010 - SERVIÇO MOVEL PESSOAL |
| UF: | MG |
| Município: | Uberlândia |
| Bairro: | Santa Monica |
| Número/Nome: | 1012428 - ALGAR CELULAR S/A |
| Número/Nome: | 4180216 - CLARO S.A. |
| Número/Nome: | 4152417 - NEXTEL TELECOMUNICACOES LTDA |
| Número/Nome: | 1278410 - OI MÓVEL S.A. |
| Número/Nome: | 4181166 - TELEFÔNICA BRASIL S.A. |
| Número/Nome: | 4184440 - TIM CELULAR S.A. |
| Total Erbs no Município: | 23 |
| Data: | 18/09/2015 |
| Hora: | 09:44:32 |

Quando se posiciona na Operadora de Telecomunicações “Telemig Celular”, tem-se como resultados: “**Dados da Entidade**”, tais como Número/Nome, CNPJ/CPF, Serviço, Número FISTEL, Quantidade de Estações (2); “**Lista de Estação por Localidade**”, como Entidade, Estação, Nome, UF, Município, Bairro, Logradouro, Latitude, Longitude, Data do Cadastro, Data da 1.o Licença, Última

Licença. Pode-se imprimir “Dados da Entidade” bem como exportar as informações para Excel. A figura 2.142 mostra os “Dados da Entidade”.

Figura 2.142 – Dados da Entidade

| Latitude | Longitude | Data Cadastro | Data 1º Lic. | Última Licença |
|-----------|-----------|---------------|--------------|----------------|
| 185545195 | 48W145996 | 08/01/2009 | 26/02/2009 | 23/09/2013 |
| 185552474 | 48W145359 | 08/01/2009 | 26/02/2009 | 23/09/2013 |

Com o propósito de familiarização com o equacionamento, será exemplificado no próximo item um “cálculos” no sentido de validar os resultados dos cálculos.

2.10 – Cálculos

Dados da Estação Rádio Base

- Potência fornecida pelo canal de rádio: $P_t = 10 \text{ (W)} = 40 \text{ (dBm)}$
- Número de canais de rádio por setor: $N \text{ (canais)} = 30$
- Distância do ponto de medição à torre: $d = 30 \text{ (m)}$
- Perda no cabo: cabo 7/8" heliflex $C = 3,71 \text{ (dB)}$ a cada 100 metros na frequência 894 (MHz)
- Ganho da antena de transmissão: $G_t = 12 \text{ (dBd)}$
- Frequência de operação: $f = 894 \text{ (MHz)}$
- Atenuação em direção ao lóbulo principal da antena ($A_{\text{ten. dir}} = 0 \text{ (dB)}$)
- Altura da antena $A = 60 \text{ (m)}$
- Inclinação da antena em relação ao solo (Tilt): $T = 2 \text{ (graus)}$
- Tensão 2 (V)
- Potência 1 (W)
- Características Elétricas: cabo e antena [5.5]

| ALE866513-42T0 | |
|--------------------------------------|-----------|
| <i>Horizontal Beamwidth, deg</i> 65 | |
| <i>Gain, dBi</i> 15.1 | |
| <i>Electrical Downtilt, deg</i> 0-14 | |
| ELECTRICAL SPECIFICATIONS | |
| Frequency Range, MHz | 806-894 |
| Horizontal Beamwidth, deg | 65 |
| Vertical Beamwidth, deg | 17 |
| Gain, dBi (dBd) | 15.1 (13) |
| Front-To-Back Ratio, dB | 40 |
| VSWR | < 1.5:1 |
| Maximum Power Input, W | 500 |
| Polarization | Vertical |
| 3rd Order IMP @ 16 x 41 dBm, dBm | < -100 |

| HCA78-50JJJB/JPL ATTENUATION AND AVERAGE POWER | | | |
|--|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| Frequency MHz | Attenuation dB/100 m | Attenuation dB/100 ft | Average Power kW |
| 0.5 | 0.0813 | 0.0248 | 73.0 |
| 1.0 | 0.115 | 0.0351 | 73.0 |
| 1.5 | 0.141 | 0.0430 | 70.9 |
| 2.0 | 0.163 | 0.0497 | 61.4 |
| 10 | 0.366 | 0.112 | 27.3 |
| 20 | 0.520 | 0.158 | 19.3 |
| 30 | 0.638 | 0.194 | 15.7 |
| 50 | 0.827 | 0.252 | 12.1 |
| 88 | 1.10 | 0.337 | 9.07 |
| 100 | 1.18 | 0.359 | 8.50 |
| 108 | 1.23 | 0.374 | 8.17 |
| 150 | 1.45 | 0.443 | 6.91 |
| 174 | 1.57 | 0.478 | 6.40 |
| 200 | 1.69 | 0.514 | 5.96 |
| 300 | 2.08 | 0.634 | 4.83 |
| 400 | 2.42 | 0.738 | 4.17 |
| 450 | 2.57 | 0.785 | 3.92 |
| 500 | 2.72 | 0.830 | 3.71 |
| 512 | 2.76 | 0.840 | 3.67 |
| 600 | 3.00 | 0.914 | 3.38 |
| 700 | 3.25 | 0.992 | 3.12 |
| 800 | 3.49 | 1.07 | 2.91 |
| 824 | 3.55 | 1.08 | 2.86 |
| 894 | 3.71 | 1.13 | 2.74 |
| 900 | 3.72 | 1.13 | 2.73 |
| 925 | 3.78 | 1.15 | 2.70 |
| 960 | 3.85 | 1.17 | 2.64 |
| 1000 | 3.94 | 1.20 | 2.59 |
| 1250 | 4.45 | 1.36 | 2.31 |
| 1500 | 4.91 | 1.50 | 2.10 |
| 1800 | 5.43 | 1.65 | 1.91 |
| 2000 | 5.75 | 1.75 | 1.81 |
| 2200 | 6.07 | 1.85 | 1.72 |
| 2300 | 6.22 | 1.90 | 1.68 |
| 3000 | 7.22 | 2.20 | 1.47 |

Resolução

2.10.1 – Potência Radiada Efetiva (ERP) dBm

$$ERP = 10 \log N + Pt + Gt \quad (\text{dBm})$$

$$= 10 \cdot \log 30 + 40 + 15$$

$$ERP = 69,77 \text{ (dBm)}$$

2.10.2– Potência Radiada Efetiva (ERP) W

$$ERP = 10^{ERP/10} 10^{-3} \text{ (W)}$$

$$ERP = 10^{69,77/10} 10^{-3}$$

$$ERP = 9.484,18 \text{ (W)}$$

2.10.3 – Densidade de Potência no Setor com Reflexão (Ss) dBm

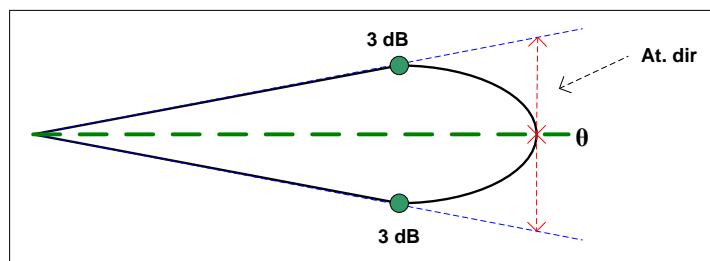
$$S_s = ERPN + 10 \cdot \log . 2,56 - C - Aten.dir - 10 \log 4\pi - 20 \cdot \log d \text{ (dBm)}$$

$$S_s = 69,77 + 10 \cdot \log 2,56 - 3,71 - 0 + 10 \cdot \log 4\pi - 20 \log 30$$

$$S_s = 29,61 \text{ (dBm)}$$

A figura 2.143 mostra o lóbulo principal de uma antena definida como “atenuação dir”, em função do afastamento do ângulo “θ”.

Figura 2.143 – Atenuação Dir



2.10.4 - Densidade de Potência no Setor sem Reflexão (Ss) dBm

$$S_s = ERPN - C - Aten.dir - 10 \log 4\pi - 20 \cdot \log d$$

$$S_s = 69,77 - 3,71 - 0 + 10 \cdot \log 4\pi - 20 \log 30$$

$$S_s = 25,53 \text{ (dBm)}$$

2.10.5 – Densidade de Potência no Setor com Reflexão (Ss) W/m²

$$S_s = 10^{S_s/10} \cdot 10^{-3} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$S_s = 10^{29,61/10} \cdot 10^{-3}$$

$$S_s = 0,914$$

$$S_s = 0,914 \times 10^{-3} / 10^{+4} = 0,0914$$

$$S_s = 0,914 \times 10^{-6} / 10^{+4} = 0,00914 \text{ (\mu W/cm}^2\text{)}$$

2.10.6 – Densidade de Potência no Setor sem Reflexão (Ss) W/m²

$$S_s = 10^{S_s(dBm)/10} \cdot 10^{-3} \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$$S_s = 10^{25,53/10} \cdot 10^{-3}$$

$$S_s = 0,35$$

$$S_s = 0,35 \times 10^{-3} / 10^{+4} = 0,035$$

$$S_s = 0,35 \times 10^{-6} / 10^{+4} = 0,0035 \text{ (\mu W/cm}^2\text{)}$$

2.10.7 - Distância Mínima (r) m

$$r = 8,16 \cdot \sqrt{ERP / f(MHz)} \text{ (m)}$$

$$r = 8,16 \cdot \sqrt{9.484 / 894}$$

$$r = 26,57 \text{ (m)}$$

2.10.8 – Campo Elétrico no Setor com Reflexão (Es) V/m

$$Es = \sqrt{377 \cdot Ss} \quad (\text{V/m})$$

$$Es = \sqrt{377 \cdot 0,914}$$

$$Es = \sqrt{377 \cdot 0,914}$$

$$Es = 18,56 \text{ (V/m)}$$

$$Es = 18,56 \times 10^{-3} / 10^2 = 1,856 \text{ (mV/cm)}$$

$$Es = 18,56 \times 10^{-6} / 10^2 = 0,0019 \text{ (\mu V/cm)}$$

2.10.9 – Campo Elétrico no Setor sem Reflexão (Es) V/m

$$Es = \sqrt{377 \cdot Ss} \text{ (V/m)}$$

$$Es = \sqrt{377 \cdot 0,35}$$

$$Es = 11,60 \text{ (V/m)}$$

$$Es = 11,60 \times 10^{-3} / 10^2 = 1,16 \text{ (mV/m)}$$

$$Es = 11,60 \times 10^{-6} / 10^2 = 0,0016 \text{ (\mu V/cm)}$$

2.10.10 – Valores Permissíveis

Δf (MHz): 869 a 894

2.10.11 – Campo Elétrico para Exposição Máxima Permissível E_{EMP} (V/m)

$$E_{EMP} = 1,37 \sqrt{f} \text{ (V/m)}$$

$$E_{EMP} = 1,37 \cdot \sqrt{894}$$

$$E_{EMP} = 40,96 \text{ (V/m)}$$

$$E_{EMP} = 40,96 \times 10^{-3} / 10^2 = 4,096 \text{ (mV/cm)}$$

$$E_{EMP} = 40,96 \times 10^{-6} / 10^2 = 0,0041 \text{ (\mu V/m)}$$

2.10.12 - Densidade de Potência para Exposição máx. perm. S_{EMP} (W/m²)

$$S_{EMP} = f / 200 \text{ (W/m²)}$$

$$S_{EMP} = 894 / 200$$

$$S_{EMP} = 4,47 \text{ (W/m²)}$$

$$S_{EMP} = 4,47 \times 10^{-3} / 10^4 = 0,447 \text{ (mW/cm²)}$$

$$S_{EMP} = 4,47 \times 10^{-6} / 10^4 = 0,0044 \text{ (\mu W/cm²)}$$

2.10.13 - Campo Magnético H (A/m)

$$H = 0,0037 \cdot \sqrt{f} \text{ (A/m)}$$

$$H = 0,0037 \cdot \sqrt{894}$$

$$H = 0,11 \text{ (A/m)}$$

2.10.14 – Densidade de Fluxo Magnético B (μ T)

$$B = \sqrt{0,0046 \cdot f} \text{ (\mu T)}$$

$$B = \sqrt{0,0046 (894)}$$

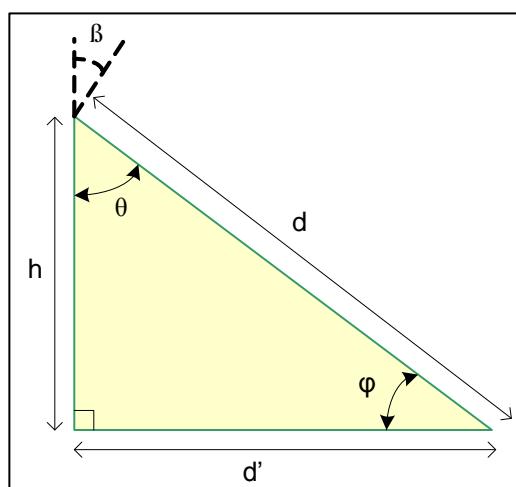
$$B = 2,02 \text{ (\mu T)}$$

2.10.15 – Área de Cobertura (m)

- ✓ Ângulo de inclinação (tilt) $\beta = 2$ (graus)
- ✓ Altura da antena $h = 60$ (m)
- ✓ Distância da antena na horizontal $d' = 1718,18$ (m)
- ✓ Distância da antena com a inclinação $d = 1719,22$ (m)

A figura 2.144 mostra o ângulo de inclinação “ β ” responsável pela área de cobertura em um site de ERB.

Figura 2.144 – Ângulo de Inclinação “ β ”



2.10.16 - Conversões

2.10.16.1 - Ganho da Antena “G” (dB_i)

$$G = 2,15 + dBd \text{ (dB_i)}$$

$$G = 2,15 + 12 = 14,15 \text{ (dbi)}$$

2.10.16.2 – Ganho “dB μ V”

$$dB\mu V = 20 \cdot \log V / 10^{-6}$$

$$dB\mu V = 20 \log 2 / 10^{-6}$$

$$\text{dB}\mu\text{V} = 246$$

2.10.16.3 – Ganho “G” em (dBm)

$$dBm = 10 \cdot \log \frac{P}{10^{-3}}$$

$$dBm = 10 \cdot \log \frac{1}{10^{-3}}$$

$$dBm = 30$$

2.11 – Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foram detalhadas as especificações e o funcionamento dos cálculos -1, responsável pela criação de cálculos, gráficos e área de cobertura da célula para a medição dos valores de rádio propagação emitidos pela telefonia móvel.

Foram descritas, passo a passo, todas as etapas necessárias para a operação dos cálculos 1, de modo a facilitar a compreensão da metodologia adotada e dos caminhos que o usuário deve trilhar para obter os resultados da medição dos valores de rádio propagação.

No próximo capítulo serão abordados a operação e o equacionamento matemático dos cálculos CDMA 2, com o objetivo de detalhar os recursos oferecidos e retirando do mesmo resultados no dimensionamento do site.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS CDMA – 2

Introdução

Em uma área urbana encontram-se obstruções tais como: prédios, casas, árvores, estruturas metálicas, aeroportos, áreas portuárias que atenuam os sinais de rádio. Há também com pontos de reflexão do sinal de rádio frequência como, por exemplo, água, superfície da terra, edificações. Para lidar com essas eventualidades, foi criado um modelo de cálculo (Kiszka Jr, 2010) que permite aproximação dos valores mais reais possíveis. Nesses cálculos, foram inserido um número maior de variáveis no modelo de propagação em um ambiente real.

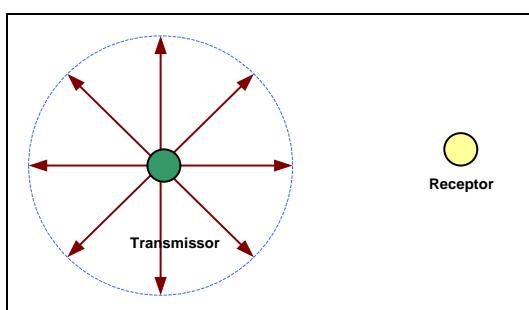
Com a inserção de mais parâmetros nos cálculos, não desconsiderando as obstruções, absorções, difrações e reflexão do sinal de rádio, procurou-se aproximar maximamente de um sistema de propagação real cujos resultados terão melhor eficácia para os usuários.

Este capítulo é dedicado à exposição das especificações e do funcionamento dos cálculos CDMA-2.

3.1 - Radiação Isotrópica

Uma antena isotrópica irradia igualmente em todas as direções. Essa antena não existe e, assim, todas as antenas práticas têm associadas alguma diretividade. A antena isotrópica é uma referência comparativa para as outras antenas, sendo útil na explicação de fundamentos. Considere uma fonte isotrópica que irradia a potência P_t (em watts) igualmente em todas as direções. A figura 3.145 a seguir ilustra uma radiação isotrópica. [1.16]

Figura 3.145 – Radiação Isotrópica



A potência por unidade de área ou densidade de potência (ρ) radiada na superfície de uma esfera de raio R centrada na fonte é dada por

$$\rho = \frac{Pt \cdot Gt}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \quad \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (4.1)$$

onde $4\pi R^2$ é a área da superfície da esfera e Pt é a potência do canal de rádio. A unidade típica de densidade de potência radiada é o Watts por metro quadrado.

[1.16]

Define-se como comprimento de uma onda eletromagnética λ a relação da velocidade da luz V ($3 \cdot 10^8$ m) sobre a frequência "f" em operação é dada por

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (m) \quad [1.16]$$

O princípio da reciprocidade tem bases firmadas nas equações Maxwell da teoria eletromagnética. Isso nos leva a concluir que os ganhos de potência das antenas transmissoras e receptoras são iguais. Partindo da reciprocidade, pode-se definir a área efetiva como:

$$Ae = \frac{Gr \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi} \quad (m^2) \quad (4.2)$$

A potência Pr recebida pela antena receptora depende do tamanho e da orientação da antena relativamente ao transmissor. A potência recebida por uma antena de área efetiva ou seção reta de absorção Ae é dada por [1.16]

$$Pr = \rho Ae = Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (W) \quad (4.4)$$

A área física da antena (A) e a sua área efetiva (Ae) estão relacionadas através da eficiência da antena η [1.10]

$$\eta = \frac{Ae}{A} \quad (4.5)$$

Esse parâmetro indica o quanto uma antena converte a radiação eletromagnética incidente no sinal elétrico correspondente. A partir de pontos afastados da antena isotrópica, observa-se que o transmissor assume a forma pontual. Contudo, partindo da teoria eletromagnética, nota-se que a área efetiva de uma antena isotrópica em qualquer direção é dada por [1.10]

$$Aiso = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (m^2) \quad (4.6)$$

onde λ é definido como comprimento de onda da radiação.

Substituindo a equação 4.4 na equação 4.2, obtém-se a seguinte relação entre potência transmitida e recebida por antenas isotrópicas:

[1.10]

$$Pr = \frac{Pt}{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)^2} = \frac{Pt}{Lp} \quad (W) \quad (4.7)$$

Nesta equação, a perda do percurso ou caminho é definida como

$$Lp = (4\pi R/\lambda)^2 \quad (dB) \quad (4.8)$$

A quantidade L_p é definida com a perda no espaço livre entre duas antenas isotrópicas. Essa definição de perda do percurso depende, surpreendentemente, do comprimento de onda irradiado e consequentemente da dependência da área efetiva de uma antena isotrópica com o comprimento de onda.

[1.10]

3.2 – Radiação Direcional

Enquanto a radiação isotrópica é um útil instrumento teórico ilustrativo, na prática a maioria das antenas não é isotrópica. Elas possuem um ganho ou diretividade $G(\theta \varphi)$ que é uma função do ângulo azimutal θ e do ângulo de elevação φ .

[1.10]

Mede-se o ângulo azimutal θ no plano horizontal da antena relativamente à direção horizontal de referência. A direção de referência poderia, por exemplo, ser medida relativamente ao norte.

[1.10]

O ângulo de elevação φ é medido na direção vertical, acima do plano horizontal.

Para a mesma potência transmitida, o ganho de uma antena é definido como

$$Gt(\theta, \varphi) = \frac{\text{Densidade de potência na direção } (\theta, \varphi)}{\text{Densidade de potência de uma antena isotrópica}} \quad (4.9)$$

Com essa definição, o ganho de potência de uma antena isotrópica transmissora é unitário.

A expressão correspondente para o ganho de potência de uma antena receptora é dada por

$$Gr(\theta, \varphi) = \frac{\text{Área efetiva na direção } (\theta, \varphi)}{\text{Área efetiva de uma antena isotrópica}} \quad (W) \quad (4.10)$$

As equações 4.9 e 4.10 definem o ganho de potência das antenas transmissora e receptora, respectivamente. Como em geral a comunicação é

bidirecional, a mesma antena é utilizada frequentemente tanto para transmitir quanto para receber. O princípio da reciprocidade tem bases firmadas nas equações Maxwell. Isso implica que, se a direção de propagação for invertida, a energia transportada pela onda radiada deve seguir exatamente o mesmo percurso e sofrer exatamente os mesmos efeitos, só que na direção inversa. Isso leva a concluir que os ganhos de potência das antenas transmissora e receptoras são iguais. [1.10]

Partindo do princípio da reciprocidade e da equação 4.9, o ganho máximo de transmissão ou de recepção de uma antena, em qualquer direção, é expresso por:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \cdot Ae \quad (W) \quad (4.11)$$

No item a seguir será abordado o modelo clássico de perdas do sinal de uma onda eletromagnética no espaço livre.

3.3 – Perda no Espaço Livre

Quando se utilizam antenas não isotrópicas, relacionam-se as perdas no espaço livre à potência transmitida e recebida por antenas genéricas através da substituição direta das definições dos ganhos dados pelas equações 4.9 e 4.10 na equação 4.7 pelas quais se chega a: [1.10]

$$Pr = \frac{Pt \cdot Gt \cdot Gr}{Lp} \quad (W) \quad (4.12)$$

A equação 12 é conhecida normalmente como equação de Friis. Pode-se simplesmente simplificá-la, escrevendo em termos do ganho em decibel, onde X (dB) = 10 log 10 (X). [1.10]

$$Pr = Pt + Gr + Gt - Lp \quad (dB) \quad (4.13)$$

Esta equação é fundamental para o planejamento de rádio enlace. Ela relaciona as potências recebidas e transmitidas, levando em consideração as características de transmissão do enlace rádio. [1.10]

Pode-se escrever a perda no espaço livre (L_p) como

$$Lp = 10 \cdot \log\left[\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2\right] \quad (dB) \quad (2.14)$$

$$Lp = 32,44 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d) \quad (dB) \quad (4.15)$$

a frequência de operação é dada em MHz e a distância do rádio enlace é expressa em km.

No item a seguir será apresentado um modelo de propagação de sinal de rádio terra-móvel baseado em medições empíricas.

3.4 – Modelo de Propagação - A

Os modelos de predição são baseados em dados experimentais e extensivo em análises estatísticas, de que se lança mão para computar o nível de sinal recebido e dar a propagação média. Comercialmente, muitas ferramentas de predição computacional disponíveis são baseadas neste modelo.

O uso e a precisão dos modelos de predição dependem principalmente do ambiente de propagação. O modelo de Okumura-Hata apresenta boas aproximações em ambientes urbano e suburbano. A melhor aplicação deste modelo acontece na faixa de frequência compreendida entre 150 MHz e 2 GHz. Os dados originais foram medidos por Okumura e outros em diversas áreas do Japão. Muitos gráficos foram criados ilustrando vários fatores que afetam a propagação terra-móvel incluindo as características das construções e a altura de antena. Hata forneceu mais tarde aproximações analíticas para esses tipos de dados que tratavam a maioria desses efeitos. [1.10]

O modelo Okumura-Hata prediz a perda do percurso médio em três tipos de meios: urbano, suburbano e aberto. As perdas do percurso médio (em dB) para esses três tipos de meios são dadas pelas equações.

No item a seguir será proposto um modelo para áreas urbanas.

3.4.1 – Modelo para Área Urbana

Para o escopo deste trabalho, áreas urbanas são os locais onde os sinais de rádio frequência podem sofrer absorção, reflexão e obstrução, tendo como consequência uma área de cobertura do sistema móvel celular ineficiente (área de sombra), pois não possibilita a conexão da chamada ou leva à sua perda, de forma que o resultado é a degradação do serviço.

O modelo para área urbana favorece a percepção dos efeitos da difração, da reflexão e da dispersão causadas pela estrutura da cidade. Este modelo é apropriado para ligações ponto-a-ponto e difusão de transmissões e é baseado em extensas medidas empíricas tomadas. [1.10]

Este modelo foi baseado em dados experimentais coletados em vários ambientes urbanos. A área urbana em estudo 15% de construção de verticalização (prédios). [1.10]

A fórmula geral do modelo da perda do sinal de rádio frequência no caminho é dada por:

$$L_p = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(hb) - a(hm) + [44,9 - 6,55 \log(hb)] \log(d) + C_0 \quad (4.16)$$

L_p = perda no caminho, dB

f = frequência, MHz

d = distância entre a estação rádio base e o móvel, km (**1km < d < 20 km**)

hb = altura da estação rádio base (altura da antena), m (**30 m < hb < 200 m**)

a(hm) = constante de aproximação da altura do móvel, dB

$$a(hm) = \{1,1 \cdot \log(f) - 0,7\} \cdot hm - \{1,56 \cdot \log(f) - 0,8\} \quad (dB) \quad (4.17)$$

a(hm) = altura da antena do móvel, m (**1 m < hm < 10 m**)

C₁ = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= **69,55** entre $150 \text{ MHz} \leq f \leq 1000 \text{ MHz}$

= **46,3** entre $1500 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$

C₂ = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= **26,16** entre $150 \text{ MHz} \leq f \leq 1000 \text{ MHz}$

= **33,9** entre $1500 \text{ MHz} \leq f \leq 2000 \text{ MHz}$

C₀ = **0** para área urbana

Inserindo a expressão (4.17) em (4.16) obtemos

$$\begin{aligned} L_p u = & C_1 + C_2 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(hb) - \{1,1 \cdot \log(f) - 0,7\} \cdot hm \\ & - \{1,56 \cdot \log(f) - 0,8\} + [44,9 - 6,55 \cdot \log(hb)] \cdot \log(d) \\ & + C_0 \quad (dB) \quad (4.18) \end{aligned}$$

O item a seguir será dedicado ao modelo ideal para áreas densas.

3.4.2 – Modelo para Área Densa

No modelo para área do tipo urbana densa temos que levar em consideração a verticalização de áreas construídas (prédios), contexto em que as perdas são maiores na área urbana e a degradação do sinal de RF é mais acentuada em função do maior número de obstruções, reflexões e difração no percurso do sinal de rádio.

Na área do tipo urbana densa se registram as perdas mais altas no percurso bem como o nível de sinal calculado mais baixo em consequência da trajetória do sinal de rádio. A seguir será apresentado o modelo matemático.

O modelo da perda do sinal de RF no caminho é dado por [1.10]

$$\begin{aligned} L_p ud = & C_1 + C_2 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(hb) - a(hm) \\ & + [44,9 - 6,55 \cdot \log(hb)] \cdot \log(d) + C_0 \quad (dB) \quad (4.19) \end{aligned}$$

onde

L_p = perda no caminho, dB

f = frequência, MHz

d = distância entre a estação rádio base e o móvel, km ($1\text{km} < d < 20\text{ km}$)

h_b = altura efetiva da ERB (altura da antena), m ($30\text{ m} < h_b < 200\text{ m}$)

$a(h_m)$ = constante de aproximação da altura do móvel, dB

$$a(h_m) = 3,2 \cdot [\log \{11,75 \cdot h_m\}]^2 - 4,97 \text{ (dB)} \quad (4.20)$$

h_m = altura da antena do móvel, m ($1\text{ m} < h_m < 10\text{ m}$)

C_1 = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= 69,55 entre $150\text{ MHz} \leq f \leq 1000\text{ MHz}$

= 46,3 entre $1500\text{ MHz} \leq f \leq 2000\text{ MHz}$

C_2 = correção do sinal de RF em função da frequência, dB

= 26,16 entre $150\text{ MHz} \leq f \leq 1000\text{ MHz}$

= 33,9 entre $1500\text{ MHz} \leq f \leq 2000\text{ MHz}$

$C_0 = 3\text{ dB}$

Inserindo a expressão (4.20) em (4.19) obtemos

$$L_p \text{ ud} = C_1 + C_2 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - 3,2 [\log \{11,75 \cdot h_m\}]^2 - 4,97 + [44,9 - 6,55 \log(h_b)] \log(d) + C_0 \text{ (dB)} \quad (4.21)$$

No item a seguir é exposto o modelo em área aberta ou rural.

3.4.3 – Modelo de Área Aberta / Rural

Considera-se área aberta/rural aquela isenta de reflexões, difrações, absorção e obstrução do sinal de RF.

No desenvolvimento do modelo matemático, adicionam-se as perdas de áreas urbanas. As perdas em área aberta são as mesmas em áreas rurais. O modelo de perda no caminho é dado. [1.11]

$$L_p \text{ r} = L_p \text{ o} = L_p \text{ u} - 4,78 (\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94 \text{ (dB)} \quad (4.22)$$

onde

$L_p \text{ o}$ = perdas em área aberta, dB

$L_p \text{ r}$ = perdas em área rural, dB

$L_p \text{ u}$ = perdas em área urbana, dB

f = frequência, MHz

No próximo item será exemplificado o modelo para áreas suburbanas.

3.4.4 – Modelo para área Suburbana

O modelo para áreas do tipo suburbana apresenta uma área intermediária entre área urbana e densa. As considerações matemáticas são apresentadas através da expressão matemática. [1.11]

$$L_{p\ su} = L_{p\ u} - 2 [\log(f/28)]^2 - 5,4 \text{ (dB)} \quad (4.23)$$

onde

$L_{p\ su}$ = perdas de área suburbana, dB

$L_{p\ u}$ = perdas de área urbana, dB

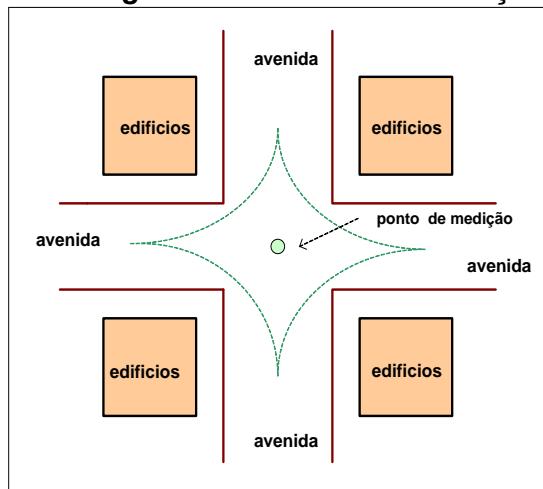
f = frequência, MHz

A seguir será exemplificado o modelo de propagação de perdas no sinal de rádio baseado em medições.

3.5 – Modelo de Propagação - B

Foi utilizado o modelo de Walfisch-Ikegami para ambientes em áreas de densidade urbana alta. Este modelo matemático está alicerçado em vários parâmetros urbanos tais como densidade das edificações, altura média das edificações e largura de árvores. A largura das árvores tem um decréscimo significativo de perda do sinal de RF. A altura das antenas é geralmente mais baixa que a altura média das edificações, por sua vez, os sinais de RF são guiados ao longo das ruas. Os cálculos é do tipo de um ambiente canyon urbano. A figura 3.146 a seguir exemplifica um “ponto de medição” onde o sinal de rádio é obstruído por prédios. [1.10]

Figura 3.146 - Ponto de Medição



O modelo de perda do sinal de RF no percurso na linha de vista é dado por

$$L_p (\text{LOS}) = 42,6 + 20 \log (f) + 26 \log (d) \quad (\text{dB}) \quad (4.24)$$

$L_p (\text{LOS})$ = perda do sinal de RF na linha de vista, dB

f = frequência, MHz

d = distância, km

Pode-se também fazer previsões acerca das perdas do sinal de RF em uma trajetória fora da linha de vista (NLOS). Adicionam-se também neste modelo as perdas por difração (L_{diff}) causadas por estruturas metálicas do tipo rooftop (cavaletes) instaladas em cima de prédios e perdas por difração de multi-percurso (L_{mult}) causadas por sinais de rádio ao percorrerem os arredores de edifícios. A figura 3.137 a seguir exemplifica um sistema irradiante do tipo *rooftop*.

Figura 3.147 - Estrutura Rooftop



O modelo de perda de sinal rádio fora da linha de vista é dado [1.11]

$$L_p (\text{NLOS}) = 32,4 + 20 \log (f) + 20 \log (d) + L_{\text{diff}} + L_{\text{mult}} \quad (\text{dB}) \quad (4.25)$$

f = frequência , MHz

d = distância, km

L_{diff} = perda do sinal de rádio ocasionada por difração, dB

L_{diff} = perda do sinal de rádio ocasionada por difração, dB

A perda do sinal de rádio por difração é caracterizada por [1.11]

$$L(\text{diff}) = -16,9 - 10 \log (\Delta W) + 10 \log (f) + 20 \log (\Delta hm) + L(0) \quad (\text{dB}) \quad (4.26)$$

onde

ΔW = distância entre a rua onde se encontra o móvel e a edificação (rooftop), m
(máximo até 2000 m).

f = frequência, MHz

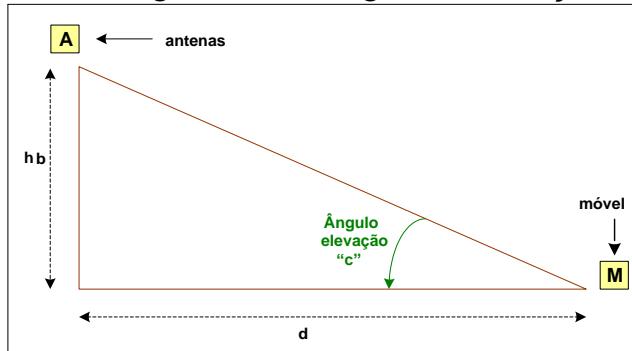
h_{rooft} = altura da antena instalada no rooftop, m

h_m = altura da antena do móvel, m

$$\Delta h_m = h_{rooft} - h_m \text{ (m)} \quad (4.27)$$

$L(o)_{dB}$ = perdas de sinal devido o ângulo de elevação entre o móvel e a antena dado em dB. A figura 3.148 a seguir mostra o ângulo de elevação “c”

Figura 3.148 - Ângulo de Elevação



Este modelo permite calcular as perdas por multi difração e componentes de espalhamento através da seguinte equação. [1.6]

$$L(\text{mult}) = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \text{ (dB)} \quad (4.28)$$

$$L(\text{mult})_{su} = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf \cdot su \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \text{ (dB)} \quad (4.29)$$

$$L(\text{mult})_u = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf_u \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \text{ (dB)} \quad (4.30)$$

onde

$$ko = -18 \cdot \log(1 + \Delta hb) \quad (4.31)$$

$$ka = 54 - 0,8 \cdot (\Delta hb \text{ para } d \geq 0,5) \quad (4.32)$$

$$kd = 18 - 15 \cdot \left(\frac{\Delta hb}{h_{rooft}} \right) \quad (4.33)$$

$$kf_{su} = -4 + 0,7 \cdot \left[\left(\frac{f}{925} \right) - 1 \right] \quad \text{área sub-urbana} \quad (4.34)$$

$$kf_u = -4 + 1,5 \cdot \left[\left(\frac{f}{925} \right) - 1 \right] \quad \text{área urbana} \quad (4.35)$$

w = largura da rua

h_{rooft} = altura média das edificações pequenas ($h_{rooft} < hb$).

$$\Delta hb = hb - h_{rooft} \text{ (m)} \quad (4.36)$$

3.6 - Cálculos Adicionais

3.6.1 – Cálculos de Reflexão

Estes cálculos dimensionam as perdas no sistema de RF tais como cabos e antenas. Este aplicativo permite calcular o coeficiente de reflexão, a relação de onda estacionária, a relação de potência refletida, a perda de retorno e a perda do sinal causado por descasamento de impedância.

Define-se coeficiente de reflexão (r) como a relação da potência refletida (P_r) sobre a potência direta (P_d). As potências são expressas em Watts [1.22]

$$r = \frac{P_r}{P_d} \quad (4.37)$$

Define-se, por sua vez, a relação de onda estacionária de tensão (VSWR) como: [1.22]

$$VSWR = \frac{1+r}{1-r} \quad (4.38)$$

Define-se a perda de retorno (A_r) em um sistema de transmissão como
 $A_r = -20 \cdot \log r \quad (dB) \quad (4.39)$

Através da relação de potência refletida pela potência de saída pode-se definir a relação de potência refletida porcentual como [1.22]

$$Pr/P = 100 \cdot r^2 \quad (\%) \quad (4.40)$$

A perda de descasamento (A_m) define-se como sendo a atenuação do sinal de RF por descasamento de impedância do cabo, conector e antena, a qual pode ser expressa como [1.22]

$$Am = -10 \log (1 - r^2) \quad (dB) \quad (4.41)$$

3.6.2 - Conversão de Correção Dipolo / Isotrópico

O diagrama mostra que um sinal de RF irradia em uma direção através de dois elementos designados de dipolo. Entretanto, é possível se chegar a um diagrama de irradiação de uma onda eletromagnética com uma irradiação do sinal em todas as direções a que se chama de irradiação isotrópica. O fator de correção se expressa como: [1.22]

$$G = dBd + 2,15 \quad (dBi) \quad (4.42)$$

3.6.3 – Conversão de Níveis

A unidade dBm indica a relação entre duas potências P1 e P2, quando se estabelece como referência P2 = 1 mW. Desta forma, fixa-se a referência em 1mW e uma impedância de 600 Ω. Esta relação de potência se expressa como

[1.16]

$$dBm = 10 \cdot \log \frac{P1}{10^{-3}} \quad (4.43)$$

Usa-se dBu para medir a relação de duas tensões tais como V1 e V2. A tensão de referência V2 é igual 0,775 V para uma impedância de 600 Ω. Segue-se a equação: [1.16]

$$dBu = 20 \cdot \log \frac{V1}{0,775} \quad (4.44)$$

Interpreta-se a unidade dBmV como a relação de tensão V1 e V2, sendo que a tensão V2 tem referência de 1 mV para uma impedância de 75 Ω. Expressa-se pela equação a seguir [1.16]

$$dBmV = 20 \cdot \log \frac{V1}{10^{-3}} \quad (4.45)$$

A unidade dBµV é entendida como a relação de duas tensões V1 e V2, sendo que a tensão V2 é referenciada em 1 µV e para uma impedância de 50 Ω. Tem-se a seguinte equação [1.16]

$$dB\mu V = 20 \cdot \log \frac{V1}{10^{-6}} \quad (4.46)$$

No item a seguir apresentam-se as frequências utilizadas em sistemas celulares em operação no território nacional.

3.7 – Frequências Utilizadas no Brasil em Sistema Celular

As faixas de frequência para o sistema móvel pessoal no Brasil (SMP) estão disponíveis em bandas cujas frequências serão empregadas no desenvolvimento dos cálculos. [5.7]

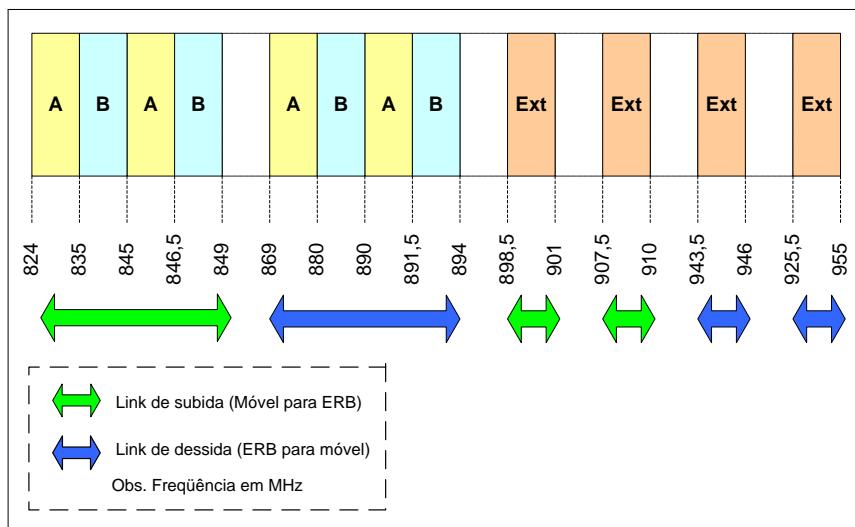
- ❖ 850 MHz, Bandas A e B.
- ❖ 900 MHz, bandas de extensão utilizadas no GSM
- ❖ 1700 e 1800 MHz, bandas D, E e sub-faixas de extensão utilizadas pelo GSM.
- ❖ 1900 MHz e 2100 MHz destinadas na sua maior parte para sistema de terceira geração (3G).

A figura 3.140 abaixo mostra as faixas de frequências do *link* de subida e descida utilizada no sistema celular nas faixas de 850 MHz e 900 MHz. As faixas de frequência são designadas por banda de que resultaram as faixas A e B. As bandas apresentam um espectro de frequência descontínuo em sua faixa.

[5.7]

A Anatel adotou as frequências de 1900 e 2100 MHz para implantação do 3G no Brasil. Não existe, no entanto, impedimento para a utilização de outras faixas de frequência para o 3 G. Por exemplo, as operadoras de sistema móvel celular, Vivo, Telemig e Claro implantaram suas redes 3G em 850 MHz. A figura 3.149 a seguir mostra a composição do espectro de frequência utilizado no território nacional:

Figura 3.149 - Faixas de Frequência entre 850 e 900 MHz



Com a tabela 3.24 detalham-se as frequências utilizadas na transmissão de telefonia celular com sub-faixas de frequência: A, B, D, E e sub-faixas de extensão. As operadoras de celular que possuem frequências nas faixas de 800 MHz (banda A e B) podem utilizar estas frequências para implantação do sistema 3G no padrão UMTS (WCDMA/HSDPA)⁶. Segue a exibição do espectro de frequência de 850 e 900 MHz.

[5.7]

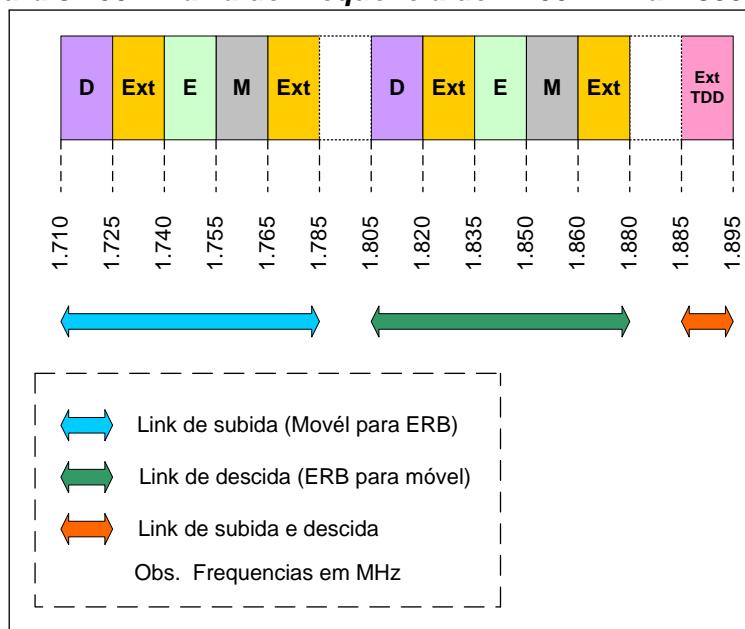
⁶ Esta faixa tem sido utilizada por operadoras nos Estados Unidos para a implantação do 3G.

Tabela 3.24 – Sub-faixas de Transmissão

| Frequências (MHz) | Transmissão | |
|----------------------|--|---|
| | Estação Móvel | ERB |
| Subfaixa A | 824 – 835 845 – 846,5 | 869 – 880 890 – 891,5 |
| Subfaixa B | 835 – 845 846,5 – 849 | 880 – 890 891,5 – 894 |
| Subfaixa D | 910 – 912,5 1710 – 1725 | 955 – 957,5 1805 – 1820 |
| Subfaixa E | 912,5 – 915 1740 – 1755 | 957,5 – 960 1835 – 1850 |
| Subfaixa de Extensão | 898,5 – 901 907,5 – 910 1725 – 1740 1775 – 1785 | 943,5 – 946 952,5 – 955 1820 – 1835 1870 |

A figura 3.150 apresenta as faixas de frequência de 1.700 MHz e 1.800 MHz empregadas no sistema móvel celular. Dentro destas faixas operou-se nas bandas: D, E, M, e as suas respectivas extensões: [5.7]

Figura 3.150 - Faixa de Frequência de 1.700 MHz a 1.800 MHz

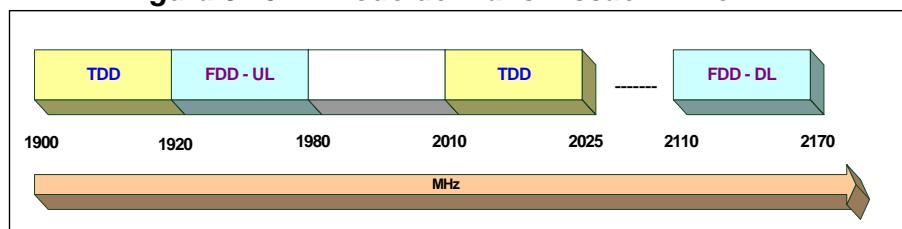


A regulamentação do espectro de frequência do 3G tem sido objeto de estudo e discussão em vários países com o propósito de padronizar faixas de ocupação. A dificuldade na padronização do espectro de frequência se deve ao fato de que outros serviços também fazem uso dele e nem sempre é possível fazer o remanejamento de faixas de frequência ocupadas.

Atualmente a tecnologia de radio trabalha com dois modos de duplexações: FDD e TDD. O canal de radio em FDD aloca duas frequências (ida e volta) e o TDD usa uma única frequência tanto no enlace de subida quanto no de descida, otimizando o espectro de frequência e duplicação da capacidade de sistema.

A padronização do ITU-T designa a largura de banda para a operação em FDD em 1920 – 1980 MHz para o enlace de subida e 2110 – 2170 MHz para o enlace de descida. A alocação de um canal requer duas portadoras de 5 MHz, enlace de subida e descida com um espaçamento de 190 MHz. Para que exista uma cobertura eficiente de sinal de RF recomenda-se 3 portadoras, considerando que o espectro oferecido para o 3 G é de 12 pares de portadoras e as operadoras de serviços tem pago bilhões de dólares com licença. A figura 3.151 a seguir mostra os modos de transmissão via radio FDD e TDD.

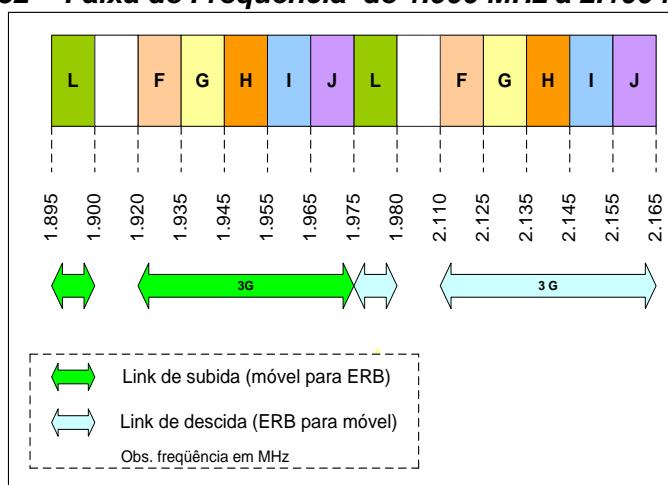
Figura 3.151 – Modo de Transmissão FDD e TDD



[1.40]

A figura 3.152 mostra as faixas de frequência de 1.900 MHz e 2.100 MHz com aplicações em sistemas celulares. Estas faixas de frequência operam nas bandas: L, F, G, H, I, J. [5.7]

Figura 3.152 - Faixa de Frequência de 1.900 MHz a 2.100 MHz



A tabela 3.25 exibe as novas bandas do serviço móvel pessoal (SMP). [5.7]

Tabela 3.25 - Sub-Faixas do Sistemas SMP

| Sub-faixas | Transmissão | |
|-----------------------|---------------|-----------------|
| | Estação Móvel | ERB |
| F* | 1.920 – 1.935 | 2.110 – 2.125 |
| G* | 1.935 – 1.945 | 2.125 – 2.135 |
| H* | 1.945 - 1.955 | 2.135 – 2.145 |
| I* | 1.955 – 1.965 | 2.145 – 2.155 |
| J* | 1.965 – 1.975 | 2.155 – 2.165 |
| L | 1.895 – 1.900 | 1.975 – 1.980 |
| M | 1.755 – 1.765 | 1.850 - 1860 |
| Subfaixas de Extensão | 1.765 – 1.770 | 1.860 – 1865 |
| | 1.770 - 1775 | 1.865 – 1.870 |
| | | 1.885 – 1890** |
| | | 1.890 – 1.895** |

Faixas reservadas para o sistema 3 G

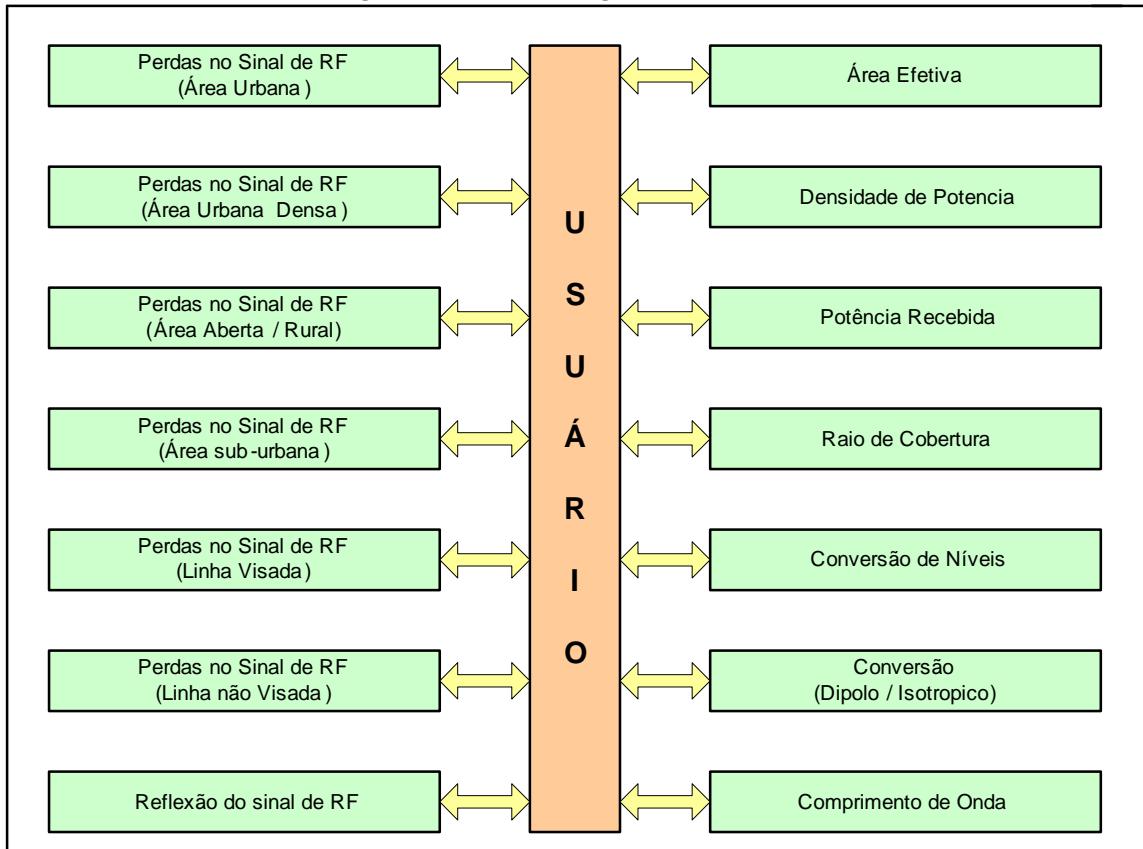
** Sistema TDD (Time Division Duplex) que utilizamos a mesma subfaixa de frequência para transmissão nas duas direções.

No item a seguir é apresentado o diagrama de bloco dos cálculos com suas respectivas funções.

3.8 – Operações Realizadas pelos Cálculos

Para facilitar a obtenção de resultados de forma rápida e a comparação com os diversos modelos de perdas do sinal de RF, o diagrama de bloco geral dos cálculos é expresso com os respectivos recursos de cálculo. A figura 3.153 mostra o diagrama de bloco geral dos cálculos nas opções de propagação A e B.

Figura 3.153 – Diagrama Geral dos Cálculos



No item a seguir serão apresentados detalhes da operação.

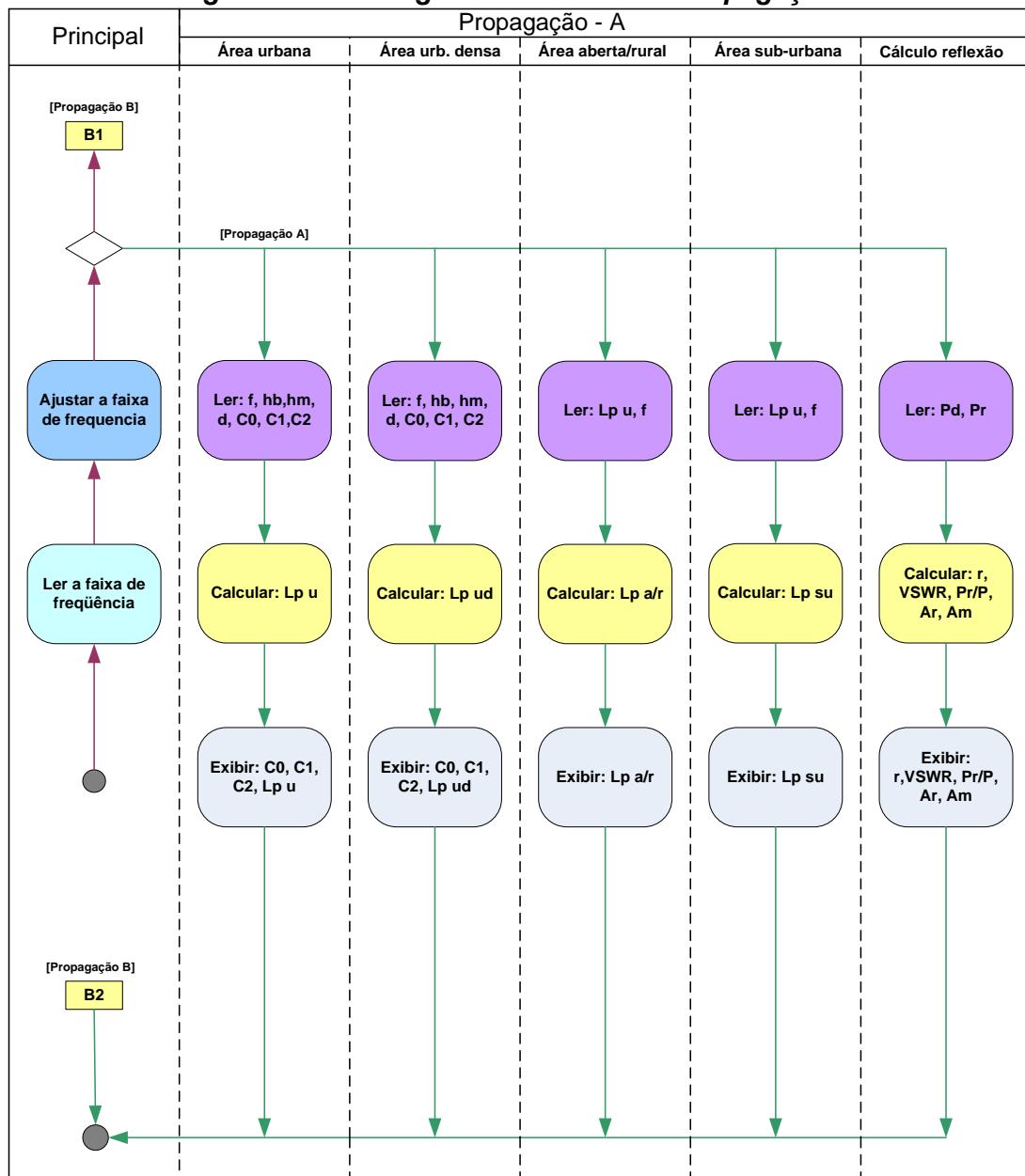
3.8.1 – Operação dos Cálculos - Propagação A

Através do diagrama de atividade tem-se uma visão geral da operação dos cálculos na condição de propagação A. Primeiramente, ajusta-se a faixa de frequência de operação desejada e em seguida escolhem-se as perdas do sinal de rádio nas condições de área: urbana, urbana densa, aberta/rural e suburbanas.

Ao escolher como opção a área urbana, entra-se com as variáveis: frequência (f), altura da estação rádio base (hb), altura do móvel (hm), distância do móvel em relação à estação rádio base (d). As constantes (C_0 , C_1 , C_2) são alocadas automaticamente em função da faixa de frequência escolhida. Os cálculos passam a ler a variável, calcula os dados inseridos e exibe os resultados das perdas em uma área urbana ($L_p u$).

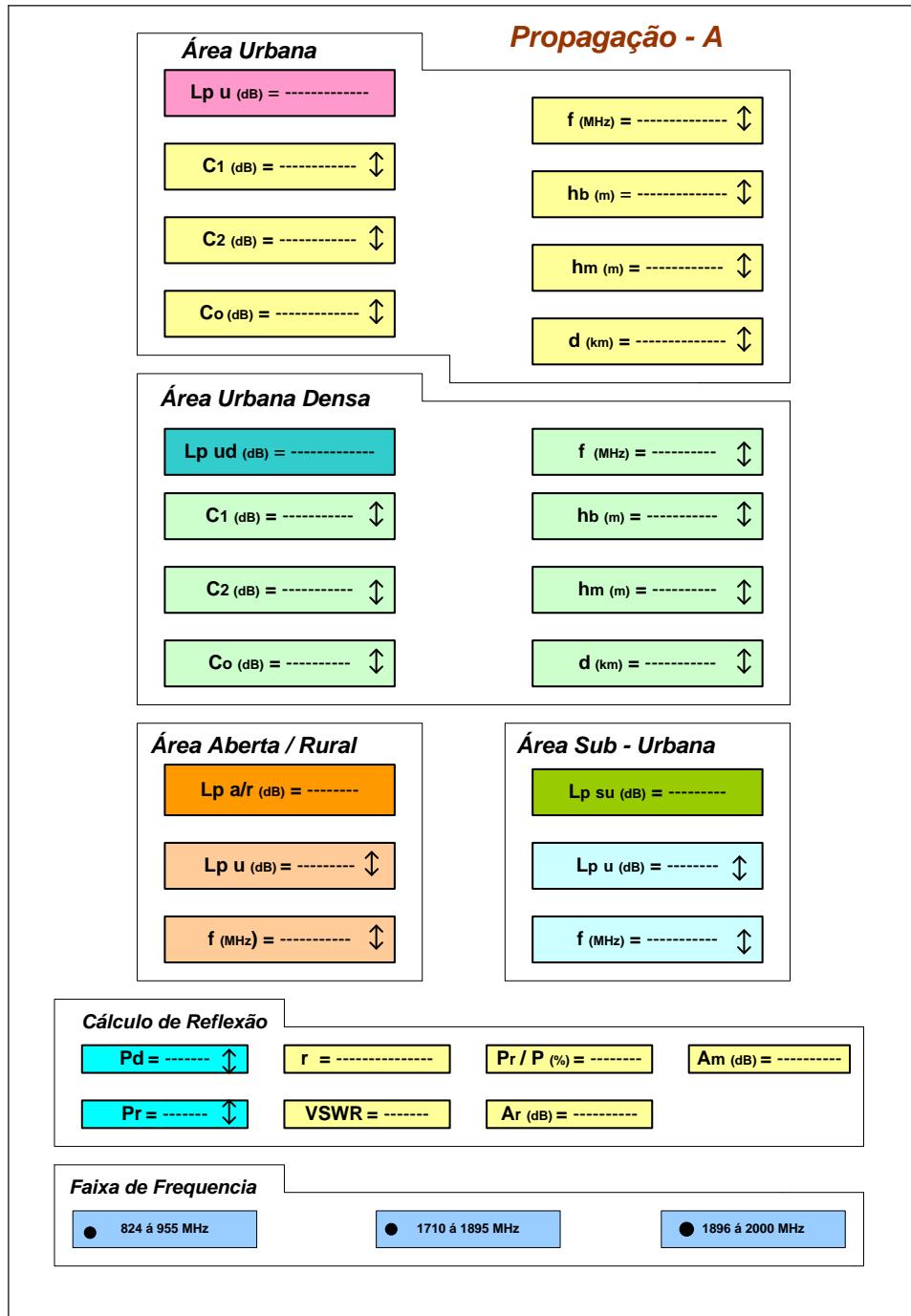
É possível comparar os resultados de perdas do sinal de RF (L_p) nas opções de propagação A/B. A figura 3.154 mostra o diagrama de atividade da Propagação A.

Figura 3.154 - Diagrama de Atividade Propagação A



Através da operação dos cálculos com a opção de propagação A, tem-se os cálculos de perdas de sinal de RF nas áreas urbanas, urbana densa, suburbana, aberta/rural; cálculos de reflexão e faixas de frequência utilizadas na telefonia móveis celulares utilizadas no território nacional. A figura 3.155 mostra o diagrama de bloco dos recursos de cálculos disponíveis na opção de propagação A.

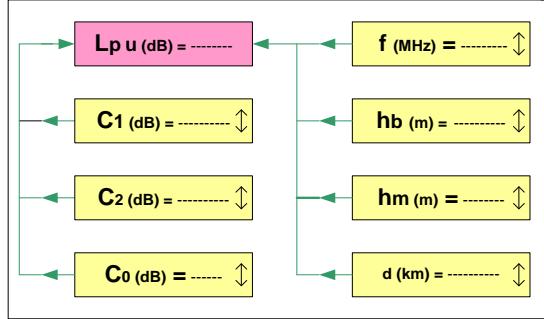
Figura 3.155 - Diagrama de Bloco Propagação – A



3.8.1.1 – Área Urbana

O resultado das perdas do sinal de RF em uma área urbana ($L_p u$) é obtido com o adicionamento dos fatores de correção de frequência (C_0 , C_1 , C_2), frequência (f), altura de antena da estação rádio base (h_b), altura da antena do móvel (h_m) e distância do móvel em relação à estação rádio base (d). A figura 3.156 a seguir exemplifica o diagrama de bloco das perdas em uma área urbana.

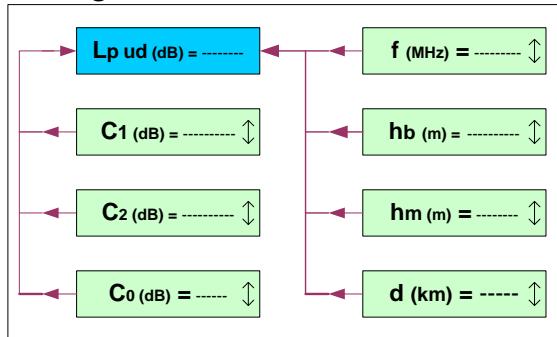
Figura 3.156 - Diagrama de Bloco da Área Urbana



3.8.1.2 – Área Urbana Densa

Os resultados obtidos nas perdas de sinal de RF em uma área urbana densa ($L_{p\text{ ud}}$) são obtidos através da inserção das variáveis tais como: fatores de correção de frequência (C_0, C_1, C_2), frequência (f), altura de antena da estação rádio base (h_b), altura da antena do móvel (h_m) e distância do móvel a estação rádio base (d). A figura 3.157 mostra o diagrama de bloco da área urbana densa.

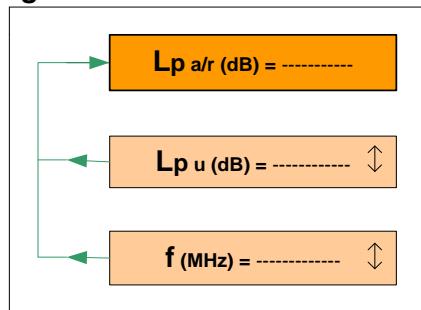
Figura 3.157 - Diagrama de Bloco Área Urbana Densa



3.8.1.3 – Área Aberta / Rural

Adquirem-se os resultados das perdas do sinal de RF em uma área aberta ou rural através do adicionamento das variáveis tais como: perdas na área urbana ($L_{p\text{ u}}$) mais a frequência de operação do canal de rádio (f). A figura 3.158 mostra o diagrama de bloco da área aberta ou rural.

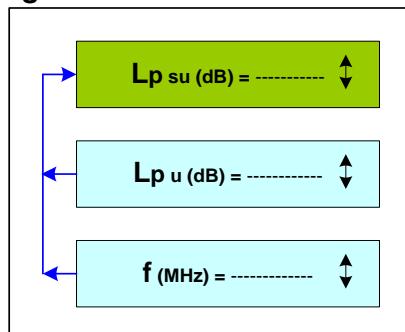
Figura 3.158 - Área Aberta/Rural



3.8.1.4 – Área Suburbana

O resultado de perda de sinal de RF em uma área suburbana é obtido através da inserção das variáveis de perdas no sinal de RF de uma área urbana ($L_p u$) mais a frequência de operação do canal de rádio. A figura 3.159 mostra o diagrama de bloco de uma área suburbana.

Figura 3.159 - Área Suburbana

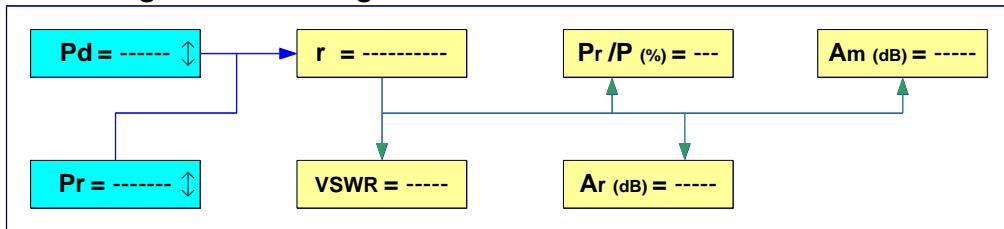


3.8.1.5 – Cálculo de Reflexão

Para os cálculos de reflexão do sinal de rádio foram considerados o coeficiente de reflexão (r), a relação de onda estacionária (VSWR), a relação de potência refletida (Pr/P), a perda de retorno (Ar) e a perda do sinal através do descasamento de impedância (Am).

Quando se inserem a potência refletida (Pr) e a potência direta (P) automaticamente se obtêm os resultados de reflexão do sinal de RF. A figura 3.160 mostra o diagrama de bloco dos cálculos de reflexão.

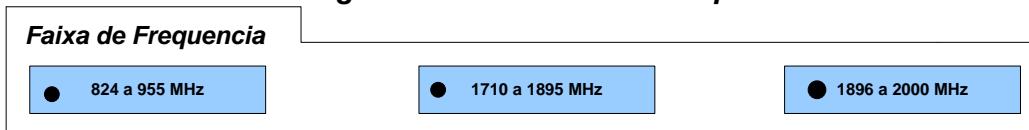
Figura 3.160 - Diagrama de Bloco do Cálculo de Reflexão



3.8.1.6 – Faixa de Frequência de Operação

Foi desenvolvido um campo dos cálculos na opção de Propagação – A, designado de faixa de frequência de operação do qual pode-se selecionar as frequências que vão de 824 a 955 (MHz), de 1710 a 1895 (MHz), de 1896 a 2000 (MHz). A figura 3.161 apresenta o diagrama de bloco das faixas de frequência.

Figura 3.161 - Faixas de Frequência

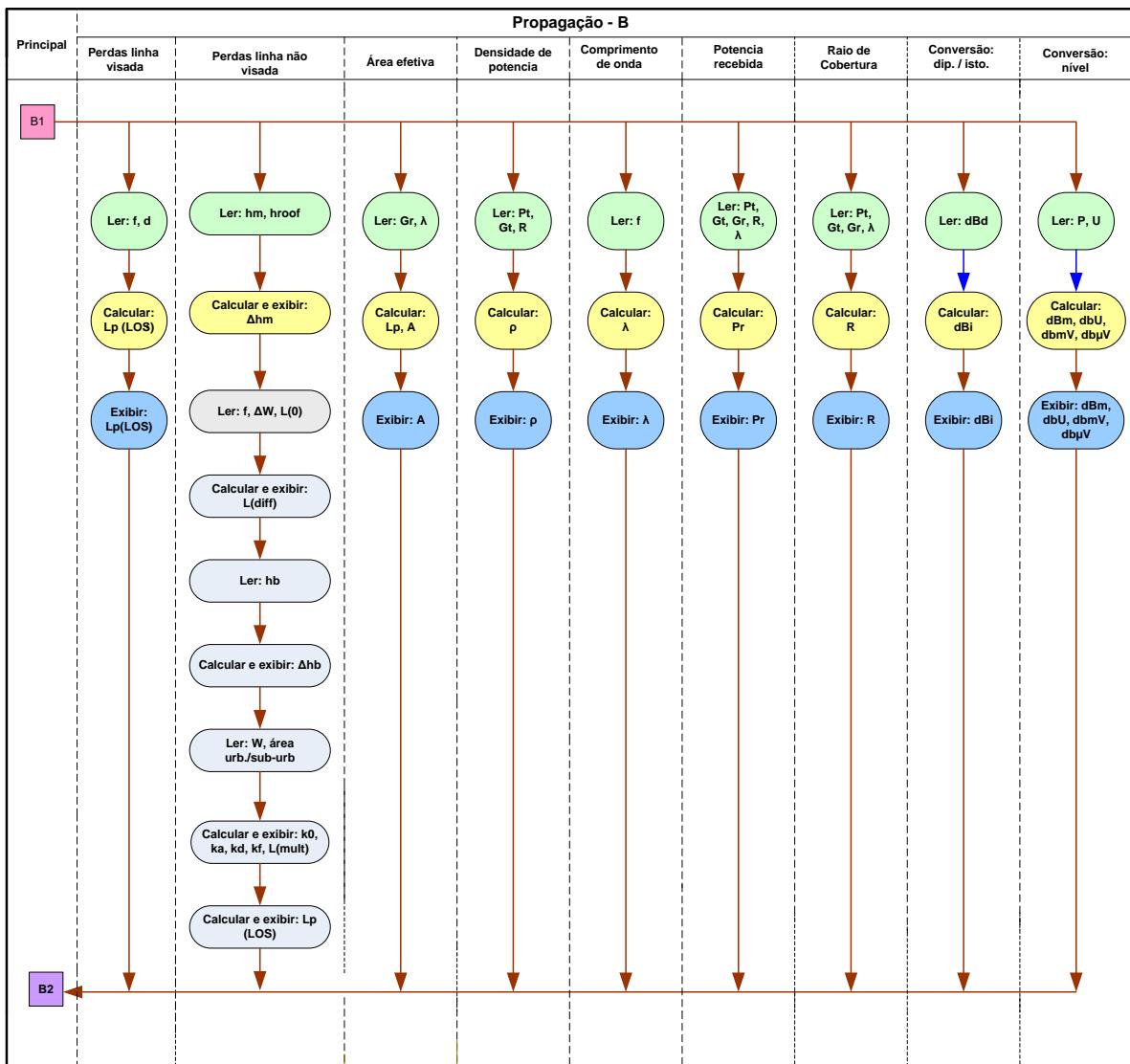


3.9 – Operação dos Cálculos - Propagação B

O diagrama de atividade fornece uma visão geral da operação dos cálculos na condição de propagação B. Primeiramente ajusta-se a faixa de frequência de operação desejada e em seguida escolhe-se, por exemplo, perdas do sinal de rádio na linha visada (Lp_{LOS}) e entra-se com as variáveis: frequência (f) e distância d . Os cálculos passam a ler as variáveis, calcula os dados inseridos e exibe os resultados das perdas do sinal de RF na linha visada (Lp_{LOS}).

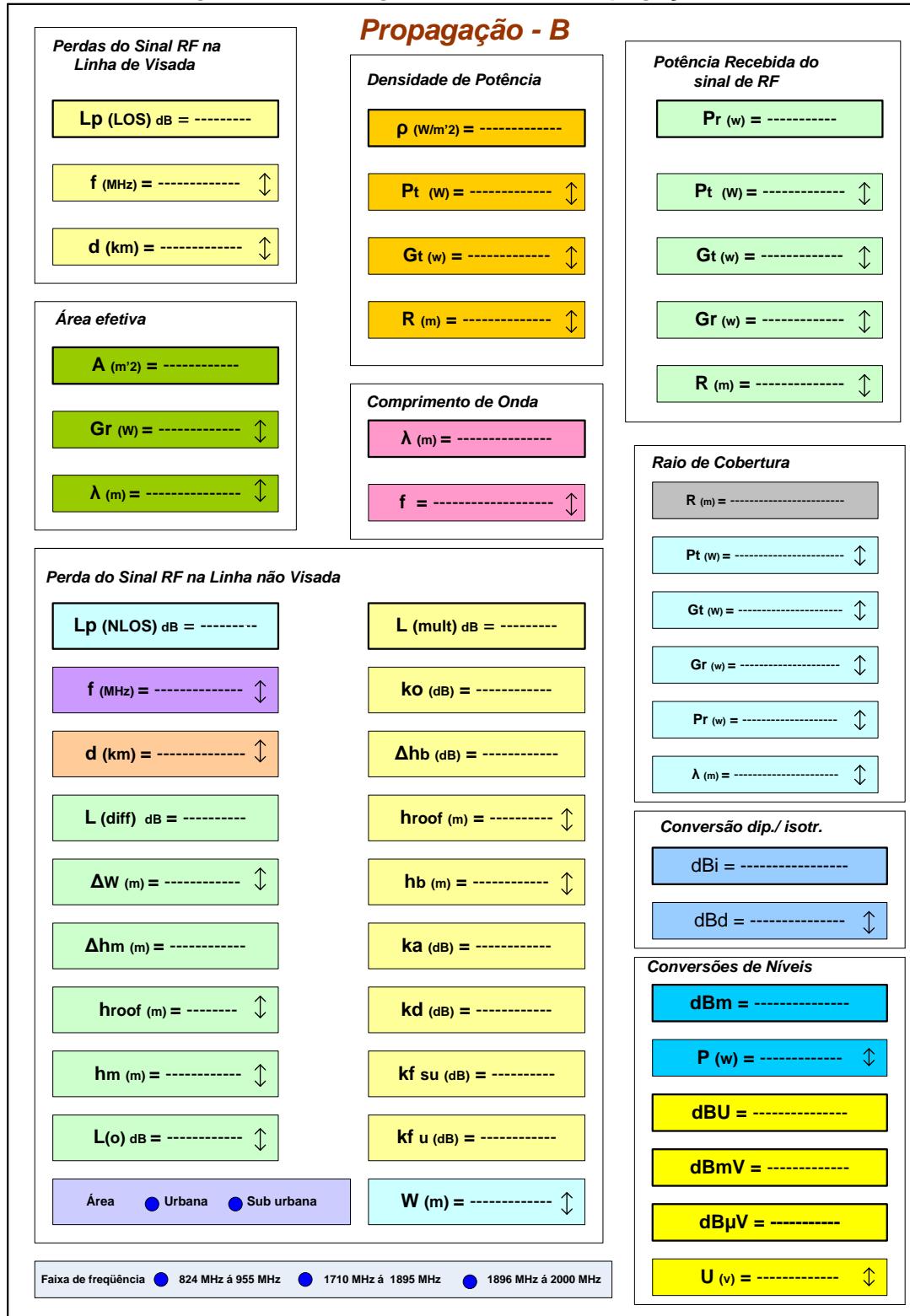
É possível vislumbrar os resultados de perdas do sinal de RF na linha visada e compará-los com aqueles obtidos dos cálculos na condição de propagação B. A figura 3.162 mostra o diagrama de atividade da Propagação B.

Figura 3.162 - Diagrama de Atividade Propagação “B”



Os cálculos na opção de Propagação - B realiza os cálculos de perda do sinal de RF do canal de rádio de forma rápida e segura. Também está habilitado a realizar comparações com outros modelos mencionados no texto. Pode-se realizar as seguintes operações: perda do sinal de RF na linha visada; perdas do sinal de RF na linha não visada; densidade de potência; potência recebida do sinal de RF; raio de cobertura; conversão de dipolo para isotrópico; conversões de nível de sinal; comprimento de onda da frequência em operação. A figura 3.163 mostra o diagrama de bloco os cálculos com o módulo de propagação – B.

Figura 3.163 - Diagrama de Bloco Propagação – B

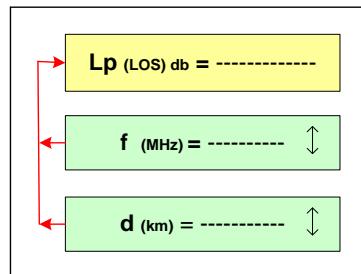


A seguir será explicada detalhadamente a operação dos cálculos no módulo de propagação – B.

3.9.1 – Perdas do sinal de RF na Linha Visada

Para dimensionar as perdas do sinal de RF em uma propagação via rádio adota-se o meio como linha visada (L_p los). Ajusta-se a frequência de operação (f) do canal de rádio e a distância (d) entre a estação rádio base (ERB) e o equipamento móvel (EM). A figura 3.164 mostra o diagrama de bloco das perdas do sinal de rádio na linha visada.

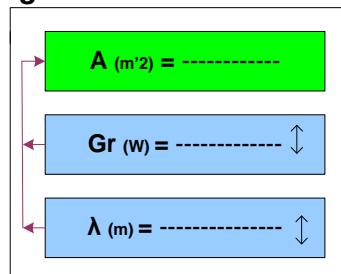
Figura 3.164 - Perdas da Linha Visada



3.9.2 - Área Efetiva

O cálculo da área efetiva de uma antena é obtido com o adicionamento do ganho da antena (Gr) mais o comprimento de onda do sinal (λ). A figura 3.165 mostra o diagrama de bloco da área efetiva.

Figura 3.165 – Área Efetiva



3.9.3 – Perda do Sinal de RF na Linha não Visada

Pode-se obter as perdas do sinal de rádio em função da linha não visada do sinal de rádio (L_p NLO) através da somatória dos parâmetros: perdas do sinal de rádio no espaço livre mais as perdas por difração e multi caminho.

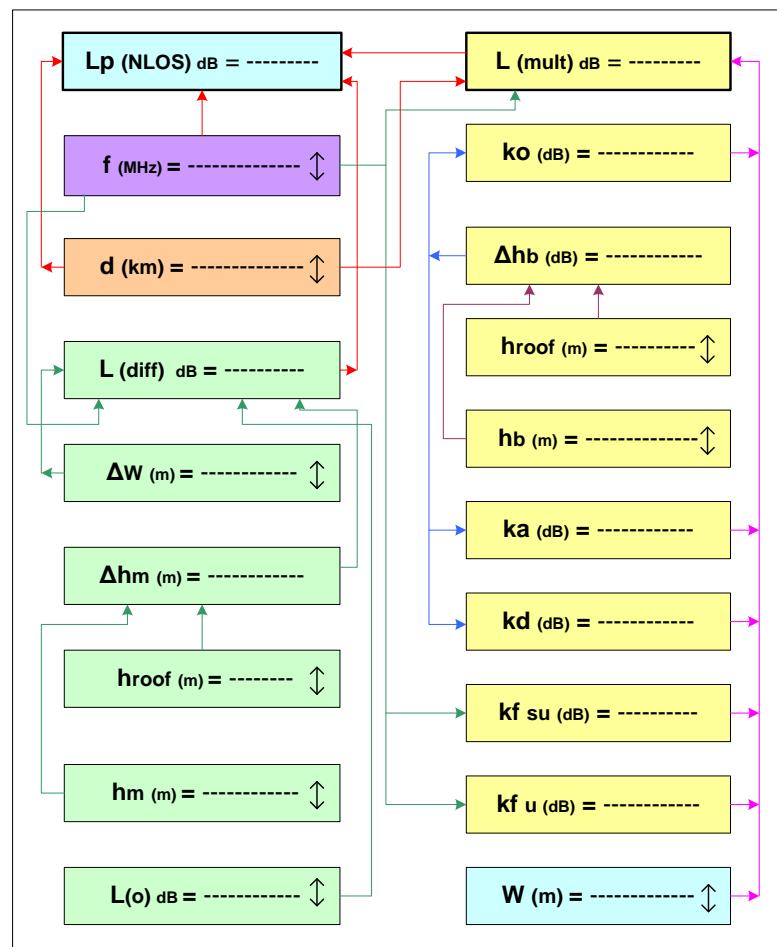
As perdas do sinal de rádio no espaço livre são definidas pelos parâmetros: frequência (f) e distância (d).

As perdas do sinal de rádio por difração ($L_{p\ diff}$) são constituídas com a somatória dos parâmetros: distância do móvel a edificação rooftop (ΔW); diferença de altura entre o rooftop e móvel (Δhm); perda do sinal em função do ângulo de inclinação entre o móvel e a estação rádio base (L_0).

As perdas por multi caminho ($L\ mult$) são obtidas pelos parâmetros: constante de aproximação de frequência e altura do móvel (k_0, k_a, K_b, k_f); perda por variação da altura entre o rooftop e móvel (Δhm); perda devido à largura da rua (W).

A figura 3.166 ilustra o diagrama de bloco das perdas do sinal de rádio na linha não visada e a interligação das variáveis do equacionamento na obtenção de resultado.

Figura 3.166 - Perdas do Sinal na Linha não Visada

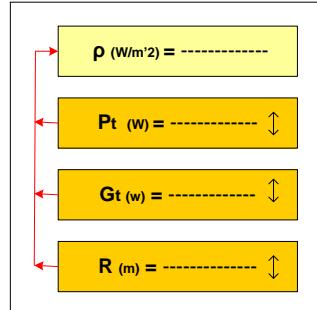


3.9.4 – Densidade de Potência

Para chegar à densidade de potência, incluíram-se os parâmetros: potência do canal de transmissão (P_t) da estação rádio base; ganho da antena de

transmissão (G_t) e raio de cobertura da célula (R). A figura 3.167 mostra o diagrama de bloco da densidade de potência e a interligação dos parâmetros no cálculo envolvido.

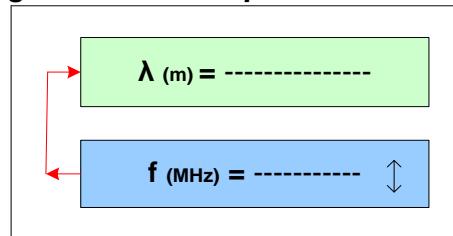
Figura 3.167 - Densidade de Potência



3.9.5 – Comprimento de Onda

O comprimento de onda de um canal de RF se obtém através a inserção da sua frequência. A figura 3.168 ilustra o diagrama de bloco do comprimento de onda em função da frequência de operação.

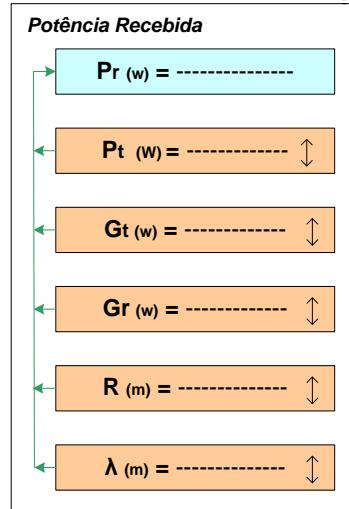
Figura 3.168 - Comprimento de Onda



3.9.6 – Potência Recebida

Foi obtido o cálculo da potência recebida pelo móvel (P_r) através da entrada dos parâmetros: potência de transmissão do canal de rádio da estação rádio base (P_t); ganho da antena de transmissão (G_t) da estação rádio base, ganho da antena de recepção do móvel (G_r), raio de cobertura da célula (R) e comprimento de onda (λ). A figura 3.169 a seguir exibe o diagrama de bloco da obtenção da potência de recepção do móvel.

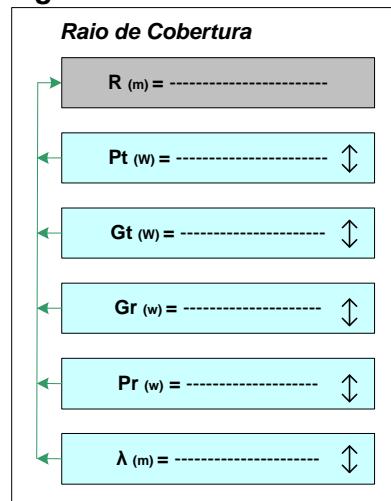
Figura 3.169 - Potência de Recepção



3.9.7 – Raio de Cobertura

O cálculo do raio de cobertura da célula (R) é feito com a inclusão dos parâmetros: potência co canal de rádio (Pt), Ganho da antena de transmissão (Gt), Ganho da antena de recepção (Gr), Potência de recepção do móvel (Pr) e comprimento de onda do sinal (λ). A figura 3.170 mostra o diagrama de bloco do raio de cobertura da célula.

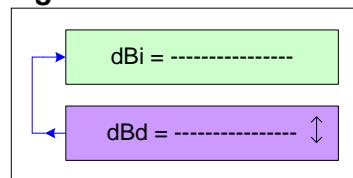
Figura 3.170 - Raio de Cobertura



3.9.8 – Conversão de Dipolo / Isotrópico

É possível realizar a conversão de ganho de uma antena com um dipolo de meio comprimento de onda para o ganho de uma antena do tipo isotrópico. A figura 3.171 ilustra o diagrama de bloco da conversão.

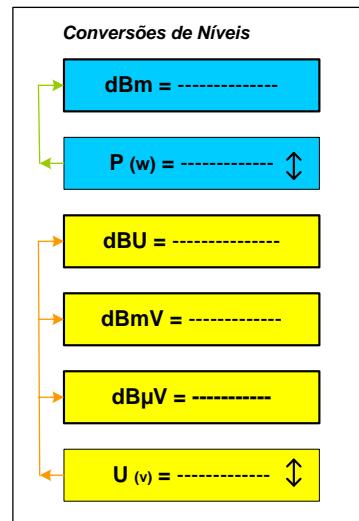
Figura 3.171 – Conversão



3.9.9 – Conversão de Nível

Através da conversão de nível pode-se realizar as transformações de potência para dBm. Quando é inserida a tensão “U” automaticamente, são calculados os valores de dBm, dBmV e dB μ V. A figura 3.172 mostra o diagrama de bloco de conversão de níveis.

Figura 3.172 - Conversão de Níveis



No item a seguir será mostrado um exemplo dos cálculos realizado através dos cálculos nas condições de Propagação “A” e “B”.

3.10 – Modelo de Cálculo Virtual

3.10.1 – Dados fornecidos ao Cálculos (Propagação A/B)

$f = 850 \text{ MHz}$; $h_b = 30 \text{ m}$; $h_m = 3 \text{ m}$; $d = 0,5 \text{ km}$; $\Delta W = 1 \text{ km}$; $h_{\text{roof}} = 5 \text{ m}$;
 $L_{(0)} = 4$; $W = 20 \text{ m}$; $P_r = 1 \text{ mW}$; $P_d = 1 \text{ W}$; $P_1 = 10 \text{ W}$; $V_1 = 10 \text{ V}$; $R = 500 \text{ m}$

Propagação - A

3.10.2- Área Urbana

$$\begin{aligned} L_p u &= C1 + C2 \cdot \log.(f) - 13,82 \cdot \log.(hb) - \{1,1 \cdot \log.(f) - 0,7\} \cdot h \\ &\quad - \{1,56 \cdot \log.(f) - 0,8\} + [44,9 - 6,55 \cdot \log.(hb)] \cdot \log.(d) \\ &\quad + Co \quad (dB) \quad (4.18) \\ &= 69,55 + 26,16 \cdot \log(850) - 13,82 \log 30 - \{1,1 \log(850) - 0,7\} \cdot 3 - \{1,56 \cdot \log(850) \\ &\quad - 0,8\} + [44,9 - 6,55 \cdot \log(30)] \cdot \log(0,5) + 0 \\ L_p &= 69,55 + 76,63 - 20,41 - 7,56 - 3,76 - 10,60 + 0 \\ L_p u &= 103,85 \text{ (dB)} \end{aligned}$$

3.10.3 - Área Urbana Densa

$$\begin{aligned} L_p ud &= C1 + C2 \cdot \log.(f) - 13,82 \cdot \log.(hb) - a(hm) + [44,9 - 6,55 \cdot \log.(hb)] \cdot \log.(d) \\ &\quad + Co \quad (dB) \quad (4.19) \\ &= 69,55 + 26,16 \cdot \log 850 - 13,82 \cdot \log 30 - 3,2[\log\{11,75 \cdot 3\}]^2 - 4,97 + [44,9 - 6,55 \\ &\quad \cdot \log 30] \cdot \log 0,5 + 3 \\ L_p ud &= 105,55 \text{ (dB)} \end{aligned}$$

3.10.4 - Área Aberta / Rural

$$\begin{aligned} L_p u &- 4,78 (\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94 \quad (\text{dB}) \quad (4.22) \\ &= 103,85 - 4,78 (\log 850)^2 + 18,33 \cdot \log 850 - 40,94 \\ &= 103,95 - 41,01 + 53,69 - 40,94 \\ L_p r &= L_p o = 75,59 \text{ (dB)} \end{aligned}$$

3.10.5 - Área Suburbana

$$\begin{aligned}
 Lp_{su} &= Lp_u - 2 [\log(f/28)]^2 - 5,4 \quad (\text{dB}) \quad (4.23) \\
 &= 103,85 - 2[\log(850/28)]^2 - 5,4 \\
 &= 103,85 - 4,39 - 5,4 \\
 Lp_{su} &= \mathbf{94,05 \text{ (dB)}}
 \end{aligned}$$

3.10.6 - Cálculos de Reflexão

$$r = \frac{Pr}{Pd} \quad (4.37) \quad = 1 \cdot 0,001 / 1 \text{ r} \quad r = \mathbf{0,001}$$

$$VSWR = \frac{1+r}{1-r} = (4.38) \quad = 0,001 + / 1 - 0,001 \quad \mathbf{VSWR = 1,002}$$

$$\begin{aligned}
 Ar &= -20 \cdot \log r \quad (\text{dB}) \quad (4.39) \\
 &= -20 \cdot \log 0,001
 \end{aligned}$$

$$Ar = \mathbf{60 \text{ (dB)}}$$

$$Pr/P = 100 \cdot r^2 \% \quad (4.40) \quad = 100 \cdot 0,001^2$$

$$\mathbf{Pr / P = 0,0001 \%}$$

$$\begin{aligned}
 Am &= -10 \log(1 - r^2) \quad (\text{dB}) \quad (4.41) \\
 &= -10 \cdot \log(1 - 0,001^2) \\
 Am &= \mathbf{0,00000434 \text{ (dB)}}
 \end{aligned}$$

3. 11 - Propagação B

3.11.1 – Perda do Sinal de RF na Linha Visada L_p (LOS)

$$\begin{aligned}
 Lp_{(LOS)} &= 42,6 + 20 \log(f) + 26 \log(d) \quad (\text{dB}) \quad (4.24) \\
 &= 42,6 + \log 850 + 26 \log 0,5 \\
 &= 42,6 + 58,58 - 7,82 \\
 Lp_{(LOS)} &= \mathbf{93,36 \text{ (dB)}}
 \end{aligned}$$

3.11.2 - Área Efetiva (A_e)

$$Ae = \frac{Gr \cdot \lambda^2}{4 \cdot \pi} \quad (m^2) \quad (4.3)$$

$$= \frac{10 \cdot 0,35^2}{4 \cdot \pi}$$

$$Ae = \mathbf{0,0974 \text{ m}^2}$$

3.11.3 - Perda do Sinal de RF na Linha não Visada. Lp (NLOS)

$$L_p(\text{NLOS}) = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) + L(\text{diff}) + L(\text{mult}) \quad (\text{dB}) \quad (4.25)$$

$$L(\text{diff}) = -16,9 - 10 \log(\Delta W) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta hm) + L(0) \quad (\text{dB}) \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned} \Delta hm &= h_{\text{roof}} - hm \quad (\text{m}) \quad (4.27) \\ &= 5 - 3 \end{aligned}$$

$$\Delta hm = 2 \text{ (m)}$$

$$= -16,9 - 10 \cdot \log 1 + 10 \log 850 + 20 \log 2 + 4$$

$$= -16,9 - 0 + 29,29 + 6,02 + 4$$

$$L(\text{diff}) = 22,41 \quad (\text{dB})$$

$$L(\text{mult}) = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \quad (\text{dB}) \quad (4.28)$$

$$L(\text{mult}) su = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf \cdot su \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \quad (\text{dB}) \quad (4.29)$$

$$L(\text{mult}) u = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf u \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \quad (\text{dB}) \quad (4.30)$$

onde

$$ko = -18 \cdot \log(1 + \Delta hb) \quad (4.31)$$

$$\Delta hb = hb - h_{\text{roof}} \quad (\text{m}) \quad (4.36)$$

$$= 30 - 5$$

$$\Delta hb = 25 \text{ (m)}$$

$$= -18 \cdot \log(1 + 25) = -18 \cdot \log 26 = ko = -25,46$$

$$ka = 54 - 0,8 \cdot (\Delta hb \text{ para } d \geq 0,5) \quad (4.32)$$

$$= 54 - 0,8 \cdot 25$$

$$ka = 34$$

$$kd = 18 - 15 \cdot \left(\frac{\Delta hb}{h_{\text{roof}}} \right) \quad (4.33)$$

$$= 18 - 15 \cdot (25 / 5)$$

$$kd = -57$$

$$kf su (\text{dB}) = -4 + 0,7 \left[\left(\frac{f}{925} \right) \right] - 1 \quad (4.34)$$

$$= -4 + 0,7 [(850 / 925) - 1]$$

$$= -4 + 0,7 \cdot (-0,081)$$

$$Kf\ su = -4,056$$

$$Kf\ u = -4 + 1,5 \left[\left(\frac{f}{925} \right) - 1 \right] \quad \text{área urbana} \quad (4.35)$$

$$= -4 + 1,5 [(850 / 950) - 1]$$

$$Kf\ u = -4,12$$

$$L(\text{mult}) u = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf \cdot su \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \quad (\text{dB}) \quad (4.30)$$

$$= -25,46 + 34 - 57 \cdot \log 0,5 - 4,12 \cdot \log 850 - 9 \log 20$$

$$= -25,46 + 34 + 17,15 - 12,069 - 11,709$$

$$L(\text{mult}) u = 1,91 \text{ (dB)}$$

$$L(\text{mult}) su = ko + ka + kd \cdot \log(d) + kf \cdot su \cdot \log(f) - 9 \cdot \log(w) \quad (\text{dB}) \quad (4.29)$$

$$= -25,46 + 34 - 57 \cdot \log(0,5) - 4,056 \cdot \log 850 - 9 \log 20$$

$$= -25,46 + 34 + 17,15 - 11,88 - 11,70$$

$$L(\text{mult}) su = 2,10 \text{ (dB)}$$

$$Lp_{(\text{NLOS}) su \text{ dB}} = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) + L(\text{diff}) + L(\text{mult}) su \quad (4.25)$$

$$= 32,4 + 20 \log 850 + 20 \log 0,5 + 22,41 + 2,10$$

$$= 32,4 + 58,58 - 6,02 + 22,41 + 2,10$$

$$Lp_{(\text{NLOS}) su \text{ dB}} = 109,47$$

$$Lp_{(\text{NLOS}) u \text{ dB}} = 109,28$$

3.11.4 - Densidade de Potência ρ (W/m'2)

$$\rho = \frac{Pt \cdot Gt}{4\pi R^2} \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.1)$$

$$= 10 \cdot 10 / 4 \cdot 3,14 \cdot 500^2$$

$$= 100 / 4 \cdot 3,14 \cdot 250000$$

$$\rho = 31,83 \mu\text{W/m}^2$$

3.11.5 - Comprimento de Onda (λ)

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (\text{m}) \quad (4.2)$$

$$= 3 \cdot 10^8 / 850$$

$$\lambda \text{ (m)} = 0,35 \text{ (m)}$$

3.11.6 - Potência Recebida (Pr)

$$Pr = Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \text{ (W)} \quad (4.4)$$

$$= 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot \left(\frac{0,35}{4 \cdot 3,14 \cdot 500} \right)^2$$

$$Pr = 3,1 \mu\text{W}$$

3.11.7 - Raio de Cobertura (R)

$$R^2 = \frac{(Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot \lambda^2)}{16 \cdot \pi^2 \cdot Pr} \quad (4.4)$$

$$= \frac{(10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,35^2)}{(16 \cdot 3,14^2 \cdot 3,1^{10^{-6}})}$$

$$R = 500,25 \text{ (m)}$$

3.11.8 - Conversão Dipolo / Isotrópico

$$dB_i = dB_d + 2,15 \quad (4.42)$$

$$15 + 2,15$$

$$dB_i = 17,15$$

3.11.9 - Conversão de Níveis

$$dB_m = 10 \cdot \log \frac{P_1}{10^{-3}} \quad (4.43)$$

$$= 10 \cdot \log \frac{10}{10^{-3}} \quad dbm = 40$$

$$dBu = 20 \cdot \log \frac{V1}{0,775} \quad (4.44)$$

$$= 20 \cdot \log \frac{10}{0,775} \quad dBu = 22,21$$

$$dBmV = 20 \cdot \log \frac{V1}{10^{-3}} \quad (4.45)$$

$$= 20 \cdot \log \frac{V1}{10^{-3}} \quad dBmV = 80$$

$$dB\mu V = 20 \cdot \log \frac{V1}{10^{-6}} \quad (4.46)$$

$$= 20 \cdot \log \frac{10}{10^{-6}} \quad dB\mu V = 140$$

3.12 - Considerações Finais do Capítulo

Neste capítulo foi proposto os cálculos com maior número de variáveis para uma aproximação com o ambiente real. As variáveis trabalhadas dizem respeito às obstruções encontradas em áreas urbanas que atenuam os sinais de rádio. Outras variáveis levaram em conta pontos de reflexão do sinal de rádio.

No próximo capítulo apresenta-se os cálculos do WCDMA, composto por sete (7) modelos de cálculos: os cinco primeiros estão relacionados com o dimensionamento do site e os dois últimos embasam os cálculos de tráfego eletrônico.

Para deixar os cálculos mais robusto foi criado um portfólio dos equipamentos utilizados no sistema irradiante (antenas, cabos, duplexer, triplexer, híbridas, amplificadores), facilitando assim a elaboração do projeto. Foi também criado um site na WEB com o propósito de facilitar o acesso a esta ferramenta remotamente.

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS WCDMA

Introdução

Neste capítulo foi desenvolvido cálculos na tecnologia WCDMA com duas funções. Este modelo é constituído de cálculos, expressões matemáticas e figuras que ilustram os desenvolvimentos.

Ao longo do capítulo são apresentados cálculos matemáticos com o propósito de retirar resultados de forma segura e eficiente em seu dimensionamento. Para tornar os cálculos uma ferramenta mais poderosa e abrangente criou-se um portfólio de equipamentos utilizados na infraestrutura de sistema irradiante tais como antenas, cabos, passivos e ativos, do qual é possível extrair as especificações técnicas do produto através de um *link* HTML conectado à internet. Com o objetivo de facilitar o acesso remoto ao produto, também foi desenvolvido um *site* na WEB com a linguagem de desenvolvimento HTML4 + CSS, com o software para codificação das páginas em Dream Weaver CSG e TEX + PAD e software para tratamento de imagens Fireworks CSG.

Modelo apresenta sete páginas de cálculos. As cinco primeiras estão relacionadas ao parâmetro de sistema e as demais ao dimensionamento do tráfego telefônico. Trabalha-se com um total de 33 expressões matemáticas, sendo que cada página está interligada com conceitos que caracterizam a operação do sistema móvel celular. A figura 4.173 e tabela 4.26 a seguir mostram os blocos dos cálculos e a base dos mesmos:

Figura 4.173 – Blocos de Cálculos

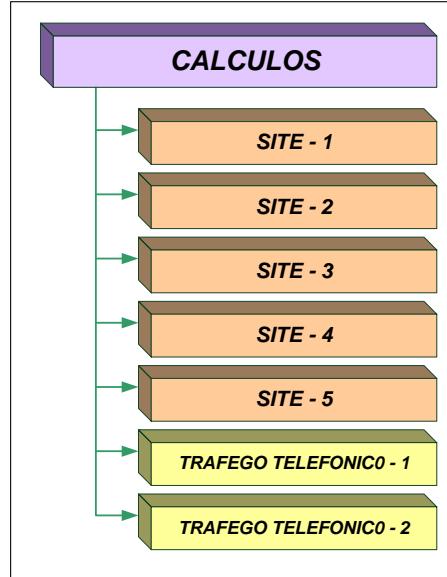


Tabela 4.26 – Base de Cálculos

| WCDMA Site - 1 | WCDMA Site - 5 |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ➤ Distância de reuso de frequência. ➤ Capacidade do canal sem ruído. ➤ Taxa de modulação. ➤ Capacidade do canal com ruído. ➤ Frequência Doppler. ➤ Eficiência do canal. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ganhos de processamento (Hz/bps). ➤ Energia de bit (w.s) ➤ Tempo de bit. |
| WCDMA Site - 2 | Tráfego Telefônico - 1 |
| <ul style="list-style-type: none"> ❖ Área da célula. ❖ Potência de ruído (dB). ❖ Relação sinal ruído. ❖ Ruído térmico. ❖ Figura de ruído. ❖ Energia de bit (dBm). | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Volume de tráfego ▪ Tempo médio de ocupação. ▪ Chamadas completadas BHC. ▪ Intensidade de ocupação. ▪ Intensidade de tráfego. ▪ Congestionamento. |
| WCDMA Site - 3 | Tráfego Telefônico - 2 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● Breakpoint. ● Perda no espaço livre BTS. ● Período de chip. ● Ganhos de Processamento. ● Potência de ruído (w). ● Fator de reuso de frequência. | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Chamadas completadas e não completadas BHCA. |
| WCDMA Site - 4 | |
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Potência efetiva radiada. ○ Atividade de voz. ○ Ganhos de setorização. ○ Efeito carga. | |

4.1 – Cálculos – WCDMA Site 1

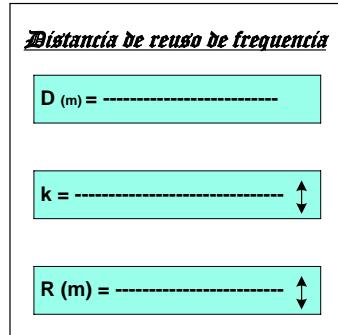
A figura 4.174 a seguir apresenta os cálculos da distância do reuso de frequência, da capacidade do canal com ruído, da capacidade do canal sem ruído, da frequência Doppler, da taxa de modulação e da eficiência do canal:

Figura 4.174 - WCDMA Site 1

| <u>CALCULOS – WCDMA SITE - 1</u> | |
|--|---|
| Distância de reuso de frequencia <input type="text" value="D (m) = -----"/> <input type="text" value="k = ----- ↑"/> <input type="text" value="R (m) = ----- ↑"/> | Capacidade do Canal com Ruído <input type="text" value="C (bps) = -----"/> <input type="text" value="B (MHz) = ----- ↑"/> <input type="text" value="RSR (dB) = ----- ↑"/> |
| Capacidade do Canal sem Ruído <input type="text" value="C (bps) = -----"/> <input type="text" value="B (MHz) = ----- ↑"/> <input type="text" value="n (bit) = ----- ↑"/> | Frequência Doppler <input type="text" value="fd (Hz) = -----"/> <input type="text" value="f (MHz) = ----- ↑"/> <input type="text" value="λ (m) = ----- ↑"/> <input type="text" value="V (m/s) = ----- ↑"/> |
| Taxa de modulação <input type="text" value="Tm (b/S) = -----"/> <input type="text" value="Ttx (s) = ----- ↑"/> <input type="text" value="n (bit) = ----- ↑"/> | Eficiência do canal <input type="text" value="E (%) = -----"/> <input type="text" value="Ttx (kbps) = ----- ↑"/> <input type="text" value="C (kbit) = ----- ↑"/> |

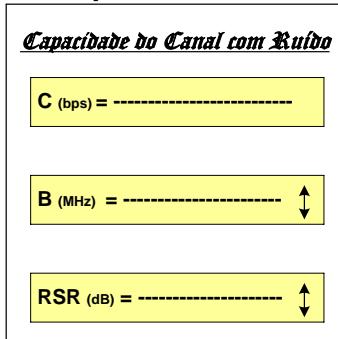
A distância do reuso de frequência é primordial no dimensionamento do sistema celular, uma vez que o espectro de frequência é limitado, licenciado e controlado. Na distância “D” (m), pode-se usar o Kluster nos padrões 4, 7, 12, 19 células por sistema. O raio da célula “R” é de 100 a 2000 metros. A figura 4.175 a seguir mostra os parâmetros envolvidos na distância de reuso de frequência:

Figura 4.175 – Distância de Reuso de Frequência



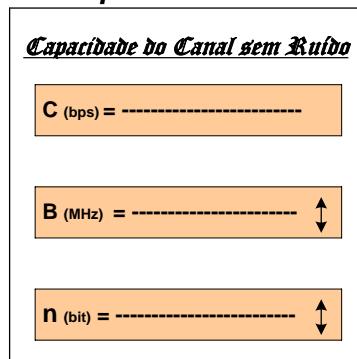
A capacidade do canal na presença do ruído “C” é dada em *bits* por segundo, o qual é utilizado para verificar afetação do sinal na recepção. A largura de banda ou faixa de frequência “B” é de 100 a 2.000 MHz. A relação sinal ruído “RSR” é usada para calcular a degradação do meio de transmissão, podendo ser ajustada de 10 a 60 dB. A figura 4.176 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no cálculo:

Figura 4.176 – Capacidade do Canal com Ruído



A capacidade do canal na ausência do ruído “C” (bps) é um cálculo onde se tem uma aproximação ideal na transferência de dados no canal de comunicação. A largura de banda “B” esta disponível na faixa de 100 a 2300 MHz e “n” a quantidade de bits por símbolo (b/s) apresentando uma faixa de 2 a 12 b/s. A figura 4.177 a seguir mostra os parâmetros capacidade do canal sem ruído.

Figura 4.177 – Capacidade do Canal Sem Ruído



A taxa de transferência de dados é um parâmetro fundamental em um sistema radio, pois sofre degradações com o deslocamento. A taxa de transferência de um terminal móvel em movimento não é a mesma daquele que se acha parado. A taxa de transferência de dados cai significativamente quando se aumenta a velocidade de deslocamento do terminal móvel. Por esse motivo, a frequência Doppler tem que ser levada em conta nas comunicações móveis. A frequência Doppler escolhida atua de 800 a 2400 MHz, comprimento de onda “ λ ” analisado de 0,125 – 0,375 metros e a velocidade de propagação “ V ” opera na faixa 1 a 100 m/s. A figura 4.178 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no cálculo:

Figura 4.178 – Frequência Doppler

| <u>Frequência Doppler</u> |
|--|
| $f_d \text{ (Hz)} = \text{-----}$ |
| $f \text{ (MHz)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$ |
| $\lambda \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$ |
| $V \text{ (m/s)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$ |

A taxa de modulação “ T_m ” é expressa em *bits* por símbolo. Este parâmetro é significativo para a taxa de transferência de dados no processo de modulação e de alta relevância no sistema de compartilhamento do sistema telefônico. A taxa de transmissão “ T_{tx} ” é dada em símbolos e nesta pesquisa apresenta de 16 a 2048 S; os números símbolo “ n ” (b/s) vão de 2 a 12 b. A figura 4.179 a seguir mostra os parâmetros utilizados no dimensionamento:

Figura 4.179 – Taxa de Modulação

| <u>Taxa de modulação</u> |
|--|
| $T_m \text{ (b/S)} = -----$ |
| $T_{tx} \text{ (s)} = ----- \uparrow \downarrow$ |
| $n \text{ (bit)} = ----- \uparrow \downarrow$ |

A eficiência do canal “E” (%) é a relação da taxa de transmissão máxima “ T_{tx} ” de 100 a 2000 kbps pela relação de capacidade máxima do canal “C” de 100 a 2000 kbps. A figura 4.180 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no cálculo:

Figura 4.180 – Eficiência do Canal

| <u>Eficiência do canal</u> |
|---|
| $E \text{ (\%)} = -----$ |
| $T_{tx} \text{ (kbps)} = ----- \uparrow \downarrow$ |
| $C \text{ (kbit)} = ----- \uparrow \downarrow$ |

4.2 – Cálculos WCDMA Site – 2

A figura a seguir traz a página do desenvolvimento dos cálculos tais como: área da célula, ruído térmico, potência de ruído, figura 4.181 de ruído, relação sinal ruído, energia de *bit*.

Figura 4.181 – Cálculos WCDMA Site – 2

| <u>SIMULADOR – WCDMA SITE – 2</u> | |
|--|--|
| <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><u>Área da Celula</u></p> <p>$a (m^2) =$ -----</p> <p>$r (m) =$ ----- ↑</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><u>Ruído Térmico</u></p> <p>$N (W) =$ -----</p> <p>$T (K) =$ ----- ↑</p> <p>$B (MHz) =$ ----- ↑</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><u>Potência de Ruído</u></p> <p>$Pn (dB) =$ -----</p> <p>$T (K) =$ ----- ↑</p> <p>$B (MHz) =$ ----- ↑</p> <p>$FN (dB) =$ ----- ↑</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><u>Figura de Ruído</u></p> <p>$FN (dB) =$ -----</p> <p>$RSR_{in} (dB) =$ ----- ↑</p> <p>$RSR_{out} (dB) =$ ----- ↑</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-bottom: 10px;"> <p><u>Relação Sinal Ruído</u></p> <p>$RSR (dB) =$ -----</p> <p>$Ps (W) =$ ----- ↑</p> <p>$PN (W) =$ ----- ↑</p> </div> | |

A área de célula “a” (m^2) é de suma importância no dimensionamento da cobertura dos serviços, otimização e reuso de frequência. Foi adotado para estudo um raio “r” de 200 a 2000 m. A figura 4.182 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no cálculo:

Figura 4.182 – Área de Cobertura

| <u>Área da Celula</u> |
|--|
| $a \text{ (m}^2\text{)} = \text{-----}$ |
| $r \text{ (m)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |

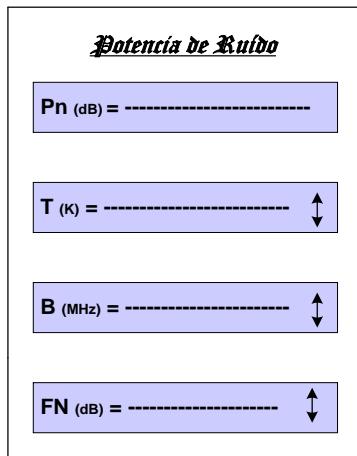
O ruído térmico “N” (W) é de extrema importância no dimensionamento de sistemas sem fio, pois, por sofrer variações diretas na presença da temperatura e frequência, degrada drasticamente o limiar de recepção. O ruído se modifica na presença da temperatura “T” (K) e largura de banda “B” em estudo de 1 a 50 MHz. A figura 4.183 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no resultado:

Figura 4.183 – Ruído Térmico

| <u>Ruído Térmico</u> |
|--|
| $N \text{ (w)} = \text{-----}$ |
| $T \text{ (k)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |
| $B \text{ (MHz)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |

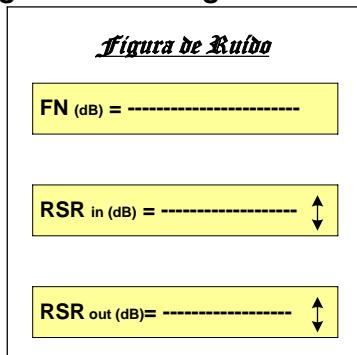
A potência de ruído “Pn” expressa em decibel é um parâmetro significativo nos enlaces de radio do tipo ponto a ponto e ponto multiponto. Acarreta perdas significativas nas distâncias dos enlaces e apresenta modificações severas em seus resultados na presença da temperatura, frequência e figura de ruído. A largura de banda “B” destinada ao estudo está na faixa de 1 a 50 MHz e a figura de ruído “FN” (dB) limita-se à faixa de 1 a 20 dB. A figura 4.184 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no dimensionamento:

Figura 4.184 – Potência de Ruído



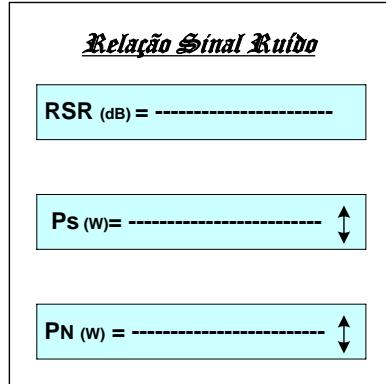
A figura 4.185 de ruído “FN” é decisiva no desempenho no canal de comunicação via radio através da qual é possível medir o quanto um canal ou circuito gera de ruído a partir de seus componentes internos, o que limita e degrada as comunicações sem fio. Foi designada uma faixa de atenuação 1 a 60 dB:

Figura 4.185 – Figura de Ruído



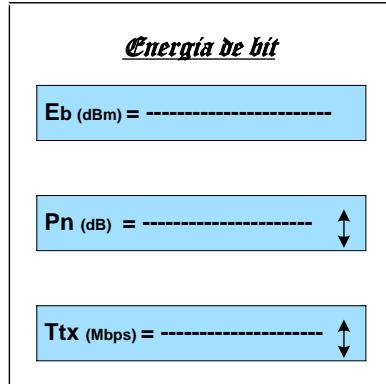
A relação sinal ruído “RSR” (dB) é indispensável no desempenho das comunicações sem fio por restringir severamente o canal de comunicação. Pode limitar o comprimento dos enlaces do link direto e reverso, degradar o limiar de recepção do receptor e exigir o adicionamento de potências mais altas no que se refere à transmissão e recepção. As potências de sinal “Ps” e ruído “PN” são expressas em Watts. A figura 4.186 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no dimensionamento:

Figura 4.186 – Relação Sinal Ruído



A energia de bit “Eb” (dBm) é um conceito específico dos sistemas celulares para atestar a qualidade do sistema de transmissão. Por meio dela, analisa-se a relação entre o sinal e o ruído no meio de transmissão. Apresenta como parâmetros a potência de ruído “Pn” dado em dB. A taxa de transmissão em estudo trabalha de 1 a 50 Mbps. A figura 4.187 a seguir mostra os parâmetros envolvidos na energia de bit:

Figura 4.187 – Energia de bit



4.3 - Cálculos WCDMA Site 3

A figura 4.188 a seguir exibe os cálculos: *breakpoint*, perda no espaço livre na BTS, ganho de processamento, potência de ruído, período de *chip*, fator de reuso de frequência.

Figura 4.188 – Cálculos WCDM Site 3

| <u>CALCULOS – WCDMA SITE – 3</u> | |
|--|--|
| <p><u>Breakpoint</u></p> <p>$B \text{ (m)} = \text{-----}$</p> <p>$h_{BTS} \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> <p>$h_{MS} \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> <p>$\lambda \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> | <p><u>Canhão de Processamento</u></p> <p>$G \text{ (dB)} = \text{-----}$</p> <p>$Tc \text{ (Mcps)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> <p>$Td \text{ (kbps)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> |
| <p><u>Perda no Espaço Livre - BTS</u></p> <p>$LOS \text{ (dB)} = \text{-----}$</p> <p>$h_{BTS} \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> <p>$h_{MS} \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> <p>$d \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> | <p><u>Potência de Ruído</u></p> <p>$Pn \text{ (W)} = \text{-----}$</p> <p>$T \text{ (K)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> <p>$B \text{ (MHz)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> <p>$F_n \text{ (dB)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> |
| <p><u>Período de Chip</u></p> <p>$Tc \text{ (\mu s)} = \text{-----}$</p> <p>$r_c \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> | <p><u>Fator de Reuso de Frequência</u></p> <p>$F_r \text{ (dBm)} = \text{-----}$</p> <p>$\eta \text{ (%) } = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$</p> |

Designa-se *breakpoint* “B” (m) a área de cobertura que a BTS atinge no emprego do sistema irradiante através da altura das antenas: BTS e EM. A altura da BTS “ h_{BTS} ” em estudo abrange de 20 a 100 metros; a altura do equipamento móvel h_{MS} possui uma variação de 1 a 2 metros e o comprimento de onda “ λ ” em estudo é

de 0,125 a 0,375 metros. A figura 4.189 a seguir mostra os parâmetros que alteram o *breakpoint*:

Figura 4.189 – Breakpoint

| <i>Breakpoint</i> |
|--|
| $B \text{ (m)} = \text{-----}$ |
| $h_{BTS} \text{ (m)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |
| $h_{MS} \text{ (m)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |
| $\lambda \text{ (m)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |

O ganho de processamento “G” (dB) é uma expressão indispensável no sistema de telefonia celular. Apresenta como parâmetros a taxa de chip “Tc” operando na faixa de 1 a 3,85 Mcps. A taxa de dados “Td” em análise é de 20 a 2000 kbps. A figura 4.190 a seguir mostra os parâmetros que modificam o ganho de processamento:

Figura 4.190 – Ganho de Processamento

| <i>Ganho de Processamento</i> |
|--|
| $G \text{ (dB)} = \text{-----}$ |
| $Tc \text{ (Mcps)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |
| $Td \text{ (kbps)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$ |

A perda no espaço livre aproximado “LOS” é fundamental no desempenho de sistemas sem fio. Além de determinar o comprimento do enlace radio, define a potência de transmissão a ser liberada e restringe o limiar de recepção. Os parâmetros que determinam as perdas no espaço livre são: altura da BTS “ h_{BTS} ” de 10 a 100 metros; altura da equipamento móvel “ h_{MS} ” de 1 a 2 metros, e distância “ d ” entre os pontos de transmissão e recepção de 100 a 1000 metros. A figura 4.191 a seguir mostra os parâmetros empregados no cálculo da perda no espaço livre da BTS:

Figura 4.191 – Perda no Espaço Livre – BTS

| Perda no Espaço Livre - BTS |
|--|
| LOS (dB) = ----- |
| h_{BTS} (m) = ----- ↑ ↓ |
| h_{MS} (m) = ----- ↑ ↓ |
| d (m) = ----- ↑ ↓ |

A potência de ruído é P_n (dB) é fundamental no cálculo do radio enlace, por sofrer variações diretamente pela temperatura T (K), largura de banda da portadora “B” observada de 1 a 50 MHz e a figura de ruído “Fn” em análise de 1 a 60 dB. A figura 4.192 a seguir mostra os parâmetros empregados no cálculo da potência de ruído:

Figura 4.192 – Potência de Ruído

| Potência de Ruído |
|--------------------------------------|
| P_n (w) = ----- |
| T (K) = ----- ↑ ↓ |
| B (MHz) = ----- ↑ ↓ |
| F_n (dB)= ----- ↑ ↓ |

O período de chip “ T_c ” (μs) sofre modificações inversamente proporcional através da taxa de chips “ r_c ” (Mc), sendo estudado na faixa de 1 a 5 MHz. A figura 4.193 a seguir mostra o parâmetro envolvido no cálculo:

Figura 4.193 – Período de Chip

| <u>Período de Chip</u> |
|--|
| $T_c (\mu s) = -----$ |
| $f_c (Mc) = ----- \uparrow \downarrow$ |

O fator de reuso de frequência “Fr” é primordial na utilização e otimização do espectro de frequência e sofre alterações diretamente através do fator carga “ η ” adotado no estudo 0,01 a 1 %. A figura 4.194 a seguir apresenta a variável que modifica o reuso de frequência:

Figura 4.194 – Fator de Reuso de Frequência

| <u>Fator de Reuso de Frequência</u> |
|--|
| $Fr = -----$ |
| $\eta (%) = ----- \uparrow \downarrow$ |

4.4 – Cálculos WCDMA Site 4

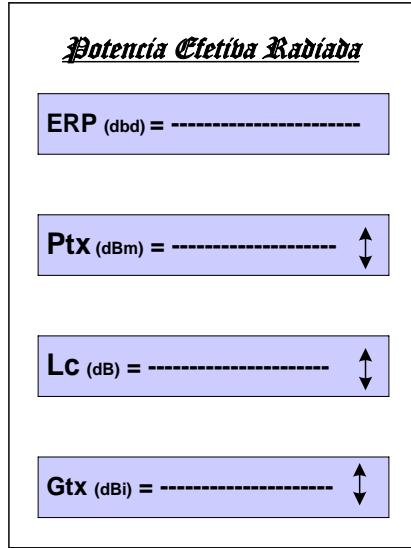
A figura 4.195 a seguir mostra os cálculos referentes a: potência efetiva Irradiada, ganho de setorização, atividade da voz e efeito carga.

Figura 4.195 – Cálculos WCDMA Site 4

| <u>CALCULOS – WCDMA SITE – 4</u> | |
|--|--|
| <p>Potência Efetiva Radiada</p> <p>$\text{ERP (dBd)} = \text{-----}$</p> <p>$\text{Ptx (dBm)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\text{Lc (dB)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\text{Gtx (dBi)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> | <p>Ganho de Setorização – Eb/no</p> <p>$\text{G - Eb/no} = \text{-----}$</p> <p>$\text{m (u)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\text{W (MHz)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\text{R (kbps)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\eta (\%) = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\lambda (\%) = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> |
| <p>Atividade da Voz - Usuário</p> <p>$M = \text{-----}$</p> <p>$\text{W (MHz)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\text{Eb/no (dB)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\eta (\%) = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\lambda (s) = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$V (dB) = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> | <p>Efeito Carga – Eb/no</p> <p>$\text{LOS (dB)} = \text{-----}$</p> <p>$\text{m (u)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\text{W (MHz)} = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> <p>$\eta (m) = \text{-----} \uparrow \downarrow$</p> |

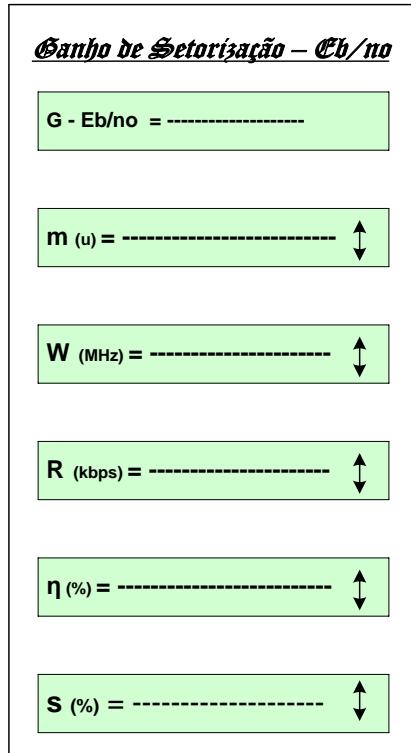
A potência radiada efetiva “ERP” (dBd) é um parâmetro importante para se saber o quanto o conjunto antena e radio está irradiando, sendo as suas variáveis: potência de transmissão do radio Ptx de 10 a 40 dBm, perda nos cabos “L” na faixa de 10 a 20 dB e Ganho da antena “Gtx” no caso em estudo de 0 a 20 dBi. A figura 4.196 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no cálculo:

Figura 4.196 – Potência Efetiva Radiada



O ganho de setorização "G"- Eb/no é primordial no estudo do reuso de frequência a ser utilizado como também nas distribuições dos canais dentro dos setores das células. Apresenta variações através do número de usuários por banda "m" compreendendo de 1 a 3000 usuários, largura de banda "B" em estudo de 1 a 5 MHz, taxa de transmissão "R" em análise de 100 a 2000 kbps, fator carga "η" (%) em análise de 0,1 a 1 % e setorização "s" com valores ensaiados para 3 setores ($s = 2,5$) e 6 setores ($s = 5$). A figura 4.197 a seguir mostra os parâmetros envolvidos no cálculo:

Figura 4.197 – Ganho de Setorização



A atividade da voz “M” é determinante no dimensionamento de canais de tráfego telefônico por portadora, lembrando que o tempo de conexão é estatístico e a presença da informação no canal de comunicação acarreta aumento da taxa de transmissão e consequentemente exige mais largura de banda. Os parâmetros que alteram a atividade de voz são: largura de banda “W” estudada de 1 a 5 MHz, relação Eb/No estudada de 2 a 20 dB, fator carga “ η ” analisada de 0,1 a 1 %, setorização “s” analisados com 3 ($s=2,5$) ou 6 setores ($s=5$), atividade da voz “V” com a variação de 0,4 a 0,5 %. A figura 4.198 a seguir mostra os parâmetros da atividade da voz.

Figura 4.198 – Atividade de Voz

| <u>Atividade da Voz - Usuário</u> | |
|-----------------------------------|-----|
| $M =$ ----- | ↑ ↓ |
| W (MHz) = ----- | ↑ ↓ |
| Eb/No (dB) = ----- | ↑ ↓ |
| η (%) = ----- | ↑ ↓ |
| λ (s) = ----- | ↑ ↓ |
| V (dB) = ----- | ↑ ↓ |

O efeito carga “Ec” (Hz/bps) em telefonia móvel é um parâmetro indispensável no desempenho do sistema o qual é modificado pelo número de usuários por banda “m” estendido de 1 a 3000 usuários, largura de banda “W” analisado de 1 a 5 MHz, taxa de transmissão “R” observada de 100 a 2000 kbps e fator carga “ η ” no estudo em pauta de 0,01 a 1%. A figura 4.199 a seguir mostra os parâmetros que modificam o efeito carga:

Figura 4.199 – Efeito Carga Eb/no

| <u>Efeito Carga – Eb/no</u> | |
|-----------------------------|---|
| E_c (Hz/bps) = ----- | ↔ |
| m = ----- | ↔ |
| W (MHz) = ----- | ↔ |
| R (kbps) = ----- | ↔ |
| η (%) = ----- | ↔ |

4.5 – Cálculos WCDMA Site 5

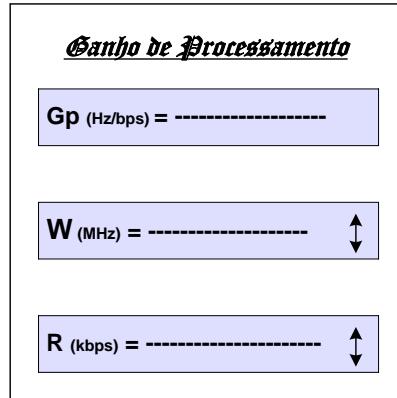
A figura 4.200 a seguir mostra os cálculos referentes a ganho de processamento, tempo de *bit* e energia de *bit*.

Figura 4.200 – Cálculos WCDMA Site 5

| <u>CALCULO – WCDMA SITE 5</u> | |
|-------------------------------|---------------------|
| <u>Ganho de Processamento</u> | <u>Tempo de bit</u> |
| G_p (Hz/bps) = ----- | T_b (s) = ----- |
| W (MHz) = ----- | R = ----- |
| R (kbps) = ----- | |
| <u>Energia de bit</u> | |
| E_b (w.s) = ----- | |
| P_{tx} (w) = ----- | |
| T_b (s) = ----- | |

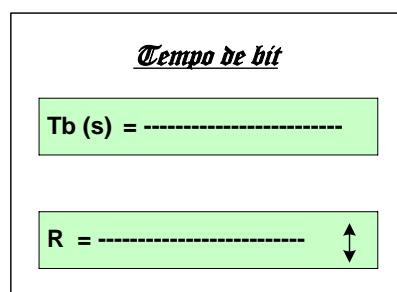
O ganho de processamento “G” (Hz/bps) é primordial no estudo do desempenho do sistema móvel celular. O valor é alterado através da largura de banda “W” operando de 1 a 5 MHz e taxa de transmissão “R” no interesse de 100 a 2000 kbps. A figura 4.201 a seguir exemplifica os parâmetros envolvidos no dimensionamento no ganho do processamento:

Figura 4.201 – Ganho de Processamento



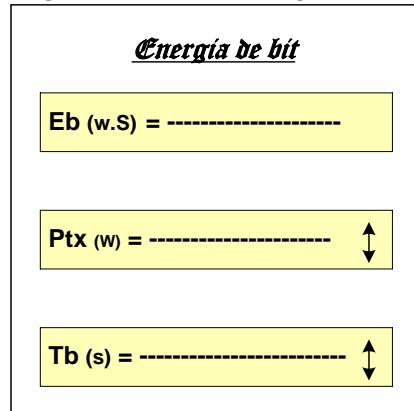
O tempo de bit “Tb” (s) é uma grandeza inversamente proporcional à taxa de transferência de dados “R” estudado no caso de 14,4 a 200 Mbps. A figura 4.202 a seguir mostra a variável envolvida no tempo de *bit*:

Figura 4.202 - Tempo de bit



A energia de *bit* “E_b” (w.s) é um parâmetro relevante no desempenho das comunicações celulares: sofre variações diretamente através da potência do canal de radio “Ptx” (W) sendo examinado no caso, de 0,5 a 2 W e do período de duração do *bit* transmitido “T_b” (μs) passando por uma observação de 0,05 a 69 μs. A figura 4.203 a seguir mostra a janela com os parâmetros envolvidos no dimensionamento:

Figura 4.203 – Energia de bit



4.6 – Cálculos Tráfego Telefônico 1 e 2

O tráfego telefônico é um recurso matemático que emprega a estatística para fins de dimensionamento de chamadas telefônicas através de canais de comunicação. É relevante porque estuda o comportamento e utilização dos usuários em locais e horários distintos, otimiza o sistema telefônico em horários de pico, e reduz a ociosidade de gastos e recursos em horários de baixa ocupação.

Os cálculos de tráfego 1 e 2 nas figuras 4.204 e 4.205 a seguir disponibiliza o dimensionamento do volume de tráfego, da intensidade de ocupação, do tempo médio de ocupação, da intensidade de tráfego, das chamadas completadas, do congestionamento e das chamadas completadas e não completadas.

Figura 4.204 – Cálculos Tráfego Telefônico 1

CACULO – TRAFEGO TELEFONICO 1

VOLUME DE TRAFEGO

$$V \text{ (H/E)} = \text{-----}$$

$$n \text{ (o)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

$$tj \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

INTENSIDADE DE OCUPAÇÃO

$$I \text{ (o/m)} = \text{-----}$$

$$n \text{ (o)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

$$T \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

TEMPO MÉDIO DE OCUPAÇÃO

$$tm \text{ (m/o)} = \text{-----}$$

$$V \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

$$n = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

INTENSIDADE DE TRAFEGO

$$A \text{ (Erl)} = \text{-----}$$

$$V \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

$$T \text{ (m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

Chamadas Completadas

$$BHC = \text{-----}$$

$$A \text{ (o/m)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

$$tm \text{ (m/o)} = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

Congestionamento

$$B \text{ (\%)} = \text{-----}$$

$$r = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

$$a = \text{-----} \quad \uparrow \downarrow$$

Figura 4.205 – Cálculos de Tráfego 2

CALCULO – TRAFEGO TELEFONICO 2

Chamadas completadas / não completadas

BHCA = -----

A (o/m) = ----- ↑ ↓

tm (m/o) = ----- ↑ ↓

O volume de tráfego telefônico “V” dado em horas por Erlang (H/E) é a somatória das ocupações dos circuitos utilizados na BTS e MSC com os seus respectivos tempos de conexão. É um valor indispensável no cálculo do tráfego telefônico e na computação das horas processadas na MSC. A figura 4.206 a seguir apresenta os parâmetros que alteram o cálculo tais como: número de ocupações “n” entre 1 e 5000 chamadas e tempo médio de ocupação “tj” calculada de 1 a 3600 m.

Figura 4.206 – Volume de Tráfego

Volume de tráfego

V (H/E) = -----

n (o) = ----- ↑ ↓

tj (m) = ----- ↑ ↓

A intensidade de tráfego “I” expresso em ocupações por minuto (o/m) é uma relação de ocupações que ocorrem em um sistema de comutação por um período de observação “T”, sendo que as ocupações “n” em estudo vão de 1 a 5000 ocupações e o período de observação “T” é de 60 m. A figura 4.207 a seguir apresenta as variáveis da intensidade de ocupação:

Figura 4.207 – Intensidade de Ocupação

| <u>Intensidade de Ocupação</u> |
|-------------------------------------|
| $I (0/m) = -----$ |
| $n (o) = ----- \uparrow \downarrow$ |
| $T (m) = ----- \uparrow \downarrow$ |

O tempo médio de ocupação “tj” dado em ocupações é a média aritmética dos tempos de ocupação de um circuito durante um espaço de tempo conhecido como tempo médio de retenção e apresenta como variáveis a relação entre o volume de tráfego “V” analisado na faixa de 1 a 3600 m e o número de ocupações “n” estudado na faixa de 1 a 3600 m. A figura 4.208 a seguir mostra os parâmetros que alteram o tempo médio de ocupação:

Figura 4.208 – Tempo Médio de Ocupação

| <u>Tempo Médio de Ocupação</u> |
|-------------------------------------|
| $tm (m/o) = -----$ |
| $V (m) = ----- \uparrow \downarrow$ |
| $n = ----- \uparrow \downarrow$ |

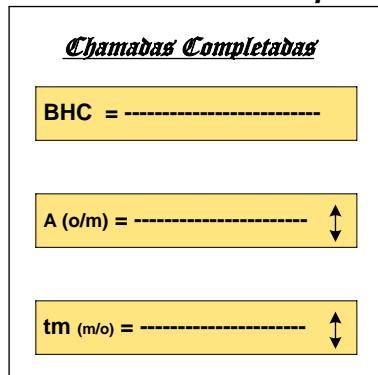
A intensidade de tráfego “A” (Erl) é a relação do volume de tráfego “V” em análise na faixa de 1 a 5000 m pelo período de observação “T” compreendido de 1 a 60m. A figura 4.209 a seguir mostra as variáveis da intensidade de tráfego.

Figura 4.209 – Intensidade de Tráfego

| <u>Intensidade de Tráfego</u> |
|-------------------------------------|
| $A (Erl) = -----$ |
| $V (m) = ----- \uparrow \downarrow$ |
| $T (m) = ----- \uparrow \downarrow$ |

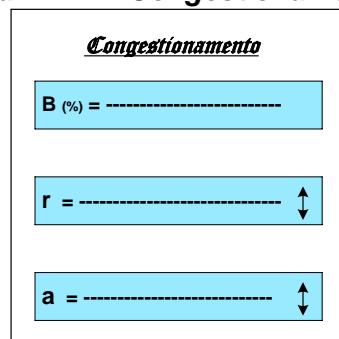
As chamadas completadas “BHC” são de extrema importância no dimensionamento de circuitos em um sistema PSTN, que estuda o horário de maior movimento (HMM), relacionando a intensidade de tráfego “A” ocupações por minuto (o/m) com o tempo médio de chamada “tm” expresso em minutos ocupados (m/o). A figura 4.210 a seguir apresenta os parâmetros que modificam o BHC:

Figura 4.210 – Chamadas Completadas BHC



O tráfego telefônico em um sistema de comutação encontrará congestionamento se o número de circuitos disponíveis não for suficiente para escoar as conexões. O congestionamento “B” (%) sofre modificações através da relação do número de chamadas perdidas “r” no estudo em pauta de 1 a 100 chamadas pelo número de chamadas aceitas “a” na faixa em estudo de 1 a 5000 chamadas. A figura 4.211 a seguir mostra as variáveis que alteram o congestionamento telefônico:

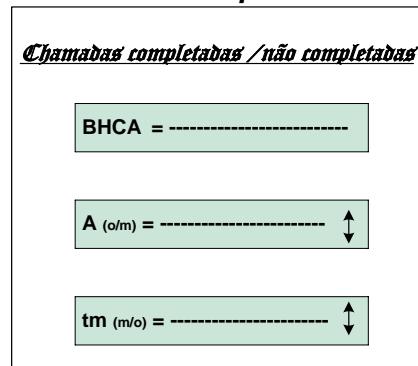
Figura 4.211 – Congestionamento



O conceito de BHCA relaciona-se com as tentativas das chamadas completadas e não completadas no horário de maior movimento, sendo de extrema importância para o dimensionamento de circuitos, sistema de processadores e

atuando diretamente no desempenho da MCS. O BHCA sofre alteração em função da razão da intensidade de tráfego “A” (o/m) e do tempo médio de ocupação (m/o). A figura 4.212 a seguir mostra as variáveis que alteram BHCA:

Figura 4.212 – Chamadas Completadas e não Completadas



No próximo item é apresentada a relação de fabricantes de produtos relacionados na composição do sistema irradiante e do *site* de telefonia móvel.

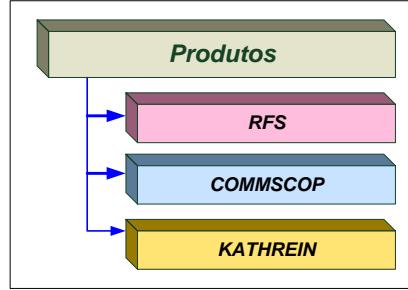
4.7 - Composição do Site Móvel

O *site* de telefonia móvel é composto fisicamente pela localidade onde se encontra a torre de transmissão em caso de terreno com a composição de sua infraestrutura: contêiner, energia comercial, retificadores, banco de bateria, sistema de transmissão. O sistema irradiante é composto pelo equipamento de radio BTS, amplificadores, passivos, cabos, conectores e antena.

Para que os cálculos se aproxime do ambiente real, foi criado um portfólio de produtos referente ao sistema irradiante com o propósito de extrair-lhes as características elétricas e inseri-las nos cálculos⁷. Foi escolhido como fabricante de produtos empresa conceituada e idônea com presença internacional: Kathrein, CommScop e RFS. A figura 4.213 a seguir destaca os fabricantes escolhidos:

⁷ Devido à grande quantidade de produtos escolhidos no estudo e, para não sobrecarregar a tese com especificações técnicas dos mesmos, optou-se em colocar esse conteúdo em apêndice.

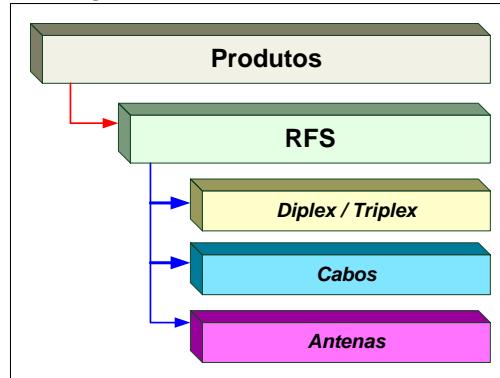
Figura 4.213 – Fabricantes



4.7.1 – Produtos RFS

Optou-se por produtos que atendessem a faixa de frequência em estudo tais como: passivos (diplex, triplex), antenas e cabos, conforme a figura 4.214, abaixo. Para ilustrar o emprego dos equipamentos, apresenta-se um exemplo de cada produto com suas especificações elétricas e mecânicas:

Figura 4.214 – Produtos RFS



O diplex é um filtro passivo projetado para operar em duas faixas de frequências distintas, tendo como objetivo principal a separação de faixas em serviços. Esse filtro reduz a quantidade de cabos que teriam que ser lançados na torre entre o percurso BTS e antena, contribuindo assim para uma melhor estética na distribuição dos cabos na torre. A figura 4.215 a seguir mostra a especificação técnica do diplex, com função Diplexer/Cross Band Coupler, modelo **FD9R6004/1C-3L**, que opera em sete faixas de frequência nas tecnologias: LTE700, GSM900, UMTS, GSM180, Celular 800, PCS.

Figura 4.215 – Diplex FD9R6004/1C-3L

| | | |
|---|----------------|---|
| Product Data Sheet | FD9R6004/1C-3L |  |
| ShareLite Wideband Diplexer – In-line 698-960 MHz/1710-2200 MHz, full DC pass | | |



| Technical Specifications | |
|---|---|
| Product Type | Diplexer/Cross Band Coupler |
| Application | LTE700, GSM900, UMTS, GSM1800, Cellular 800, PCS |
| Frequency Range 1, MHz | 698-960 |
| Frequency Range 2, MHz | 1710-2200 |
| Configuration | Sharelite Single diplexer, outdoor, full DC pass, with mounting hardware SEM2-1A |
| Mounting | Wall Mounting: With 4 screws (maximum 6mm diameter); Pole Mounting: With included clamp set 40-110mm (1.57-4.33) |
| Return Loss All Ports Min/Typ, dB | 19/23 |
| Power Handling Continuous, Max, W | 1250 at common port; 750 in low frequency path & 500 in high frequency path |
| Power Handling Peak, Max, W | 15000 in low frequency path & 8000 in high frequency path |
| Impedance, Ohms | 50 |
| Insertion Loss, Path 1, dB | 0.07 typ. |
| Insertion Loss, Path 2, dB | 0.13 typ. |
| Rejection Between Bands Min/Typ, dB | 58/64@698-960MHz; 57/70@1710-2200MHz |
| IMP Level at the COM Port, Typ, dBm | -112 @ 2x43 |
| DC Pass in Low Frequency Path | Yes |
| DC Pass in High Frequency Path | Yes |
| Temperature Range, °C (°F) | -40 to +60 (-40 to +140) |
| Environmental | ETSI 300-019-2-4 Class 4.1E |
| Ingress Protection | IP 67 |
| Lightning Protection | EN/IEC61000-4-5 Level 4 |
| Connectors | In-line long-neck 7-16-Female |
| Weight, kg (lb) | 1.2 (2.6) |
| Shipping Weight, kg (lb) | 3.2 (7) for 2 * single units in 1 * box, 9.8 (21.6) for 6 * units = 3 * Boxes in 1 * overwrap |
| Dimensions, H x W x D, mm (in) | 147 x 164 x 37 (5.8 x 6.5 x 1.5) |
| Shipping Dimensions, H x W x D, mm (in) | 254 x 406 x 82 (10 x 16 x 3.2) for 2 * Single Units in 1 * box, 280 x 406 x 241 (11 x 16 x 9.5) for 6 * units = 3 * Boxes in 1 * overwrap |
| Volume, L | 0.43 |
| Housing | Aluminum |

O tripex também é um filtro passivo que pode ser utilizado em três modalidades de frequência distintas. com os serviços, LTE800, GSM900, GSM1800, UMTS.

Os cabos do tipo coaxial corrugado são utilizados amplamente na interligação da saída do duplexador da BTS a antenas. Foram escolhidos os cabos mais utilizados e com frequências que venham a atender o estudo em pauta. A figura 4.216 a seguir ilustra um cabo com as características técnicas e tabela 2.26 de atenuação por metro cujo modelo é HCA58-50J.

Figura 4.216 – Cabo HCA58-50J



Technical Features

Structure

| | | | |
|------------------|-----------------------------|-----------|-------------|
| Inner conductor: | Copper Wire | [mm (in)] | 6.3 (0.248) |
| Dielectric: | Helical Polyethylene Spacer | [mm (in)] | 13.7 (0.54) |
| Outer conductor: | Corrugated Copper | [mm (in)] | 19 (0.75) |
| Jacket: | Polyethylene, PE | [mm (in)] | 21.4 (0.84) |

Mechanical Properties

| | | |
|--|----------------|---------------------|
| Weight, approximately | [kg/m (lb/ft)] | 0.65 (0.44) |
| Minimum bending radius, single bending | [mm (in)] | 80 (3) |
| Minimum bending radius, repeated bending | [mm (in)] | 250 (10) |
| Bending moment | [Nm (lb-ft)] | 13 (9.6) |
| Max. tensile force | [N (lb)] | 2400 (540) |
| Recommended / maximum clamp spacing | [m (ft)] | 0.5 / 0.9 (1.8 / 3) |

Electrical Properties

| | | |
|-------------------------------|-------------------|--------------|
| Characteristic impedance | [Ω] | 50 +/- 0.5 |
| Relative propagation velocity | [%] | 92 |
| Capacitance | [pF/m (pF/ft)] | 72 (21.9) |
| Inductance | [μH/m (μH/ft)] | 0.18 (0.055) |
| Max. operating frequency | [GHz] | 3 |
| Jacket spark test RMS | [V] | 8000 |
| Peak power rating | [kW] | 32 |
| RF Peak voltage rating | [V] | 1800 |
| DC-resistance inner conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 0.58 (0.177) |
| DC-resistance outer conductor | [Ω/km (Ω/1000ft)] | 0.93 (0.284) |

Recommended Temperature Range

| | | |
|--------------------------|-----------|-------------------------|
| Storage temperature | [°C (°F)] | -70 to 85 (-94 to 185) |
| Installation temperature | [°C (°F)] | -40 to 60 (-40 to 140) |
| Operation temperature | [°C (°F)] | -50 to 85 (-58 to 185) |

Other Characteristics

| | | |
|-------------------|--------------|--|
| Fire Performance: | Halogen Free | Typical 20.8dB (1.2 VSWR) or better within the operation bands of most global frequency ranges. Premium also available. Contact factory for options in your specific frequency band. |
| VSWR Performance: | Standard | [dB (VSWR)] |

Tabela 4.26 – Atenuação Versos Frequência Modelo - HCA58-50J

| Frequency [MHz] | Attenuation | | Power [kW] |
|----------------------|-------------|--------------|-----------------|
| | [dB/100m] | [dB/100ft] | |
| 0.5 | 0.120 | 0.0366 | 32.0 |
| 1.0 | 0.170 | 0.0518 | 32.0 |
| 1.5 | 0.208 | 0.0634 | 32.0 |
| 2.0 | 0.240 | 0.0732 | 32.0 |
| 10 | 0.539 | 0.164 | 15.2 |
| 20 | 0.764 | 0.233 | 10.7 |
| 30 | 0.937 | 0.286 | 8.75 |
| 50 | 1.21 | 0.370 | 6.78 |
| 88 | 1.62 | 0.493 | 5.07 |
| 100 | 1.72 | 0.526 | 4.77 |
| 108 | 1.79 | 0.547 | 4.59 |
| 150 | 2.12 | 0.646 | 3.88 |
| 174 | 2.29 | 0.697 | 3.59 |
| 200 | 2.46 | 0.749 | 3.34 |
| 300 | 3.03 | 0.922 | 2.72 |
| 400 | 3.51 | 1.07 | 2.35 |
| 450 | 3.73 | 1.14 | 2.21 |
| 500 | 3.94 | 1.20 | 2.09 |
| 512 | 3.99 | 1.22 | 2.07 |
| 600 | 4.33 | 1.32 | 1.91 |
| 700 | 4.69 | 1.43 | 1.76 |
| 800 | 5.03 | 1.53 | 1.65 |
| 824 | 5.11 | 1.56 | 1.62 |
| 894 | 5.34 | 1.63 | 1.55 |
| 900 | 5.35 | 1.63 | 1.55 |
| 925 | 5.43 | 1.66 | 1.53 |
| 960 | 5.54 | 1.69 | 1.50 |
| 1000 | 5.66 | 1.73 | 1.47 |
| 1250 | 6.37 | 1.94 | 1.31 |
| 1500 | 7.01 | 2.14 | 1.19 |
| 1700 | 7.50 | 2.29 | 1.12 |
| 1800 | 7.73 | 2.36 | 1.08 |
| 2000 | 8.18 | 2.49 | 1.03 |
| 2200 | 8.61 | 2.62 | 0.978 |
| 2300 | 8.82 | 2.69 | 0.956 |
| 3000 | 10.2 | 3.10 | 0.833 |

Attenuation at 20°C (68°F) cable temperature
Mean power rating at 40°C (104°F) ambient temperature

As antenas basestation são utilizadas no sistema móvel celular, podendo apresentar particularidades de operação com uma única faixa de frequência ou multifaixa. As antenas de multifaixa são utilizadas para diminuir a concentração de antenas no topo da torre, minimizar custos de instalação e permitir o remanejamento de novos serviços sem alterar o projeto inicial de instalação. A figura 4.217 a seguir apresenta as especificações elétricas com código APX13GV-15DWVB-C:

Figura 4.217 – Antena APX13GV-15DWVB-C

| Product Data Sheet | APX13GV-15DWVB-C | RFS |
|--|------------------|-----|
| Optimizer® Dual-Band Dual Polarized, 870-2170, 65deg, 14.4/17.0/17.0dBi, 1.3m, VET, 0-10/2-10deg | | |

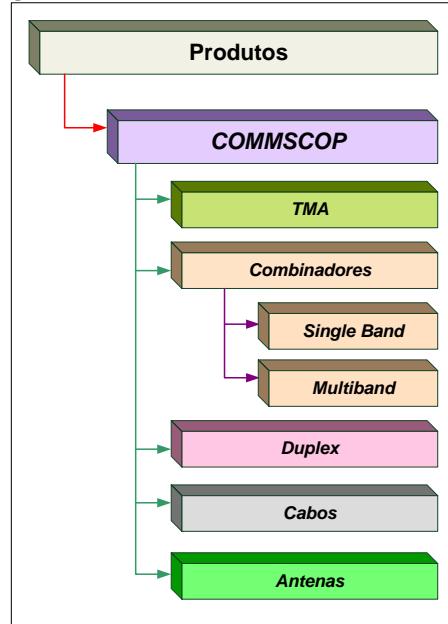


| Technical Specifications | | | |
|--|---------------------------------------|----------------------------|----------------|
| Electrical Specifications | | | |
| Frequency Range, MHz | 870-960 | 1710-1900 | 1900-2170 |
| Horizontal Beamwidth, deg | 65 | 64 | 60 |
| Vertical Beamwidth, deg | 14.7 | 7 | 6.8 |
| Electrical Downtilt Range, deg | 0-10 | 2-10 | 2-10 |
| Gain, dBi (dBd) | 14.4 (12.3) | 17.0 (14.9) | 17.0 (14.9) |
| 1st Upper Sidelobe Suppression, dB | | >17 (typically >20) | |
| Upper Sidelobe Suppression, dB | | >16 (typically >20) | |
| Front-To-Back Ratio, dB | | >25 | |
| Polarization | | Dual pol +/-45° | |
| VSWR | | < 1.5:1 | |
| Isolation between Ports, dB | | >30 | |
| Isolation Between Bands, dB | GSM - DCS >30 | GSM - UMTS >27 | GSM - UMTS >30 |
| 3rd Order IMP @ 2 x 43 dBm, dBc | | >150, >150, N/A | |
| 7th Order IMP @ 2 x 46 dBm, dBc | | N/A, N/A, >170 | |
| Impedance, Ohms | | 50 | |
| Maximum Power Input, W | 500 | 300 | 300 |
| Lightning Protection | | Direct Ground | |
| Connector Type/Location | | (4) 7-16 DIN Female/Bottom | |
| Mechanical Specifications | | | |
| Dimensions - HxWxD, mm (in) | 1349 x 328 x 128 (53 x 12.91 x 5.04) | | |
| Weight w/o Mtg Hardware, kg (lb) | 18.0 (39.6) | | |
| Survival/Rated Wind Speed, km/h (mph) | 200 (125) / 160 (100) | | |
| Wind Load @ Rated Wind, Front, N (lbf) | 596 (134) | | |
| Wind Load @ Rated Wind, Max., N (lbf) | 596 (134) | | |
| Wind Load @ Rated Wind, Side, N (lbf) | 228 (51) | | |
| Wind Load @ Rated Wind, Rear, N (lbf) | 387 (87) | | |
| Operation temperature, °C (°F) | -40 to +60 (-40 to +140) | | |
| Radome Material/Color | Fiberglass/Light Grey RAL7035 | | |
| Mounting Hardware Material | Diecasted Aluminum | | |
| Radiating Element Material | Brass | | |
| Reflector Material | Aluminum | | |
| Shipping Weight, kg (lb) | 26.8 (59) | | |
| Packing Dimensions, HxWxD, mm (in) | 1520 x 400 x 260 (59.8 x 15.7 x 10.2) | | |

4.7.2 - Commscop

Para o site de sistema móvel celular optou-se pelos seguintes equipamentos que compõem o sistema irradiante: TMA, combinadores de *single* banda e multibanda, duplex, cabos e antenas. A figura 4.218 a seguir mostra os produtos selecionados no estudo:

Figura 4.218 – Produtos Commscop



O TMA é um amplificador instalado nas imediações da torre de transmissão com o propósito de se obter aumento de potência no caminho da recepção do sinal radio captado através da antena. Foi adotado o modelo “E15R01P88”, cujas particularidades elétricas são exibidas nas figuras 4. 219 e 4.220 a seguir:

Figura 4.219 – Especificações Elétrica TX / 2TX

Product Specifications
COMMSCOPE®



E15R01P88
Tower Mounted Amplifier, Dual GSM/UMTS 900

POWERED BY 

| Electrical Specifications Rx (Uplink) | |
|---------------------------------------|------------------|
| Bandwidth | 35.00 MHz |
| License Band | GSM UMTS |
| Frequency Band | 880 - 915 MHz |
| Gain | 12 dB |
| Gain Tolerance | ±1 |
| Noise Figure, Mid Band, typical | 1.30 dB @ 12 dB |
| Noise Figure, Full Band, typical | 1.60 dB @ 12 dB |
| Output IP3, minimum | 22 dBm @ 12 dB |
| Return Loss, minimum | 18 dB |
| Insertion Loss, Bypass Mode, typical | 3.00 dB |
| Return Loss, Bypass Mode, typical | 14 dB |
| Tx Band Rejection | 80 dB |
| Group Delay Variation, maximum | 60 ns @ 5.00 MHz |
| Total Group Delay, maximum | 200 ns |

Electrical Specifications Tx (Downlink)

| | |
|--------------------------------|------------------|
| Bandwidth | 35.00 MHz |
| Insertion Loss, maximum | 0.70 dB |
| License Band | GSM UMTS |
| Frequency Band | 925 – 960 MHz |
| Insertion Loss Ripple, maximum | 0.50 dB |
| Return Loss, minimum | 18 dB |
| Input Power, RMS, maximum | 200 W |
| Input Power, PEP, maximum | 5000 W |
| Rx Band Rejection | 40 dB |
| Group Delay Variation, maximum | 28 ns @ 5.00 MHz |
| Total Group Delay, maximum | 78 ns |

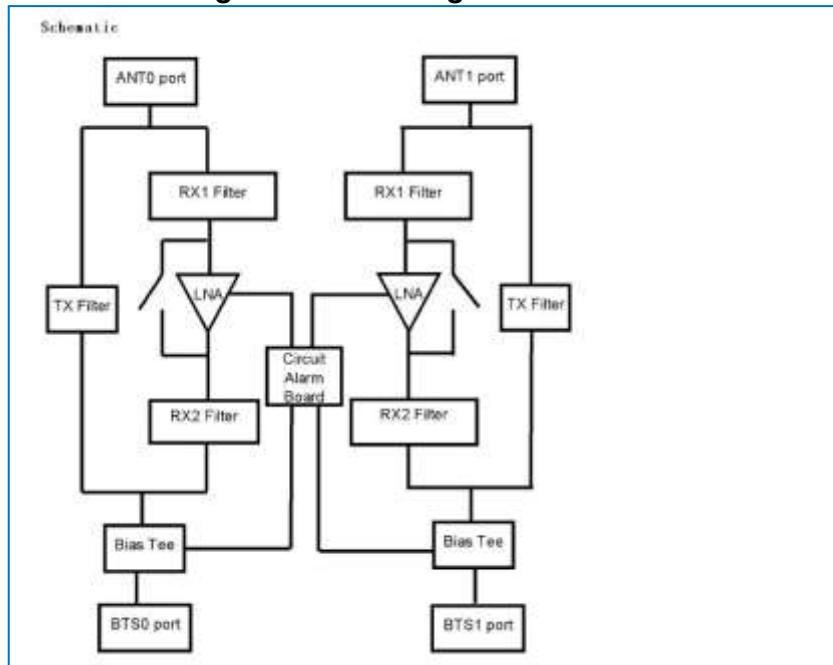
Electrical Specifications 2 Tx (Downlink)

| | |
|---------------------------|----------------------|
| 3rd Order IMD | -116 dBm |
| 3rd Order IMD Test Method | Two +43 dBm carriers |

Electrical Specifications

| | |
|------------------------------|---------------|
| Voltage | 7–30 Vdc |
| Operating Current at Voltage | 100 mA @ 12 V |

Figura 4.220 – Diagrama de Bloco



Combinador é um circuito passivo com a função de filtro, adaptando a informação em uma única banda. A figura 4.221 á 4.223 seguir exemplifica as especificações elétricas do combinador **D-AWS-10-B2C-F**.

Figura 4.221 – Especificações Elétrica RX / TX

Product Specifications

COMMSCOPE®



D-AWS-10-B2C-F
 AWS In-Band Diplexer Tuning version 2A, AWS B2C/F Bands with AISG/DC Sense

POWERED BY


| Electrical Specifications Rx (Uplink) | |
|--|-----------------|
| Frequency Band | 1725 – 1735 MHz |
| Insertion Loss, typical | 0.50 dB |
| Isolation, minimum | 25 dB |
| Return Loss, minimum | 18 dB |

| Electrical Specifications Tx (Downlink) | |
|--|-----------------|
| Frequency Band | 2125 – 2135 MHz |
| Input Power, PEP, maximum | 5000 W |
| Insertion Loss, typical | 0.50 dB |
| Isolation, minimum | 30 dB |
| Return Loss, minimum | 18 dB |
| Total Group Delay, maximum | 50 ns |

Figura 4.222 – Especificação Elétrica 2 RX / 2 TX

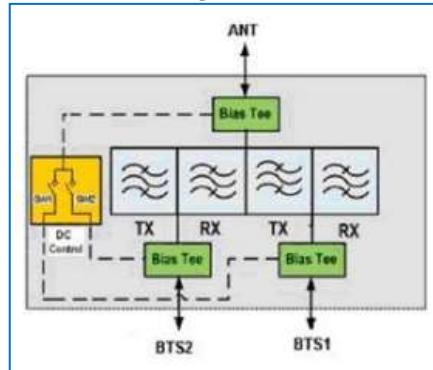
Electrical Specifications 2 Rx (Uplink)

| | |
|-------------------------|-----------------|
| Frequency Band | 1745 – 1755 MHz |
| Insertion Loss, typical | 0.50 dB |
| Isolation, minimum | 25 dB |
| Return Loss, minimum | 18 dB |

Electrical Specifications 2 Tx (Downlink)

| | |
|----------------------------|-----------------|
| Frequency Band | 2145 – 2155 MHz |
| Input Power, PEP, maximum | 5000 W |
| Insertion Loss, typical | 0.50 dB |
| Isolation, minimum | 30 dB |
| Return Loss, minimum | 18 dB |
| Total Group Delay, maximum | 50 ns |

Figura 4.223 – Diagrama de Bloco Diplex



Combinador multibanda é um circuito passivo com função de filtro inserindo várias faixas de frequência em uma única banda, com função específica de diplex. As figuras 4.224 e 4.225 a seguir apresentam as especificações elétricas e mecânicas com o código **CBC721-DF**:

Figura 4.224 – Combinador Mult Band CBC721-DF

Product Specifications





CBC721-DF-7-DCB | E15V95P08
 Crossband Coupler, 698-960 MHz/1710-2170 MHz, dc pass on 1710-2170 MHz port

Electrical Specifications

| | |
|----------------------------------|----------------------|
| dc Pass-through | Band 2 |
| 3rd Order IMD Test Method | Two +43 dBm carriers |
| 3rd Order IMD, maximum | -110 dBm |
| Isolation Between Paths, minimum | 60.0 dB |
| Lightning Surge Current | 10 kA |
| Lightning Surge Current Waveform | 8/20 waveform |

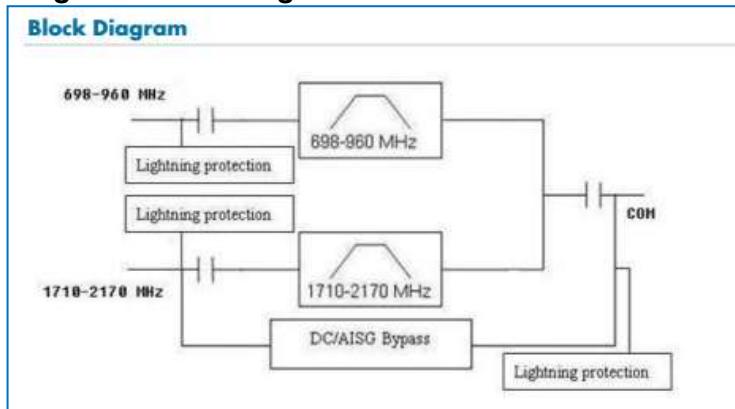
Electrical Specifications (Branch 1)

| | |
|--|---------------------|
| Operating Frequency Band | 698 - 960 MHz |
| Insertion Loss, maximum | 0.15 dB |
| Output Power, maximum composite | 500 W |
| Peak Power | 5 kW |
| Return Loss at Frequency Band, minimum | 20 dB @ 698-960 MHz |
| Return Loss at Frequency Band, typical | 24 dB @ 698-894 MHz |
| Total Group Delay, maximum | 10 ns |

Electrical Specifications (Branch 2)

| | |
|--|---|
| Operating Frequency Band | 1710 - 2170 MHz |
| Insertion Loss, maximum | 0.20 dB |
| Output Power, maximum composite | 500 W |
| Peak Power | 5 kW |
| Return Loss at Frequency Band, minimum | 20 dB @ 1710-2170 MHz 22 dB @ 1850-1990 MHz |
| Return Loss at Frequency Band, typical | 24 dB @ 1850-1990 MHz |
| Total Group Delay, maximum | 10 ns |

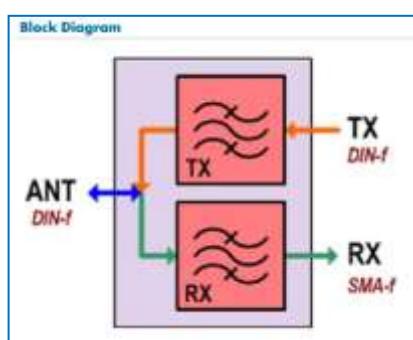
Figura 4.225 – Diagrama de Bloco do Combinador



Duplexador é um circuito passivo com função de filtro com a operação de alocar frequências de transmissão e recepção em uma única banda. A figura 4.226 a seguir detalha as características do duplexador E15V85P04:

Figura 4.226 – Duplexador E15V85P04

| Product Specifications | | COMMSCOPE® |
|--|----------------------|------------|
|  E15V85P04 Twin Duplexer Shelf, 850 RXAIT | | |
|  | | |
| Electrical Specifications Rx (Uplink) | | |
| Bandwidth | 25.00 MHz | |
| Frequency Band | 824 – 849 MHz | |
| Group Delay Variation, maximum | 80 ns @ 5.00 MHz | |
| Insertion Loss, maximum | 0.75 dB | |
| Insertion Loss, typical | 0.50 dB | |
| Return Loss, minimum | 20 dB | |
| Total Group Delay, maximum | 150 ns | |
| Tx Band Rejection | 80 dB | |
| Electrical Specifications Tx (Downlink) | | |
| Bandwidth | 25.00 MHz | |
| Frequency Band | 869 – 894 MHz | |
| Group Delay Variation, maximum | 100 ns @ 5.00 MHz | |
| Input Power, PEP, maximum | 16 kW | |
| Input Power, RMS, maximum | 800 W | |
| Insertion Loss, maximum | 0.75 dB | |
| Insertion Loss, typical | 0.50 dB | |
| Return Loss, minimum | 20 dB | |
| Rx Band Rejection | 80 dB | |
| Total Group Delay, maximum | 200 ns | |
| Electrical Specifications | | |
| License Band | Cellular | |
| 3rd Order IMD Test Method | Two +43 dBm carriers | |
| 3rd Order IMD, maximum | -107 dBm | |



Os cabos coaxiais corrugados são específicos no uso de sistema radio. Interligam a saída do duplexador ao terminal da antena. A figura 4.228 a seguir exemplifica o modelo AVA6RK-50:

Figura 4.227 - Cabo Coaxial Corrugado AVA6RK-50

Product Specifications



AVA6RK-50
AVA6-50, HELIAX® Andrew Virtual Air™ Coaxial Cable, corrugated copper, 1-1/4 in, black, fire retardant polyolefin jacket

COMMSCOPE®

POWERED BY


| Construction Materials | |
|-------------------------------|--|
| Jacket Material | Non-halogenated, fire retardant polyolefin |
| Outer Conductor Material | Corrugated copper |
| Dielectric Material | Foam PE |
| Flexibility | Standard |
| Inner Conductor Material | Corrugated copper tube |
| Jacket Color | Black |

| Dimensions | |
|--------------------------|------------------------|
| Nominal Size | 1-1/4 in |
| Cable Weight | 0.54 lb/ft 0.80 kg/m |
| Diameter Over Dielectric | 34.036 mm 1.340 in |
| Diameter Over Jacket | 39.624 mm 1.560 in |
| Inner Conductor OD | 14.0208 mm 0.5520 in |
| Outer Conductor OD | 36.068 mm 1.420 in |

| Electrical Specifications | |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Cable Impedance | 50 ohm ±1 ohm |
| Capacitance | 22.0 pF/ft 72.0 pF/m |
| dc Resistance, Inner Conductor | 0.530 ohms/kft 1.740 ohms/km |
| dc Resistance, Outer Conductor | 0.230 ohms/kft 0.750 ohms/km |
| dc Test Voltage | 8500 V |
| Inductance | 0.057 µH/ft 0.187 µH/m |
| Insulation Resistance | 1000000 Mohms•km |
| Jacket Spark Test Voltage (rms) | 10000 V |
| Operating Frequency Band | 1 – 3700 MHz |
| Peak Power | 180.0 kW |
| Velocity | 92% |

Return Loss/VSWR

| Frequency Band | VSWR | Return Loss (dB) |
|----------------|------|------------------|
| 806–960 MHz | 1.13 | 24.30 |
| 1700–2170 MHz | 1.13 | 24.30 |

Attenuation

| Frequency (MHz) | Attenuation (dB/100 m) | Attenuation (dB/100 ft) | Average Power (kW) |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| 0.5 | 0.056 | 0.017 | 117.01 |
| 1 | 0.079 | 0.024 | 82.63 |
| 1.5 | 0.097 | 0.03 | 67.41 |
| 2 | 0.113 | 0.034 | 58.33 |
| 10 | 0.253 | 0.077 | 25.89 |
| 20 | 0.36 | 0.11 | 18.21 |
| 30 | 0.443 | 0.135 | 14.80 |
| 50 | 0.576 | 0.176 | 11.39 |
| 88 | 0.772 | 0.235 | 8.51 |
| 100 | 0.825 | 0.251 | 7.96 |
| 108 | 0.858 | 0.262 | 7.65 |
| 150 | 1.019 | 0.311 | 6.44 |
| 174 | 1.102 | 0.336 | 5.96 |
| 200 | 1.186 | 0.361 | 5.53 |
| 300 | 1.471 | 0.448 | 4.46 |
| 400 | 1.717 | 0.523 | 3.82 |
| 450 | 1.829 | 0.558 | 3.59 |
| 500 | 1.937 | 0.59 | 3.39 |

AVA6RK-50

| | | | |
|------|-------|-------|------|
| 512 | 1.962 | 0.598 | 3.34 |
| 600 | 2.14 | 0.652 | 3.07 |
| 700 | 2.329 | 0.71 | 2.82 |
| 800 | 2.507 | 0.764 | 2.62 |
| 824 | 2.548 | 0.777 | 2.58 |
| 894 | 2.666 | 0.813 | 2.46 |
| 960 | 2.774 | 0.846 | 2.37 |
| 1000 | 2.838 | 0.865 | 2.31 |
| 1250 | 3.218 | 0.981 | 2.04 |
| 1500 | 3.569 | 1.088 | 1.84 |
| 1700 | 3.835 | 1.169 | 1.71 |
| 1800 | 3.963 | 1.208 | 1.66 |
| 2000 | 4.212 | 1.284 | 1.56 |
| 2100 | 4.333 | 1.321 | 1.51 |
| 2200 | 4.452 | 1.357 | 1.47 |
| 2300 | 4.569 | 1.393 | 1.44 |
| 2500 | 4.798 | 1.463 | 1.37 |
| 2700 | 5.021 | 1.53 | 1.31 |
| 3000 | 5.345 | 1.629 | 1.23 |
| 3400 | 5.76 | 1.755 | 1.14 |
| 3700 | 6.06 | 1.847 | 1.08 |

As antenas basestation são de uso específico na telefonia móvel com a função de gerar a área de cobertura do sinal de RF. A figura 4.228 a seguir apresenta uma antena do tipo multibanda operando na faixa de 790 MHz a 2690 MHz, com código CV65BSX-M:

Figura 4.228 – Antena CV65BSX-M

Product Specifications





CV65BSX-M

Andrew® Dual Band Teletilt® Antenna, 790–960 MHz and 1710–2690 MHz, 65° horizontal beamwidth, RET compatible

- The values presented on this datasheet have been calculated based on N-P-BASTA White Paper version 9.6 by the NGMN Alliance
- Utilizes AccuRET™ actuator(s) on the back of the antenna

Electrical Specifications

| Frequency Band, MHz | 790–896 | 870–960 | 1710–1880 | 1850–1990 | 1920–2180 | 2300–2500 | 2500–2690 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gain by all Beam Tilts, average, dBi | 15.3 | 15.4 | 17.2 | 17.5 | 17.6 | 17.7 | 18.0 |
| Gain by all Beam Tilts Tolerance, dB | ±0.5 | ±0.4 | ±0.3 | ±0.3 | ±0.5 | ±0.6 | ±0.4 |
| Gain by Beam Tilt, average, dBi | 0 ° ± 15.4 3 ° ± 15.4 10 ° ± 15.1 | 0 ° ± 15.4 3 ° ± 15.3 10 ° ± 15.1 | 2 ° ± 17.1 7 ° ± 17.3 12 ° ± 17.2 | 2 ° ± 17.4 7 ° ± 17.6 12 ° ± 17.8 | 2 ° ± 17.5 7 ° ± 17.7 12 ° ± 17.6 | 2 ° ± 17.6 7 ° ± 17.9 12 ° ± 17.5 | 2 ° ± 17.8 7 ° ± 18.1 12 ° ± 17.7 |
| Beamwidth, Horizontal, degrees | 63 | 62 | 71 | 66 | 67 | 57 | 58 |
| Beamwidth, Horizontal Tolerance, degrees | ±2.7 | ±1.9 | ±4.6 | ±2.4 | ±5 | ±3.5 | ±4.6 |
| Beamwidth, Vertical, degrees | 10.5 | 9.7 | 5.6 | 5.3 | 5.0 | 4.3 | 4.1 |
| Beamwidth, Vertical Tolerance, degrees | ±0.8 | ±0.6 | ±0.3 | ±0.3 | ±0.3 | ±0.2 | ±0.2 |
| Beam Tilt, degrees | 0–10 | 0–10 | 2–12 | 2–12 | 2–12 | 2–12 | 2–12 |
| USLS, dB | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 16 | 18 |
| Front-to-Back Total Power at 180° ± 30°, dB | 25 | 25 | 26 | 24 | 22 | 22 | 24 |
| CPR at Sector, dB | 11 | 11 | 12 | 9 | 9 | 5 | 7 |
| Isolation, dB | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Isolation, Intersystem, dB | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| VSWR Return Loss, dB | 1.5 14.0 | 1.5 14.0 | 1.5 14.0 | 1.5 14.0 | 1.5 14.0 | 1.5 14.0 | 1.5 14.0 |
| PIM, 3rd Order, 2 x 20 W, dBc | -150 | -150 | -150 | -150 | -150 | -150 | -150 |
| Input Power per Port, maximum, watts | 350 | 350 | 350 | 350 | 350 | 300 | 300 |
| Polarization | ±45° | ±45° | ±45° | ±45° | ±45° | ±45° | ±45° |
| Impedance | 50 ohm |

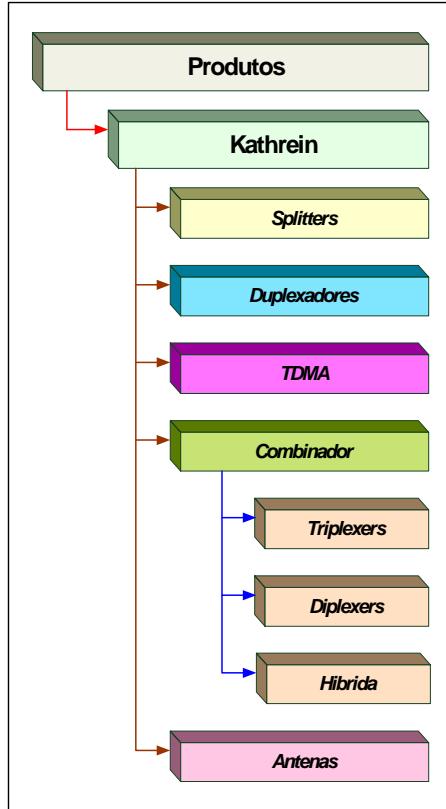
General Specifications

| | |
|----------------------------|---------------------------------|
| Antenna Brand | Andrew® |
| Antenna Type | DualPol® dual band |
| Band | Multiband |
| Brand | DualPol® Teletilt® |
| Operating Frequency Band | 1710 – 2690 MHz 790 – 960 MHz |
| Number of Ports, all types | 4 |

4.7.3 – Kathrein

Foi utilizada a Kathrein como fabricante e fornecedora de produtos na construção do site de telefonia móvel com os seguintes equipamentos: *splitter*, duplexador, TMA, combinador (*diplex*, *triplex* e híbrida) e antenas, conforme a figura 4.229 a seguir:

Figura 4.29 – Produtos Kathrein



Splitters são componentes passivos com função de casadores de impedância e divisores de sinais de RF, com duas, três ou quatro saídas em uma linha de transmissão do tipo cabo coaxial corrugado. A figura 4.230 a seguir exemplifica o modelo **737 303**:

Figura 4.230 – Splitter 737303

| Low-loss Power Splitters – Multi-band 800 – 2200 MHz 737 303, 737 304, 737 305, 737 306, 737 307, 737 308 | | | | | | |
|---|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| For indoor and outdoor use. | | | | | | |
| 2-way-Splitter 800–2200 3-way-Splitter 800–2200 4-way-Splitter 800–2200 | | | | | | |
| Type No. | 737 303 | 737 304 | 737 305 | 737 306 | 737 307 | 737 308 |
| Connector (female) | N | 7-16 | N | 7-16 | N | 7-16 |
| Max. power (at 50 °C ambient temperature) | 200 W | 700 W | 200 W | 700 W | 200 W | 700 W |
| For connecting ... antennas | 2 | | 3 | | 4 | |
| Frequency range | 800 – 2200 MHz | | | | | |
| VSWR: | < 1.15 | | | | | |
| Intermodulation IM3 (2 x 43 dBm carrier) | < -150 dBc | | | | | |
| Impedance | 50 Ω | | | | | |
| Insertion loss | < 0.05 dB | | | | | |
| Weight | appr. 1.5 kg | | | | | |
| Packing size | 310 x 93 x 107 mm | | | | | |
| Max. size | 294 / 82 / 82 mm | | | | | |

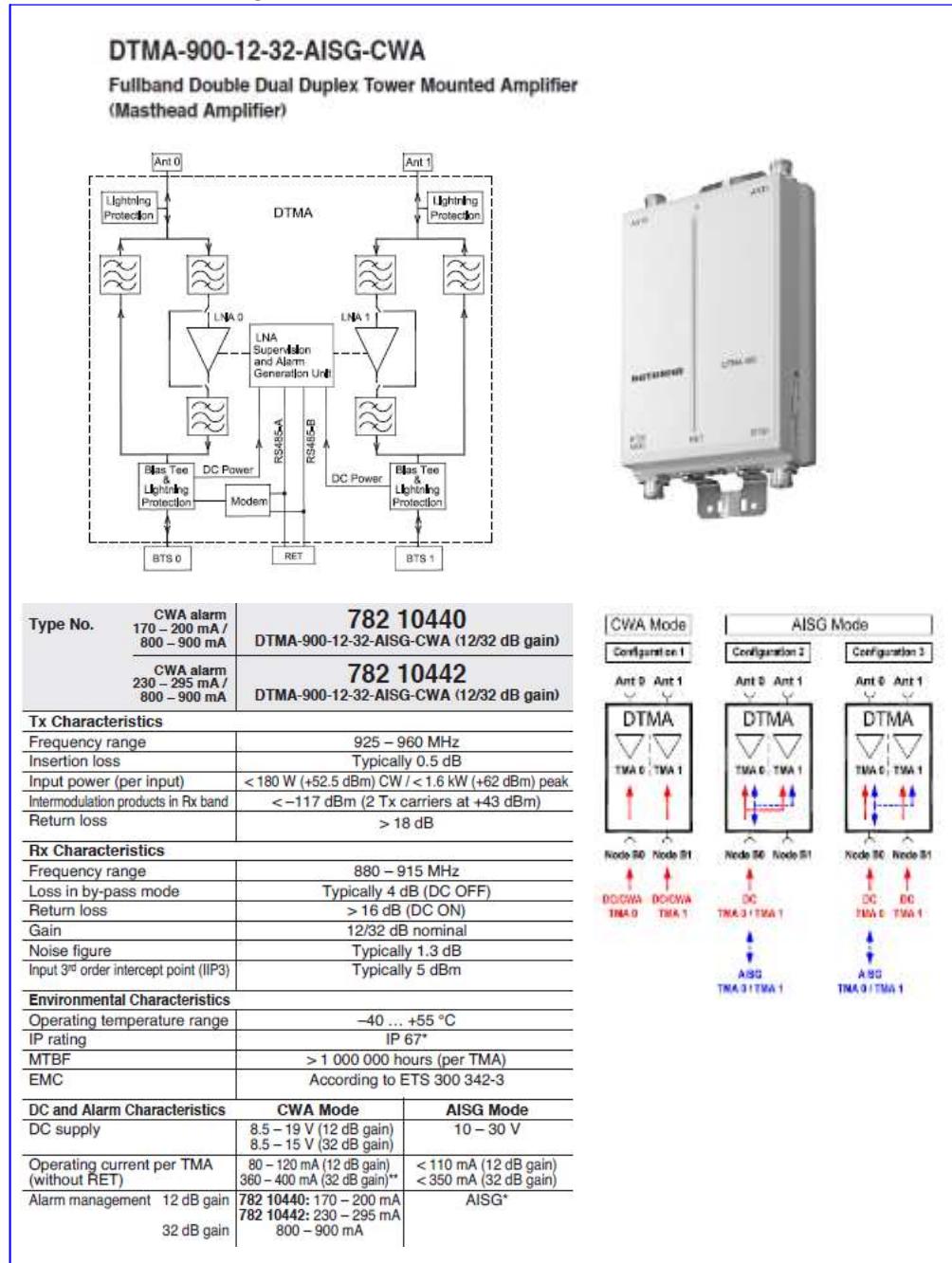
Duplexador é um filtro passivo cuja função básica é combinar as frequências de transmissão e recepção em um único cabo, reduzindo drasticamente o lançamento de cabos na torre. A figura 4.231 a seguir exemplifica os dados técnicos do produto com código **782 10171**:

Figura 4.231 – Duplexador 78210171

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|--|
| Duplexer 824 – 835 / 869 – 880 MHz (AMPS A-Band) 835 – 851 / 880 – 896 MHz (AMPS B-Band) | | | | | | |
| The Duplexer is designed to combine/split GMS Tx and Rx signals onto/from one common Tx/Rx antenna in order to save feeder cable and antenna costs. | | | |  782 10160 782 10171 (indoor) | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • 78210168: AMPS A-Band, indoor version • 78210169: AMPS A-Band, outdoor version • 78210170: AMPS A-Band, indoor version mounted onto a 19" drawer • 78210171: AMPS B-Band, indoor version • 78210172: AMPS B-Band, outdoor version | | | |  782 10169 782 10172 (outdoor) | | |
| Technical Data | | | | | | |
| Type No. | 782 10168 | 782 10169 | 782 10170 | 782 10171 | | |
| | AMPS A-Band | | AMPS B-Band | | | |
| Pass band: | | | | | | |
| Low band | 824 – 835 MHz | | | | | |
| High band | 869 – 880 MHz | | | | | |
| Insertion loss: | | | | | | |
| Antenna → Low band | < 0.5 dB (824 – 835 MHz) | | | | | |
| High band → Antenna | < 0.5 dB (869 – 880 MHz) | | | | | |
| Isolation: | | | | | | |
| Low band ↔ High band | > 85 dB (824 – 835 / 869 – 880 MHz) | | | | | |
| VSWR | < 1.25 (824 – 835 / 869 – 880 MHz) | | | | | |
| Impedance | 50 Ω | | | | | |
| Input power | < 400 W (high band; with max. 8 carriers) | | | | | |
| Intermodulation products | < -160 dBc (3rd order; with 2 x 20 W) | | | | | |
| Temperature range | -20 | +55 °C | -40 | +60 °C | | |
| +60 °C | -20 | +55 °C | -40 | +60 °C | | |
| -20 | +55 °C | -40 | +60 °C | | | |
| Connectors | 7-16 female | | | | | |
| Application | Indoor | Outdoor (IP 66) | Indoor, 19" drawer | Indoor | | |
| Special features | Built-in DC stop between all ports | | | | | |
| Mounting | With 4 screws (max. 4 mm diameter) | Wall mounting with 4 screws (max. 8 mm diameter) Mast mounting with additional clamp set | With 4 screws (max. 6 mm diameter) | With 4 screws (max. 8 mm diameter) Mast mounting with additional clamp set | | |
| Weight | 2.8 kg | 5.5 kg | 3.7 kg | 2.8 kg | | |
| Packing size | 309 x 162 x 252 mm | 347 x 297 x 174 mm | 612 x 312 x 224 mm | 309 x 162 x 252 mm | | |
| Dimensions (w x h x d) | 229 x 80 x 170 mm | 238 x 305 x 93.5 mm | 19" drawer, 2 height units, plug-in depth 170 mm (including connectors and mounting feet) | 229 x 80 x 170 mm (including connectors and mounting feet) | | |
| <small>Internet: http://www.kathrein.de</small> | | | | | | |
| 782 10168, 782 10169, 782 10170, 782 10171, 782 10172 Page 1 of 2 | | | | | | |

O equipamento TMA é um amplificador de RF instalado nas imediações da torre com o objetivo de aumentar o ganho do sinal recebido no sentido do *link reverso* (em BTS). A figura 4.232 a seguir detalha um TDMA com as suas especificações técnicas o modelo **782 10440**:

Figura 4.232 – TDMA Modelo 782 10440



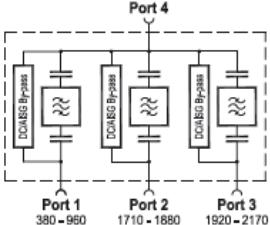
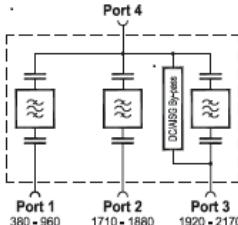
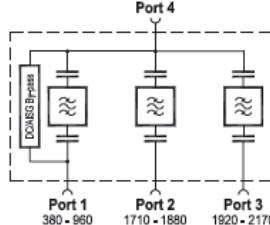
O combinador de multibanda pertence à família dos *diplex* e *triplex* com função de filtro passivo. Recebe paralelamente cabos com duas ou três bandas distintas de frequência e libera em sua saída em um único cabo duas ou três bandas, com o objetivo de reduzir a quantidade de cabos tanto na subida quanto na descida e, com a consequente melhora da estética da torre. A figura 4.233 a seguir exemplifica o modelo **782 10630**:

Figura 4.233 – Combinador Multi Banda 782 10630

| Triple-Band Combiner | | | |
|--|---------------------------------|--|--|
| 380 – 960 MHz TETRA / LTE 800 / CDMA 850 / GSM 900 | 1710 – 1880 MHz GSM 1800 | 1920 – 2170 MHz UMTS 2100 | |
| <ul style="list-style-type: none"> Designed for co-siting purposes Enables feeder sharing Can be used as a combiner near the BTS or in a reciprocal function near the antenna Suitable for indoor or outdoor applications Wall or mast mounting Available as a single unit, or for XPol antennas as a double unit Built-in lightning protection External DC Stop available as an accessory | | | |
| | | 782 10630, 782 10631, 782 10632, 782 10634 Single Unit | 782 10631, 782 10633, 782 10635 Double Unit |
| | | Port 4 380 – 960 1710 – 1880 1920 – 2170 | Port 4 380 – 960 1710 – 1880 1920 – 2170 |
| Type No. | 782 10630 Single Unit | 782 10632 Single Unit | 782 10634 Single Unit |
| | 782 10631 Double Unit | 782 10633 Double Unit | 782 10635 Double Unit |
| Pass band | | | |
| Band 1 (TETRA ... GSM 900) | | 380 – 960 MHz | |
| Band 2 (GSM 1800) | | 1710 – 1880 MHz | |
| Band 3 (UMTS) | | 1920 – 2170 MHz | |
| Insertion loss | | | |
| Port 1 ↔ Port 4 | | < 0.2 dB (380 – 960 MHz) | |
| Port 2 ↔ Port 4 | | < 0.3 dB (1710 – 1880 MHz) | |
| Port 3 ↔ Port 4 | | < 0.3 dB (1920 – 2170 MHz) | |
| Isolation | | | |
| Port 1 ↔ Port 2 | | > 45 dB (380 – 600 MHz) / > 50 dB (600 – 960 / 1710 – 1880 MHz) | |
| Port 1 ↔ Port 3 | | > 45 dB (380 – 600 MHz) / > 50 dB (600 – 960 / 1920 – 2170 MHz) | |
| Port 2 ↔ Port 3 | | > 50 dB (1710 – 1880 / 1920 – 2170 MHz) | |
| VSWR | | < 1.25 (380 – 960 / 1710 – 1880 / 1920 – 2170 MHz) | |
| Impedance | | 50 Ω | |
| Input power | | < 700 W / < 300 W / < 300 W | |
| Band 1 / Band 2 / Band 3 | | | |
| Intermodulation products | | < -160 dBc (3rd order; with 2 x 20 W) | |
| Temperature range | | -40 ... +60 °C | |
| Connectors | | 7-16 female (long neck) | |
| Application | | Indoor or outdoor (IP 66) | |
| DC/ISG transparency | | | |
| Port 1 ↔ Port 4 | By-pass (max. 2500 mA) | Stop | By-pass (max. 2500 mA) |
| Port 2 ↔ Port 4 | By-pass (max. 2500 mA) | Stop | Stop |
| Port 3 ↔ Port 4 | By-pass (max. 2500 mA) | By-pass (max. 2500 mA) | Stop |
| Lightning protection | | 3 kA, 10/350 μs pulse | |
| Mounting | | Wall mounting: With 4 screws (max. 8 mm diameter) / Mast mounting: With additional clamp set | |
| Weight | | Single Unit: 3.2 kg / Double Unit: 6.3 kg | |
| Packing size | | Single Unit: 392 x 292 x 139 mm / Double Unit: 392 x 292 x 189 mm | |
| Dimensions (w x h x d) | | Single Unit: 219 x 199 x 48 mm / Double Unit: 219 x 199 x 104 mm (without connectors, without mounting brackets) | |

Combinadores híbridos são circuitos passivos que servem para obter um circuito com várias entradas ou saídas. Utilizam bandas de frequência iguais ou distintas e podem ser empregados tanto na transmissão como na recepção. Na figura 4.234 a seguir é destacado o modelo **782 10532** como exemplo:

Figura 4.234 – Combinador Híbrido 782 10532

| Triple-Band Combiner | | | |
|--|---|---|--|
| 380 – 960 MHz TETRA / LTE 800 / CDMA 850 / GSM 900 | 1710 – 1880 MHz GSM 1800 | 1920 – 2170 MHz UMTS 2100 | |
| <ul style="list-style-type: none"> Designed for co-siting purposes Enables feeder sharing Can be used as a combiner near the BTS or in a reciprocal function near the antenna Suitable for indoor or outdoor applications Wall or mast mounting Available as a single unit, or for XPol antennas as a double unit Built-in lightning protection External DC Stop available as an accessory | | | |
| Port 1 380 - 960 | Port 2 1710 - 1880 | Port 3 1920 - 2170 | Port 4 |
| 782 10630, 782 10632, 782 10634 Single Unit | 782 10631, 782 10633, 782 10635 Double Unit | | |
|  |  |  | |
| Type No. | 782 10630 Single Unit | 782 10632 Single Unit | 782 10634 Single Unit |
| | 782 10631 Double Unit | 782 10633 Double Unit | 782 10635 Double Unit |
| Pass band | Band 1 (TETRA ... GSM 900) Band 2 (GSM 1800) Band 3 (UMTS) | 380 – 960 MHz 1710 – 1880 MHz 1920 – 2170 MHz | |
| Insertion loss | Port 1 → Port 4 Port 2 → Port 4 Port 3 → Port 4 | < 0.2 dB (380 – 960 MHz) < 0.3 dB (1710 – 1880 MHz) < 0.3 dB (1920 – 2170 MHz) | |
| Isolation | Port 1 → Port 2 Port 1 → Port 3 Port 2 → Port 3 | > 45 dB (380 – 600 MHz) / > 50 dB (600 – 960 / 1710 – 1880 MHz) > 45 dB (380 – 600 MHz) / > 50 dB (600 – 960 / 1920 – 2170 MHz) > 50 dB (1710 – 1880 / 1920 – 2170 MHz) | |
| VSWR | < 1.25 (380 – 960 / 1710 – 1880 / 1920 – 2170 MHz) | | |
| Impedance | 50 Ω | | |
| Input power | Band 1 / Band 2 / Band 3 | < 700 W / < 300 W / < 300 W | |
| Intermodulation products | < -160 dBc (3rd order, with 2 x 20 W) | | |
| Temperature range | -40 ... +60 °C | | |
| Connectors | 7-16 female (long neck) | | |
| Application | Indoor or outdoor (IP 66) | | |
| DC/AISG transparency | Port 1 ↔ Port 4 Port 2 ↔ Port 4 Port 3 ↔ Port 4 | By-pass (max. 2500 mA) By-pass (max. 2500 mA) By-pass (max. 2500 mA) | Stop Stop By-pass (max. 2500 mA) |
| Lightning protection | 3 kA, 10/350 μs pulse | | |
| Mounting | Wall mounting: With 4 screws (max. 8 mm diameter) / Mast mounting: With additional clamp set | | |
| Weight | Single Unit: 3.2 kg / Double Unit: 6.3 kg | | |
| Packing size | Single Unit: 392 x 292 x 139 mm / Double Unit: 392 x 292 x 189 mm | | |
| Dimensions (w x h x d) | Single Unit: 219 x 199 x 48 mm / Double Unit: 219 x 199 x 104 mm (without connectors, without mounting brackets) | | |

Antenas são de uso específico na área de cobertura em serviços de telefonia móvel podendo ser empregado com banda única ou multi banda. A figura 4.235 a seguir será detalhado as características relevantes do modelo **800 10249**.

Figura 4.235 – Antena 800 10249

800 10249
Omnidirectional Indoor Antenna



The Kathrein 800 10249 is a multiband omnidirectional antenna designed for indoor installations. It can be used simultaneously for systems operating in the 790–960, 1425–3800, and 5150–6000 MHz spectrums. Typical applications include cellular microcells, paging, data networking, and PCS.

The very compact and low profile design incorporates its own ground plane which also attaches it to the ceiling or other mounting surface.

Specifications:

| | |
|---------------------|--|
| Frequency range | 790–960 MHz 1425–3800 MHz 5150–6000 MHz |
| Gain | ≈ 2 dBi |
| Impedance | 50 ohms |
| VSWR | 790–806 MHz < 1.7:1 806–960 MHz < 1.5:1 1425–1710 MHz < 2.0:1 1710–2200 MHz < 1.4:1 2200–3800 MHz < 1.6:1 5150–6000 MHz < 2.2:1 |
| Polarization | Vertical |
| Maximum input power | 50 watts (at 50°C) |
| H-plane beamwidth | Omni |
| Connector | N female |
| Protection class | IP 30 |
| Weight | 1 lb (0.47 kg) |
| Dimensions | 10.2 x 10.2 x 3.7 inches (258 x 258 x 94 mm) |
| Shipping dimensions | 10.9 x 10.9 x 6.7 inches (277 x 277 x 169 mm) |
| Mounting | Mounts to ceiling using three screws (two types supplied). A 1.4 in. (35 mm) hole is required for the N connector. |

4.8 – Considerações Finais do Capítulo

O desenvolvimento dos cálculos na tecnologia WCDMA proposto neste capítulo baseou-se em cálculos, 33 expressões matemáticas e figuras. Para garantir a atualidade dos cálculos, foi criado um portfólio de equipamentos utilizados na infraestrutura de sistema irradiante do qual é possível extrair as especificações técnicas do produto através de um *link* HTML conectado à internet.

Foi desenvolvido um sistema especialista robusto da tecnologia WCDMA em complemento a rede CDMA, formando um cientista para novas áreas de desafio e conhecimento, acrescentando diversos conceitos e recursos dos cálculos, tornando-o assim uma ferramenta abrangente e sofisticada no domínio das redes sem fio. Foram adotados novos produtos instalados em um sistema irradiante ausentes dos cálculos anteriores tais como: diplex, triplex, combinadores de banda única e multibanda, TMA, híbridas e antenas na tecnologia MIMO. Deu-se tratamento minucioso a respeito do sistema irradiante, com o auxílio de exemplos de cada

produto, seguido de suas especificações e de suas atribuições, realçando a sua importância na área de cobertura e de originação de novos serviços. Desse modo, coloca-se à disposição do usuário/especialista uma trajetória de conhecimentos indispensáveis para o acesso às redes móveis. Para fins de praticidade e operabilidade, foi desenvolvido um *site* na WEB de forma a resgatar as informações contidas nos cálculos de forma remota.

No próximo capítulo, são apresentados os resultados dos cálculos pesquisa empírica, por meio da aplicação de testes em campo. Dá-se atenção aos os produtos de medições em campos, aduzindo os resultados de campo elétrico, densidade de potência, desempenho da rede móvel através dos canais de controle, por meio dos quais é feito o rastreamento dos canais em função da potência, gerando gráficos que ilustram os resultados.

CAPÍTULO V

PROSPECÇÕES EM CAMPO - WCDMA

Introdução

Este capítulo traz os resultados de prospecções de campo elétrico na cidade de Cubatão (Estado de São Paulo) e medições de desempenho da rede móvel em Alphaville (Barueri) e Interlagos (São Paulo).

Para analisar a rede WCDMA, foram efetuadas medições de campo elétrico e *performance* de multirede em tecnologias complexas sem fio, provenientes de estações radio base. Para a medição do campo elétrico, foi usado o Medidor de Intensidade de Campo do tipo Banda Larga – NBM-550 Narda Broadband Field Meter e Sonda Isotrópica (que possui a capacidade de medição dos três eixos, simultaneamente e independe da posição do módulo sensor e o valor exibido é a resultante final da integração dos valores dos eixos) – EF 0391 – Faixa de Operação 100 KHz a 3 GHz. Para as medições de avaliação da estação, quanto aos limites de exposição, foram consideradas as condições de calibração especificadas pelos fabricantes dos instrumentos utilizados. O certificado de calibração da sonda isotrópica utilizada atesta que esta sonda encontrava-se em perfeitas condições de uso, por ocasião das avaliações. Para evitar erros de medição, foram checadas as condições de perfeito estado e da carga das baterias para tal evento.

Foram tomados como parâmetros das medições as seguintes diretrizes:

- Lei Federal nº 11.934 de 5 de maio de 2009;
- Diretriz da Anatel “Diretrizes para limitação da exposição a campos eletromagnéticos variáveis no tempo na faixa de 9 kHz e 300 GHz, contidas na resolução 303 da Anatel de 02/07/2002, publicada no Diário Oficial em 10/07/2002;
- IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwave – STD C95.3 – 1991;
- IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Radio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure To such Filds, 100 KHz – 300 GHZ – STD C95.3 – 2002;

- ABNT NBR 15415 medição dos campos magnéticos e elétricos de baixa frequência considerando a exposição de seres humanos – Requisitos especiais para instrumentos e guia para medições;
- Resolução 398/10 da ANEEL, as medições devem seguir o prescrito na norma ABNT 15415 – Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos de 50 e 60 Hertz;
- Portaria 80/SVMA 14/10/2005; IEC 61000-4-3: 1995, Compatibilidade Eletromagnética (EMC) – Parte 4: Técnicas de teste e medição – Seção 3: Teste de imunidade ao campo eletromagnético radiado de rádio frequência;
- IEC 61000-4-6: 1996, Compatibilidade Eletromagnética (EMC) – Parte 4: Técnicas de teste e medição – Seção 6: Imunidade para distúrbios conduzidos, induzidos por campos de rádio frequência.

5.1 – Prospecções de Campo Elétrico: Cubatão

Os testes de campo elétrico foram realizados pelo medidor de campo elétrico do fabricante Narda – modelo NBN 550 – com uma sonda (antena) em banda larga na faixa de frequência de pesquisa.

As medições de campo elétrico realizadas na cidade de Cubatão foram baseadas nos seguintes dados colhidos do site, conforme a tabela 5.27.

Tabela 5.27 – Dados do Site

| CAO4933 - Site | | | | | |
|----------------|--|----------------|-----------------|------------|---------------|
| Estação | | | | | |
| Endereço: | Av. Martins Fontes esquina com Dom Pedro Primeiro – Nova Cubatão | | | | |
| Cidade: | Cubatão | | | | |
| Estado: | São Paulo | | | | |
| Latitude: | 23° 53' 29.44"S | | | | |
| Longitude: | 46° 25' 20.78"W | | | | |
| Setor | Frequência (MHz) | Numero de TRXs | Antena | Altura (m) | Azimute (ºNV) |
| A | 678 | 8 | HBXX-6516DS-VTM | 40 | 0 |
| B | 680 | 6 | HBXX-6516DS-VTM | 40 | 180 |
| C | 682 | 8 | HBXX-6516DS-VTM | 40 | 260 |

As medições em campo são armazenadas no instrumento de medição através dos logs os quais são seqüencialmente descarregados em formato de planilha eletrônica no formato “Excel” em um PC para a análise, cálculos e geração de relatório. Os valores medidos são referenciados com os cálculos da resolução 303 da Anatel para valores ocupacionais que, por sua vez, adotou as recomendações da ICNIRP. A tabela 5.28 e 5.29 a seguir mostra um exemplo de log de medição:

Tabela 5.28 – Log de Medição**Log - CAO49333**

| | |
|-------------------------------|-----------------------|
| Number of Sub Indices | 0 |
| Storing Date | 20/12/2013 |
| Storing Time | 11:19:03 |
| Dataset Type | Teste |
| Voice Comment Available | NO |
| Dataset Fine Type | T1 |
| GPS Flag | NO |
| Device Product Name | NBM-550 |
| Device Serial Number | E-0544 |
| Device Cal Due Date | 28/08/2013 |
| Probe Product Name | EF0391 |
| Probe Serial Number | D-0512 |
| Probe Cal Due Date | 30/08/2013 |
| Probe Field Type | E |
| Probe Connection Type | A |
| Probe Lower Frequency Limit A | 100 kHz |
| Probe Upper Frequency Limit A | 3 GHz |
| Probe Lower Frequency Limit B | 100 kHz |
| Probe Upper Frequency Limit B | 3 GHz |
| Probe Emin A | 185.0 mV/m |
| Probe Emax A | 300.0 V/m |
| Probe Emin B | 185.0 mV/m |
| Probe Emax B | 300.0 V/m |
| Shaped Probe | NO |
| Standard ID | 1 |
| Standard Name | FCC 1997 occupational |
| Apply Standard | OFF |
| Frequency | 750 MHz |
| Apply Correction Frequency | OFF |
| Eref_E(f) | 97.08 V/m |
| Eref_H(f) | 97.08 V/m |
| Combi Probe Use | E_H |
| Unit | V/m |
| Results Format | FIXED |
| Auto-Zero Interval | 15 min |
| Result Type | - |
| Averaging Time | - |
| Average Progress | - |
| Spatial AVG Mode | - |
| Store Condition | - |
| Storing Range | - |
| Cond. Stop Time | - |
| Upper Threshold | - |
| Lower Threshold | - |

| | |
|----------------------------------|----------|
| Timer Interval | 2 sec |
| Timer Duration | 00:02:00 |
| History Time Scale | - |
| Time progress of current segment | - |
| Averaging Samples | - |
| Averaging Samples Progress | - |
| Frequency Mode | - |
| Span | - |
| Field Range | - |
| Site | |
| Comment | |

Tabela 5.29 – Site CAO4933

| Date/Time | Max (E-Field) [V/m] | Avg (E-Field) [V/m] | Min (E-Field) [V/m] |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 20/12/2013 11:19:05 | 0,316719 | 0,271728 | 0,233377 |
| 20/12/2013 11:19:07 | 0,265809 | 0,234535 | 0,191489 |
| 20/12/2013 11:19:09 | 0,626124 | 0,462973 | 0,31588 |
| 20/12/2013 11:19:11 | 0,57862 | 0,37874 | 0,202457 |
| 20/12/2013 11:19:13 | 0,304565 | 0,283847 | 0,257545 |
| 20/12/2013 11:19:15 | 0,319279 | 0,295211 | 0,270815 |
| 20/12/2013 11:19:17 | 0,531793 | 0,305764 | 0,194298 |
| 20/12/2013 11:19:19 | 0,278673 | 0,240776 | 0,203768 |
| 20/12/2013 11:19:21 | 0,300998 | 0,27231 | 0,240219 |
| 20/12/2013 11:19:23 | 0,452799 | 0,311088 | 0,216617 |
| 20/12/2013 11:19:25 | 0,900217 | 0,548882 | 0,257545 |
| 20/12/2013 11:19:27 | 0,482839 | 0,30689 | 0,118404 |
| 20/12/2013 11:19:29 | 0,320955 | 0,296306 | 0,279632 |
| 20/12/2013 11:19:31 | 0,341321 | 0,288292 | 0,176851 |
| 20/12/2013 11:19:33 | 0,394863 | 0,296613 | 0,222739 |
| 20/12/2013 11:19:35 | 0,335771 | 0,259435 | 0,207701 |
| 20/12/2013 11:19:37 | 0,348437 | 0,230136 | 0,176849 |
| 20/12/2013 11:19:39 | 0,427793 | 0,296818 | 0,226341 |
| 20/12/2013 11:19:41 | 0,405672 | 0,309264 | 0,242473 |
| 20/12/2013 11:19:43 | 0,356039 | 0,288217 | 0,197041 |
| 20/12/2013 11:19:45 | 0,301927 | 0,263971 | 0,229888 |
| 20/12/2013 11:19:47 | 0,349161 | 0,269526 | 0,233373 |
| 20/12/2013 11:19:49 | 0,325972 | 0,262536 | 0,185775 |
| 20/12/2013 11:19:51 | 0,296491 | 0,276537 | 0,250111 |
| 20/12/2013 11:19:53 | 0,308101 | 0,278767 | 0,249026 |
| 20/12/2013 11:19:55 | 0,287247 | 0,27032 | 0,258589 |
| 20/12/2013 11:19:57 | 0,275749 | 0,257335 | 0,242441 |
| 20/12/2013 11:19:59 | 0,281555 | 0,262114 | 0,244658 |
| 20/12/2013 11:20:01 | 0,290046 | 0,264167 | 0,215346 |
| 20/12/2013 11:20:03 | 0,377388 | 0,308363 | 0,246858 |
| 20/12/2013 11:20:05 | 0,32595 | 0,286215 | 0,199756 |
| 20/12/2013 11:20:07 | 0,391417 | 0,329261 | 0,291908 |

| | | | |
|---------------------|----------|----------|----------|
| 20/12/2013 11:20:09 | 0,259629 | 0,24718 | 0,229882 |
| 20/12/2013 11:20:11 | 0,325986 | 0,285567 | 0,242442 |
| 2012/2013 11:20:13 | 0,640822 | 0,393851 | 0,191499 |
| 20/12/2013 11:20:15 | 0,44074 | 0,345938 | 0,259667 |
| 20/12/2013 11:20:17 | 0,371691 | 0,277722 | 0,237951 |
| 20/12/2013 11:20:19 | 0,335755 | 0,269631 | 0,228706 |
| 20/12/2013 11:20:21 | 0,383053 | 0,292479 | 0,233375 |
| 20/12/2013 11:20:23 | 0,375944 | 0,322066 | 0,26983 |
| 20/12/2013 11:20:25 | 0,304565 | 0,289123 | 0,260665 |
| 20/12/2013 11:20:27 | 0,37598 | 0,304855 | 0,243583 |
| 20/12/2013 11:20:29 | 0,374522 | 0,270634 | 0,170649 |
| 20/12/2013 11:20:31 | 0,315025 | 0,284799 | 0,25119 |
| 20/12/2013 11:20:33 | 0,316717 | 0,293472 | 0,252258 |
| 20/12/2013 11:20:35 | 0,333334 | 0,280994 | 0,21784 |
| 20/12/2013 11:20:37 | 0,270826 | 0,245099 | 0,227527 |
| 20/12/2013 11:20:39 | 0,296485 | 0,243554 | 0,19841 |
| 20/12/2013 11:20:41 | 0,284426 | 0,263959 | 0,241326 |
| 20/12/2013 11:20:43 | 0,301005 | 0,26098 | 0,178367 |
| 20/12/2013 11:20:45 | 0,352996 | 0,308722 | 0,219071 |
| 20/12/2013 11:20:47 | 0,328423 | 0,298843 | 0,281556 |
| 20/12/2013 11:20:49 | 0,296484 | 0,272999 | 0,244664 |
| 20/12/2013 11:20:51 | 0,297396 | 0,287529 | 0,269821 |
| 20/12/2013 11:20:53 | 0,292826 | 0,264371 | 0,232219 |
| 20/12/2013 11:20:55 | 0,325948 | 0,275361 | 0,221519 |
| 20/12/2013 11:20:57 | 0,364988 | 0,33822 | 0,317583 |
| 20/12/2013 11:20:59 | 0,359777 | 0,348661 | 0,331693 |
| 20/12/2013 11:21:01 | 0,352202 | 0,319008 | 0,304563 |
| 20/12/2013 11:21:03 | 0,347576 | 0,280309 | 0,236815 |

Foram realizados cinco pontos de medição, optando pelos dois melhores em relação à linha de visada entre o medidor e antenas. Segue abaixo o ponto de medição 1 e 2 conforme as tabelas 5.30 á 5.33

Tabela 5.30 – Ponto de Medição 1

| Ponto de Medição 1 – Coleta de Dados | | | | |
|---|---------------------|----------------|----------------|-------------|
| Medidas | Valor Medido | Unidade | Horário | Data |
| 1 | 0,59 | V/m | 11:34:05 | 20/12/2013 |
| 2 | 0,70 | V/m | 11:34:13 | 20/12/2013 |
| 3 | 0,69 | V/m | 11:34:21 | 20/12/2013 |
| 4 | 0,62 | V/m | 11:34:29 | 20/12/2013 |
| 5 | 0,59 | V/m | 11:34:37 | 20/12/2013 |
| 6 | 0,69 | V/m | 11:34:45 | 20/12/2013 |
| 7 | 0,73 | V/m | 11:34:53 | 20/12/2013 |
| 8 | 0,75 | V/m | 11:35:01 | 20/12/2013 |
| 9 | 0,75 | V/m | 11:35:09 | 20/12/2013 |
| 10 | 0,72 | V/m | 11:35:17 | 20/12/2013 |

| | | | | |
|----|------|-----|----------|------------|
| 11 | 0.68 | V/m | 11:35:25 | 20/12/2013 |
| 12 | 0.65 | V/m | 11:35:33 | 20/12/2013 |
| 13 | 0.60 | V/m | 11:35:41 | 20/12/2013 |
| 14 | 0.52 | V/m | 11:35:49 | 20/12/2013 |
| 15 | 0.56 | V/m | 11:35:57 | 20/12/2013 |
| 16 | 0.58 | V/m | 11:36:05 | 20/12/2013 |
| 17 | 0.64 | V/m | 11:36:13 | 20/12/2013 |
| 18 | 0.65 | V/m | 11:36:21 | 20/12/2013 |
| 19 | 0.70 | V/m | 11:36:29 | 20/12/2013 |
| 20 | 0.60 | V/m | 11:36:37 | 20/12/2013 |
| 21 | 0.62 | V/m | 11:36:45 | 20/12/2013 |
| 22 | 0.68 | V/m | 11:36:53 | 20/12/2013 |
| 23 | 0.70 | V/m | 11:37:01 | 20/12/2013 |
| 24 | 0.64 | V/m | 11:37:09 | 20/12/2013 |
| 25 | 0.55 | V/m | 11:37:17 | 20/12/2013 |
| 26 | 0.48 | V/m | 11:37:25 | 20/12/2013 |
| 27 | 0.69 | V/m | 11:37:33 | 20/12/2013 |
| 28 | 0.70 | V/m | 11:37:41 | 20/12/2013 |
| 29 | 0.56 | V/m | 11:37:49 | 20/12/2013 |
| 30 | 0.53 | V/m | 11:37:57 | 20/12/2013 |
| 31 | 0.59 | V/m | 11:38:05 | 20/12/2013 |
| 32 | 0.56 | V/m | 11:38:13 | 20/12/2013 |
| 33 | 0.60 | V/m | 11:38:21 | 20/12/2013 |
| 34 | 0.62 | V/m | 11:38:29 | 20/12/2013 |
| 35 | 0.72 | V/m | 11:38:37 | 20/12/2013 |
| 36 | 0.69 | V/m | 11:38:45 | 20/12/2013 |
| 37 | 0.66 | V/m | 11:38:53 | 20/12/2013 |
| 38 | 0.69 | V/m | 11:39:01 | 20/12/2013 |
| 39 | 0.77 | V/m | 11:39:09 | 20/12/2013 |
| 40 | 0.65 | V/m | 11:39:17 | 20/12/2013 |
| 41 | 0.65 | V/m | 11:39:25 | 20/12/2013 |
| 42 | 0.65 | V/m | 11:39:33 | 20/12/2013 |
| 43 | 0.65 | V/m | 11:39:41 | 20/12/2013 |
| 44 | 0.63 | V/m | 11:39:49 | 20/12/2013 |
| 45 | 0.64 | V/m | 11:39:57 | 20/12/2013 |

Tabela 5.31 – Resumo Ponto de Medição – 1

| Ponto de Medição 1 – Resumo de Resultados | |
|--|---------------|
| Valor médio | 0.64 V/m. |
| Valor máximo | 0.77 V/m. |
| Valor mínimo | 0,52 V/m. |
| Latitude | 23°53'33.19"S |
| Longitude | 46°25'21.55"W |
| Localidade | Rua sem nome |
| Distância (medidor – torre) | 118 metros |

Tabela 5.32 – Ponto de Medição 2

| Ponto de Medição 2 – Coleta de Dados | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------|----------|------------|
| Medidas | Valor medido | Unidade | Horário | Data |
| 1 | 0.27 | V/m | 12:34:05 | 20/12/2013 |
| 2 | 0.23 | V/m | 12:34:13 | 20/12/2013 |
| 3 | 0.46 | V/m | 12:34:21 | 20/12/2013 |
| 4 | 0.38 | V/m | 12:34:29 | 20/12/2013 |
| 5 | 0.28 | V/m | 12:34:37 | 20/12/2013 |
| 6 | 0.30 | V/m | 12:34:45 | 20/12/2013 |
| 7 | 0.31 | V/m | 12:34:53 | 20/12/2013 |
| 8 | 0.24 | V/m | 12:35:01 | 20/12/2013 |
| 9 | 0.27 | V/m | 12:35:09 | 20/12/2013 |
| 10 | 0.31 | V/m | 12:35:17 | 20/12/2013 |
| 11 | 0.55 | V/m | 12:35:25 | 20/12/2013 |
| 12 | 0.31 | V/m | 12:35:33 | 20/12/2013 |
| 13 | 0.30 | V/m | 12:35:41 | 20/12/2013 |
| 14 | 0.29 | V/m | 12:35:49 | 20/12/2013 |
| 15 | 0.30 | V/m | 12:35:57 | 20/12/2013 |
| 16 | 0.26 | V/m | 12:36:05 | 20/12/2013 |
| 17 | 0.23 | V/m | 12:36:13 | 20/12/2013 |
| 18 | 0.30 | V/m | 12:36:21 | 20/12/2013 |
| 19 | 0.31 | V/m | 12:36:29 | 20/12/2013 |
| 20 | 0.29 | V/m | 12:36:37 | 20/12/2013 |
| 21 | 0.26 | V/m | 12:36:45 | 20/12/2013 |
| 22 | 0.27 | V/m | 12:36:53 | 20/12/2013 |
| 23 | 0.26 | V/m | 12:37:01 | 20/12/2013 |
| 24 | 0.28 | V/m | 12:37:09 | 20/12/2013 |
| 25 | 0.28 | V/m | 12:37:17 | 20/12/2013 |
| 26 | 0.27 | V/m | 12:37:25 | 20/12/2013 |
| 27 | 0.26 | V/m | 12:37:33 | 20/12/2013 |
| 28 | 0.26 | V/m | 12:37:41 | 20/12/2013 |
| 29 | 0.26 | V/m | 12:37:49 | 20/12/2013 |
| 30 | 0.31 | V/m | 12:37:57 | 20/12/2013 |
| 31 | 0.29 | V/m | 12:38:05 | 20/12/2013 |
| 32 | 0.33 | V/m | 12:38:13 | 20/12/2013 |
| 33 | 0.25 | V/m | 12:38:21 | 20/12/2013 |
| 34 | 0.29 | V/m | 12:38:29 | 20/12/2013 |
| 35 | 0.39 | V/m | 12:38:37 | 20/12/2013 |
| 36 | 0.35 | V/m | 12:38:45 | 20/12/2013 |
| 37 | 0.28 | V/m | 12:38:53 | 20/12/2013 |
| 38 | 0.27 | V/m | 12:39:01 | 20/12/2013 |
| 39 | 0.29 | V/m | 12:39:09 | 20/12/2013 |
| 40 | 0.32 | V/m | 12:39:17 | 20/12/2013 |
| 41 | 0.29 | V/m | 12:39:25 | 20/12/2013 |
| 42 | 0.30 | V/m | 12:39:33 | 20/12/2013 |
| 43 | 0.27 | V/m | 12:39:41 | 20/12/2013 |
| 44 | 0.28 | V/m | 12:39:49 | 20/12/2013 |
| 45 | 0.29 | V/m | 12:39:57 | 20/12/2013 |

Tabela 5.33 – Resumo de Ponto de Medição 2

| Ponto de Medição 2 – Resumo de Resultados | |
|--|--|
| Valor médio | 0.30 V/m. |
| Valor máximo | 0.55 V/m. |
| Valor mínimo | 0,23 V/m. |
| Latitude | 23°53'29.98"S |
| Longitude | 46°25'21.22"W |
| Localidade | Av. Martins Fontes esquina com Dom Pedro Primeiro – Nova Cubatão |
| Distância (medidor – torre) | 21 metros |

As figuras 5.236 a 5.239 seguir mostram a localidade da BTS na cidade de Cubatão, com os respectivos pontos de medição (P):

Figura 5.236 – Croqui de Acesso dos Pontos de Medição



Figura 5.237 – Localização da BTS



Figura 5.238 – Ponto de Medição 1



Figura 5.239 – Ponto de Medição 2



Procurou-se observar no site em questão o tipo de antena usado na torre em que foram realizadas as medições. Para fins de detalhamento, foram identificadas as especificações técnicas da antena, a saber: HBXX-6516 DS-VTM, conforme a figura 5.240.

Figura 5.240 - Especificações da Antena

| Product Specifications | | | | COMMSCOPE® |
|--|---|---|---|--|
|  | | | | POWERED BY  |
| HBXX-6516DS-VM | | | | |
| Andrew® Quad Port Teletilt® Antenna, 1710–2180 MHz, 65° horizontal beamwidth, RET compatible | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Each DualPol® array can be independently adjusted for greater flexibility • Excellent gain, VSWR, front-to-back ratio, and PIM specifications for robust network performance • Ideal choice for site collocations and tough zoning restrictions • Great solution to maximize network coverage and capacity • The values presented on this datasheet have been calculated based on N-P-BASTA White Paper version 9.6 by the NGMN Alliance | | | | |
| Electrical Specifications | | | | |
| Frequency Band, MHz | 1710–1880 | 1850–1990 | 1920–2180 | |
| Gain by all Beam Tilts, average, dBi | 17.2 | 17.2 | 17.5 | |
| Gain by all Beam Tilts Tolerance, dB | ±0.3 | ±0.3 | ±0.5 | |
| Gain by Beam Tilt, average, dBi | 0 ° 17.0 5 ° 17.3 10 ° 17.0 | 0 ° 17.1 5 ° 17.4 10 ° 17.0 | 0 ° 17.4 5 ° 17.7 10 ° 17.2 | |
| Beamwidth, Horizontal, degrees | 67 | 66 | 64 | |
| Beamwidth, Horizontal Tolerance, degrees | ±2.7 | ±2.3 | ±3.5 | |
| Beamwidth, Vertical, degrees | 7.5 | 7.0 | 6.6 | |
| Beamwidth, Vertical Tolerance, degrees | ±0.5 | ±0.4 | ±0.4 | |
| Beam Tilt, degrees | 0–10 | 0–10 | 0–10 | |
| USLS, dB | 18 | 19 | 19 | |
| Front-to-Back Total Power at 180° ± 30°, dB | 26 | 26 | 26 | |
| CPR at Boresight, dB | 22 | 22 | 22 | |
| CPR at Sector, dB | 9 | 9 | 9 | |
| Isolation, dB | 30 | 30 | 30 | |
| VSWR Return Loss, dB | 1.4 15.6 | 1.4 15.6 | 1.4 15.6 | |
| PIM, 3rd Order, 2 × 20 W, dBc | -153 | -153 | -153 | |
| Input Power per Port, maximum, watts | 350 | 350 | 350 | |
| Polarization | ±45° | ±45° | ±45° | |
| Impedance | 50 ohm | 50 ohm | 50 ohm | |

| General Specifications | |
|----------------------------|----------------------------|
| Antenna Brand | Andrew® |
| Antenna Type | DualPol® single band, quad |
| Band | Single band |
| Brand | DualPol® Teletilt® |
| Operating Frequency Band | 1710 – 2180 MHz |
| Number of Ports, all types | 4 |
| Mechanical Specifications | |
| Color | Light gray |
| Lightning Protection | dc Ground |
| Radiator Material | Low loss circuit board |
| Radome Material | PVC, UV resistant |
| RF Connector Interface | 7-16 DIN Female |

HBXX6516DSVTM

| | |
|------------------------------|---|
| RF Connector Location | Bottom |
| RF Connector Quantity, total | 4 |
| Wind Loading, maximum | 419.0 N @ 150 km/h 94.2 lbf @ 150 km/h |
| Wind Speed, maximum | 241.0 km/h 149.8 mph |

Dimensions

| | |
|------------|---------------------|
| Depth | 166.0 mm 6.5 in |
| Length | 1294.0 mm 50.9 in |
| Width | 305.0 mm 12.0 in |
| Net Weight | 13.9 kg 30.6 lb |

Remote Electrical Tilt (RET) Information

Model with Factory Installed AISG 1.1 Actuator HBXX-6516DS-R2M

Model with Factory Installed AISG 2.0 Actuator HBXX-6516DS-A2M

RET System Teletilt®

5.2 – Prospecções de Desempenho da Rede Móvel

Atualmente, os serviços de comunicações de alta velocidade sem fio têm exigido mais e mais largura de banda e a rede, por sua vez, exige um desempenho essencial para a qualidade do serviço. Com a massificação das tecnologias sem fio as operadoras tentam sobrepor tecnologias de próxima geração como LTE em legados redes 2G e 3G, de modo que a implantação, a manutenção, e a otimização de redes tornam-se mais complexas.

O desempenho e a otimização de rede em um mundo de conexões em constante evolução, com novas tecnologias e realocações de espectro, exigem dos engenheiros o enfrentamento de novos desafios como:

- Emprego de novas bandas de operação e novos espectros através da realocação dos tradicionais serviços analógicos, o que exige, por parte das operadoras, mais testes nas mesmas antes da implantação de outras, além da manutenção de um maior número de bandas em operação.
- Serviços de banda larga de qualidade precisam ser altamente otimizados com redes de acesso para alavancar sua taxa de transferência de dados. O desempenho da rede de alta taxa de transferência de dados tem que apostar em serviços de qualidade que impulsionam maior satisfação e retenção de usuários.
- Com o aparecimento de novas redes, como, por exemplo LTE, as operadoras têm que manter a operação de redes existentes de segunda e terceira geração em funcionamento.

- A migração e o gerenciamento de novas tecnologias exigem por parte dos provedores de serviço ferramentas flexíveis e equipe de engenharia de RF capacitada para estruturar os novas mudanças e administrar multisserviços.

Foram realizadas as medições de desempenho do sistema móvel através dos equipamentos: aparelhos celulares com respectivos *chips* de cada tecnologia empregados como receptor e antena, *laptop*, *Scanner* de multibanda, que, por sua vez, apresenta leituras de seis tecnologias: TD-LTE, FDD-LTE, UMTS (WCDMA / HSPA), GSM, CDMA.

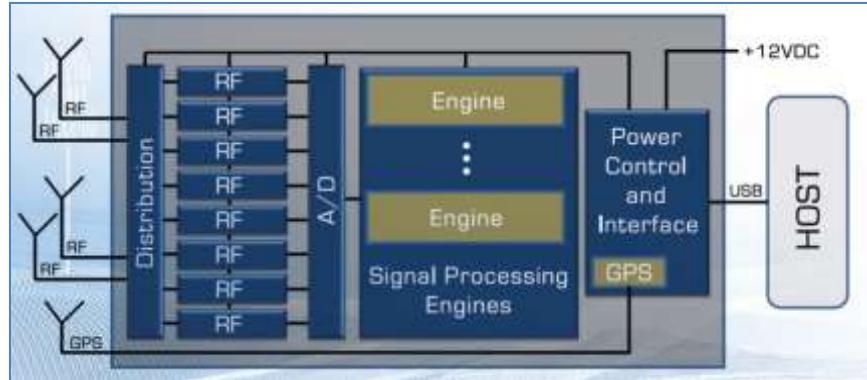
O *Scanner* utilizado nas medições foi o receptor Seegull MX da PCTEL que apresenta alto desempenho no processamento de sinal, permitindo adquirir, processar e reportar dados de até oito bandas distintas de funcionamento de RF, medindo até três tecnologias simultaneamente. A tabela 5.34 a seguir mostra as suas características funcionais em otimização e desempenho:

Tabela 5.34 - Scanner Otimização e Desempenho

| Características | Otimização e Desempenho - RF |
|---|--|
| Arquitetura modular em multibanda | Flexibilidade em multitecnologia de redes, incluindo MIMO |
| Oito bandas independente de recepção | Configuração de múltiplas tecnologias, incluindo bandas de uplink, no único receptor integrado |
| Processamento de sinais independente múltiplo | Medição de três tecnologia simultaneamente sem degradação do desempenho. |
| 20 MHz, antena MIMO, LTE | Suporta as rede emergente: LTE / UMTS [WCDMA / HSPA (+)] / GSM, Redes LTE / CDMA / EV-DO e TD-LTE/LTE FDD. |
| Receptor com plataforma de alta capacidade. | Permite medições multiportadora sobre múltiplas bandas |

A figura 5.241 a seguir mostra o diagrama de bloco sucinto do *Scanner* com as suas respectivas antenas. Possui quatro antenas que são na realidade os aparelhos celulares com as suas tecnologias: CDMA, WCDMA, GSM, LTE e uma antena para recepção do sinal de GPS conectados no duplexador do receptor. O scanner contem oito receptores que podem trabalhar com três tecnologias diferentes e apresenta um conversor analógico digital para tecnologias de 1^a. geração. O medidor possui vários ENGE, processador de sinais, controle de potência, interface GPS, alimentação de 12VDC para ser conectado à bateria do carro e uma saída USB para conectar no laptop.

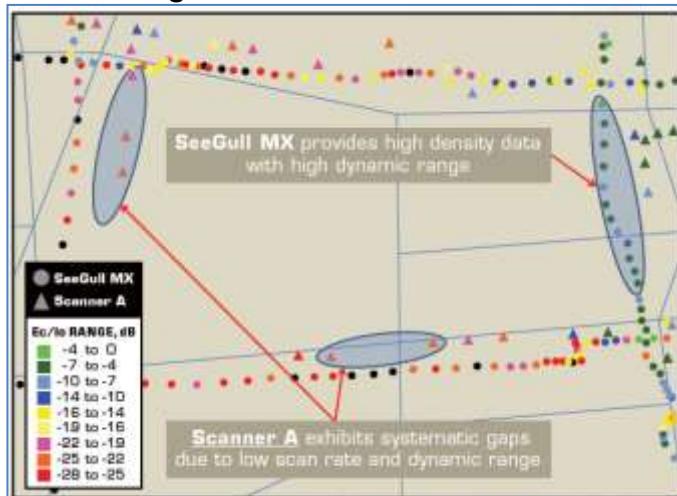
Figura 5.241 – Diagrama de Bloco – Scanner



O Scanner apresenta alta taxa de digitalização e proporciona o máximo de unidade em densidade de dados de teste de rede em RF e desempenho, permitindo a coleta de dados confiáveis de que os engenheiros precisam para implementar, solucionar problemas e sintonizar suas redes. Dados em teste drive de alta densidade são estatisticamente significativos e são usados para modelos de ajuste e software de otimização em processamento de sinais no conjunto de caminhos RF multibanda. Estas transformações nos caminhos levam a Seegull MX a realizar medições simultâneas com compartilhamento de recursos, com a consequente degradação do desempenho quando a unidade testar redes de multitecnologia.

A figura 5.242 a seguir mostra um lote de *teste drive* com altas taxas de dados e faixa dinâmica ao lado de Scanner A com taxas de dados mais baixas e faixa dinâmica. Os dados obtidos a partir destas informações sobre a rede dão maior confiabilidade aos dados coletados.

Figura 5.242 – Teste Drive



O detalhamento das medições realizadas pelo Scanner é apresentado nas tabelas de 5.35 á 5.38 a seguir com os pontos notáveis envolvendo as tecnologias: LTE, UMTS, GSM, CDMA, EV-DO, *Multitechnology, power measurements, RF characteristic, GPS, physical*. A figura 5.243 mostra a foto do Scanner PCTEL.

Tabela 5.35 – Tecnologias LTE, UMTS, GSM

| | | |
|----------------------|---|--|
| LTE FDD and TD-LTE | Measurement Modes | Top N Synchronization Channel (P-SCH/S-SCH), Reference Signal, and Resource Block (Wideband, Subband) |
| | Data Modes | RP, RQ, CINR, Cyclic Prefix, Time Offsets, Delay Spread, Averaging (FDD Only); LTE MIMO: CN, ECQI, Est. Throughput |
| | Channel Bandwidths | 1.4 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 MHz |
| | Antenna Techniques | SISO, MISO, MIMO (2x2) |
| | Measurement Rates: Top N Sync Channel RS | LTE FDD: 50/sec; 25/sec for 2x2 MIMO; TD-LTE: 20/sec |
| | Dynamic Range (CINR) @ 20 MHz: P-SCH/S-SCH RS | LTE FDD: -10 to +22 dB*; TD-LTE: -8 dB to +22 dB* LTE FDD / TD-LTE: -20 to +40 dB* |
| | Min. Detection Level: | RS RP -140 dBm @ 15 kHz |
| | Relative Accuracy (CINR): | RS ± 2 dB (Typical) |
| UMTS [WCDMA/HSPA(+)] | Measurement Modes | Top N Pilot |
| | Data Modes | Io, Ec/Io, Aggregate Ec/Io, SIR, Rake Finger Count, Time Offset, Delay Spread |
| | Channel Bandwidths | 200 kHz / 3.84 MHz |
| | Measurement Rate | 50/sec |
| | Top N CPICH Dynamic Range (Ec/Io) | -28 dB*; -33 dB* with Clarify® Option (via Post Processing) |
| | Min. Detection Level | -127 dBm @ 90% Detection |
| GSM | Relative Accuracy | ± 1 dB |
| | Measurement Modes | Color Code |
| | Data Modes | BSIC, C/I, RSSI |
| | Channel Bandwidths | 30 kHz / 200 kHz |
| | Measurement Rate | Up to 200 BSIC Decodes/sec; Up to 270 BCCH Decodes/sec with Clarify® Option |
| | Dynamic Range, C/I | +2 dB* |
| | Min. BSIC Decode Detection Level | -110 dBm |
| | Relative Accuracy | ± 1 dB |

Tabela 5.36 – Tecnologias CDMA, EV-DO, Multi

| | | |
|------------------|--|--|
| CDMA | Measurement Modes | Top N PN |
| | Data Modes | Ec, Io, Ec/Io, Aggregate Ec/Io, Pilot Delay, Delay Spread |
| | Channel Bandwidths | 30 kHz / 1.25 MHz |
| | Measurement Rate | 25/sec |
| | Top N PN Dynamic Range, Ec/Io | -28 dB* |
| | Min. PN Detection Level | -127 dBm @ 90% Detection |
| EV-DO | Relative Accuracy | ± 1 dB |
| | Measurement Modes | Top N PN |
| | Data Modes | Ec, Io, Ec/Io, Aggregate Ec/Io, Pilot Delay, Delay Spread |
| | Channel Bandwidths | 30 kHz / 1.25 MHz |
| | Measurement Rate | 25/sec |
| | Top N PN Dynamic Range, Ec/Io | -18.5 dB* |
| Multi-Technology | Min. PN Detection Level | -117 dBm @ 90% Detection |
| | Relative Accuracy | ± 1 dB |
| | Concurrent Measurement Capacity | Up to 3 Technologies (Protocol Decoding) and 1 Aggregate Power Measurement (RSSI, EPS, or Spectrum Analysis) |
| | Measurements Rate Degradation When Measuring LTE, WCDMA, and GSM Concurrently | None |
| | Measurements Rate Degradation When Measuring LTE, CDMA, and EV-DO Concurrently | None |
| | Typical Aggregate Measurement Rate | Up to 400/sec across 3 Simultaneous Technologies |

Tabela 5.37 – Medições de Potência e RF

| RSSI MEASUREMENTS | |
|---|--|
| Measurement Rate (Typical) | LTE |
| | UMTS [WCDMA/HSPA(+)] |
| | GSM |
| | CDMA |
| | EV-DO |
| Absolute Accuracy | ± 1 dB (across Basic RF Input Power Range) |
| ENHANCED POWER SCAN (EPS™) MEASUREMENTS | |
| Channel Bandwidths | 7.5 kHz to 20 MHz in 2.5 kHz Increments |
| Measurement Rate | 1,000 MHz/sec @ 5 MHz (Typical) |
| Absolute Accuracy | ± 1 dB (across Basic RF Input Power Range) |
| SPECTRUM ANALYSIS MEASUREMENTS | |
| Measurement Range | >90 dB |
| Measurement Rate (Single Sweep) | >270 MHz/sec |
| Sensitivity | -110 dBm ± 1 dB @ 80 kHz; -120 dBm Min. Discernable Signal |
| Accuracy | ± 1 dB (across Basic RF Input Power Range) |
| LTE POWER ANALYSIS MEASUREMENTS (Available for TD-LTE Only) | |
| Channel Bandwidths | 1.4 / 3 / 5 / 10 / 15 / 20 MHz |
| Measurement Rate | 50/sec @ 20 MHz |
| Accuracy | ± 1 dB (across Basic RF Input Power Range) |
| Internally Generated Spurious Response | -100 dBm Max. |
| Protection Against Spurious Response Interference | +90 dB Min. |
| Conducted Local Oscillator | - 90 dBm Max. |
| RF Input Power Range | - 10 dBm Max. In-Band; +5 dBm Max. Out-of-Band |
| Desensitization | Adjacent Channel >50 dB; Alternative Channel >60 dB |
| Safe RF Input Range | ≤10 dBm |
| Frequency Accuracy (Ambient) | ±0.05 ppm (GPS Locked); ±0.1 ppm (GPS Unlocked) |

Tabela 5.38 – Especificação GPS e Físicas

| GPS | |
|------------------------------------|---|
| Type | 50 Channel Internal Receiver |
| Position Accuracy | ±2.5 meter |
| Acquisition Time | Cold Start: <30 sec; Hot Start: <2 sec |
| Sensitivity (Tracking) | >-150 dBm |
| Physical | |
| Input Power | +8 to +16 VDC (70W Nominal, 80W Max.) |
| Size | 9.5" D x 5.9" W x 4.3" H (241 mm D x 150 mm W x 110 mm H) |
| Weight | 4.6 lbs. (2.1 kg) |
| Temperature Range | Operating: 0°C to +50°C; Storage: -40°C to +85°C |
| Host Data Communications Interface | USB 2.0 |
| RF Input | RF: SMA Female (50Ω); GPS: Male (50Ω) SMB |
| Safety (CE) | EN 60950-1 |
| EMC | EN 301 489-1 |
| Shock and Vibration | MIL-STD-810G, SAE J1455 |
| RoHS | Compliant (6/6) |

Figura 5.243 – Scanner PCTEL



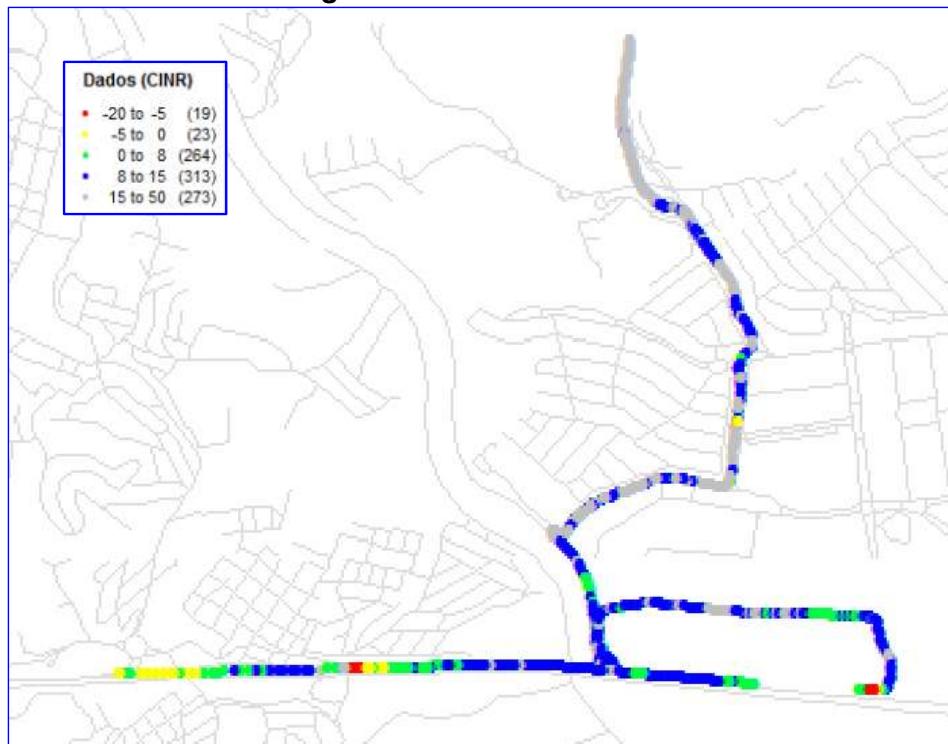
No próximo item serão apresentadas medições da rede de telefonia móvel através do scanner PCTEL na cidade de Barueri.

5.2.1 – Prospecções da Rede Móvel: Alphaville

As medições foram realizadas no Bairro de Alphaville, em Barueri, Estado de São Paulo. A coleta se baseou nos seguintes parâmetros: CINR, PCI, RSRP, RSRQ, EARFCN.

A figura 5.244 mostra a relação portadora de ruído interferente (CINR), com uma faixa mínima de -20 a -5 dB com 19 pontos de medição. O ruído, identificado em vermelho, apresentou um valor Máximo compreendido de 15 a 50 dB com 273 pontos de medição identificados em cinza.

Figura 5.244 – Dados CINR



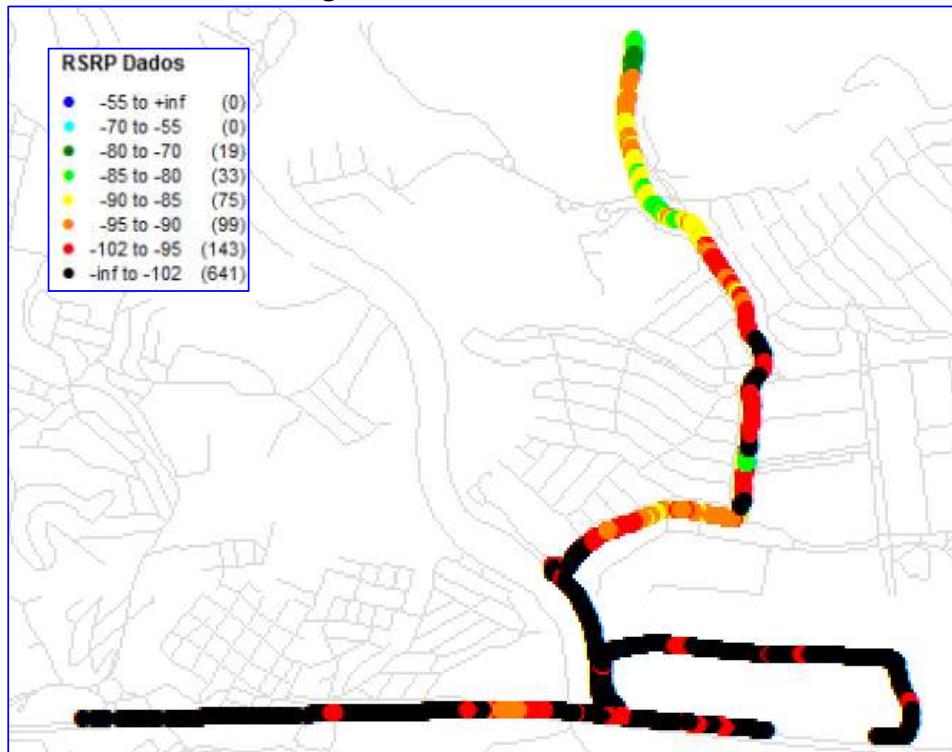
A figura 5.245 apresenta uma varredura dos canais designados com identidade física da célula (PCI), iniciando no canal 31 com 5 medições identificadas na figura em azul e encerrando no canal 402 com 17 medições na tonalidade verde escuro.

Figura 5.245 – PCI de Dados



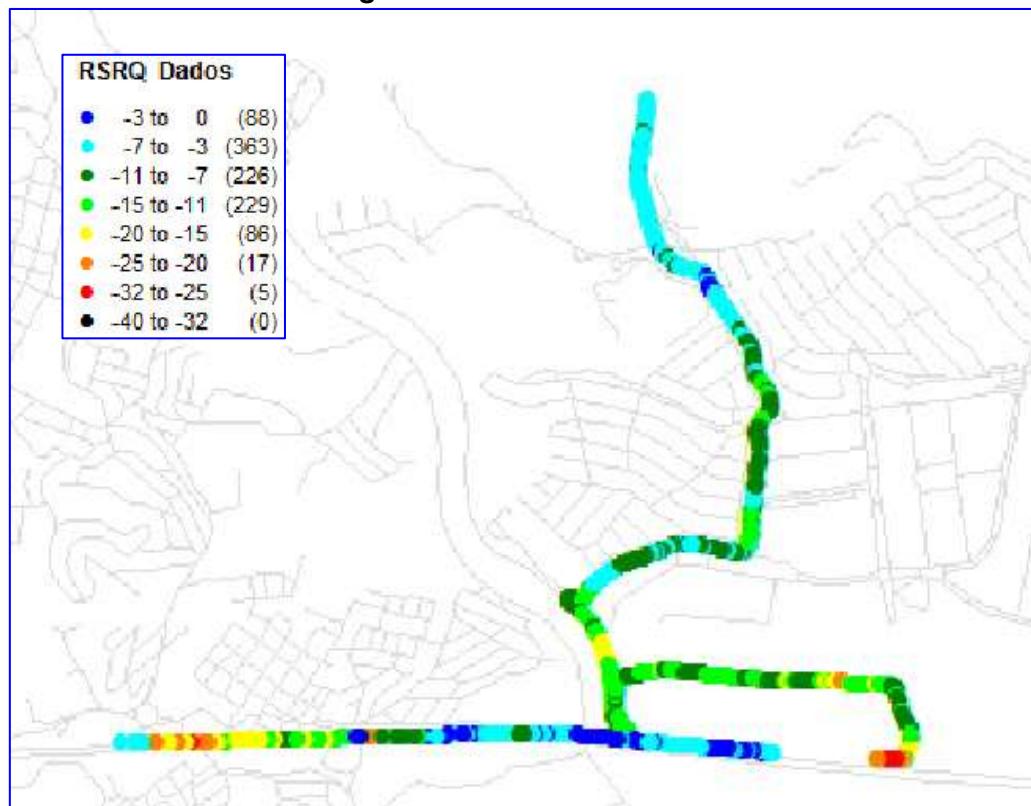
Os dados apresentados através da potência recebida do sinal de referência (RSRP) iniciam-se com uma potência mínima: de -102 a -95 dBm com 143 pontos de medição identificados em vermelho e com um valor máximo de -55 dBm com um único ponto identificado na cor azul. A figura 5.246 a seguir mostra o rastreamento de dados do RSRP:

Figura 5.246 – Dados RSRP



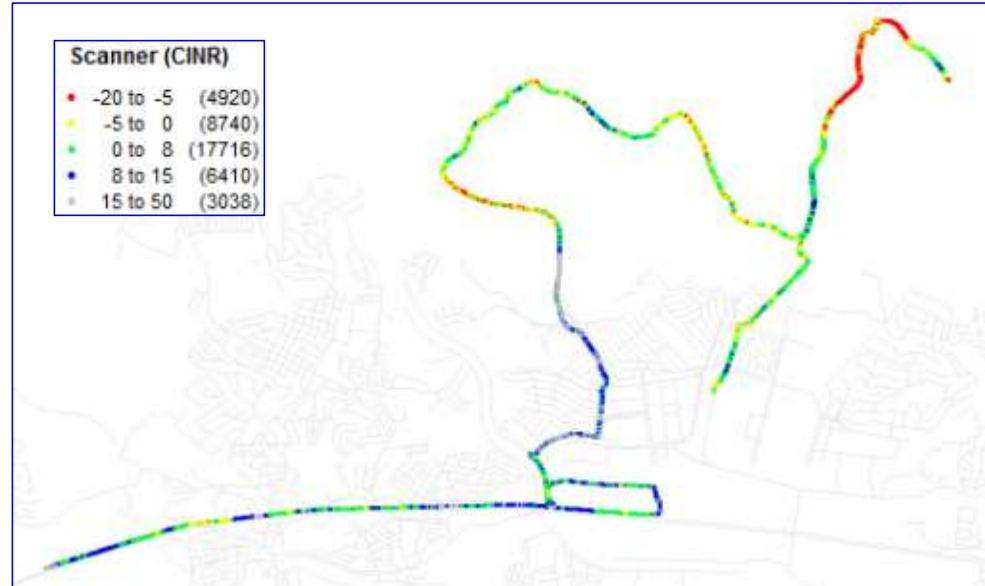
A potência fornecida através dos dados com o canal de qualidade recebida de sinal de referência (RSRQ) se inicia com um valor máximo de -3 dBm a 0 dBm com 88 pontos de medição identificados em azul e com um valor mínimo de potência de -40 dBm a -32 dBm com um único ponto identificado em preto. A figura 5.247 a seguir exemplifica o rastreamento de dados RSRQ:

Figura 5.247 – RSRQ Dados



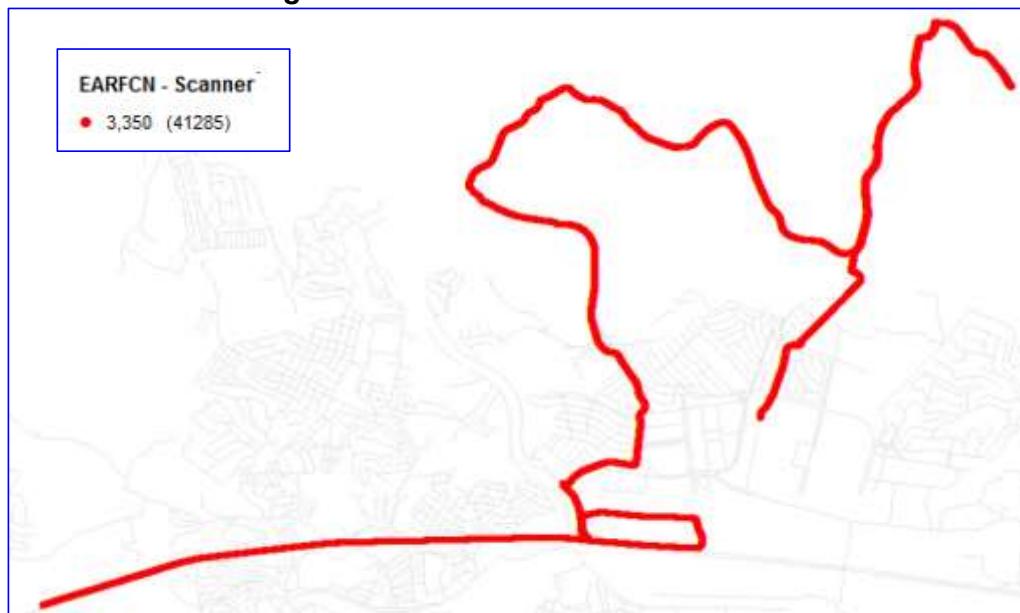
A relação portadora ruído interferente (CINR) apresenta uma relação mínima que vai de -20 dB a -5 dB com 4920 pontos de medição identificados em vermelho e uma relação máxima com valores de 15 dB a 50 dB com 3080 pontos de medição identificados em cinza claro. A figura 5.248 a seguir mostra uma varredura efetuada através do CINR.

Figura 5.248 – Rastreamento do Canal CINR



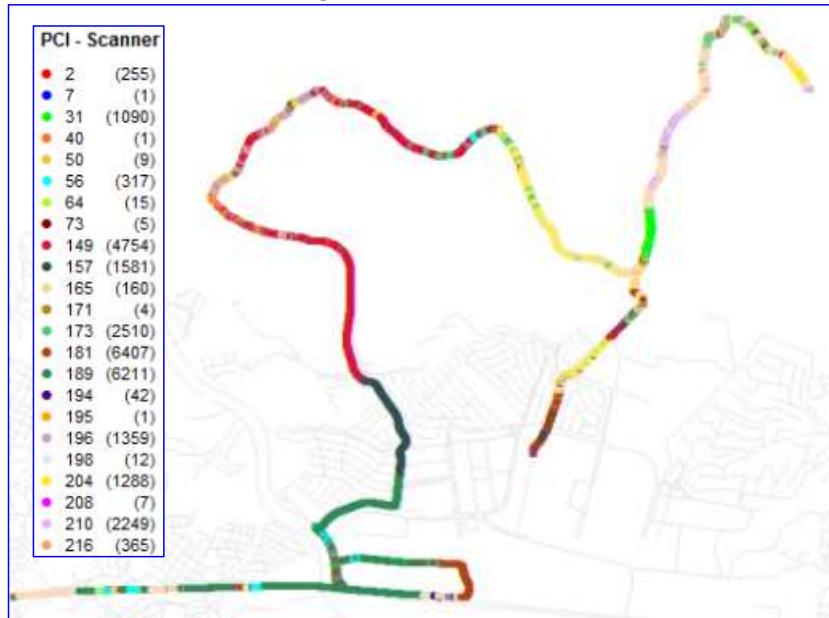
A varredura do número absoluto de canal de RF totaliza um percurso com uma somatória de 41.285 medições, conforme a figura 5.249.

Figura 5.249 – Varredura do EARFCN



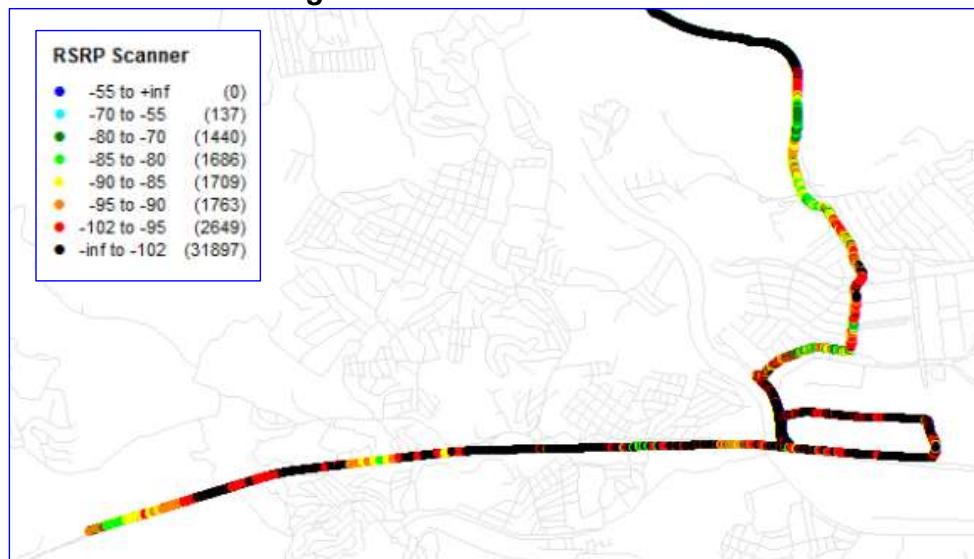
A figura 5.250 a seguir apresenta uma varredura da Identidade física da célula (PCI) iniciando-se no canal 2 com 255 medições identificadas em vermelho e encerra-se no canal 216 com 365 medições identificadas na cor marrom claro.

Figura 5.250 – Varredura do PCI



A varredura do canal de potência recebida do sinal de referência (RSRP) é ilustrada na figura 5.251 a seguir. O sinal apresenta uma faixa máxima de -70 dBm a -55 dBm com 137 pontos de medição identificados em azul piscina e uma faixa mínima de -102 dBm a -95 dBm com 31.897 pontos de medição identificada em vermelho.

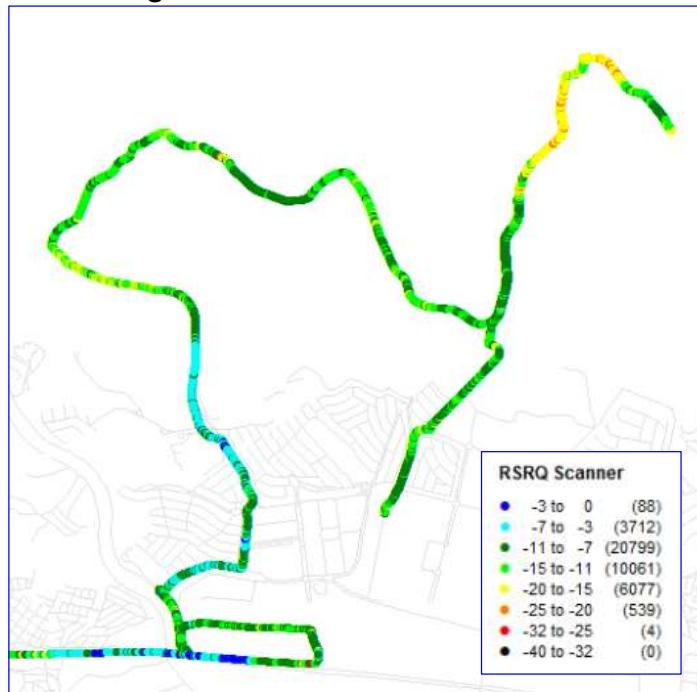
Figura 5.251 – Varredura RSRP



A demonstração de uma varredura no canal com atribuição de sinal de referência de qualidade (RSRQ) é ilustrada pela figura 5.252 abaixo. O sinal apresenta uma faixa máxima de -3 dBm a 0dBm, totalizando 88 pontos de medição

apresentados na cor azul escuro e uma faixa mínima de -32 dBm a -25 dBm resultando quatro pontos de medição exteriorizados em vermelho.

Figura 5.252 – Varredura RSRQ-Scanner



No próximo item serão apresentados os resultados das medições em campo do sistema móvel celular, através do Scanner PCTEL na cidade de São Paulo.

5.2.2 – Prospecções da Rede Móvel: Interlagos

Foram feitas medições da rede móvel no Bairro de Interlagos, cidade de São Paulo, Estado de São Paulo. Coletaram-se os seguintes dados: Executive Summary; Long Call – RSCP; Long Call – EClo; Long Call - Events; Short Call – RSCP; Short Call – EClo; Short Call – Events; Scanner – RSCP; Scanner – EClo; Scanner – Pilot Pollution; Data – RSCP; Data – EClo, Data – Throughput; Data – BLER; Data – Events.

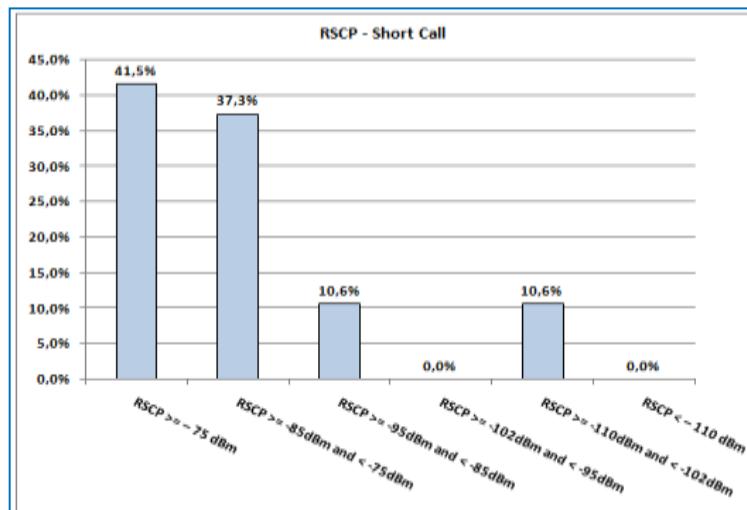
A tabela 5.39 abaixo reporta as medições em campo no formato de planilha eletrônica designada “Executive Summary”, em que se observa o resultado estatístico com números de amostras e porcentual de chamadas dos tipos: *Short call*, *Long Call*, *Data*, *Scanner* com suas respectivas *RSCP*, *Throughput*, *Eclo*, *Access Success*, *Access Fails*, *Dropped Call*.

Tabela 5.39 – Executive Summary

| DT Name Cluster | DT Report Interlagos | | | | | Contato Pedro Kiszka Jr | |
|-------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|--|
| | Data | October 30, 2013 | Km | 13,9778 | | | |
| | Executive Summary | | | | | | |
| Statistics | | | | | | | |
| Call Mode Measurements | | Samples Numbers | | | % Samples | | |
| | | Short Call | Long Call | Data | Scanner | Short Call | |
| RSCP >= -75 dBm | | 695 | 706 | 536 | 1454 | 41,5% | |
| RSCP >= -85dBm and < -75dBm | | 625 | 615 | 636 | 41 | 37,3% | |
| RSCP >= -95dBm and < -85dBm | | 177 | 175 | 324 | 0 | 10,6% | |
| RSCP >= -102dBm and < -95dBm | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0% | |
| RSCP >= -110dBm and < -102dBm | | 177 | 175 | 324 | 0 | 10,6% | |
| RSCP < -110 dBm | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0% | |
| EcIo >= -13 | | 1406 | 1416 | 1394 | 1465 | 94,1% | |
| EcIo >= -15 and < -13 | | 84 | 71 | 94 | 30 | 5,6% | |
| EcIo >= -18 and < -15 | | 4 | 9 | 8 | 2 | 0,3% | |
| EcIo < -18 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0% | |
| | | | | | | 0,0% | |
| | | | | | | | |
| throughput < 56 | | - | - | 28 | - | - | |
| throughput >= 56 and < 128 | | - | - | 15 | - | - | |
| throughput >= 128 and < 256 | | - | - | 22 | - | - | |
| throughput >= 256 and < 512 | | - | - | 66 | - | - | |
| throughput >= 512 and < 1024 | | - | - | 176 | - | - | |
| throughput >= 1024 and < 2048 | | - | - | 678 | - | - | |
| throughput >= 2048 and < 4096 | | - | - | 0 | - | - | |
| throughput >= 4096 and < 8192 | | - | - | 0 | - | - | |
| throughput >= 8192 | | - | - | 0 | - | - | |
| Call Mode Events | | Occurrence Number | Occurrence Number | Occurrence Number | Occurrence Number | | |
| Access success | | 25 | 1 | 5 | n/a | | |
| Access Fails | | 0 | 0 | 1 | n/a | | |
| Dropped Call | | 0 | 0 | 0 | n/a | | |

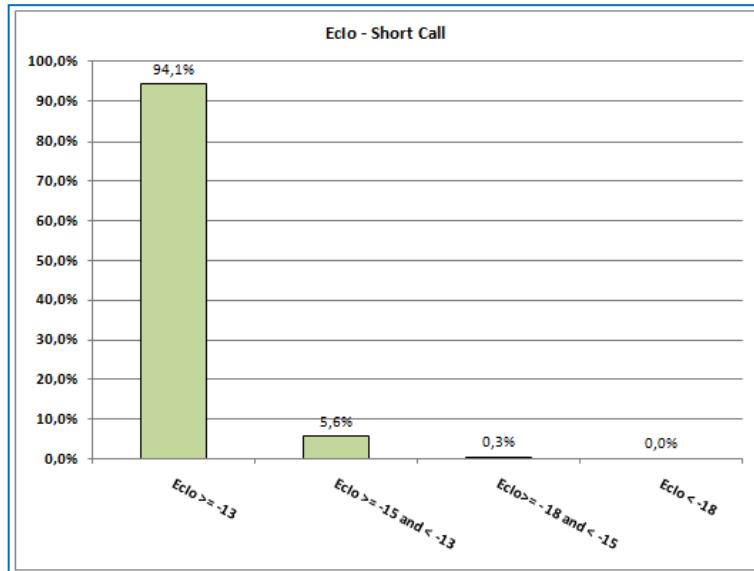
A potência do código do sinal recebido (RSCP) refere-se à potência de um código específico após o sinal ser desembaralhado dos símbolos de um piloto recebido. É aceitável o valor maior que -74 dBm; consideram-se valores médios de -92 dBm a -87 dBm. São inaceitáveis os valores abaixo de -110 dBm. O gráfico 5.1 a seguir ilustra a potência do código de sinal recebido RSCP–Short Call em porcentagem (%): um potencial máximo de 41,5% de RSCP com ≥ -75 dBm e um valor mínimo de 10,6 % RSCP com < -110 dBm.

Gráfico 5.1 – RSCP - Short Call



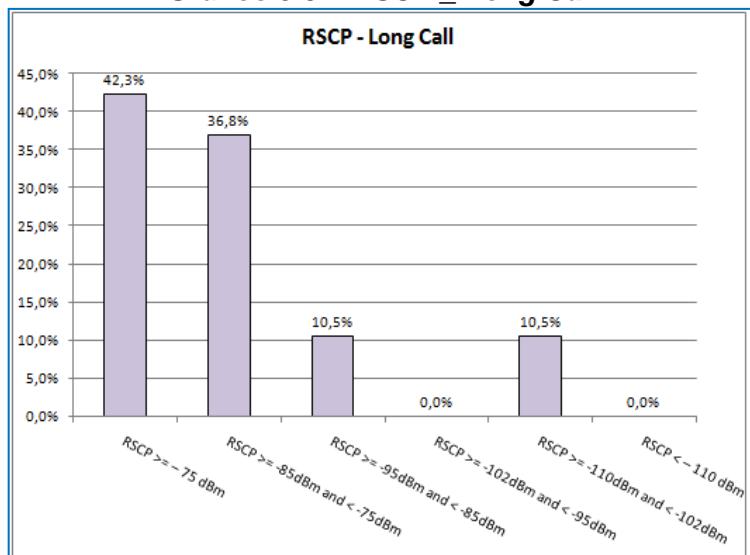
A relação energia de *chip* por sinal interferente é uma relação determinante no processo da conexão do canal, da interrupção de chamada e da troca de canal. A seguir exibe-se o gráfico 5.2 Eclo - Short Call que traz a Porcentagem versus Short Call, que exibe um ≥ -13 com um porcentual máximo de 94,1 % e um mínimo de 0,3 % com um ≥ -18 dBm e < -15 dBm.

Gráfico 5.2 – Eclo - Short Call



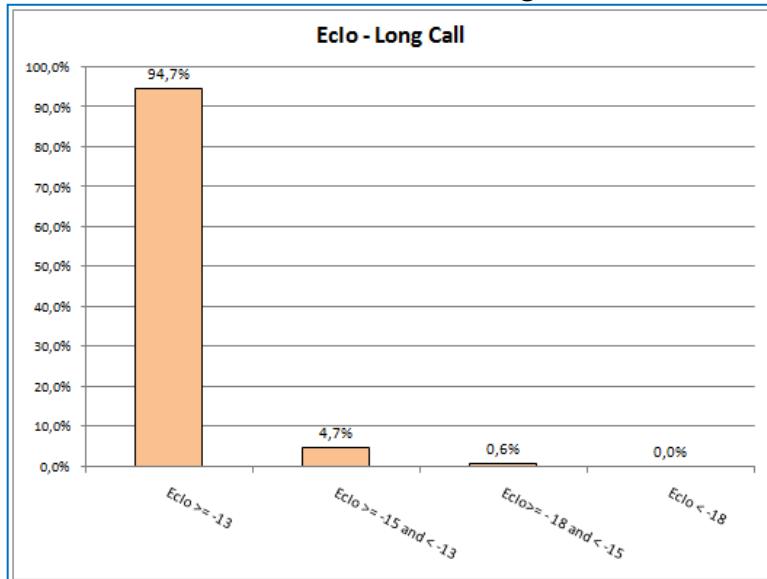
O gráfico 5.3 abaixo ilustra os resultados de chamadas de longa duração do RSCP–Long Call, indicando um porcentual máximo de 42,3% com um valor ≥ -75 dBm e apresentando um mínimo de 10,5 % com um valor compreendido entre ≥ -110 dBm e < -102 dBm.

Gráfico 5.3 – RSCP _ Long Call



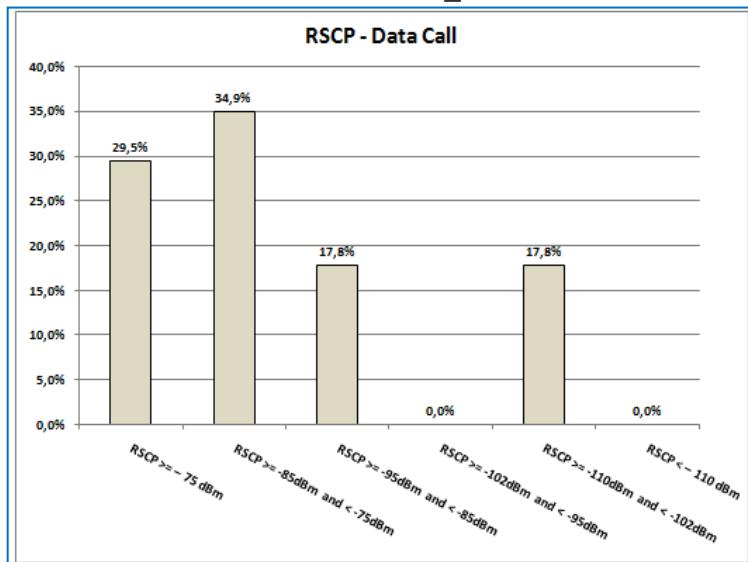
O gráfico 5.4 abaixo ilustra os resultados de chamada de longa duração (Eclo – Long Call), com um porcentual máximo de 94 % com valor ≥ -13 dB e um mínimo de 0,6 % na faixa entre ≥ -18 dB e ≤ -15 dB.

Gráfico 5.4 – Eclo _ Long Call



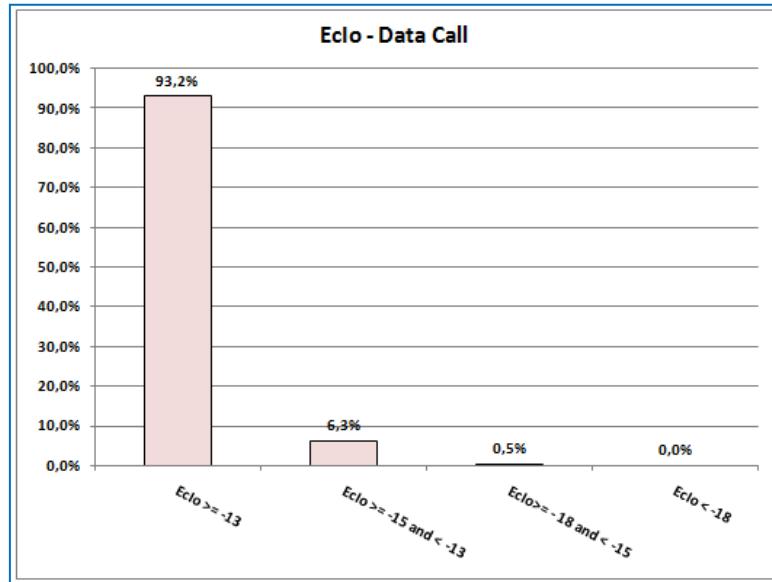
O gráfico 5.5 traz os resultados de chamada de dados RSCP com um valor porcentual máximo de 34,9%, com valores compreendidos entre ≥ -85 dBm e ≤ -75 dBm, um valor de mínimo de 17,8 % com uma faixa de ≥ -110 dBm a < -102 dBm.

Gráfico 5.5 – RSCP _ Data Call



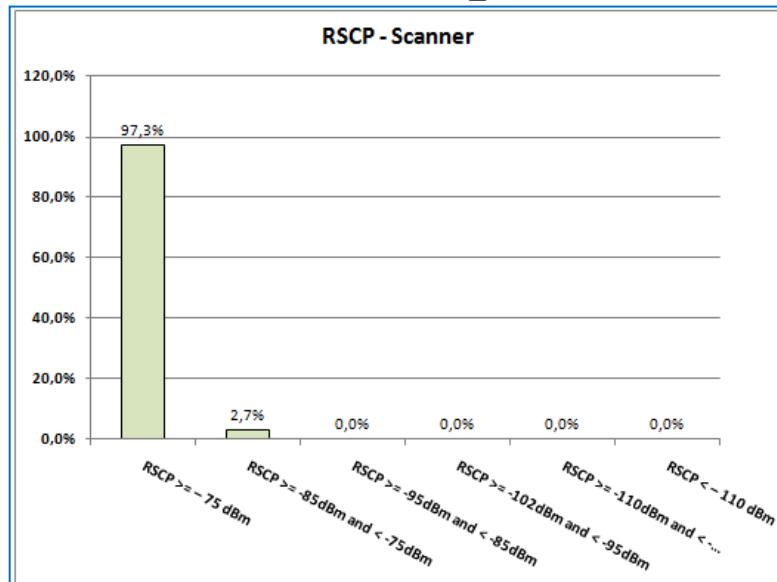
O gráfico 5.6. mostra as chamadas de dados (Eclo – Data Call) com um valor porcentual máximo de 93,2 % para um Eclo ≥ -13 dB e um valor mínimo de 0,5 % para valores entre ≥ -18 dB e < -15 dB.

Gráfico 5.6 – Eclo _ Data Call



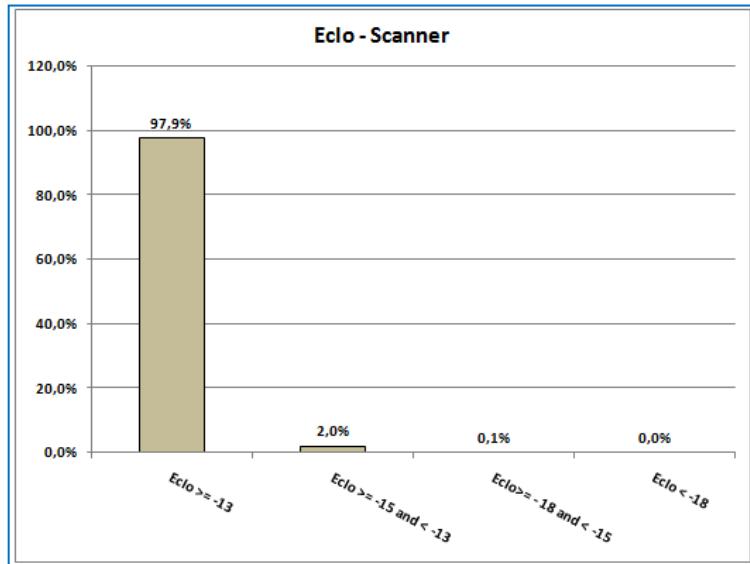
A varredura de RSCP é ilustrada no gráfico 5.7 abaixo, em que se tem um porcentual máximo de 97,3 % para valores ≥ -75 dBm e um valor mínimo de 2,7 % para uma faixa que vai de ≥ -85 dBm a < -75 dBm.

Gráfico 5.7 – RSCP _ Scanner



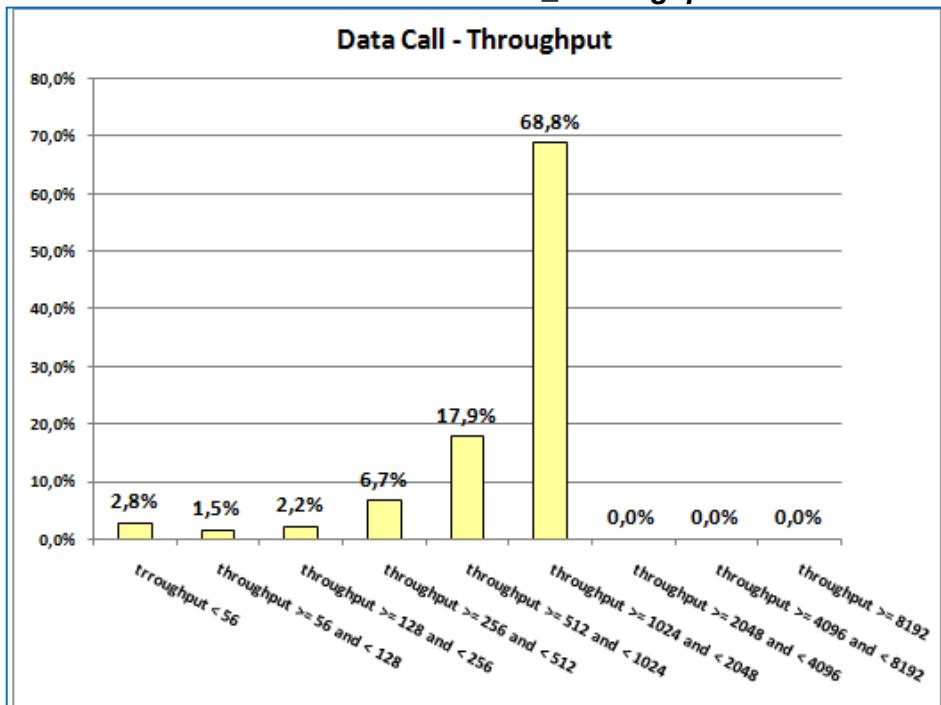
A varredura Eclo é ilustrada no gráfico 5.8. Os resultados apresentam um porcentual máximo 97,9 % para valores ≥ -13 dB e um porcentual mínimo de 2 % compreendido entre ≥ -15 dB e < -13 dB.

Gráfico 5.8 – Eclo _ Scanner



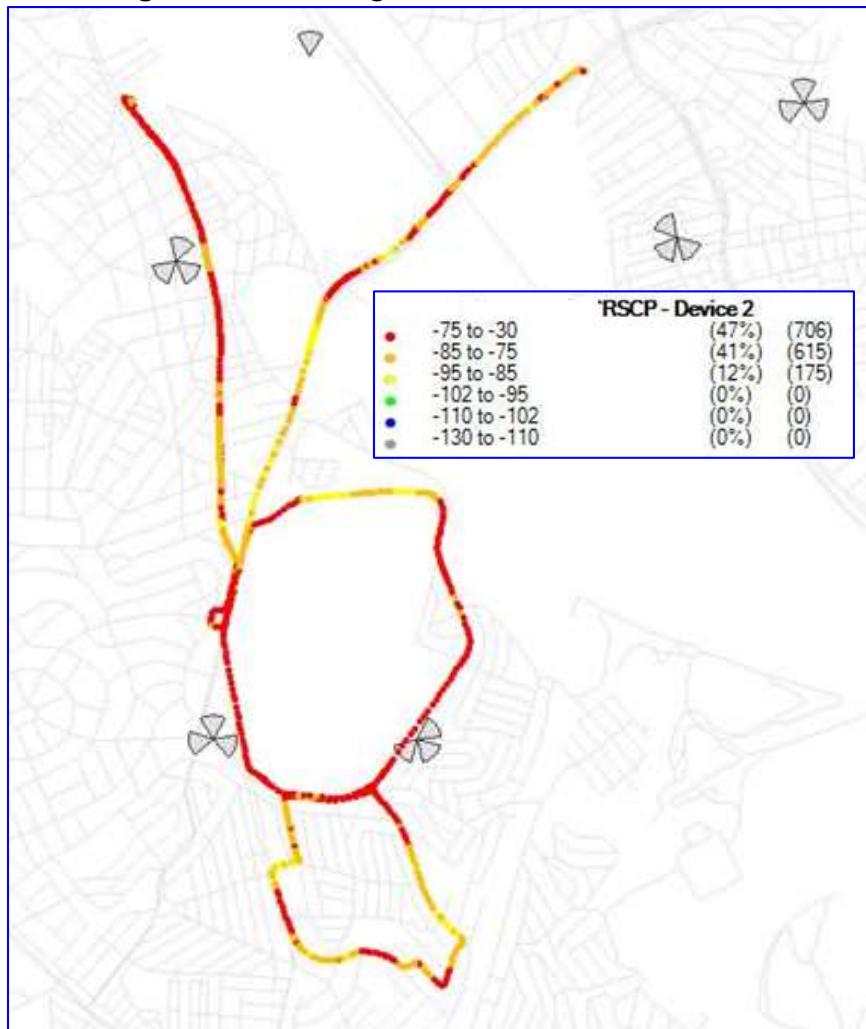
O gráfico 5.9 apresenta resultados de chamada de dados com throughput de 68 % para uma transferência máxima de dados entre ≥ 1024 e < 2048 bps e um porcentual mínimo de 1,5 % para uma transferência ≥ 56 e < 128 bps.

Gráfico 5.9 – Data Call _ Throughput



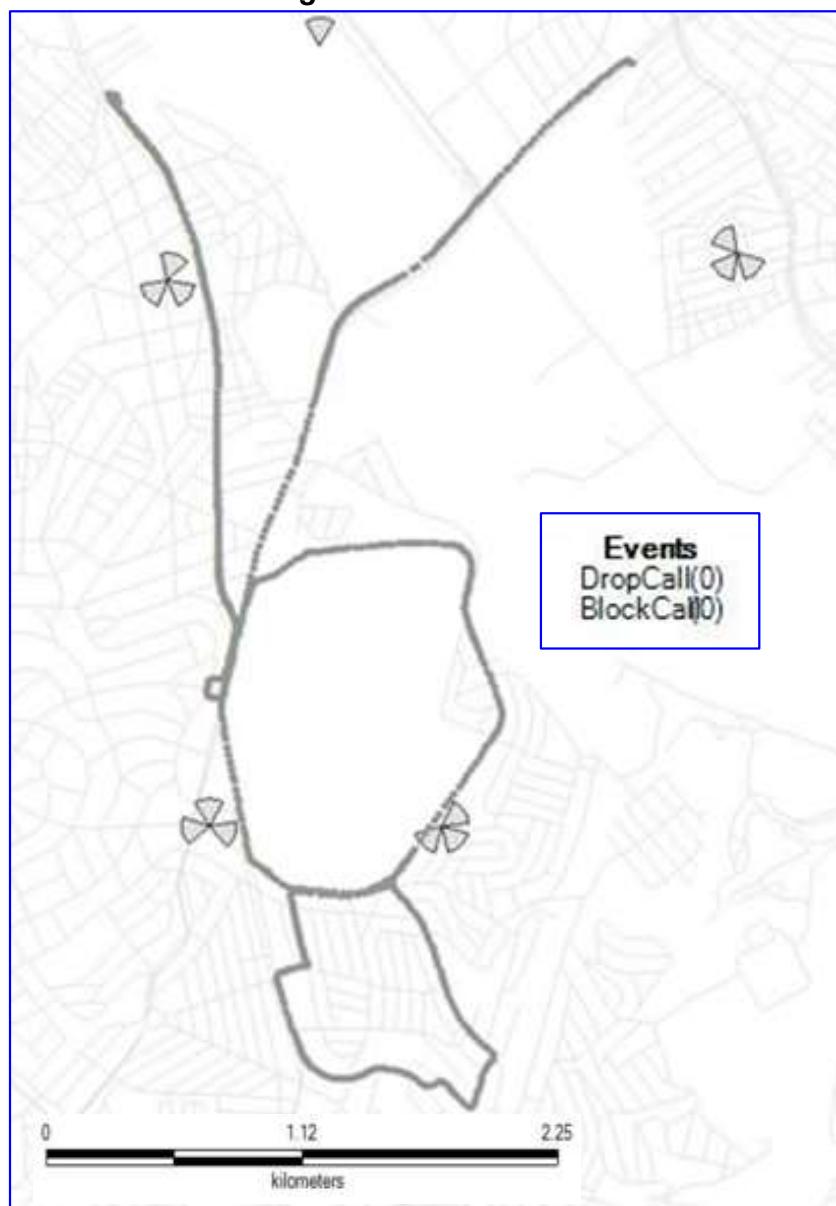
A figura 5.253 a seguir exemplifica um rastreamento de percurso de *Long Call RSCP* com um receptor 2 apresentando valores máximos entre -75 dBm e -30 dBm com 47 % do percurso com 706 pontos de medições identificados no trajeto em vermelho e valores mínimos obtidos entre -85 dBm e -75 dBm com 41 % do trajeto com 615 pontos de medições identificados em amarelo.

Figura 5.253 – Long Call-RSCP_Device 2



A figura 5.254 a seguir apresenta percursos com medições de eventos caracterizados como chamadas perdidas e bloqueadas. Os resultados não foram além de 0 % de perdas e bloqueio.

Figura 5.254 - Events



A figura 5.255 a seguir exemplifica o rastreamento de chamadas *Short Call – RSCP_Device 3* com valores coletados entre -75 dBm e -30 dBm com 46% do percurso totalizando 695 pontos de medições ilustrados no trajeto em vermelho; e valores apurados entre -95 dBm e -75 dBm com 42% do trajeto e 625 pontos de medição identificados em amarelo.

Figura 5.255 – Short Call – RSCP_Device 3



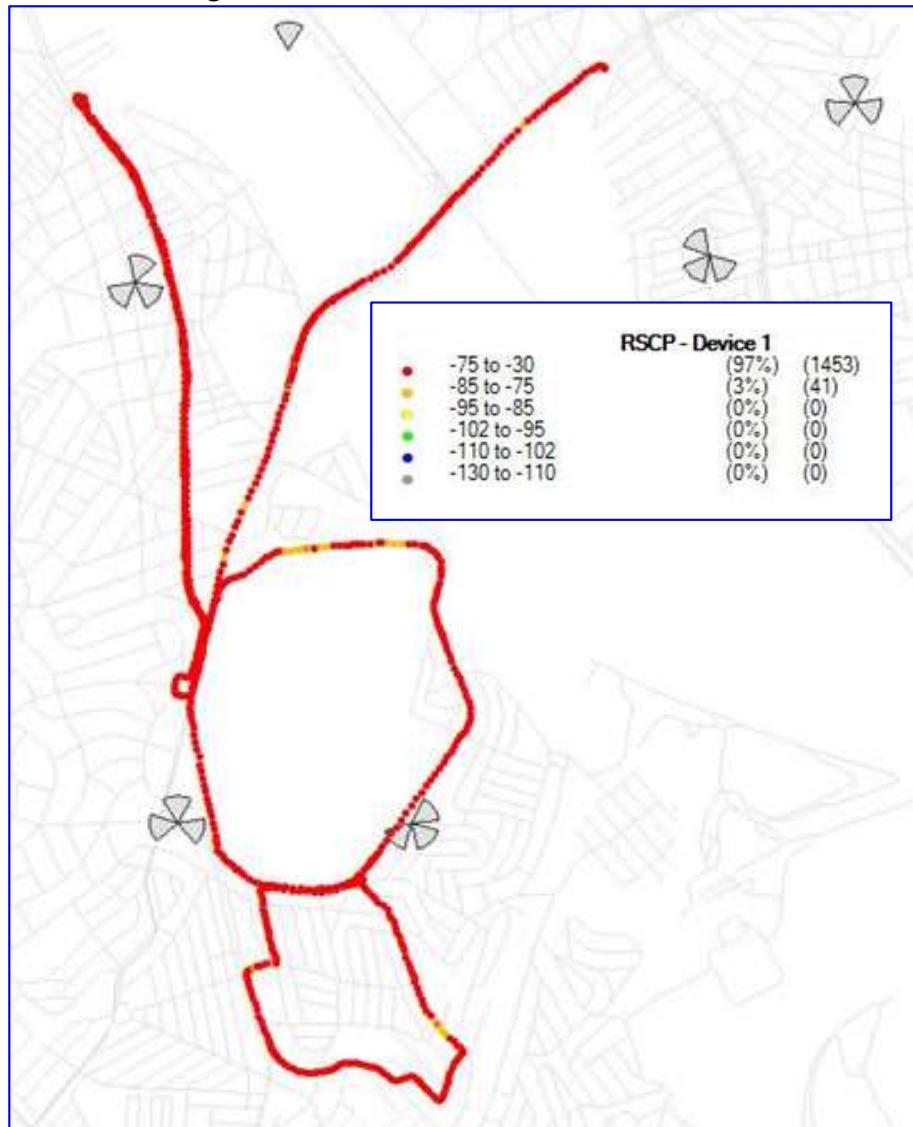
A figura 5.256 a seguir exibe um percurso de chamadas *Short Call – Eclo_Device 3* em que se foram constatados valores entre -13 dB e 0 dB com 94% do percurso e totalizando 1409 pontos de medição ilustrados em verde e valor compreendido entre -15 dB e -13 dB com 6% do percurso somando-se 80 pontos de medição ilustrados em amarelo.

Figura 5.256 – Short Call – Eclo _ Device 3



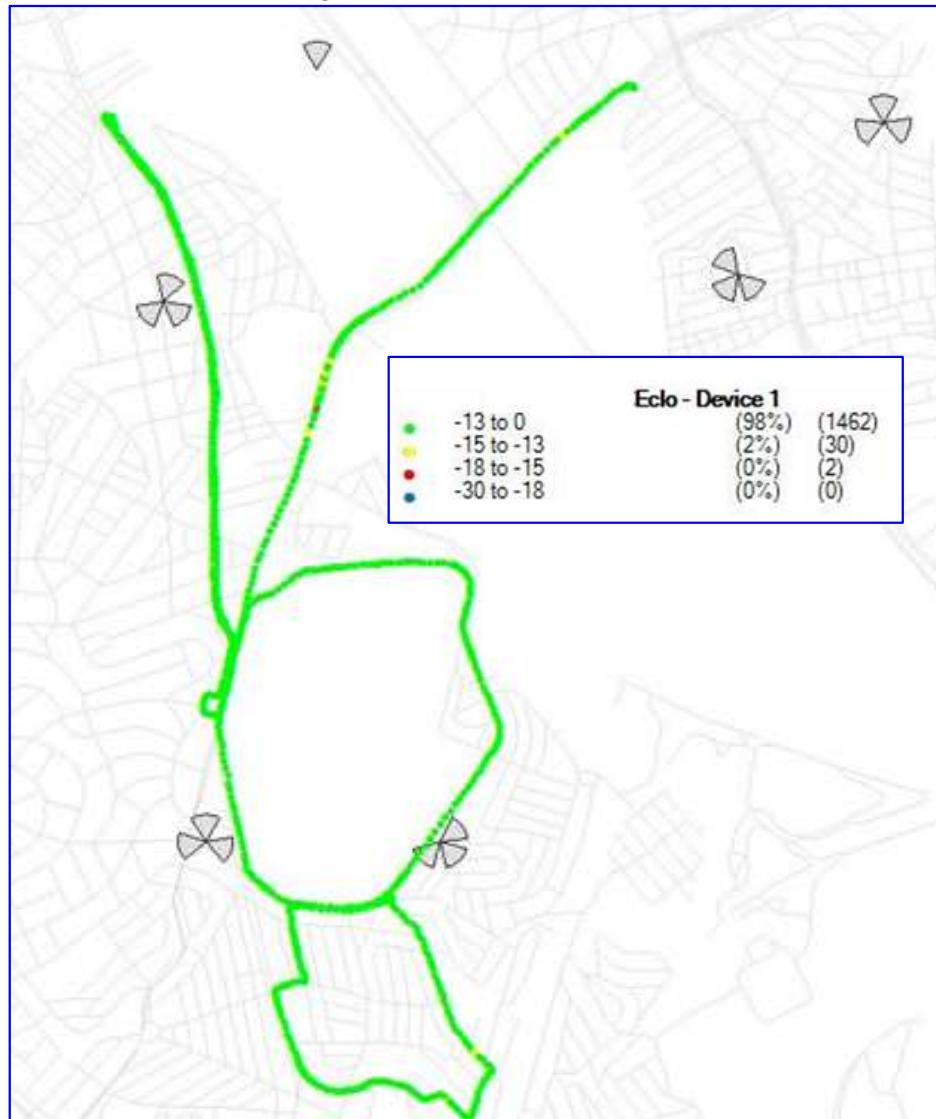
A figura 5.257 a seguir reporta o rastreamento de chamada através do Scanner-RSCP_Device 3 em que se atingiu um valor máximo entre -75 dBm e -30 dBm para 97% do percurso com 1453 pontos de medição identificados no percurso em vermelho e se obteve uma faixa de valores mínimos compreendidos entre -85 dBm e -75 dBm com 3% da trajetória, totalizando 41 pontos de medição identificados em amarelo.

Figura 5.257 – Scanner – RSCP_Device 1



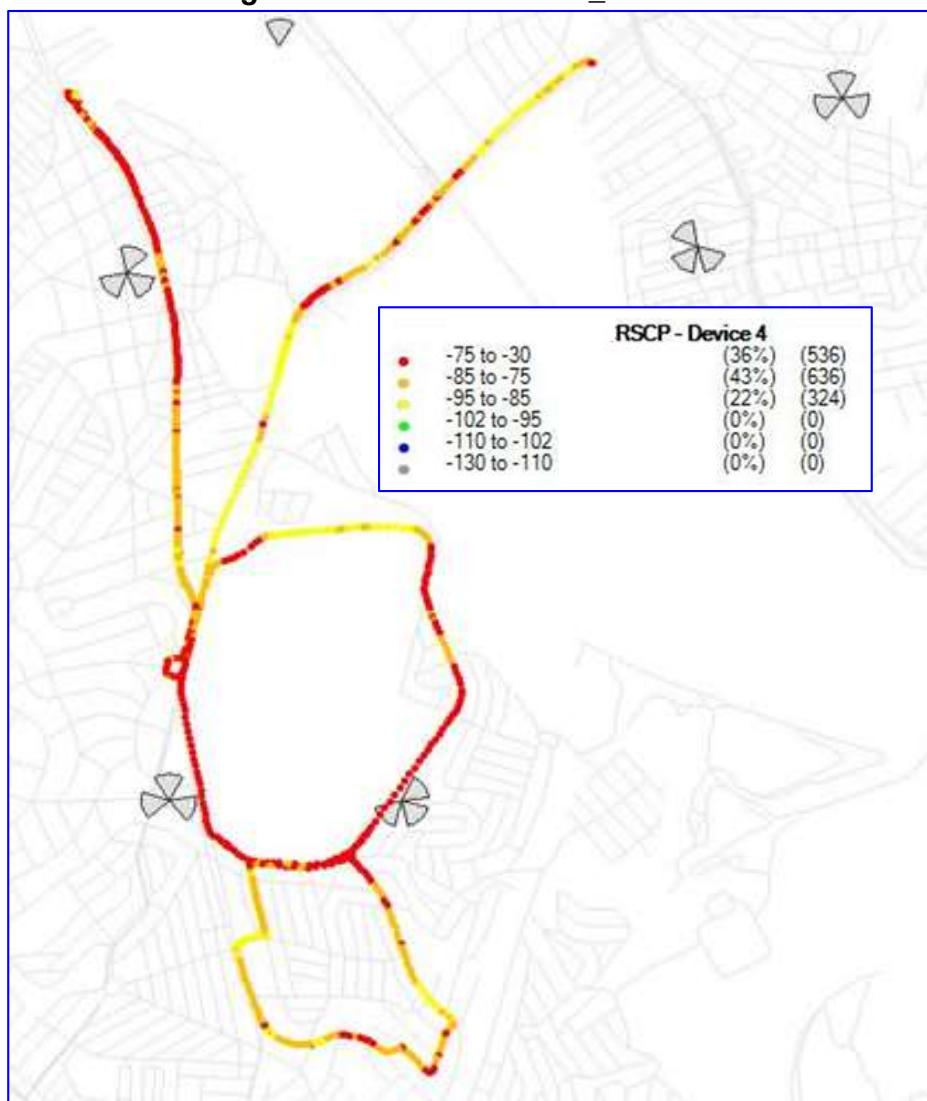
A figura 5.258 expressa o rastreamento de chamadas com o Scanner - Eclo_Device 1 com valores de medição na faixa entre -13 dB a 0 dB com 98% do percurso totalizando 1462 pontos de medição identificados na trajetória em verde e valores na faixa de -15 dB a -13 dB com 2% do percurso com um total de 30 pontos de medição identificados em amarelo.

Figura 5.258 - Scanner-Eclo_Device 1



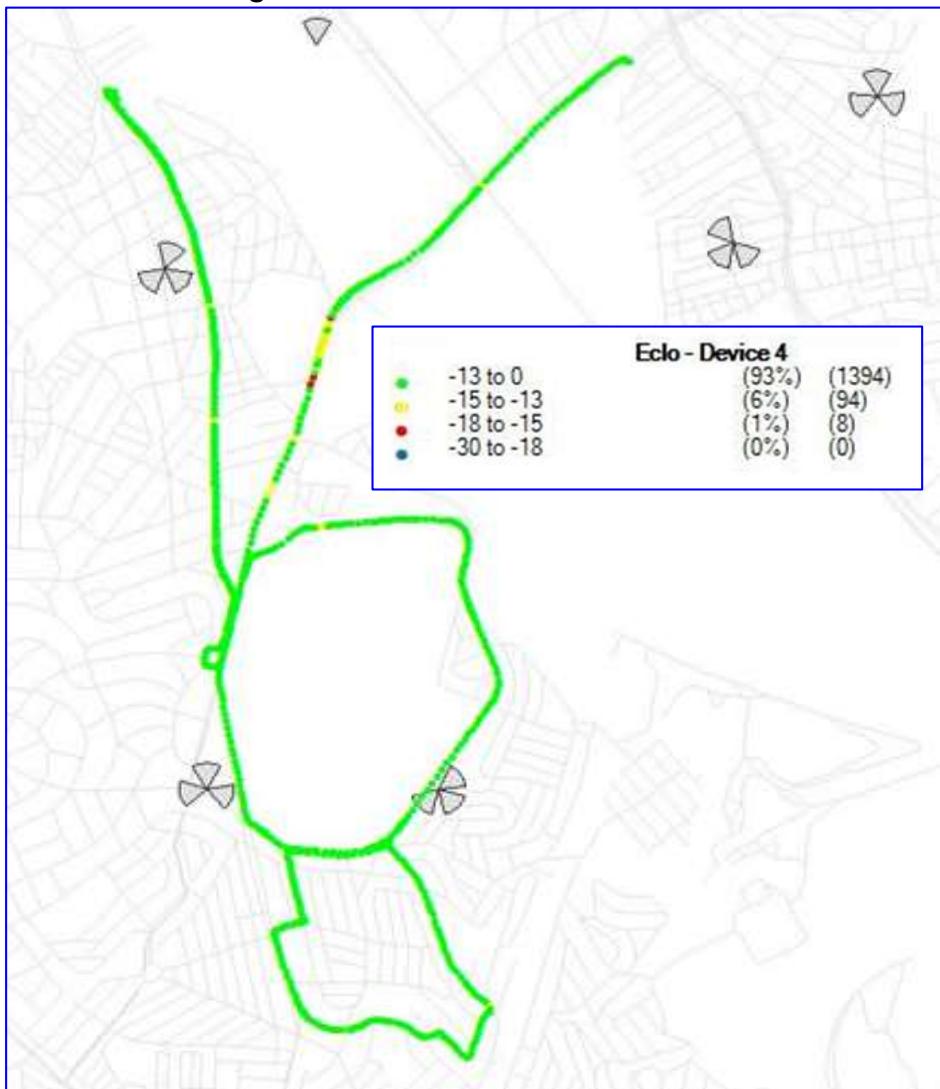
A figura 5.259 a seguir exemplifica o rastreamento *Data – RSCP_Device 4*, em que se alcançou valores máximos de -75 dBm a -30 dBm identificados no percurso em vermelho com 36% da trajetória, totalizando 536 pontos de medição e se obteve uma outra faixa de -95 dBm a -75 dBm com 22% do percurso identificado em amarelo e somando-se 324 pontos de medição.

Figura 5.259 – Data- RSCP_Device 4



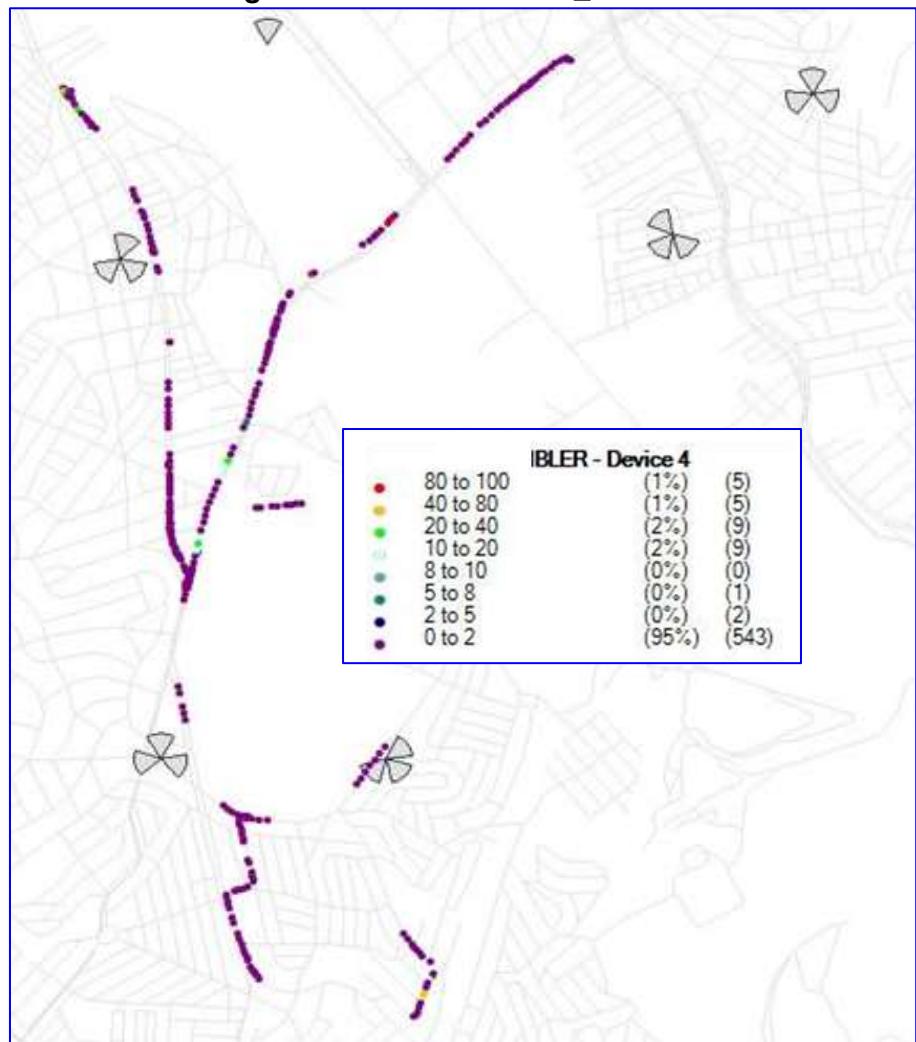
A figura 6.260 abaixo exemplifica um rastreamento do tipo *Data-Eclo_Device 4* em que se constatou uma faixa de valores de -13dB a 0dB com 93% do percurso, totalizando 1394 pontos de medição identificados na trajetória em verde e se constatou uma outra faixa de medição de -15dB a -13dB em 6% do percurso somando-se 94 pontos de medição apresentados em amarelo.

Figura 5.260 – Data – Eclo_Device 4



A figura 5.261 abaixo reporta o rastreamento da taxa de erros por blocos transmitidos com o intuito de medir o desempenho do receptor móvel. O Data-BLER é a relação do número de blocos errados transmitidos dividido pelo número total de blocos recebidos, sendo que em condição normal apresenta um erro de 2% de BLER. A figura a seguir mostra uma faixa de 80 a 100 blocos transmitidos com um BLER de 1% em vermelho com 5 pontos de medição e de 0 a 2 blocos com um BLER de 95%, totalizando 543 pontos de medição.

Figura 5.261 – Data-BLER_Device 4



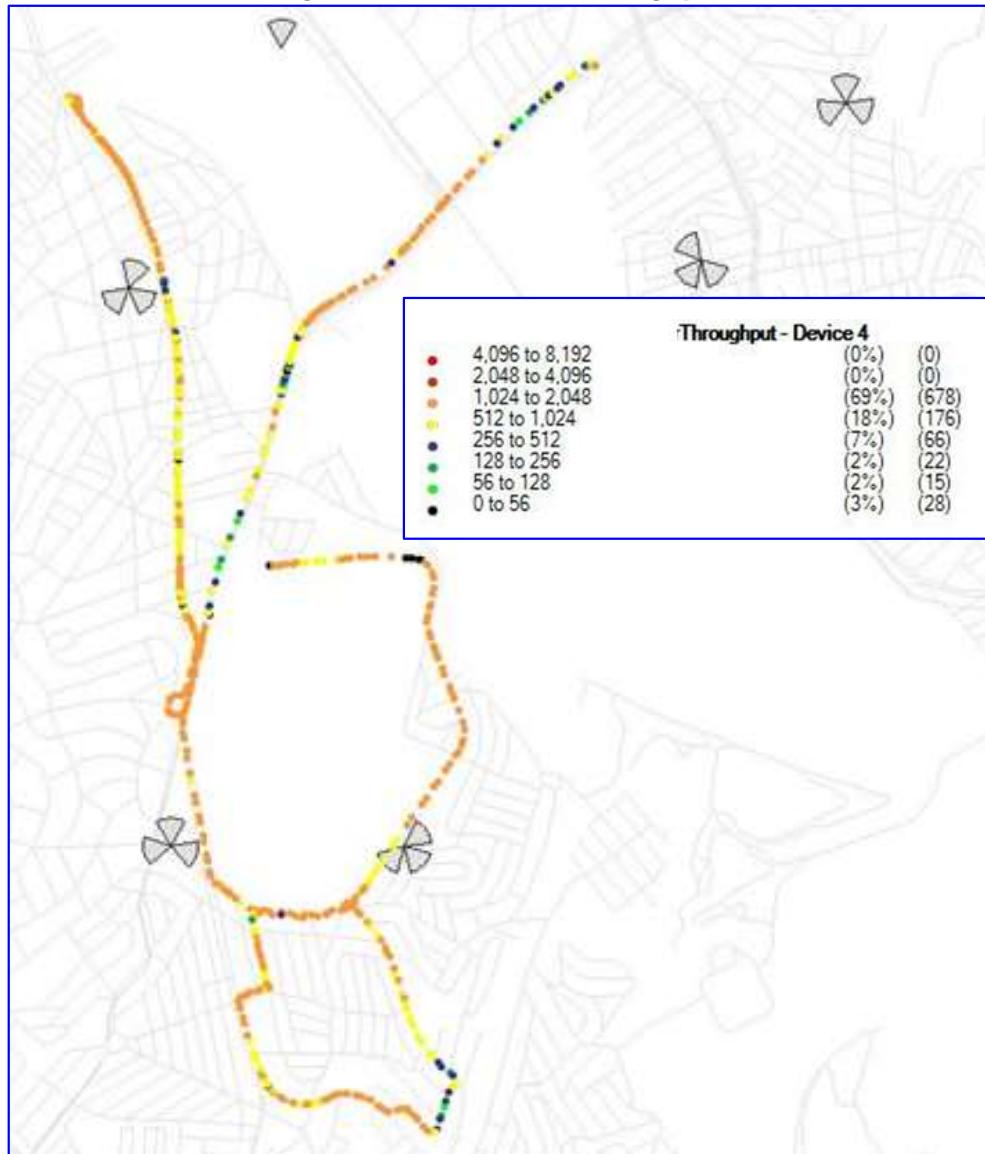
A figura 5.262 a seguir exemplifica o rastreamento de *Data Events* em que se constatou um bloqueio de chamada no sistema UMTS e não se verificou queda de chamada no mesmo.

Figura 5.262 – Data-Events



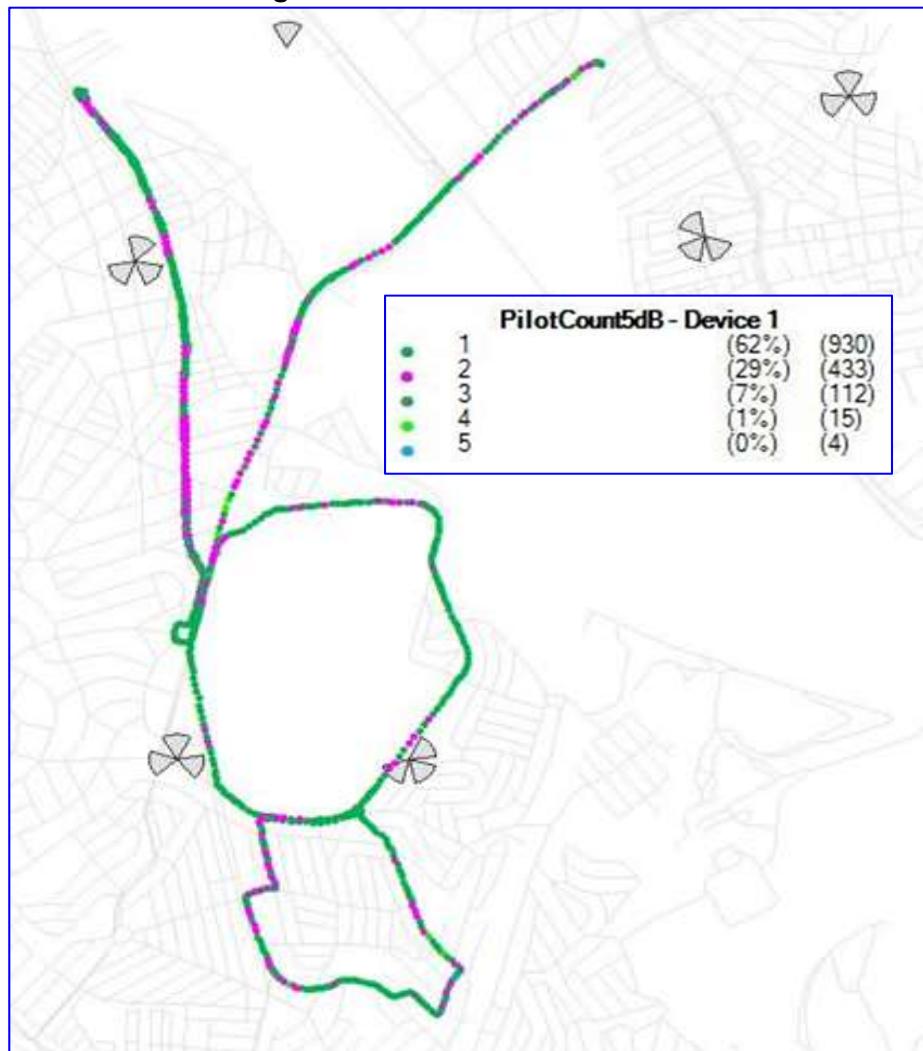
A figura 5.263 a seguir exemplifica o rastreamento no percurso. No quesito taxa de transferência de dados no sistema móvel (*Throughput*), foi obtida uma melhor taxa de transferência de 1024 kbps a 2048 kbps com 69% da trajetória, totalizando 678 pontos de medição e foi constatada uma faixa menor na investigação variando de 56 kbps a 128 kbps com 2% da trajetória, totalizando 15 pontos de medição apresentados em verde.

Figura 5.263 – Data_Throughput



O canal piloto é responsável pela continuidade do sinal de rádio. Certifica a sua cobertura nos serviços móveis, como mostra a figura 5.264 a seguir em que se reporta o rastreamento do Piloto_Device 1. Constatou-se sua presença em 62% do percurso nos 930 pontos de medição em verde e detectou-se sua ausência com 4 pontos de medição identificados em azul.

Figura 5.264 – Piloto – Device 1



No próximo item apresentam-se os resultados de medições e cálculos sobre campo elétrico e magnético permissíveis à saúde a que estão expostos o público geral e ocupacional. Os resultados apurados são comparados com os valores permissíveis da ICNIRP e CENELEC.

5.3 - Campo Elétrico e Magnético Permissíveis à Saúde

Composta de um campo elétrico e um magnético, que oscilam perpendicularmente um ao outro e em direção à propagação de energia, a radiação eletromagnética são ondas que se propagam pelo espaço livre. Estas radiações abrangem a radiação ultravioleta, luz visível, infravermelho, microondas, radiofrequências.

A radiação é um fenômeno natural dos corpos e pode ocorrer de várias formas. Dependendo da sua intensidade de energia, uma radiação pode ser classificada como ionizante ou não ionizante. As radiações ionizantes possuem energia suficiente para ionizar átomos e moléculas, capazes de alterar o estado físico de um átomo e causar a perda de elétrons, tornando-os eletricamente carregados. Contrariamente, as radiações não ionizantes são aquelas que não produzem ionizações, ou seja, não possuem energia suficiente para arrancar elétrons dos átomos do meio por onde está se deslocando, mas têm o poder de quebrar moléculas e ligações químicas. As radiações não ionizantes fazem parte das ondas de rádio geradas artificialmente pelo ser humano, entre as quais se destacam aquelas geradas pelo telefone móvel. Nos anos 90 em que reinava o sistema analógico operava-se em faixa de microondas com 800MHz e com o sistema digital introduzido pelo GSM com 1,8 a 1,9 GHz, passando pelo 3G com 2,4 GHz e, em seguida, pela 4^a.G com LTE, em com a banda mais moderna – Viamax, em torno de 3,5 GHz⁸, opera-se em 700 MHz.

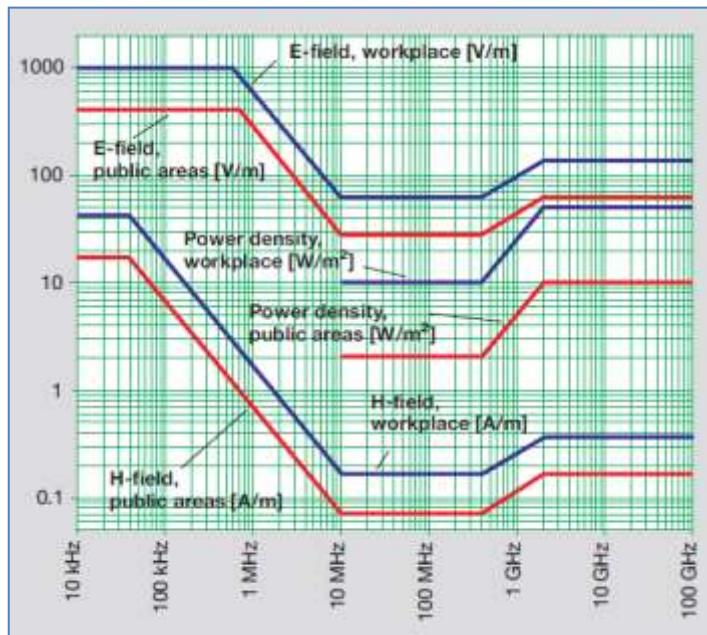
Em geral, os estudos sobre problemas de saúde relacionados à radiação não ionizante se restringem ao domínio teórico e trabalham com fortes hipóteses de que as microondas podem ter incidência em queimaduras, além de causar danos ao sistema reprodutor e acometer doenças cancerígenas, como mostram os estudos de níveis de radiações de radiofrequência emitidas por antenas de estações Rádio-Base realizados por Figueiredo *et alii* (2008). Há também estudos sobre danos causados por radiações emitidas por celulares, radiofrequências, e até da rede de distribuição de 60Hz, como é o caso de “Considerações sobre Efeitos a Saúde Humana da Irradiação Emitida por Antenas de Estação Radio Base de Sistemas Celulares”, realizado por Maurício Dias e Gláudio Siqueira (2008). Todavia, os resultados das pesquisas ainda estão restritos ao campo teórico.

A definição de valores-limite juridicamente vinculativos para radiação eletromagnética especificada no projeto CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*) se baseia na realização de dois tipos de medições: para *workplace* (profissional que trabalha na instalação e manutenção de sistemas irradiantes e têm conhecimento das consequências às exposições de radiação não

⁸ Já estão em uso sistemas de satélite banda C em 6 GHz e banda KU 14 GHz, operados por empresas especiais, como rastreamento de caminhões e comunicações via satélite.

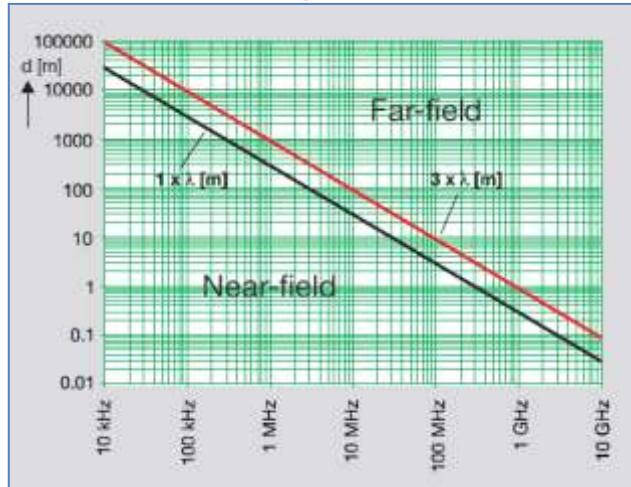
ionizante) e para as áreas públicas (população em geral que é submetida à radiação não ionizante e desconhece as efeitos de exposição de campos eletromagnéticos). Observa-se que o campo elétrico e magnético cai drasticamente e depois sobe gradativamente com o aumento da frequência, como mostra o gráfico 5.10 a seguir. Observe que a posição vertical exibe uma faixa de 0,1 a 1000 condizente a E (V/m), H (A/m) e S (W/m²) e a posição horizontal apresenta uma variação de frequência de 10 kHz a 100 GHz.

Grafico 5.10 – Valores Permissíveis CENELEC



Os campos eletromagnéticos podem ser divididos em dois componentes: campo elétrico E [V/m] e campo magnético H [A/m]. O “E” e “H” são fortemente interdependentes para o campo distante, ou seja, mais do que em qualquer lugar a certa distância da fonte. Se, por exemplo, o “H” é medido nesta região, a magnitude do “E”, a densidade de potência S [W/m] pode ser calculada a partir dele. Em contraste, o “H” e o “E” devem ser medidos separadamente na região de campo próximo, conforme mostra a grafico 5.11 a seguir.

Grafico 5.11 – Campo Próximo e Distante



Neste trabalho foi realizado um *survey* em uma estação radio base com foco nas medições e cálculos de campo elétrico e magnético. Foi utilizado o medidor de intensidade de campo, com o propósito de certificar se os valores apurados se achavam dentro das recomendações permissíveis da ICNIRP. Adotou-se o raio de 30 metros de distância do ponto de medição ao pé da torre, tomando-se como pressuposto que neste raio encontra-se o público em geral passível à radiação não ionizante.

Os próximos itens trazem a descrição da metodologia utilizada para a obtenção dos cálculos e os resultados das medições.

5.3.1 – Local da medição do *survey*

Embora Barueri, Cubatão e Santana do Parnaiba apresentem vários *sites*, a realização de medições nessas cidades foi inviabilizada devido à alta concentração de casas, estabelecimentos comerciais e prédios próximos à torre. Além disso, corria-se o risco de medir campo elétrico e magnético de estações de *broadcast*, como, por exemplo, estações de radio (AM e FM) e televisão aberta nas faixas de VHF e UHF. Por esses motivos, as medições foram concentradas na cidade de Araçariguama, que não apresentava o inconveniente da forte concentração de casas e edifícios observadas nas outras cidades.

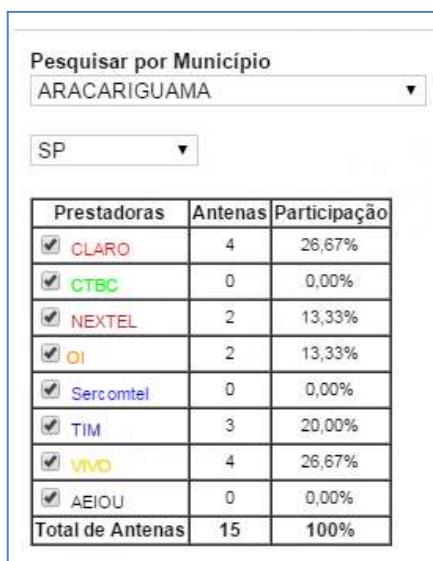
Os dados cadastrais da estação radio base de Araçariguama foram levantados através do portal da Anatel, com o propósito de colher especificações da localidade que pudessem auxiliar no desenvolvimento de cálculos e medições em campo. A tabela 5.40 a seguir lista os dados cadastrais da estação radio base.

Tabela 5.40 – Dados Cadastrais

| Dados do Site | | |
|--|-----------------|---------------------|
| Operadora | Cidade | Estado |
| Claro | Araçariguama | SP |
| | Endereço | |
| Rodovia | Km | Bairro |
| Presidente Castelo Branco | 50 | São Roque |
| | Cadastro | |
| n.o da Estação | n.o do cadastro | Nome |
| 534764266 | 07/07/2000 | SMARE2 |
| 1.o Licença | Ultima Licença | Entidade |
| 10/10/2000 | 19/05/2014 | 3975517 |
| | Serviço | Sistema Irradiante |
| 175 STFC/Radio Telefonico – Estação Terrestre. | | 6 antenas setoriais |
| | Torre | |
| Tipo | Altura | Peso |
| Auto portante tubular / triangular | 100 m | 31.956 kg |
| | Coordenadas | |
| Latitude | | Longitude |
| 23S261691 | | 47W043828 |

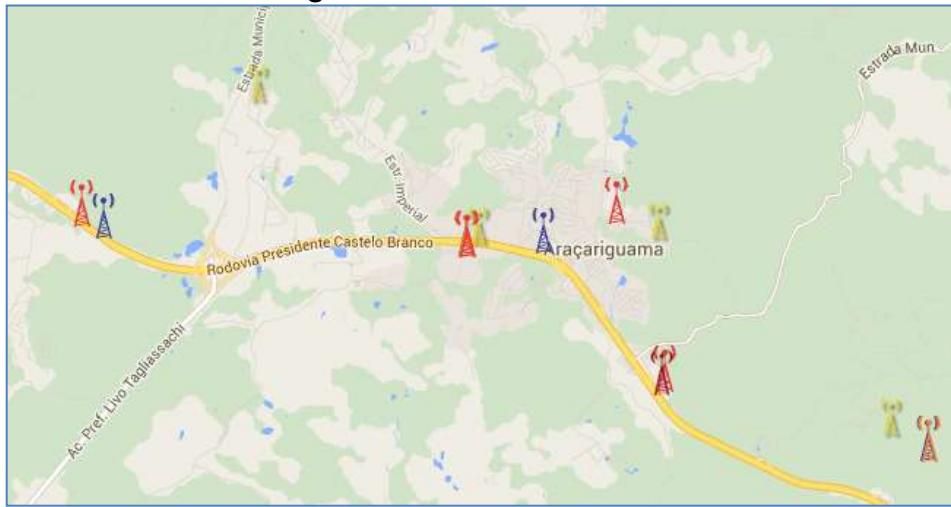
O município de Araçariguama apresenta um total de 15 sites compartilhados como mostra a tabela a seguir 5.265 cujos dados foram extraídos do site da telebrasil (www.telebrasil.org.br).

Figura 5.265 – Sites de Araçariguama



A figura 5.266 a seguir mostra a localização dos sites em Araçariguama em torno da Rodovia Presidente Castelo Branco km 50, conforme o banco de dados de ERB.

Figura 5.266 – Site Rodovia



A figura 5.267 a seguir mostra o cadastro do site que traz especificações várias, tais como: operadora, endereço, bairro, município e coordenadas para o estudo em pauta.

Figura 5.267 – Cadastro do Site



Como o conjunto medidor e sonda efetua as medições em banda larga, fazendo a somatória de todos os campos elétricos e magnéticos dentro da faixa compreendida entre 100 kHz e 3 GHz, optou-se por uma estação radio base próxima à rodovia com vistas a reduzir o número de obstáculos, seja na visada direta ou nas laterais, para a realização das medições, evitando, assim, interferências de outros campos elétricos e magnéticos.

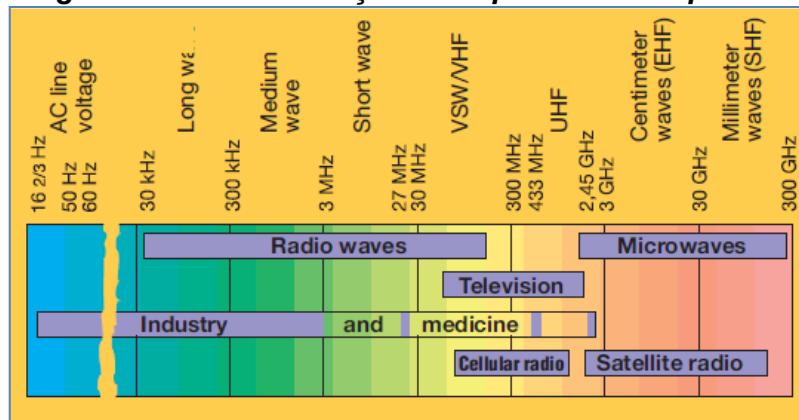
A figura 5.268 a seguir mostra a localização da ERB escolhida para a coleta de medições em campo.

Figura 5.268 – Site survey



As frequências em torno de 30 kHz iniciam-se com a operação do sistema ferroviário (16 Hz), com a corrente alternada doméstica (50/60Hz) e encerram-se com as ondas de radio e aplicações industriais. As frequências médias abrangem uma faixa de 300 kHz a 3 MHz que oferecem serviços de uso de radiodifusão e aplicações na área industrial. Adicionam-se frequências que excedem a 3 MHz prestadoras de serviços de radio difusão, televisão, medicina, sistemas celulares e sistema de satélite. A figura 5.269 a seguir mostra aplicações típicas de radiação não ionizante através do espectro de frequências, dividido em áreas de uso limitando-se às faixas de 16Hz a 300 GHz.

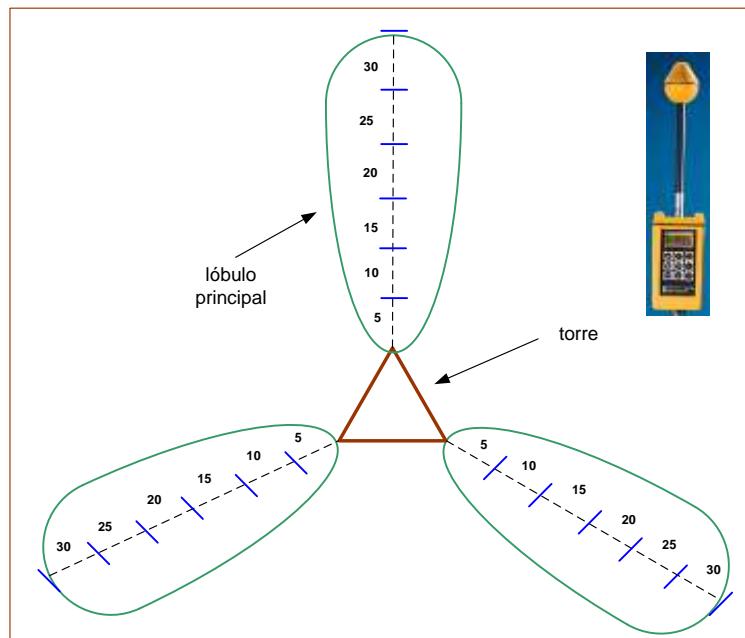
Figura 5.269 – Distribuição do Espectro de Frequência



5.3.1.1 – Pontos de Medição

Foram realizadas medições nos três setores da ERB. Procurou-se captar a maior intensidade de sinal posicionando o conjunto medidor e antena em direção ao lóbulo principal da antena. Como, no espaço livre, a perda dos sinais de radio é diretamente proporcional à distância da torre, tem-se que quanto mais próximo da torre maior é a intensidade do sinal. Por esse motivo, foi escolhido um raio de captação do sinal de RF em torno de 30 metros de distância do medidor em relação ao pé da torre, com passos de 5 em 5 metros. Ressalte-se que as residências, de um modo geral, localizam-se muito próximas ao raio de estudo em questão. A figura 5.270 a seguir exemplifica o esquema de medição envolvendo os três setores do sistema irradiante:

Figura 5.270 – Pontos de Medição



5.3.2 – Instrumentos de medições

As medições foram realizadas por meio dos seguintes instrumentos:

- EM Radiation Meter EMR 300 Wander Golderman
- Sonda Isotrópica: RS-1045 Type 83 – Narda 3 GHz
- Trena Eletrônica de 80 metros / Fluke 419D

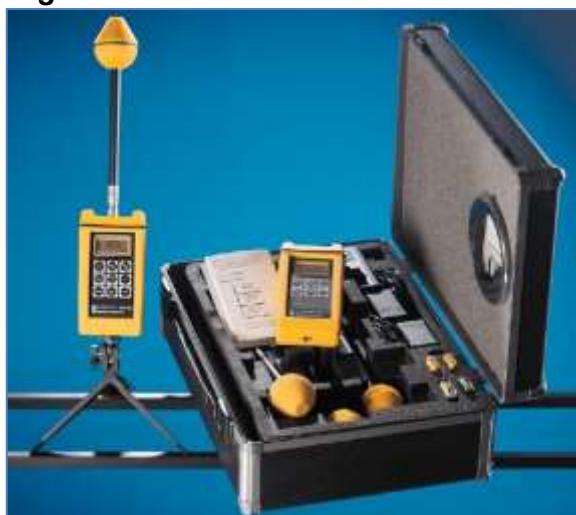
5.3.2.1 – EMR-300 – Medição de Campo Eletromagnético Isotrópico

A escolha do EMR 300 da Wander Golderman para a medição do campo elétrico e magnético de estações foi determinada por diferentes fatores. Trata-se de

um instrumento com vasta gama de acessórios cujas sondas são intercambiáveis, permitindo melhor correspondência para aplicação e faixa de frequência. Apresenta ainda as seguintes características: por ser não direcional (isotrópico), permite a medição com sonda de três canais; disponibiliza faixa dinâmica alta devido a três canais digitais para resultado de processamento de sinais e interface óptica para transferência de dados de calibração e de extração de resultados. Além disso, tem excelente precisão de medição com zeramento automático mesmo durante a exposição a campos, o seu manuseio é fácil, tem proteção contra queda, poeira e é resistente à água.

A figura 5.271 a seguir mostra o instrumento, constituído de medidor e sonda isotrópica.

Figura 5.271 – Instrumento e Acessórios



5.3.2.2 – Sonda Isotrópica

A tabela 5.41 a seguir lista as características da sonda isotrópica EF-0391 no que se refere à faixa de frequência, linearidade, sensibilidade, pico de densidade de potência, resposta a temperatura, umidade.

Tabela 5.41– Características Elétricas da Sonda Isotrópica

| Electric and Magnetic Field Measurement | | | | | |
|---|--------------------|------------------------------|-------------------|---|--|
| NBM Series Probes | | | | | |
| Specifications | | | | | |
| Probe Model No. | Probe Ordering No. | Frequency Range ^a | Measurement Range | Linearity | Frequency Sensitivity ^{c,d} |
| Probe EF 0391, E-Field, Flat | 2402/01B | 100 kHz to 3 GHz | 0.2 to 320 V/m | ±0.5 dB (1.2 to 200 V/m) ±0.7dB (200 to 320 V/m) | ±0.5 dB (100 kHz to 100 MHz) ±1.4 dB (100 MHz to 3 GHz) |

| Electric and Magnetic Field Measurement | | | | | | |
|--|-------------------------|----------------------------|---|--|----------------------|------------------|
| NBM Series Probes | | | | | | |
| Specifications | | | | | | |
| Isotropic Response ^e | CW Overload | Peak Overload ^b | Calibration Frequencies | Thermal Response | Humidity | Weight |
| ±1 dB for f > 1 MHz | 170 mW/cm ² | 17 W/cm ² | 0.1, 0.2, 0.3, 1.0, 3.0, 10, 27.12, 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 1800, 2450, 2700, 3000 MHz | +0.2 / -1 dB | 5 to 95% RH @ ≤ 25°C | 3.2 oz., 90 gms. |
| ±1 dB | 1000 mW/cm ² | 100 W/cm ² | 0.1, 0.2, 0.3, 1.0, 3.0, 10, 27.12, 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 1800, 2450, 2700, 3000 MHz | +0.2 / -1.5 dB (±0.025 dB/K @ 10 to 50°C) | 5 to 95% RH @ ≤ 25°C | 3.2 oz., 90 gms. |
| ±1 dB | 265 mW/cm ² | 26 W/cm ² | 0.1, 0.2, 0.3, 1.0, 3.0, 10, 27.12, 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 1800, 2450, 2700, 3000, 4000, 5000, 6000 MHz | +0.2 / -1 dB | 5 to 95% RH @ ≤ 25°C | 3.2 oz., 90 gms. |
| ±1.5 dB (10 MHz to 8 GHz) ±2.0 dB (f > 8 GHz) | 700 mW/cm ² | 70 W/cm ² | 3, 10, 27, 100, 200, 300, 500, 750 MHz 1.0, 1.8, 2.45, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.2, 9.3, 10, 11, 18 GHz | +0.2 / -1.5 dB (±0.025 dB/K @ 10 to 50°C) | 5 to 95% RH @ ≤ 28°C | 3.2 oz., 90 gms. |



A tabela 5.42 a seguir detalha as aplicações da sonda EF-0391 mostrando que suas especificações são mais condizentes com o uso parcial, na faixa de frequência de 100 kHz a 3 GHz. Observa-se através da tabela que a sonda se adapta melhor a medições realizadas nas áreas de telefonia móvel, industrial e em áreas de exposição do público em geral.

Tabela 5.42 – Área de Atuação da Sonda

| Frequency Range | 100 kHz - 3 GHz | |
|--------------------------------------|-----------------|----------------|
| Type of Field | E | E |
| Probe Model* | EF 0391 | EF 0392 |
| Mobile/ Telecommunication | ♦ | |
| Broadcasting | ❖ | ♦ |
| Satellite Communication | | |
| Radar Signals | | |
| Industry Heating and Hardening | ♦ | |
| Industry Plastic Welding | ❖ | ♦ |
| Industry Semiconductor Production | ♦ | |
| Medicine Diathermy / Hyperthermia | ❖ | ♦ |
| Leak Detection | | |
| General Public Exposure Levels | ♦ | |
| Occupational Exposure Levels | | ♦ |

5.3.2.3 – Trena Eletrônica

No survey, foi usada a trena Fluke 419D/ Meters que é um medidor de distância a laser de classe profissional que inclui área e volume. Este aparelho, que não requer manutenção e calibração, desde que respeitada as suas condições de operação e funcionamento, opera com ondas de luz e mede seu reflexo.

A tabela 5.43 a seguir exibe uma lista de recursos da trena.

Tabela 5.43 – Recursos do Trena

| Laser Distance Meter - Função | | | |
|--------------------------------------|------|------------------------|-----|
| Linha do visor | 3 | Temporizador | ok |
| Memória | 20 | Bloqueio de teclado | ok |
| Adição/subtração | ok | Medição de tripé | ok |
| Área | ok | Bússola | --- |
| Volume | ok | Área triangular | --- |
| Medição continua | ok | Inclinação | --- |
| Cálculo de Pitágoras | full | Rastreamento de altura | --- |
| Demarcação | ok | Ângulo de canto | --- |
| Extremidade Multifuncionais | ok | Alça manual | ok |
| Sinalizador Sonoro | ok | Iluminação do visor | ok |

A figura 5.272 a seguir mostra a foto do instrumento, uma tabela-resumo 5.44 e 5.45 indicando as funções do teclado e uma figura 5.273 autoexplicativa do display.

Figura 5.272 – Trena Laser



Tabela 5.44 – Funções do Teclado

| Funções do Teclado | |
|------------------------------------|--|
| 1 – Medir / Ligar | 7 – Área / Volume / Medição indireta (Pitágoras) |
| 2 – Mais (+) / Menos (-) | 8 – Medição indireta (Pitagoras e Demarcação) |
| 3 – Mais (+) / Subir | 9 – Área / Volume |
| 4 – Menos (-) / Descer | 10 – Memória |
| 5 – Limpar / Desligar | 11 – Temporizador |
| 6 – Referências / Alterar unidades | |

Figura 5.273 – Apresentação do Display

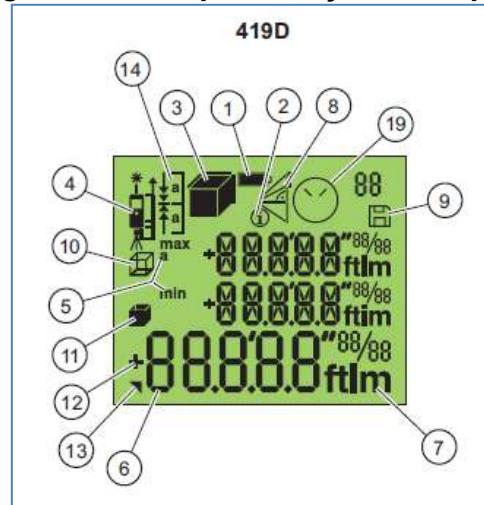


Tabela 5.45 – Indicações do Visor

| Indicações do Visor | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1-Estado das pilhas | 8- Pitágoras |
| 2-Informações | 9- Memória |
| 3- Área / Volume | 10- Circunferência |
| 4 – Referencia da medição | 11- Área da parede |
| 5- Medição min/máx | 12- Adição/Subtração |
| 6- Leitura de medição | 13- Resultado disponível |
| 7- Unidade de medida | 14- Demarcação |

OBS. "19" este modelo não contem timer e bússola

A tabela 5.46 a seguir aborda as características elétricas do aparelho.

Tabela 5.46 – Laser Geral

| Laser Distance Meter - Geral | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Classe de Laser | 2 |
| Tipo de Laser | 650 nm, < mW |
| Classe de Proteção | IP 54 |
| Laser Automático Desligado | 90 segundos |
| Desligamento Automático | 180 segundos |
| Duração da Bateria (2 x AAA) | Até 5000 medições |
| Peso (com bateria) | 158 gramas |
| Ciclo de Calibração | Não Aplicável |
| Altitude Máxima | 3500 metros |

5.3.3 – Resultados de medições de campo elétrico e magnético

Foram realizadas **1500** medições com intervalos de tempo de 2 em 2 segundos: das quais **992** dizem respeito a pontos de campo elétrico e **508** a pontos de campo magnético, assim distribuídos:

- **992** pontos de campo elétrico E (V/m).

$992 : 3 = 330$ pontos por setor.

$330 : 6 = 55$ pontos das distâncias (5 /10 /15 /20 /25 / 30 metros).

- **508** pontos de campo magnético H (A/m).

$508 : 3 = 169$ pontos por setor.

$169 : 6 = 28$ pontos das distâncias (5/10/15/20/25/30 metros).

As tabelas 5.47 a seguir mostram as medições de campo elétrico e magnético nos setores (A/B/C) em um sistema irradiante em pauta, em que se vislumbram os valores mínimo, máximo e médio.

Tabela 5.47 - Valores de Campo Elétrico

| Distância (m) | Campo Elétrico - E (V/m) | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|
| | Sistema Irradiante - Setor | | | | | | | | |
| | A | | | B | | | C | | |
| | Mínimo | Máximo | Médio | Mínimo | Máximo | Médio | Mínimo | Máximo | Médio |
| 5 | 1,19 | 1,35 | 1,27 | 0,1 | 0,37 | 0,23 | 0,10 | 0,31 | 0,20 |
| 10 | 0,29 | 1,32 | 0,80 | 0,1 | 0,29 | 0,19 | 0,10 | 0,60 | 0,35 |
| 15 | 0,31 | 0,55 | 0,43 | 0,1 | 0,56 | 0,33 | 0,20 | 0,28 | 0,24 |
| 20 | 0,29 | 0,69 | 0,49 | 0,1 | 0,33 | 0,21 | 0,20 | 0,46 | 0,33 |
| 25 | 0,1 | 0,69 | 0,39 | 0,1 | 0,56 | 0,33 | 0,10 | 0,40 | 0,25 |
| 30 | 0,1 | 0,39 | 0,24 | 0,1 | 0,31 | 0,20 | 0,20 | 0,46 | 0,33 |

Tabela 5.48 – Medição de Campo Magnético

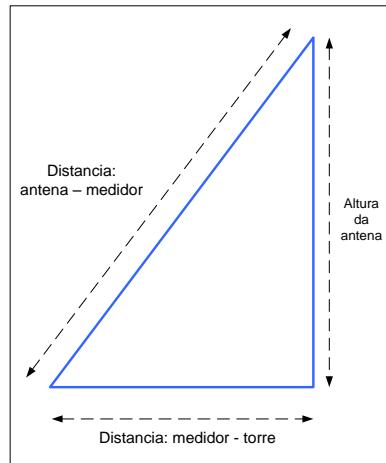
| Distância (m) | Campo Magnético - H (A/m) | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | Sistema irradiante - Setor | | | | | | | | | |
| | A | | | B | | | C | | | |
| | Mínimo | Máximo | Médio | Mínimo | Máximo | Médio | Mínimo | Máximo | Médio | |
| 5 | 0,0003 | 0,0008 | 0,0006 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0012 | 0,0008 | |
| 10 | 0,0003 | 0,0011 | 0,0007 | 0,0003 | 0,0012 | 0,0007 | 0,0003 | 0,0012 | 0,0008 | |
| 15 | 0,0003 | 0,0007 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0052 | 0,0028 | 0,0003 | 0,0006 | 0,0004 | |
| 20 | 0,0003 | 0,0008 | 0,0006 | 0,0004 | 0,0011 | 0,0007 | 0,0003 | 0,0010 | 0,0007 | |
| 25 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0011 | 0,0007 | 0,0003 | 0,0010 | 0,0007 | |
| 30 | 0,0005 | 0,0011 | 0,0008 | 0,0003 | 0,0008 | 0,0006 | 0,0004 | 0,0007 | 0,0006 | |

Como mostram os dados acima, os campos elétrico e magnético sofrem atenuação em função da distância no que concerne à perda no espaço livre, entretanto os valores apurados, submetidos constantemente a variação do tráfego telefônico, sofrem alterações. Além do mais, as distribuições dos canais nos setores não são iguais, o que equivale a dizer que os mesmos são liberados em função do levantamento estatístico referente ao tráfego médio por terminal presente no horário de maior movimento. Ressalte-se que o medidor efetua as medições em banda larga e, sendo assim, realiza a somatória de todos os campos elétricos e magnéticos pertinentes à faixa de frequência em operação (100 kHz a 3 GHZ) utilizada pela sonda isotrópica.

5.3.3.1 – Perda no Espaço Livre

Os valores de perda no espaço livre são de estrema importância para os cálculos que envolvem a prospecção de potência e tensão. Sendo assim, foram envolvidas na pesquisa as frequências 800, 2000 e 2100 MHz com distância de 5 a 30 metros entre o medidor e a torre. Como as antenas estão instaladas a uma altura de 90 metros, foi calculada a hipotenusa entre antena e medidor, aproximando-se das reais distâncias conforme mostra o figura 5.274 a seguir.

Figura 5.274 – Distância entre Antena e Medidor

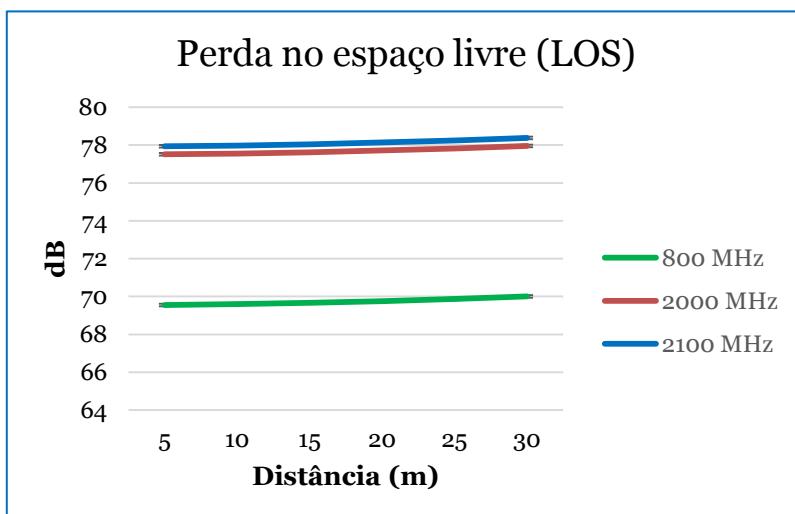


No meio de propagação ideal livre de fontes de interferências com visada direta no percurso, constatou-se que a perda no espaço livre é mínima em cada frequência, girando em torno de 1 dB, como mostram os dados da tabela 5.49 abaixo, seguida de gráfico 5.12

Tabela 5.49 – Perda no Espaço Livre

| | | Perda no espaço livre - LOS (dB) | | |
|----------------|---------|----------------------------------|------------|------------|
| Distâncias (m) | | LOS (dB) | | |
| Torre | Antena | 800 (MHz) | 2000 (MHz) | 2100 (MHz) |
| 5 | 90,1388 | 69,5467 | 77,5188 | 77,9426 |
| 10 | 90,5539 | 69,5999 | 77,5587 | 77,9825 |
| 15 | 91,2414 | 69,6656 | 77,6244 | 78,0482 |
| 20 | 92,1954 | 69,7560 | 77,7148 | 78,1386 |
| 25 | 93,4077 | 69,8695 | 77,8283 | 78,2521 |
| 30 | 94,8683 | 70,0040 | 77,9630 | 78,3868 |

Gráfico 5.12 – Perda no Espaço Livre



5.3.3.2 – Cálculos de Distância da ERB

Seguindo o modelo de medições adotado pela CENELIC, que distingue o *workplace* das áreas públicas em geral, o *survey* realizado mediu as taxas de exposição nesses dois ambientes. Os cálculos de distância da ERB mostraram diferença significativa nos valores de radiação eletromagnética a que estão sujeitos o público em geral e o ocupacional, como mostram as tabelas 5.50 a seguir que disponibilizam os cálculos envolvidos em torno da distância mínima referente à exposição ocupacional e do público em geral pertinente à ERP e à frequência.

Tabela 5.50 – Distância Ocupacional

| ERP (W) | Distância – Exposição ocupacional | | |
|---------|-----------------------------------|----------|----------|
| | 850 MHz | 1900 MHz | 2100 MHz |
| 50 | 112,20 | 165,15 | 173,41 |
| 60 | 112,82 | 165,57 | 173,81 |
| 70 | 113,43 | 165,99 | 174,22 |
| 80 | 114,05 | 166,41 | 174,62 |
| 90 | 114,66 | 166,83 | 175,02 |
| 100 | 115,27 | 167,25 | 175,42 |
| 200 | 121,27 | 171,38 | 179,36 |
| 300 | 126,82 | 175,42 | 183,22 |
| 400 | 132,22 | 179,36 | 187,00 |
| 500 | 137,41 | 183,22 | 190,70 |
| 600 | 142,41 | 187,00 | 194,33 |
| 700 | 147,24 | 190,70 | 197,90 |
| 800 | 151,91 | 194,33 | 201,40 |
| 900 | 156,45 | 197,90 | 204,84 |
| 1000 | 160,86 | 201,40 | 208,23 |
| 2000 | 199,66 | 233,56 | 239,47 |

Tabela 5.51 - Distância ao Público Geral

| ERP (W) | Distância – Exposição público geral | | |
|---------|-------------------------------------|----------|----------|
| | 850 MHz | 1900 MHz | 2100 MHz |
| 50 | 244,80 | 360,33 | 378,36 |
| 60 | 246,15 | 361,25 | 379,24 |
| 70 | 247,50 | 362,17 | 380,11 |
| 80 | 248,84 | 363,09 | 380,99 |
| 90 | 250,18 | 364,01 | 381,86 |
| 100 | 251,50 | 364,92 | 382,73 |
| 200 | 264,41 | 373,93 | 391,33 |
| 300 | 276,71 | 382,73 | 399,75 |
| 400 | 283,49 | 391,33 | 408,00 |
| 500 | 299,81 | 399,75 | 416,08 |
| 600 | 310,72 | 408,00 | 424,00 |
| 700 | 321,25 | 416,08 | 431,78 |
| 800 | 331,46 | 424,00 | 439,42 |
| 900 | 341,35 | 431,78 | 446,94 |
| 1000 | 350,97 | 439,42 | 454,32 |
| 2000 | 435,62 | 509,59 | 522,49 |

Os resultados apurados nas tabelas acima apontam que a distância de segurança recomendada ao público em geral dobrou em relação à da exposição ocupacional no que se refere aos campos eletromagnéticos. Constatou-se que o gráfico pertinente à perda no espaço livre apresenta uma variação desprezível em comparação às frequências de 800 e 900 MHz, entretanto as duas frequências equidistam de 8 dB no estudo de 2000 MHz.

Para tornar o estudo mais abrangente, foram realizados os cálculos de campo elétrico e magnético em função da densidade de fluxo magnético e da densidade de potência no espectro de 800, 2000, 2100, levando-se em conta os segmentos ocupacionais e públicos em geral. O resultado mostrou aumento de exposição no concerne a E, H, B, S, em função da variação da frequência, como mostram as tabelas 5.52 e 5.5.3 abaixo:

Tabela 5.52– Exposição Ocupacional

| Exposição ocupacional | | | | |
|-----------------------|---------|---------|--------------|---------------|
| Frequência (MHz) | E (V/m) | H (A/m) | B (μ T) | S (W/m 2) |
| 800 | 84,85 | 0,2268 | 0,2828 | 20,00 |
| 2000 | 134,85 | 0,3578 | 0,4472 | 50,00 |
| 2100 | 137,47 | 0,3666 | 0,4583 | 52,50 |

Tabela 5.53– Exposição Público em Geral

| Exposição público geral | | | | |
|-------------------------|---------|---------|--------------|---------------|
| Frequência (MHz) | E (V/m) | H (A/m) | B (μ T) | S (W/m 2) |
| 800 | 38,8 | 0,1047 | 0,130 | 4 |
| 2000 | 61,49 | 0,1655 | 0,2057 | 10 |
| 2100 | 63,01 | 0,1696 | 0,2108 | 10,5 |

5.3.4 – Comparando os resultados do survey com os Valores Permissíveis

Com base nos valores permissíveis para campo elétrico e magnético recomendados pela ICNIRP e adotados pela CENELEC, no que se refere à exposição da radiação eletromagnética do público ocupacional e do público em geral, o survey realizado trouxe resultados surpreendentes.

As diretrizes da ICNIRP para a faixa de 800 MHz estabelecem valores de 50 V/m para campo elétrico e 0,1 A/m para campo magnético. As recomendações CENELEC nos serviços pertinentes à faixa de 800 MHz sugerem 30 V/m para campo elétrico e 0,1 A/m para campo magnético. Os valores apurados nas medições do survey contemplam 1,35 V/m para campo elétrico e 0,0052 A/m para campo

magnético, ou seja, os valores coletados estão muito abaixo dos valores permissíveis referenciados pela ICNIRP e pela CENELEC.

No que concerne à faixa de 2000 MHz, a ICNIRP recomenda o valor de 80 V/m para campo elétrico e 0,1 A/m para campo magnético. O padrão da CENELEC para atribuições do espectro de frequência em 2000 MHz especifica 50 V/m para campo elétrico e 0,18 A/m para campo magnético. Entretanto, os valores apresentados na medição deste *survey* atingiram o índice de 1,35 V/m para campo elétrico e 0,0052 A/m para campo magnético. Em suma, os valores coletados nas medições também se acham abaixo dos valores permissíveis referendados pela ICNIRP e pela CENELEC.

É necessário ressaltar que o instrumento de medição trabalha de modo não seletivo (banda larga), o que equivale a dizer que os resultados atingidos é a somatória dos campos elétricos e magnéticos, independentemente da frequência. Ressalte-se, porém, que a região escolhida é isenta de estações de *broadcast*.

5.4 – Considerações Finais

Neste capítulo, foram expostos os resultados de duas medições realizadas em diferentes locais (Alphaville e Interlagos) referentes aos testes de campo elétrico e magnético e ao teste de desempenho da rede.

A localidade escolhida para medições apresenta uma densidade urbana média com grandes concentrações de casas nos arredores do *site* que favoreciam o aparecimento de obstruções, reflexões e difrações no sentido direto e lateral do sinal de RF, multipercorso do sinal de radio, devido à topografia e área construída. O aparecimento de absorção do sinal de radio deve ser creditado à construção urbana local. Tomou-se o cuidado de evitar pontos quentes tais como estruturas metálicas que tendem a favorecer o aparecimento de leituras erradas através da degradação ou reforço dos sinais de radio. Através do croqui de acesso do site, conforme mostra a figura no início do capítulo, foram escolhidos cinco pontos de medição, mas devido à dificuldade de acesso ao local foram efetuados apenas dois pontos de medição: os pontos selecionados “P1” e “P2” que distam de 118 metros e 21 metros.

Tomando o cuidado de evitar interferência ou degradação nas medições de campo elétrico pela banda larga, atentou-se para a não existência nas redondezas do *site* de possíveis fontes interferentes tais como: torres de distribuição de energia

elétrica, torre de transmissão de rádio AM, FM, TV e subestações de energia elétricas e transformadores de energia elétrica instalados em postes de distribuição.

Com o intuito de calcular a média temporal e espacial da radiação não ionizante, foram tomados os valores instantâneos a cada 8 segundos, procurando variar a posição do medidor de cima para baixo visando a medir a radiação ao longo da altura de uma pessoa. Estas medidas são registradas na memória do instrumento durante um período de 6 minutos. Embora o instrumento ofereça condição de ser instalado em tripé, declinou-se o seu uso pois as condições locais não eram favoráveis. Não foi utilizado guarda-sol para proteção do instrumento porque apresentaria suportabilidade de temperatura no experimento e tempo reduzido no experimento.

Foram levantados os dados do site: Av. Martins Fontes esquina com Dom Pedro Primeiro, bairro Nova Cubatão, Cubatão – São Paulo ,latitude $23^{\circ} 53' 29.44'' S$, longitude $46^{\circ} 25' 20.78'' W$, três setores, oito transceptores por setor , faixa de frequência 700 MHz, altura da antena 40 metros, antena basestation HBXX6516DS-VM com o ganho de 17 dBi.

Foram realizadas as medições de campo elétrico no “Ponto 1” com as coordenadas: latitude $23^{\circ} 53' 33.19'' S$, longitude $46^{\circ} 25' 21.55'' W$ onde se constatou as intensidades, Valor Médio de 0,64 V/m, Valor Máximo de 0,77 V/m, Valor Mínimo 0,25 V/m.

O “Ponto 2” tinha as coordenadas: latitude $23^{\circ} 53' 29.98'' S$, longitude $46^{\circ} 25' 21.22'' W$ de que resultaram as intensidades, Valor Médio 0,30 V/m, Valor Máximo 0,55 V/m, Valor Mínimo 0,23 V/m.

Como não havia necessidade de realizar medições de Campo Magnético e Densidade de Potência, passou-se a utilizar os recursos dos cálculos na apuração dos resultados. Ressalte-se que a construção dos cálculos supera a expectativa de quantidade de cálculos até então não fornecidas através do instrumento de medição.

No que tange ao desempenho da rede, foram realizadas as medições de desempenho da rede móvel através de um Drive Teste utilizando-nos dos equipamentos: aparelhos celulares com respectivos *chips* de cada tecnologia empregados como receptor e antena, *laptop*, Scanner de multibanda, o qual, por sua vez, apresenta leituras de seis tecnologias: TD-LTE, FDD-LTE, UMTS (WCDMA / HSPA), GSM, CDMA.

O Scanner receptor Seegull MX da PCTEL apresenta alto desempenho no processamento de sinais, permitindo adquirir, processar e reportar dados de até oito bandas distintas de funcionamento de RF, medindo até três tecnologias simultaneamente.

As medições foram realizadas em duas localidades: Alphaville e Interlagos.

No caso de Alphaville, a coleta foi baseada nos seguintes parâmetros: CINR, PCI, RSRP, RSRQ, EARFCN. Já em Interlagos, a coleta foi baseada nos seguintes dados: Executive Summary; Long Call – RSCP; Long Call – EClo; Long Call - Events; Short Call – RSCP; Short Call – EClo; Short Call – Events; Scanner – RSCP; Scanner – EClo; Scanner – Pilot Pollution; Data – RSCP; Data – EClo, Data – Throughput; Data – BLER; Data – Events.

Foi realizada a aferição dos instrumentos, checou-se a validade de calibração do receptor Scanner e as condições de alimentação do mesmo através do inversor estático conectado na bateria do carro; o estado de funcionamento dos celulares, cabos e conectores específicos, e laptop com seus respectivos programas devidamente instalados e operando para tal fim. Para se obter confiabilidade e experiência nas medições utilizaram-se as mesmas recomendações de medição de campo elétrico.

Com as medições realizadas, foi possível apurar as potências dos canais de controle responsáveis pela supervisão das conexões, constataram-se os eventos de queda de chamada, as chamadas bloqueadas, a taxa de transferência de dados, a taxa de blocos errados transmitidos e as chamadas de curta e longa duração.

A divergência nos resultados apurados nos cálculos e medições deve ser debitada à falta de dados do site, ao sistema compartilhado das taxas de transmissão do site pelos usuários e ao efeito Doppler no processo de medição.

No quesito dos valores permissíveis, foi realizado um survey em Araçariguama para a medição do campo elétrico e magnético. A escolha dessa cidade recaiu no fato de não apresentar forte concentração de casa e edifícios o que poderia inviabilizar a coleta de dados devido ao risco de interferências dos campos de estações de broadcast. Para reduzir o número de obstáculos, escolheu-se uma estação radio base próxima à rodovia para a coleta de medições em campo.

Seguindo a metodologia usada pelo CENELEC, foram feitos dois tipos de medições, levando em conta a exposição de radiação não ionizante do público em

geral e do público ocupacional constantemente exposto à radiação, devido ao trabalho na instalação e manutenção de sistemas irradiantes.

Foram realizadas 1500 medições, em intervalo de 2 segundos, sendo que 992 cobriam o campo elétrico e 508 o campo magnético. O resultado mostrou que a distância do público em relação à rádio base é o dobro da exposição ocupacional, isto significa que o público está menos exposto à radiação. Entretanto, esta situação não é a mesma verificada nos grandes centros. É certo que a LF11934/2009 determina que as edificações devam manter distância de 30 metros da torre, entretanto não é difícil deparar com estações rádiobase sobre prédios de habitação!

A exposição ocupacional, por sua vez, é problemática devido à inexistência de equipamentos, como Equipamento de Proteção Individual, que atenuem os riscos de radiação não-ionizante. Apesar do conhecimento dos riscos, o operador do sistema está totalmente à mercê de campos elétrico-magnéticos. Entretanto, a exposição ocupacional não é de permanência contínua, devido à eventualidade da presença do operador do sistema na ERB para a instalação, testes de otimização e manutenção corretiva e preventiva.

Tomando por base os valores permissíveis para campo elétrico e magnético, o survey realizado mostrou que tanto para a faixa de 800 MHz quanto para a faixa de 2000 MHz, os valores apurados na medição são idênticos para as duas faixas (1,35 V/m para campo elétrico e 0,0052 A/m para campo magnético), pois a sonda usada abrange leituras de 100 kHz a 3 GHZ. Os valores apurados estão abaixo dos valores permissíveis referenciados pela ICNIRP e pela CENELEC.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

O sistema de rádio propagação e antenas requerem conhecimento denso e específico de eletromagnetismo que exige um conhecimento interdisciplinar, pois depende da manipulação de uma quantidade maciça de variáveis. Nesse sentido, os cálculos é um facilitador, pois é um sistema robusto que fornece recursos de cálculo, gráfico e especificações de produto, permitindo que se chegue a soluções rápidas e satisfatórias. Em outras palavras, trata-se de um sistema especialista baseado em regras que tenta obter-se o trabalho de especialistas humanos. É dentro dessa perspectiva que nesta pesquisa foi criado um sistema especializado com a integração de várias áreas do conhecimento (rádio propagação, sistemas irradiantes, transmissão, comutação e infraestrutura em estações rádio base), com o propósito de produzir e estimar campos eletromagnéticos gerados por estações rádio base na tecnologia CDMA e WCDMA.

Foram desenvolvidos sete modelos de cálculos. O primeiro modelo foi criado como uma ferramenta indispensável para o especialista em rádio propagação oferecendo-lhe os seguintes recursos: cálculos, gráficos, especificações de sistema irradiante, localização e infraestrutura do site.

Objetivando o fornecimento de resultados mais abrangentes e com um número maior de variáveis e, consequentemente, com maior aproximação dos valores reais desenvolveu-se um segundo cálculo com funções em rádio propagação calculando ambientes de propagação em áreas distintas através de cálculos de propagação via rádio em áreas do tipo urbanas e abertas, bem como em áreas que apresentam propagação em linha visada e não visada. Foram disponibilizados para os cálculos três faixas de frequência utilizadas no sistema móvel celular nacional. Apresentaram-se cálculos de reflexão e conversão de níveis.

O terceiro modelo foi desenvolvido dentro da tecnologia WCDMA, para complementar os cálculos da tecnologia CDMA não tratados nos cálculos anteriores. Com essa nova ferramenta, foi possível destacar o cálculo de tráfego telefônico, o portfólio de produtos específicos em sistemas irradiantes tais como, *splitters*, *triplexers*, *diplexers*, híbridas, TMA e combinadores, antenas MIMO, cujas

especificações podem ser acessadas pelos cálculos. Para fins de praticidade, criou-se um site na WEB de modo a facilitar o acesso por diferentes usuários, ainda que estejam em localidades remotas.

Foram realizados os testes de medições de campo elétrico através do NBM-550 - Narda Broadband Field Meter e “Sonda Isotrópica – EF 0391 - 100 kHz a 3 GHz, instrumento apropriado para medições de campo elétrico, por seguir fielmente as recomendações da ICNIRP para fins de laudo radiométrico. Com esse instrumento, que calcula a média temporal e espacial da radiação não ionizante, pode-se obter os valores instantâneos, os quais foram tomados a cada 8 segundos e registrados na memória do instrumento durante um período de 6 minutos. Os cálculos foram feitos atendendo as recomendações da ICNIRP para valores instantâneos e de máximo (sem controle de potência) tornando-se inaceitável a comparação de valores calculados com os valores medidos devido à correção de potência do link direto e reverso e adicionando a dinâmica do tráfego telefônico.

Realizaram-se os testes de desempenho da rede móvel através do instrumento, Scanner - CPTEL SeeGull MX Multi-Band Scanning Receiver, que trabalha com processamento de sinais e recebe oito faixas distintas de frequência e com três tecnologias simultaneamente. Com essa tecnologia foi possível rastrear os dados relativos a: CINP, CPI, RSRP, RSRQ, EARFCN, Drop Call, Block Call, Piloto, Data Bler. Geraram-se gráficos com as informações sobre RSCP – Short Call , Long Call e Data Call; ECIO – Short Call e Long Call, Data Call Troughput.

Não foi possível comparar os testes de transferência de dados com os valores calculados pelo fato de a rede móvel ser compartilhada com vários usuários e por se desconhecer a capacidade total da taxa de transferência de dados do site em questão.

Através dos cálculos conectado à WEB, pode-se localizar o endereço e a quantidade de estações radio base por localidade no território nacional, mas, por outro lado, a impossibilidade de acesso ao seu cadastro e às suas especificações técnicas tais como tecnologia utilizada, frequência da portadora, número de canais, código da antena e potência do transceptor inviabiliza comparações com cálculos e medições. Não obstante, os cálculos criados apresentam uma infinidade de cálculos que superam a expectativa das medições levantadas em campo.

O trabalho desenvolvido mostrou que a criação do sistema especialista, pautado na experiência e no conhecimento, é um facilitador para a obtenção de

dados de campos eletromagnéticos de forma rápida e segura em um site de estações rádio base com custo reduzido. O sistema auxilia na solução do problema relativo à obsolescência dos equipamentos, que são continuamente substituídos pela inovação tecnológica na área das telecomunicações. Aliás, o fator obsolescência foi fundamental para que se descartasse a construção de um banco de dados para as especificações técnicas dos produtos, optando pela adoção do arquivo HTML para importar as informações técnicas atualizadas. Deste modo, os cálculos, além de resolverem o impasse criado pela necessidade de modelos de medição dos valores de rádio propagação e pela inacessibilidade a esses modelos, são mecanismos que colaboram para resolver os impasses criados pelo contínuo desuso dos equipamentos, devido à entrada no mercado de novas tecnologias.

É necessário, entretanto, fazer uma ressalva: a medição de campo elétrico, de campo magnético e de densidade de potência teria alcançado mais precisão se fossem adotados instrumentos que cobrissem exatamente a faixa de frequência em análise, com o emprego de medidores de intensidade de campo com “medição seletiva” e de sondas específicas nas frequências de interesse ou mesmo com o emprego de analisadores de espectro específicos para tecnologia CDMA e WCDMA. Essa opção foi inviabilizada pela falta de patrocinador que custeasse a locação e a aquisição desses instrumentos que têm custos exorbitantes. Acrescente-se a falta de informações pertinentes a dados do site, como ganho das antenas e potência da estação radio base, que compõem o EIRP, taxa de transmissão de dados do site, por parte das operadoras.

Apesar desses inconvenientes, os resultados atingidos mostram que a ausência de dados técnicos do site não impede a exploração de cálculos, desde que se atente para a margem de erro em casos, por exemplo, da mudança repentina do tráfego telefônico, da dinâmica do controle de potência do sistema rádio em constante alteração.

No que concerne aos testes de desempenho da rede, por exemplo, conseguiu-se detectar o funcionamento das conexões, mas há que se lembrar que vários fatores interferem nos valores alcançados, denegrindo a sua precisão. É o caso, por exemplo, do uso de celulares como antenas bem como do efeito Doppler, que, devido ao deslocamento do veículo, degrada a taxa de transmissão. Nesse tipo de teste há ainda o inconveniente da imprecisão de 15 metros do GPS e do

desconhecimento dos “pontos quentes” e dos “pontos perturbados” que interferem nas medições de forma a degradar ou reforçar os valores. Aqui também é necessário considerar uma margem de erro.

Em suma, com base nos cálculos desenvolvidos, abrem-se novas possibilidades para a medição da rádio propagação e devem, no futuro, promover novas pesquisas. Entende-se que os cálculos possam ser consolidados em um único sistema na *web*, onde o sistema passaria a funcionar como se fosse uma página da internet disponível para todos, por exemplo: alunos, professores e pesquisadores ou restrita a determinados usuários. As antenas, cabos e torres poderiam ser cadastrados em um banco de dados com as variáveis relevantes, tais como: código, especificações elétricas, mecânicas e fotos. Com o sistema na *web* seria possível fazer interações com serviços como o Google Maps que agora já tem o Google Earth dentro do qual é possível, através das coordenadas (latitude e longitude) do site, localizar a infraestrutura (torres, antena, edificação) da estação rádio base. Seria viável contratar um serviço da Google Maps com o objetivo de ter uma melhor resolução e aproximação (altitude) das fotos apresentadas por satélite no território nacional visualizando com maior nitidez o site em estudo. Este, porém, é mais um caminho que pode ser trilhado no futuro.

1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Teses

ALAM, Aminul; CHOWDHURY, Moyamer. **Study WCDMA and OFDM Comparative.** Blekinge Tekniska Högskola / Sektionen för Teknik (TEK), 2007.

ALAM, Shaikh Md. Khairul. **A CMOS front end for high Linearity zero-if WCDMA Receiver.** PhD, Electrical Engineering, The Ohio State University, 2006.

ASLAM, Muhammad; UMAIR, Huddin; SALA, Hussain. **A Comparative Study of UMTS / WCDMA and WIMAX Technologies**, Blekinge Tekniska Högskola/ing: Arif, 2009.

AXELSSON, Samuel. **Uplink Interference Management Of High Bit Rate Users in Evolved WCDMA.** PhD, Linköping University, 2005.

BA, Ahmet. **Développement de Récepteurs Avancés pour les Systèmes de Communication Mobile de type WCDMA et HSDPA.** Télécom ParisTech, 2006.

BEERGSTRÖM, Andreas. **Packet Data Flow Control no Evolved WCDMA Networks.** Licenciatura, Universidade de Linköping, 2005.

CHAVES, Fabbryccio Akkazzha. **Aplicações de Antenas Inteligentes e Equalização Concorrentes em Sistemas WCDMA/HSDPA.** UNICAMP-Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC, 2004.

GARCÍA Lozano, Mario. **Contribution to Wireless Access Optimization and Dynamic Enhancement of WCDMA Networks,** Universitat Politècnica de Catalunya, 2009.

HÄMÄLÄINEN, Seppo. **WCDMA Radio Network Performance.** University of Jyväskylä, 2008.

HAN, XiBin. **Channel Estimation Techniques for WCDMA Communication Systems.** Degree, Concordia University, 2004.

HEISKA, Kari. **On the Modeling of WCDMA System Performance with Propagation Data.** Helsinki University of Technology, 2004.

HOLMA, Harr. **A Study of UMTS Terrestrial Radio Access Performance.** Helsinki University of Technology, 2003.

HOSSAIN, Firoz; SOHAB, Abu-Shadat-Mohammad. **Mathematical Modelling of Call Admission Control in WCDMA Network,** Blekinge Tekniska Högskola/Sektionen för Teknik (TEK), 2007.

JARKKO, Jussila. **Analog Baseband Circuits for WCDMA Direct-Conversion Receiver.** Helsinki University of Technology, 2003.

KHALIL Hassan Alghamri, Mohammed. **Planificación de Sistemas UMTS mediante Sistemas de Información Geográfica.** PhD Universitat Politècnica de València, 2008.

KHALIL, Mohammed Alghamri. **Planificación de Sistemas UMTS Mediante Sistemas de Información Geográfica.** Universitat Politècnica de València, 2008.

KURJENNIEMI, Janne. **A Study of TD-CDMA and WCDMA Radio Network Enhancements,** University of Jyväskylä, 2008.

LAIHO, Jaana. **Radio Network Planning and Optimisation for WCDMA.** Helsinki University of Technology, 2002.

MAKLUF, CIBELE ABREU. Análise de Tecnologias 3G Visando à Estruturação do Canal de Retorno da TV Digital. UNICAMP - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC, 2011.

NAVARRO Cadavid, Andrés. **Analisis de Capacidad em Sistemas CDMA Y WCDMA, usando Herramientas de Planificación Basadas em Gis y Dinámica Poliédrica.** Universidade Politécnica de Valênciia, 2010.

NÓBREGA, Teogenes Brito. **Eficiência dos Protocolos TCP/RLP sobre Sistemas sem fio WCDMA usando Arranjos Lineares de Antenas.** UNICAMP - Engenharia Elétrica e da Computação, 2002.

OUTES Carnero, José. **Uplink Capacity Enhancement in WCDMA.** Aalborg Universitet, 2004.

QIN, Meiyu. **Performance Analysis of WCDMA Downlink Systems with Antenna Array.** Degree, Concordia University, 2005.

RAMIRO-MORENO, Juan. **Performance Analysis System Advanced Level Antenna Concepts in WCDMA,** Aalborg Universitetsforlag, 2008.

RAO, Thumati. **Data Processing Design of Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA).** Blekinge Tekniska Högskola/Sektionen för Teknik (TEK), 2007.

RODRIGUES, Eduardo Jorge Brito. **Um Estudo do Aumento da Capacidade de Sistemas 3G WCDMA usando Técnicas 3.5G de Expansão do Enlace Reverso.** Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2005.

SOLDANI, David. **QoS Management in UMTS Terrestrial Radio Access FDD Networks.** Degree: Department of Electrical and Communications Engineering, Helsinki University of Technology, 2005.

SUN, Chun-hung. **Adaptive DS-CDMA Receivers with Fast Tracking Capability for Wireless Communications.** PhD, Electrical Engineering, 2007.

VALE, Eduardo Rodrigues. **Techniques for Voice Transmission Improvement in UMTS Systems.** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.

[1] Livros

ARES NETO, V[1.1] - ALENCAR, Marcelo Sampaio. *Telefonia Celular Digital*. São Paulo: Érica, 2004.

[1.2] - ALENCAR, Marcelo Sampaio & QUEIROZ, Wamberto José Lira. *Ondas Eletromagnéticas e Teoria de Antenas*. São Paulo: Erica, 2010.

[1.3] - BALANIS, Constantine. *Teoria de Antenas: Análise e Síntese*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

[1.4] – CUNHA, Alessandro Ferreira. *Sistema CDMA*. São Paulo: Érica, 2006.

[1.5] – FARUQUE, Saleh. *Cellular Móible Systems Engineering*. Boston: Artech House, 1996.

[1.6] – FIORESE, Virgilio. *Wireless: Introdução as Redes de Telecomunicações: Móveis Celulares*. Rio de Janeiro: Brasport, 2005.

[1.7] – FUSCO, Vincent. *Teoria e Técnicas de Antenas*. São Paulo: Bookman, 2005.

[1.8] – HARTE, Lawrence. *Introduction to Code Division Multiple Acess (CDMA)*. NC: Althos Publishings , 2004.

[1.9] – HAYKIN, Simon. *Sistemas de comunicação analógico e Digital*. São Paulo: Bookman, 2004.

[1.10] – HAYKIN, Simon. *Sistemas Modernos de Comunicações Wireless*. São Paulo: Bookman, 2008.

[1.11] – HOLMA, Harry. *WCDMA for UMTS*. John Wiley & Sons Ltd, 2000.

[1.12] – JESZENSKY, Paul Jean Etinne. *Sistemas Telefônicos*. Barueri/SP: Manole, 2004.

[1.13] – LEE, Jhong Sam e MILLER, Leonard. *CDMA Systems Engineering Handbook*. Boston: Artech House , 1998.

[1.14] – MEDEIROS, Júlio Cesar de Oliveira. *Princípio de Telecomunicações: Teoria e prática*. São Paulo: Érica, 2005.

[1.15] – MIYISHI, Edson & SANCHES, Carlos Alberto. *Projetos de Sistemas de rádio*. São Paulo: Érica, 2005.

[1.16] – NASCIMENTO, Juares. *Telecomunicações*. São Paulo: Makron Books, 2004.

[1.17] – POOLE, Ian. *Cellular Communications Explained*. Amsterdam: Newnes , 2006.

- [1.18] – RAPPAPORT, Thodore. *Comunicações sem Fio Princípios e Prática*. São Paulo: Pearson Education, 2008.
- [1.19] - RIBEIRO, José Antonio. *Propagação das Ondas Eletromagnéticas: Princípio e Aplicação*. São Paulo: Érica, 2004.
- [1.20] – RIBEIRO, Jose Antonio Justino. *Engenharia de Microondas*. São Paulo: Érica, 2008.
- [1.21] – RIOS, Luiz Gonzaga & PERRI, Eduardo Barbosa. *Engenharia de Antenas*. São Paulo: Blucher.
- [1.22] – SO icente. *Telecomunicações: Sistema de Modulação*. São Paulo: Érica, 2005.
- [1.23] – SMITH JR., Albert A. *Rádio Frequency Principles and Applications*. Nova York. IEEE PRESS, 1998.
- [1.24] – SIWIAK, Kazimierz. *Rádio Propagation and Antennnas for Personal Communications*. Boston: Artech House, 1995.
- [1.25] – SVERZUT, José Umberto. *Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS*. São Paulo: Érica, 2005.
- [1.26] – TSE, David and VISWANATH, Pramod. *Fundamentals Of Wireless Communication*. Cambridge, 2005.
- [1.27] – VANGHI, Damnjanovic. *The CDMA 2000 System for Mobile Communications: 3G Wireless Evolution*, Nova Jersey: Prentice-Hall PTR, 2004.
- [1.28] - VITERBI, Andrew. *CDMA Principles Of Spread Spectrum Communication*. Nova York: Adison – Wesley Wireless Communication Series.
- [1.29] – WOENER, Brian, RAPPAPORT, Theodore, REED, Jeffrey. *Wireless Personal Communication*. Coston: Kluwer Academic Publishers.
- [1.30] – YANG, Samule C. *CDMA RF System Engineering*. Boston: Artech House, 1998.
- [1.31] – YEE, William C. Y. *Móible Cellular Telecommunications*. Nova York: McGRAW-HILL, 1995.
- [1.32] – YEE, William C. Y. *Wireless Celular Telecommunications*. Nova York: McGraw-Hill, 2005.
- [1.33] - Deploying 2.5G and 3G Technologies and Services in GSM/UMTS and CDMA Networks. Cisco Systems, USA, 2001.

[1.34] - HOLMA Harri and Antti Toskala. WCDMA for UMTS Radio Access for Third Generation Mobile Communications, third edition – Nokia, Finland – John Wiley – 2004.

[1.35] - WALKE B. / R SEIDENBERG / M. P. ALTHOFF. UMTS The Fundamentals- Jonh Wiley- England, 2003.

[1.36] - HEIKKI Kaaranen /Ari Ahtiainen /Lauri Laitinen / Siama"k Naghian /Valtteri Niemi. UMTS Networks Architecture, Mobility and Services, Second Edition. England. John Wiley, 2005.

[1.37] - CASTRO Jonathan P.- The UMTS Network and Radio Access Technology: Air Interface Techniques for Future Mobile Systems - Second Edition - England John Wiley,2001.

[1.38] - LEMPIÄINEN Jukka / Matti Manninen. RADIO INTERFACE SYSTEM PLANNING FOR. GSM/GPRS/UMTS. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. Kluwer Academic Publishers, 2002.

[1.39] - SESIA Stefania / Issam Toufik / Matthew Baker. *LTE – The UMTS Long Term Evolution From Theory to Practice*, England - John Wile, 2009.

[1.40] – Timo Halonen / Javier Romero and Juan Melero – GSM, GPRS Performance AND EDGE, Second Edition, John Wiley England,2003.

[1.41] - Hillebrand Friedhelm , GSM and UMTS The Creation of Global Mobile Communication, England, John Wiley – 2002.

[1.42] - BANNISTER Jeffrey, Paul Mather and Sebastian Coope - Convergence Technologies for 3G Networks IP, UMTS, EGPRS and ATM, England, John Wiley, 2004.

[1.43] - SVERZUT José Humberto - Redes GSM, GPRS, EDGE e UMTS – Erica , São Paulo – 2005.

[2] – MANUAIS

[2.1] - KATHREIN Mobilcom Brasil, São Paulo:2005.

[2.2] - Engenharia de Sistemas de Rádios Digitais / Centro de Treinamento NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.3] - Introdução ao Sistema móvel Celular Digital CDMA / Centro de Treinamento NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.4] - Engenharia de Sistema CDMA / Centro de Treinamento NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.5] - Hardware CDMA / Centro de Treinamento

NEC DO BRASIL, São Paulo.

[2.6] - PEREIRA FILHO, Mario Leite. Poluição Eletromagnética. São Paulo: IPT, 2002.

[2.7] - Sistema de Comunicações Móvel II. Pós -Graduação em Engenharia de Redes e Sistemas de Telecomunicações, INATEL.

[2.8] - Engenharia de Sistemas de Rádios Digitais. Centro de Treinamento. NEC DO BRASIL.

[2.9] - Introdução ao Sistema móvel Celular Digital CDMA. Centro de Treinamento NEC DO BRASIL.

[3] - CATALOGO

[3.1] - Base Station Antennas for Mobile Communications Kathrein,São Paulo: 2008.

[4] - PESQUISA NA WEB

[4.1] - <http://www.cpqd.com.br/site/ItemView.php?cd=708> acessado dez/2012

[4.2] - <http://www.cpqd.com.br/monitor/americana/index2.html> acessado mar/2012

[4.3] – <http://www.brasisat.com.br> acessado abr/2013

[4.4] – <http://www.kathrein.com.br> acessado mai/2013

[4.5] – <http://www.rfsworld.com> acessado dez/2013

[4.6] - <http://www.andrew.com> acessado jan/2014

[4.7] – <http://www.anatel.gov.br> acessado mar/2013

[4.8] – <http://www.teleco.com.br> acessado abr/2014

[4.9] – <http://www.mc.gov.br> acessado jan/2014

[4.10] – <http://www.cdmaonline.com> acessado jun/2012

[4.11] – <http://www.wirelessweek.com> acessado ago/2012

[4.12] – TRINDADE, Diamantino e TRINDADE, Laís. “As telecomunicações no Brasil: do 2º. Império até o regime militar”. <http://fdi.com.br> , acessado set/2012.

[4.13] – <http://www.abricem.com.br> acessado jun/2014

[4.14] – <http://www.icnirp.gov> acessado jun/2014

[4.15] – <http://www.who.gov> acessado mai/2014

[5] – RECOMENDAÇÕES

[5.1] - Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Eletric, Magnetic, and Electromagnetic Fileds (up to 300 GHz) - ICNIRP, 2002

[5.2] - IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially azardous Electromagnetic Fields—RF and Microwave /IEEE Std C95.3-1991

[5.3] - IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Rádio Frequency Electromagnetic Fields With Respect to Human Exposure to Such Fields, 100 kHz–300 GHz IEEE International Committee on Electromagnetic Safety (Standards Coordinating Committee 28 on Non-Ionizing Radiation) Approved 11 December 2002 IEEE-SA Standards Board.

[5.4] - IEEE Recommended Practice for the Measurement of Potentially hazardous Electromagnetic Fields—RF and Microwave /IEEE Std C95.3-1991

[5.5] - RNI do CPQD.

[5.6] – ABNT – NBR 15415

[5.7] – Lei Federal 11.934 5/5/2009

[5.8] – Resolução ANNEL 398 23/3/2010

[5.9] – Portaria 80/SVMA/2005 14/10/2015

[6] – Artigos

[6.1] – ROLIM, Thiago H. de P; NOVAES Camila P.D.; OVONO Aline; GUIMARÃES, Dayani A. – Survey A System for Propagation Analysis im Mobile Communications Environments – Revista Cientifica Periódica - Telecomunicações , Volume 4 ,número 02 , Dezembro 2001 – INATEL.

[6.2] – CAVALCANTI, Francisco Rodrigo Porto; CRUZ Walter Freitas Jr; CHARLES, Casimiro Cavalcante. Revista Cientifica Periódica - Telecomunicações Vol. 12, n.0. 02, Dezembro de 2009 - INATEL.

[6.3] – TERADA, Marco Antonio Brasil – Propriedade Direcionais de Irradiação de Antenas Radio-Base - Departamento de Engenharia Elétrica Universidade de

Brasília – Revista Científica Periódica - Telecomunicações - Vol 9, n.o 02, Julho 2007 - INATEL.

[6.4] – GIL, Gomes Geraldo R. ; BALDINI, Renato Filho – Limitação da Taxa de Transmissão em Sistemas Radio Digital - Revista Científica Periódica – Telecomunicações - volume 3 n.o 2 Dez./2000 – INATEL.

[6.5] – GUIMARÃES, Dayane Adionel – Introdução as Comunicações Móveis - Revista Científica Periódica – Telecomunicações - INATEL.

[6.6] – GOMES, Geraldo Gil R. ; BALDINE, Renato Filho – Considerações sobre Modulação Codificada por Blocos para Constelações M-QAM não Quadradas – INATEL.

[6.7] – PINTO, Ernesto Leite; PENEDO, Claudio Albuquerque – Técnica de Transmissão OFDM - Revista Científica Periódica - Telecomunicações Vol. 5 - n.o 1 – junho 2002 – INATEL.

[6.8] – GUIMARÃES, Alberto Gaspar; PINTO, Ernesto Leite – Tecnicas de Simulação de Canais Móvel - Revista Científica Periódica - Telecomunicações Telecomunicações Vol. 4 – n.o 1 – Maio 2001 INATEL.

[6.9] – GUIMARÃES, Dayane Adionel - Sistema de Comunicações Móveis de 3.0 Geração – Revista Científica Periódica de Telecomunicações Vol. 4 – n.o 1 – Maio 2001- INATEL.

[6.10] – DERRUBERRY, R. Thomas; STEVEN, D. Gray, D.; MIHAI, Ionescu; GIRIDHAR, Mandyam; BALAJI, Raghothaman – Transmit Diversity in 3G CDMA Systems - Nokia Reserch Center – Communications Magazine, April 2002 - IEEE 2002.

[6.11] – BUEHRER; R. Michael; Soni Robert A.; Benning Roger D. – Transmit Diversity for Combined 2G and 3G CDMA Systems – Transactions on Communications, Vol. 52, n.o 10, October 2004 - IEEE.

[6.12] – CHOI, Ruly Lai-U; ROSS, D. Murch; KHALED, Ben Letaief – MIMO CDMA Antenna System for SINR Enhancement - Transactions on Wireless Communications, Vol 2, n.o 2 March 2003 - IEEE.

[6.13] – HUTTUNEN, Anu ; RISTO Kaunisto – A 20 W Chireix Outphasing Transmitter for WCDMA Base Station - Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 55, n.o 12 December 2007 – IEEE.

[6.14] – ADELANTADO, Ferran; ORIOL, Sallent; PÉREZ, Jordi Romeu – On WCDMA Base Station Selection Crieria – Communications Letters, Vol. 10, n.o 4 April 2006 - IEEE.

[6.15] – BJORN, A. Bjerke; ZORAN, Zvonar, PROAKIS John G. – Antenna Diversity Combining Schemes for WCDMA Systems in Multipath Channels- Transactions on Wireless Communications, Vol.3, n.o 1 January 2004 - IEEE.

[6.16] – ABRARDO, Andrea; GIAMBESI, Giovanni; SENNATI, David – Capacity Evaluation of a Mixed-Traffic WCDMA System in the Presence of Load Control – Transactions on Vehicular Technology, Vol 52. n.o 3, May 2003 - IEEE.

[6.17] – MAHMOUND, H. Ismail; MATALGAH, Mustafa M.– An Analytical Framework for Performance Evaluation of Downlink WCDMA/TDD Mode – Communications Letters, Vol. 9, n.o 8, August 2005 - IEEE.

[6.18] - JUI-HUNG, Yeh; JYH, Cheng; LEE, Chi-Chen - Comparative Analysis of Energy-Saving Techniques in 3 GPP and 3GPP2 Systems – Transaction on Vehicular Technology, Vol. 58, n.o 1, January 2009 - IEEE.

[6.19] – WIGREN, Torjorn – WCDMA Uplink Load Estimations With Generalized Rake Receivers – Permission use is permitted – 2011 - IEEE.

[6.20] – RYNANEN, Jussi; HOTKI, Mikko; SAARI, Ville – WCDMA Multicarrier Receiver for Base-Station Applications – Journal of Solid-State Circuits, Vol. 41, n.0 7, July 2006 - IEEE.

[6.21] - DEL RE, Enrico; FANTACCI, Romano; MARABISSI, Dania; MOROSI Soimone; ARMANI, Claudio – A Selective Interference-Cancellations Receiver For Antenna-Array WCDMA - Transactions on Vehicular Technology, Vol. 52, n.o 4 July 2003 - IEEE.

[6.22] – SIMEONE, Osvaldo; SOMEKH, Oren; YEYESKEL, Bar-Ness; SPAGNOLINI, Umberto– Throughput of Low-Power Cellular Systems With Collaborative Base Stations and Relaying - Transactions on Information Theory, Vol. 54, n.o 1 janeiro 2008 – IEEE.

[6.23] – KAHN, Simon; GURCAN, Mustafa K.; OYEFUGA, Oladipupo O. – Downlink Throughput Optimization for Wideband CDMA Systems - Comunicanations Letteres, Vol. 7, n.o 5, maio 2003 - IEEE.

[6.24] - HSUEH-jyh Li; LIU, Ta-Yung – Comparison of Beamforming Techniques for WCDMA Communication Systems - Transactions on Vehicular Tecnology, Vol 52, n.o 52, junho 2003 - IEEE.

[6.25] – CHI-FANG; YUAN-SUN, Chu; SHEEN, Wen-Ho, TIAN - Fu-Chin; JAN-Shin Ho – A Low-Power ASIC Design for Cell Search in the WCDMA System – Journal of Solid-State Circuits, Vol. 39, n.o 5, May 2004 - IEEE.

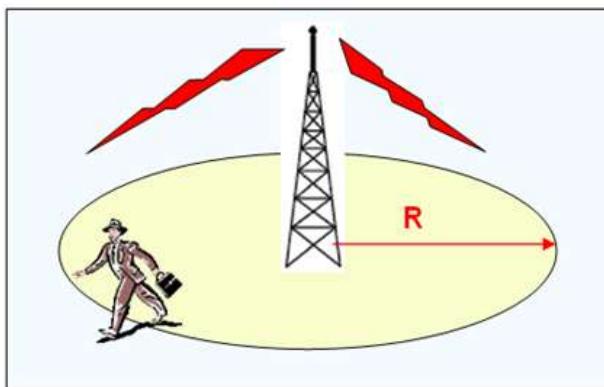
[6.26] – VANKKA, Jouko; JAAKKO, Ketola; SOMMAREK, Johan; OLL, Väänänen, MARKO, Kosunem – A GSM/EDGE/WCDMA Modulator With On-Chip D/A Converter for Base Stations - Transactions on Circuits and Systems – II Analog and Digital Processing , Vol. 49 n.o 10 , outubro 2002 - IEEE.

Apêndice – I

1 – Estrutura de Células

Da-se o nome de célula ou site a área geográfica iluminada por uma estação rádio, dentro da qual a recepção do sinal rádio atende às especificações de sistema. A figura .1 mostra a estrutura básica de uma célula. [4.8]

Figura 1 – Estrutura Basica de uma Celula



Em um site de telefonia celular, o usuário recebe sinal de rádio através do sistema irradiante o qual é responsável pela área de cobertura. Toda a área geográfica em que isso acontece pertence ao site.

Se o terreno onde está situada a estação rádio fosse plano e liso, a área de cobertura seria circular. Entretanto, devido aos morros e outras irregularidades do terreno, árvores e prédios, a forma dessa área é uma figura irregular devido as sombras causadas por essas irregularidades. [1.12]

As dimensões dessa área dependem da altura da torre, do grau de urbanização e altura das edificações, grau de arborização das ruas, inclinação do terreno, das irregularidades naturais do relevo e ainda da potência de transmissão e ganho das antenas. [1.12]

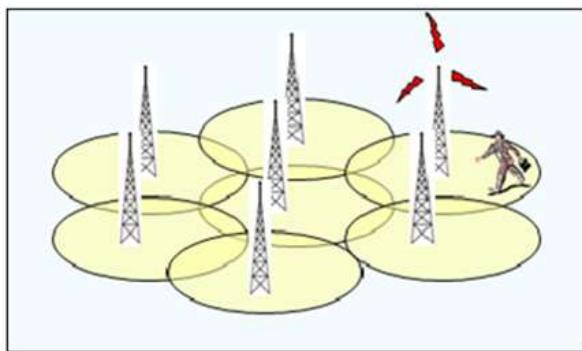
A representação gráfica da área de cobertura de uma célula por um hexágono é apenas fictícia. Este formato de celular não tem como ser realizado na prática. A forma hexagonal de células é utilizada pelos projetistas de sistemas celulares para simplificar o seu planejamento, pois o hexágono é a forma geométrica, que neste caso, mais pode se aproximar de um círculo ideal, que representa irradiação uniforme de potência em todas as direções a partir da ERB (cobertura omnidirecional) [1.12]

No mundo real a geometria da distribuição celular é substancialmente alterada, isto porque a propagação do sinal está longe de ser uniforme. A área de cobertura real de uma célula é na verdade uma forma geométrica irregular, pois a propagação depende de vários fatores como: obstrução por morros, declives de terrenos, lagos, edificações, vegetação, etc. [1.12]

1.1 – Células Omnidirecionais

Nas células omnidirecionais, a ERB é equipada com uma antena omnidirecional, que transmite a mesma potência em todas as direções, formando assim uma área de cobertura circular, cujo centro é a própria ERB. Para efeitos de representação gráfica, esta célula é representada por um hexágono. A figura 2 apresenta uma célula omnidirecional. [1.24]

Figura 2 – Celula Omnidirecional



1.2- Células Setorizadas

Nas células setorizadas, a ERB é equipada com antenas diretivas do tipo painel (base station), de tal forma que cada uma cubra uma determinada área.

Na figura 3 exemplifica uma situação em que um primeiro grupo de canais é alocado na antena que cobrirá a primeira célula, um segundo grupo de canais é alocado na segunda antena que iluminará a segunda célula e os canais restantes alocados na terceira antena, fazendo com que a ERB cubra, finalmente, as três células. [1.24]

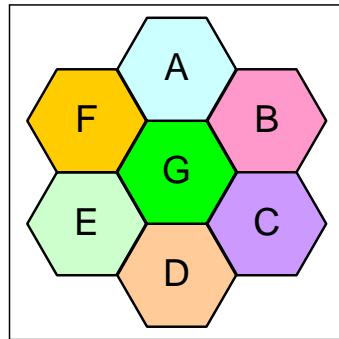
Nem sempre a setorização ocorre desta forma. Pode acontecer que se queira cobrir apenas uma avenida e nesta condição será empregada apenas uma célula setorizada. São utilizados três hexágonos para representar células setorizadas, com a ERB localizada na confluência destes três hexágonos.

Uma cobertura completa implicará em um aglomerado de células, permitindo assim a cobertura da área de interesse. [1.24]

1.3 – Conglomerado de Células

A forma como o total de canais é subdividido entre as várias células dá origem ao cluster ou conglomerado de células, que é o conjunto de células contíguas que possuem juntas o total de canais do sistema. A figura 3 mostra um conglomerado de células com uma composição de $k = 7$ [1.24].

Figura 3 - Setorização



A escolha do tipo de cluster ou padrão de reuso a ser adotado no sistema depende de algumas considerações. Dado um número fixo de canais, eles serão distribuídos pelas células que compõem o cluster. Desta forma, quando mais células tiverem um cluster menos canal terá cada uma das células e vice-versa. Por outro lado, quanto menos células tiverem um cluster, menores serão as distâncias entre células de mesmos canais e, consequentemente, maior a probabilidade de interferências de co-canais entre essas células. [1.24]

1.4 – Reutilização de Frequência

Para reutilizar uma frequência em outra área é necessário garantir que o sinal produzido em uma área esteja muito atenuado ao atingir outra área.

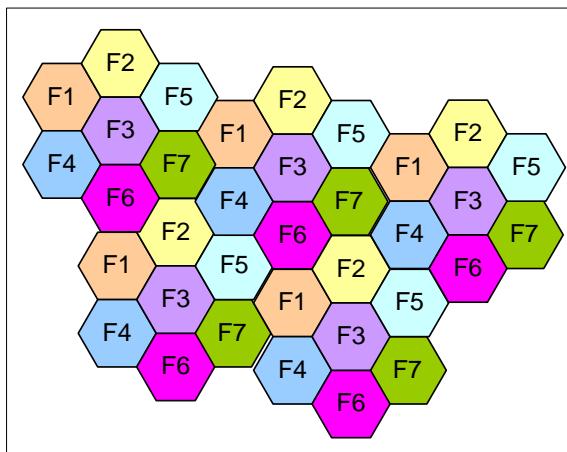
Em um Sistema Celular, a técnica de reuso de um mesmo conjunto de canais de frequências é um dos fatores de sucesso para se conseguir atender ao tráfego, com um espectro de frequência limitando, em extensas áreas de cobertura com um grande número de Estações Rádio base. [2.3]

Na elaboração de um projeto para SMC deve-se ter uma definição preliminar do número de células para que seja obtida a melhor solução para o atendimento ao tráfego. Para tal, deve-se levar em conta o estudo da concentração de tráfego,

padrões de reuso de frequência, número de canais disponíveis, áreas de cobertura de cada ERB. [2.3]

No tocante aos padrões de reuso de frequência, deve-se levar em consideração que a divisão de um espectro finito em diversos conjuntos de canais, limita, naturalmente, o número de frequências disponíveis. Desta forma, lança-se mão da técnica de “divisão celular” para se obter um incremento no número de canais e consequentemente, no tráfego. Tal técnica origina, assim, o reuso de frequências. Na figura 4 tem-se um exemplo de reuso de frequência com $K = 7$. [2.3]

Figura 4 - Reuso de Frequência com $k = 7$



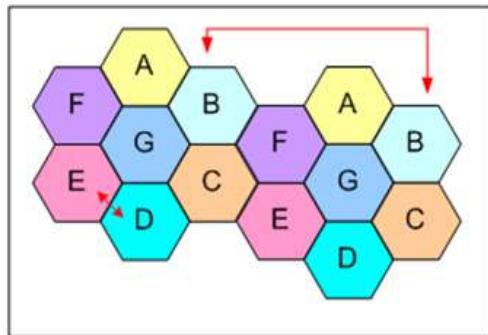
1.5 – Relação Distância e Raio (D/R)

A distância de reuso de canais D depende do raio de uma célula R e do número k de células em um cluster (padrão de reuso de Frequência). Para $K=7$, esta relação é consistente quando $C/I \geq 18$ dB. Este requisito é obtido de dados empíricos, onde para $C/I \geq 67\%$ dos usuários consideram a qualidade do sinal de áudio boa ou excelente em 90% da área de cobertura. [2.3]

1.6 – Interferência Co-Canal

O conceito mais importante dos sistemas celulares é o de reuso de canais, que incrementa a capacidade de tráfego do serviço. Entretanto, o reuso de frequência causa também o surgimento de interferência co-canal. A figura 5 mostra o caso de interferência no co-canal.

Figura 5 – Interferência no Co-canal



Mostra-se que este critério é obtido quando C/I é pelo menos 18 dB em pelo menos 90% da área de cobertura. Este passou a ser, portanto, o padrão da indústria para proteção contra interferência no sistema AMPS. [2.3]

O fato é que em determinadas situações, medidas terão que ser tomadas objetivando o controle de interferência. Dentre estas medidas, tem-se, por exemplo:

- ❖ utilização de antenas diretivas;
- ❖ redução de altura da antena no local da ERB interferente;
- ❖ downtilt das antenas da ERB;
- ❖ ajuste dos parâmetros de handoff;
- ❖ adição de novas células;
- ❖ modificação do plano de frequência;
- ❖ redução da potência efetiva irradiada (ERP) na ERB interferente;

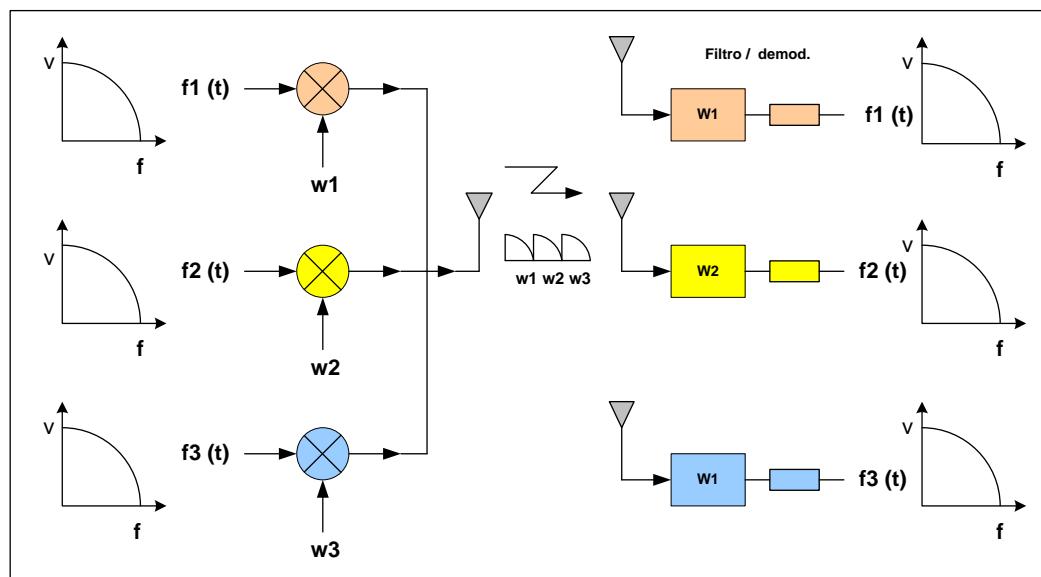
Apêndice – II

2 - Métodos de Acesso nos Sistema Móveis Celular

2.1 - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência (FDMA)

Nos sistemas analógicos a multiplexação é feita na frequência que designada como acesso múltiplo por divisão da frequência (FDMA). Neste tipo de acesso o espectro de frequências disponíveis é dividido em faixas relativamente estreitas, que são chamados canais. Cada um destes canais é alocado a um usuário no momento de realização da chamada. No processo da transmissão, cada sinal de informação $f(t)$ a ser enviado é modulado a uma portadora distinta W (figura 6). Todas as portadoras moduladas são combinadas e transmitidas através de uma antena. No processo da recepção é feito o inverso, onde os sinais de cada usuário são separados por filtros e demodulados de onde é extraída a informação. Cada canal de rádio ocupa uma largura de banda de 30 kHz. [2.2]

Figura 6 - Acesso Múltiplo por Divisão de Frequência.

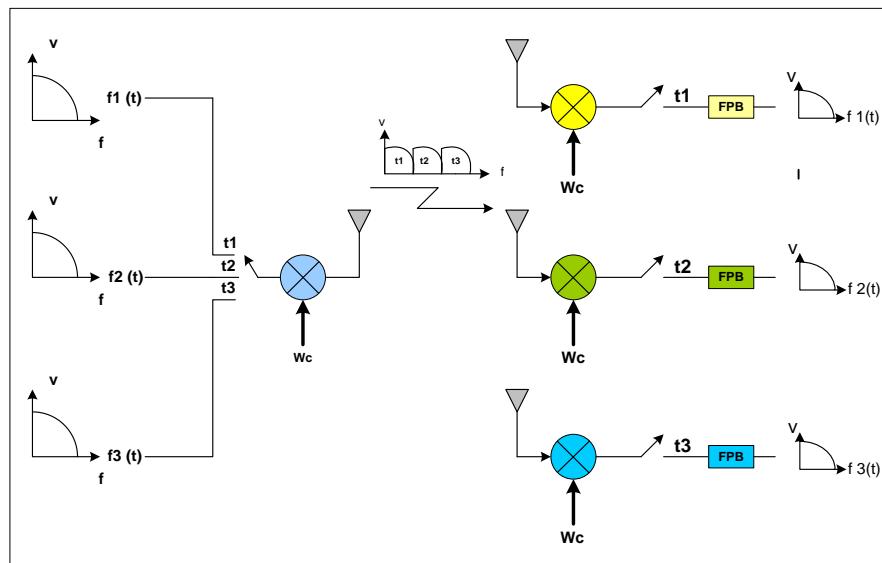


2.2 - Acesso Múltiplo por Divisão do Tempo (TDMA)

Uma outra possibilidade é o acesso múltiplo por divisão de tempo (TDMA). Este tipo de acesso é baseado no teorema da amostragem. Um sinal, limitado em faixa, pode ser definido por um conjunto de amostras tomadas a intervalo de $1/2.f_{max}$, em segundos, onde f_{max} é a frequência máxima do canal telefônico (4 kHz). Portanto basta transmitir as amostras do sinal em um número finito de instantes para que ele seja reconstituído no receptor. Amostras de outros sinais podem ser intercaladas na transmissão e também recuperadas na recepção através

de um detector síncrono adequado. A interferência entre os canais adjacentes é limitada por este sincronismo, que permite a captação da energia de um dado do sinal, recebido no outro tempo correto. São observados que as três informações $f(t)$ na transmissão e recepção estão alocadas no tempo (t) e compartilham com a mesma portadora (W_c) proporcionando uma melhor otimização do espectro de frequência e obtendo como resultado um aumento de canais de RF no sistema. A figura 7 mostra o processo TDMA. [2.2]

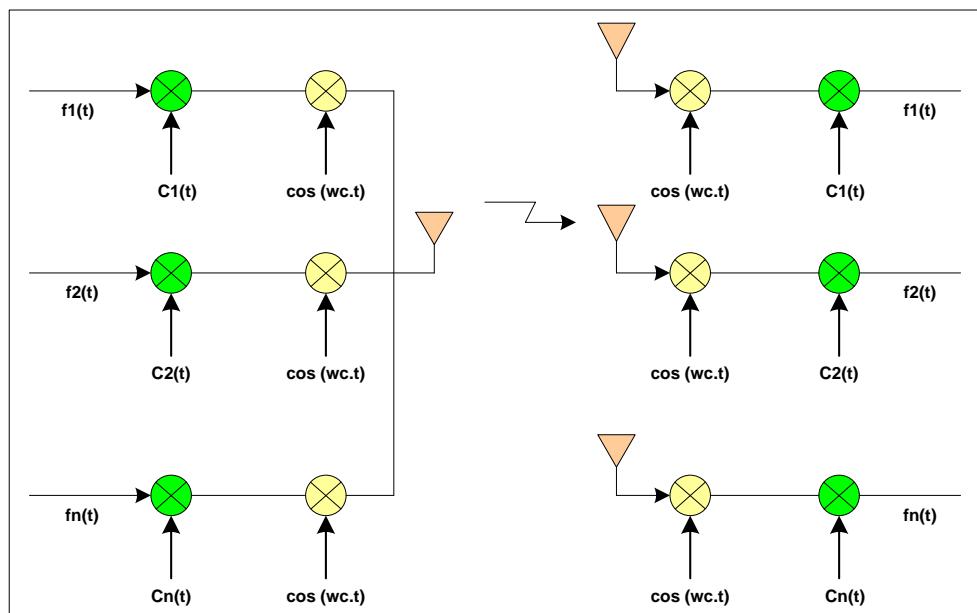
Figura 7 – Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo



2.3 - Acesso Múltiplo por Divisão de Código (CDMA)

Neste tipo de acesso todos os usuários utilizam simultaneamente uma portadora com $W_c(t)$ para a comunicação. Sendo que desta forma não é possível diferenciá-los por nenhum tipo de filtragem no domínio da frequência (FDMA) ou do domínio do tempo (TDMA). A separação dos usuários é feita através de um código $C(t)$ de sequência pseudo aleatória associado a cada um deles. A minimização da interferência entre usuários é obtida através da escolha criteriosa dos códigos utilizados. Este tipo de acesso é baseado em técnicas de espalhamento espectral (Spread Spectrum). Este tipo de acesso proporciona um maior número de usuários por portadora tendo como vantagem a melhor utilização do espectro de frequência. A figura 8 mostra o processo de transmissão e recepção do sistema CDMA. [2.4]

Figura 8 - Acesso Múltiplo por Divisão de Código



Apêndice – III

3 – Tilt Elétrico e Mecânico

O tilt ou inclinação da antena em direção ao solo é responsável pela área de cobertura ou iluminação da célula. Foram empregados dois tipos de tilt: elétrico e mecânico o qual por sua vez pode ser ajustar em campo. A figura 9 exemplifica o ajuste do tilt elétrico em três graus.

Figura 9 – Tilt Elétrico



Foi efetuado o tilt mecânico através de um instrumento chamado clinometro. A figura 10 a seguir apresenta a figura do instrumento.

Figura 10 – Clinometro.



Apêndice – IV

4 - Memorial de Cálculo WCDMA

Os cálculos do WCDMA foram desenvolvidos com o intuito de reduzir o volume de cálculos bem como a sua complexibilidade, conceitos e parâmetros específicos da tecnologia sem fio. A tabela a seguir apresenta os cálculos a serem desenvolvidos pelo simulador onde se apresentou as grandezas, parâmetros e unidades.

| Simulador – Site de Telefonia Móvel | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Distancia de reuso de freq. | Kluster | Raio da célula | $D(m) = \sqrt{3} \cdot k \cdot R$ | | | | | | | | | | |
| D (m) | k (4,7,12, 19) | R (100 – 2000 m) | | | | | | | | | | | |
| Capacidade do canal com ruído | Largura de banda | Relação sinal ruído | $C(bps) = B \cdot \log_2(1 + RSR)$ | | | | | | | | | | |
| C (bps) | B (100- 2300 MHz) | RSR (10 – 60 dB) | | | | | | | | | | | |
| Capacidade do canal sem ruído | Largura de banda | bits | $C(bps) = B \cdot \log_2 n$ | | | | | | | | | | |
| C(bps) | B (100- 2300 MHz) | n (2 – 12, b/S) | | | | | | | | | | | |
| Freqüência Doppler | Freqüência em estudo | Comprimento de onda | velocidade | $f_d(Hz) = \frac{f}{\lambda} \cdot v$ | | | | | | | | | |
| f_d (Hz) | f (800 – 2400 MHz) | λ (0,125 – 0,375 m) | V_s (1 – 100 m/s) | | | | | | | | | | |
| Taxa de modulação | Taxa de transmissão | Bit por Símbolo | $Tm(b/s) = \frac{Ttx}{n}$ | | | | | | | | | | |
| Tm (b/s) | Ttx (16 – 2048 kbps) | n (2 – 12, b/s) | | | | | | | | | | | |
| Eficiência do canal | Taxa de tx máxima | Capacidade (Shanon) | $E(\%) = \frac{Ttx}{C}$ | | | | | | | | | | |
| E (%) | Ttx (100 – 2000 kbps) | C (100 – 2000 kbps) | | | | | | | | | | | |
| Área da célula | raio | $a(m^2) = 3 \cdot \sqrt{3} \cdot r^2$ | | | | | | | | | | | |
| $a(m^2)$ | r (200 – 2000 m) | | | | | | | | | | | | |
| Ruído Térmico | Constante B. | temperatura | Largura de banda | $N(w) = 4 \cdot K \cdot T \cdot B$ | | | | | | | | | |
| N (W) | $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (J/k) | $T = 273 - 313$ (K) | B (1 – 50 MHz) | | | | | | | | | | |
| Figura de Ruído | Relação sinal ruído | $FN = RSR_{out} - RSR_{in}$ | | | | | | | | | | | |
| $FN(dB) \geq 1$ | RSR (10 – 60 dB) | | | | | | | | | | | | |
| Relação sinal ruído | Potencia_Sinal | Potencia do Ruído | $RSR(dB) = 10 \cdot \log \frac{Ps}{Pn}$ | | | | | | | | | | |
| RSR (dB) | Ps (1p-1mw) | Pn (1p - 1mw) | | | | | | | | | | | |
| Potencia_Ruido (dB) | Constante de B. | Temperatura | Largura de banda | Figura ruído | $Pn = 10 \cdot \log (K \cdot T \cdot B) + FN$ | | | | | | | | |
| Pn (dB) | $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (J/k) | $T = 273 - 313$ (K) | B (1 – 50 MHz) | $FN(1 a 20 dB)$ | | | | | | | | | |
| Energia de bit | Densidade espectral do Ruido | Taxa de transmissão | $Eb = Pn - 10 \cdot \log T_{tx}$ | | | | | | | | | | |
| Eb (dBm) | Pn (0 – 60 dB) | Ttx (1 – 50 Mbps) | | | | | | | | | | | |

| Ganho de processamento | Taxa de chip | Taxa de dados | $Gp(dB) = 10 \cdot \log \frac{Tc}{Td}$ | | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--|--|---|--|--|--|
| G (dB) | Tc (1 á 3,84 Mcps) | Td (20 á 200 kbps) | | | | | | |
| Breakpoint | Altura da BTS | Altura MS | Comprimento de onda | $B(m) = 4 \cdot hBTS \cdot hMS / \lambda$ | | | | |
| B (m) | hBTS (20 – 100 m) | hMS (1 – 2 m) | λ (0,125 – 0,375 m) | | | | | |
| Perda no espaço livre aproximado | Altura da BTS | Altura do HM | Distancia | $LOS(dB) = 20 \cdot \log \frac{h_{BTS}}{h_{MS}} \cdot d^2$ | | | | |
| LQS(dB) | hBTS (20 – 100 m) | hMS (1 – 2 m) | d (100 á 1000 m) | | | | | |
| Período do Chip | Taxa do chip | $Tc = \frac{1}{R_c}$ | | | | | | |
| Tc (us) | Rc (1 a 5 MHz) | | | | | | | |
| Potencia de Ruído | Constante B. | Temperatura | Largura de banda | Figura de Ruído | $Pn(w) = K \cdot T \cdot B \cdot FN$ | | | |
| Pn (W) | $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (J/k) | $T = (273 - 313)$ (K) | B (1 – 50 MHz) | FN (1 – 60 dB) | | | | |
| Relação portadora ruído | Potencia radiada efetiva | Perda no espaço livre | Ganho da antena de RX | Potencia de ruído | $\frac{C}{N} = (ERP) \cdot LOS \cdot G_{RX}$ | | | |
| C/N(dB) | ERP (10 á 50 dBm) | LOS (10 á 160 dB) | G_{RX} (0 á 10 dB) | P_n (-40, á -100 dB) | | | | |
| Potencia radiada efetiva (ERP) | Potencia de transmissão - canal radio | Perda no cabo | Ganho de antena TX | $ERP = P_{TX} \cdot L_C \cdot G_{TX}$ | | | | |
| ERP(dB) | Ptx (10 – 40 dBm) | Lc (0 – 20 dB) | Gtx (0 – 20 dB) | | | | | |
| Efeito carga, em relação Eb/No | Numero de usuários por banda | Largura de banda | Taxa de transmissão | Fator de carga | $Ec = \frac{1}{(m-1)} \cdot \frac{W}{R} \cdot \frac{1}{(1+\eta)}$ | | | |
| Ec (Hz/bps) | m (1 á 3000) | W (1 á 5 MHz) | R (100 á 2000 kbps) | η (0,01 á 1 %) | | | | |
| Fator de reuso de freqüência | Fator de carga | $Fr = \frac{1}{1+\eta}$ | | | | | | |
| Fr | η (0,01 á 1 %) | | | | | | | |
| Ganho de setorização em função Eb/No | Numero de usuários por banda | Largura de banda | Taxa de transmissão | Fator de carga | Setorização | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|----------------------------|---------------------|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| G - Eb/No | m (1 á 3000) | W (1 á 5 MHz) | R (100 á 2000 kbps) | η (0,01 á 1 %) | $s = 2,5$ (3 setores) $s = 5$ (6 setores) | $G = \frac{1}{(m-1)} \cdot \frac{W}{R} \cdot \frac{1}{(1+\eta)} \cdot s$ | | | | |
| Atividade da voz em função do n.o de usuários | Ganho de Processamento | Relação Eb/No | Fator de carga | Setorização | Atividade da voz | $M = \frac{(W/R)}{(Eb/No)} \cdot \frac{1}{(1+\eta)} \cdot s \cdot \frac{1}{v}$ | | | | |
| M (usuários) | W/R(10 – 60 dB) | Eb/No (2 – 20 dB) | η (0,1 á 1 %) | $s = 2,5$ (3 set.) $s = 5$ (6 set.) | V (0,40 á 0,50 %) | | | | | |
| Ganho de Processamento | Largura de banda | Taxa de transmissão | $Gp = \frac{W}{R}$ | | | | | | | |
| Gp (Hz/bps) | W (1 á 5 MHz) | R(100 á 2000 kbps) | | | | | | | | |
| Energia de bit | Potencia do canal de Radio | Duração de um bit | $Eb = Ptx \cdot Tb$ | | | | | | | |
| Eb (W.s) | Ptx (0,5 á 20 W) | Tb (0,05 - 69 μs) | | | | | | | | |
| Período de Bit | Taxa de transmissão | $Tb = 1 / R$ | | | | | | | | |
| Tb(s) | R (14,4 – 200 Mbps) | | | | | | | | | |

| SIMULADOR TRAFEGO TELEFONICO | | | | | |
|---|---|---|----------------------------------|--|--|
| Volume de tráfego V(horas/ Erlang)) | n.o de ocupações n (1 – 5000) | Tempo de ocupação tj (1 á 3600minutos) | $V = \frac{n}{tj}$ | | |
| Intensidade de ocupação I(ocup./m) | n.o de ocupações n (1 – 5000) | Período T (60 minutos) | $I = \frac{n}{T}$ | | |
| Tempo médio de ocupação tm (minutos/ocup.) | Volume de tráfego V (1 á 3600 minutos) | n.o de ocupações n (1 – 5000) | $tm = \frac{V}{n}$ | | |
| Intensidade de tráfego A (E) | Volume de Trafego V (1 – 5000 minutos) | Período T (60 min.) | $A = \frac{V}{T}$ | | |
| Congestionamento B (%) | n.o chamadas recusadas r (1 – 100) | n.o de ocupações aceitas a (1 – 5000) | $B = \frac{r}{a+r}$ | | |
| BHC BHC(chamadas completadas HMM) | Intensidade de tráfego A (ocup./ minuto) | Tempo médio de ocupação tm (minutos/ocup.) | $BHC = \frac{A \cdot 3600}{tm}$ | | |
| BHCA BHCA (chamadas completadas e não completadas) | Intensidade de tráfego A (ocup./ minuto) | Tempo médio de ocupação tm (minutos/ocup.) | $BHCA = \frac{A \cdot 3600}{tm}$ | | |

Apendice V

5 - Medições em Campo

Os resultados das medições são efetuados por um sistema de processamento digital de sinais utilizando-se o Scanner. Devido os resultados serem muito extenso e sendo necessário o conhecimento dos protocolos da interface área com seus respectivos canais, funções e mensagens, com o objetivo de exemplificar as medições, será exemplificado um “Log”. Esta medição por sua vez apresenta um total de 6.573 paginas de resultado e por se tornarem extremamente volumoso todo resultado, será apresentado algumas paginas das medições.

Message ID: 1

Device ID: 1

Time: 07/18/13 12:47:19.150

Vendor Time:

Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527

Logical channel: BCCH

Message: System Information Block Type 2

Message type: Downlink BCCH-BCH

ACK SEQ:

MSG SEQ:

ACK REQ:

BCCH BCH Message

message ->

 sfn Prime = 1917

 payload ->

 payload index = 7 (payload index completeSIB List)

 completeSIB List ->

 CompleteSIB List size = 2

 CompleteSIB List[0] ->

 sib Type = 2 (SIB Type systemInformationBlockType2)

 sib Data variable ->

 Length = 23

 sib Data variable ->

 SysInfoType2 ->

 nonCriticalExtensions included = 0

 ura IdentityList ->

 URA IdentityList size = 0

 URA IdentityList[0] = 21102

 CompleteSIB List[1] ->

 sib Type = 0 (SIB Type masterInformationBlock)

 sib Data variable ->

 Length = 113

 sib Data variable ->

 MasterInformationBlock ->

```

v690NonCriticalExtensions included = 0
mib ValueTag = 8
plmn Type ->
    PLMN Type index = 0 ( PLMN Type index gsm MAP)
    gsm MAP ->
        plmn Identity ->
            mcc ->
                MCC[0] = 0
                MCC[1] = 10
                MCC[2] = 0
            mnc ->
                MNC size = 0
                MNC[0] = 0
                MNC[1] = 0
        sibSb ReferenceList ->
            SIBSb ReferenceList size = 13
            SIBSb ReferenceList[0] ->
                sibSb Type ->
                    SIBSb TypeAndTag index = 18 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType15)
                sysInfoType15 = 4
                scheduling ->
                    scheduling ->
                        segCount included = 1
                        sib PosOffsetInfo included = 1
                        segCount = 1
                        sib Pos ->
                            sib Pos index = 4 ( sib Pos index rep64)
                            rep64 = 1
                        sib PosOffsetInfo ->
                            SibOFF List size = 8
                            SibOFF List[0] = 8 (SibOFF so18)
                            SibOFF List[1] = 3 (SibOFF so8)
                            SibOFF List[2] = 15 (SibOFF so32)
                            SibOFF List[3] = 0 (SibOFF so2)
                            SibOFF List[4] = 12 (SibOFF so26)
                            SibOFF List[5] = 0 (SibOFF so2)
                            SibOFF List[6] = 10 (SibOFF so22)
                            SibOFF List[7] = 0 (SibOFF so2)
                            SibOFF List[8] = 0 (SibOFF so2)
                SIBSb ReferenceList[1] ->
                    sibSb Type ->
                        SIBSb TypeAndTag index = 0 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType1)
                sysInfoType1 = 1
                scheduling ->
                    scheduling ->
                        segCount included = 0
                        sib PosOffsetInfo included = 0
                        sib Pos ->

```

```

        sib Pos index = 0 ( sib Pos index rep4)
        rep4 = 0
SIBSb ReferenceList[2] ->
    sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 0 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType1)

    sysInfoType1 = 1
scheduling ->
    scheduling ->
        segCount included = 0
        sib PosOffsetInfo included = 0
        sib Pos ->
            sib Pos index = 0 ( sib Pos index rep4)
            rep4 = 0
SIBSb ReferenceList[3] ->
    sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 0 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType1)

    sysInfoType1 = 1
scheduling ->
    scheduling ->
        segCount included = 0
        sib PosOffsetInfo included = 0
        sib Pos ->
            sib Pos index = 0 ( sib Pos index rep4)
            rep4 = 0
SIBSb ReferenceList[4] ->
    sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 0 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType1)

    sysInfoType1 = 1
scheduling ->
    scheduling ->
        segCount included = 0
        sib PosOffsetInfo included = 0
        sib Pos ->
            sib Pos index = 0 ( sib Pos index rep4)
            rep4 = 0
SIBSb ReferenceList[5] ->
    sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 0 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType1)

    sysInfoType1 = 1

```

Hex dump:

```

ef ae 42 17 05 26 e0 38 b8 14 00 06 cb c1 03 10 7e 18 14 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 02

```

Message ID: 2

Device ID: 1

Time: 07/18/13 12:47:19.150
Vendor Time:
Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527
Logical channel: BCCH
Message: System Information Block Type 2
Message type: Downlink BCCH-FACH
ACK SEQ:
MSG SEQ:
ACK REQ:

BCCH FACH Message
message ->
 BCCH FACH MessageType index = 0 (BCCH FACH MessageType index
systemInformation)
 systemInformation ->
 payload ->
 payload index = 1 (payload index firstSegment)
 firstSegment ->
 sib Type = 2 (SIB Type systemInformationBlockType2)
 seg Count = 1
 sib Data fixed ->
 SysInfoType2 ->
 nonCriticalExtensions included = 0
 ura IdentityList ->
 URA IdentityList size = 0
 URA IdentityList[0] = 21102

Hex dump:
04 40 0a 4d c0

Message ID: 3
Device ID: 1
Time: 07/18/13 12:47:19.150
Vendor Time:
Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527
Logical channel: BCCH
Message: System Information Block Type 7
Message type: Downlink BCCH-FACH
ACK SEQ:
MSG SEQ:
ACK REQ:

BCCH FACH Message
message ->
 BCCH FACH MessageType index = 0 (BCCH FACH MessageType index
systemInformation)
 systemInformation ->

```

payload ->
    payload index = 1 ( payload index firstSegment)
    firstSegment ->
        sib Type = 7 (SIB Type systemInformationBlockType7)
        seg Count = 1
        sib Data fixed ->
            SysInfoType7 ->
                prach Information SIB6 List included = 0
                expirationTimeFactor included = 0
                nonCriticalExtensions included = 0
                modeSpecificInfo ->
                    modeSpecificInfo index = 0 ( modeSpecificInfo index fdd)
                    fdd ->
                        ul Interference = -100
                prach Information SIB5 List ->
                    DynamicPersistenceLevelList size = 0
                    DynamicPersistenceLevelList[0] = 1

```

Hex dump:
04 e0 05 00 00

Message ID: 4
Device ID: 1
Time: 07/18/13 12:47:19.150
Vendor Time:
Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527
Logical channel: BCCH
Message: Scheduling Block 1
Message type: Downlink BCCH-FACH
ACK SEQ:
MSG SEQ:
ACK REQ:

BCCH FACH Message

```

message ->
    BCCH FACH MessageType index = 0 ( BCCH FACH MessageType index
systemInformation)
    systemInformation ->
        payload ->
            payload index = 1 ( payload index firstSegment)
            firstSegment ->
                sib Type = 27 (SIB Type schedulingBlock1)
                seg Count = 1
                sib Data fixed ->
                    SysInfoTypeSB1 ->
                        v6b0NonCriticalExtensions included = 0
                    sib ReferenceList ->
                        SIB ReferenceList size = 1
                        SIB ReferenceList[0] ->

```

```

    sib Type ->
        SIB TypeAndTag index = 0 ( SIB TypeAndTag index
sysInfoType1)
            sysInfoType1 = 99
        scheduling ->
            scheduling ->
                segCount included = 0
                sib PosOffsetInfo included = 0
                sib Pos ->
                    sib Pos index = 3 ( sib Pos index rep32)
                    rep32 = 15
                SIB ReferenceList[1] ->
                    sib Type ->
                        SIB TypeAndTag index = 1 ( SIB TypeAndTag index
sysInfoType2)
                            sysInfoType2 = 3
                        scheduling ->
                            scheduling ->
                                segCount included = 0
                                sib PosOffsetInfo included = 0
                                sib Pos ->
                                    sib Pos index = 1 ( sib Pos index rep8)
                                    rep8 = 1

```

Hex dump:

07 60 08 18 83 f0 c0 a0

Message ID: 5
Device ID: 1
Time: 07/18/13 12:47:19.170
Vendor Time:
Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527
Logical channel: BCCH
Message: System Information Block Type 3
Message type: Downlink BCCH-BCH
ACK SEQ:
MSG SEQ:
ACK REQ:

BCCH BCH Message
message ->
 sfn Prime = 1918
payload ->
 payload index = 7 (payload index completeSIB List)
completeSIB List ->
 CompleteSIB List size = 0
CompleteSIB List[0] ->
 sib Type = 3 (SIB Type systemInformationBlockType3)
 sib Data variable ->

```

Length = 135
sib Data variable ->
  SysInfoType3 ->
    v4b0NonCriticalExtensions included = 1
    sib4indicator = 0
    cellIdentity = 7357505
    cellSelectReselectInfo ->
      mappingInfo included = 0
      hcs ServingCellInformation included = 0
      cellSelectQualityMeasure ->
        cellSelectQualityMeasure index = 0 ( cellSelectQualityMeasure
index cpich Ec N0)
          cpich Ec N0 ->
            q HYST 2 S included = 1
            q HYST 2 S = 2.00 dB
          modeSpecificInfo ->
            modeSpecificInfo index = 0 ( modeSpecificInfo index fdd)
            fdd ->
              s Intrasearch included = 1
              s Intersearch included = 1
              s SearchHCS included = 0
              rat List included = 1
              s Intrasearch = 5
              s Intersearch = 4
              rat List ->
                RAT FDD InfoList size = 0
                RAT FDD InfoList[0] ->
                  s HCS RAT included = 0
                  rat Identifier = 0 (RAT Identifier gsm)
                  s SearchRAT = 2
                  s Limit SearchRAT = 0
                  q QualMin = -18
                  q RxlevMin = -58
                  q Hyst I S = 4.00 dB
                t Reselection S = 1
                maxAllowedUL TX Power = 24
              cellAccessRestriction ->
                accessClassBarredList included = 1
                cellBarred ->
                  CellBarred index = 1 ( CellBarred index notBarred)
                cellReservedForOperatorUse = 1 (ReservedIndicator notReserved)
                cellReservationExtension = 1 (ReservedIndicator notReserved)
                accessClassBarredList ->
                  AccessClassBarredList[0] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
                  AccessClassBarredList[1] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
                  AccessClassBarredList[2] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
                  AccessClassBarredList[3] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
                  AccessClassBarredList[4] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
                  AccessClassBarredList[5] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
                  AccessClassBarredList[6] = 1 (AccessClassBarred notBarred)

```

```

AccessClassBarredList[7] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[8] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[9] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[10] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[11] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[12] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[13] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[14] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
AccessClassBarredList[15] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
v590NonCriticalExtension included = 1
sysInfoType3 v4b0ext ->
    mapping LCR included = 0
v590NonCriticalExtension ->
    v5c0NoncriticalExtension included = 1
sysInfoType3 v590ext ->
    cellSelectReselectInfo v590ext included = 0
v5c0NoncriticalExtension ->
    v670NonCriticalExtension included = 1
sysInfoType3 v5c0ext ->
    cellSelectReselectInfoTreselectionScaling v5c0ext included = 0
v670NonCriticalExtension ->
    v770NonCriticalExtension included = 0
sysInfoType3 v670ext ->
    domainSpecificAccessRestrictionParametersForPLMNOfMIB
included = 1
domainSpecificAccessRestictionForSharedNetwork included
= 0
domainSpecificAccessRestrictionParametersForPLMNOfMIB -
>
    cSDomainSpecificAccessRestriction ->
        DomainSpecificAccessRestriction v670ext index = 0 (
DomainSpecificAccessRestriction v670ext index noRestriction)
    pSDomainSpecificAccessRestriction ->
        DomainSpecificAccessRestriction v670ext index = 0 (
DomainSpecificAccessRestriction v670ext index noRestriction)

```

Hex dump:

```

ef ce 03 87 81 c1 11 04 42 da d0 09 40 c0 08 32 bf ff fe a4
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01

```

Message ID: 6

Device ID: 1

Time: 07/18/13 12:47:19.170

Vendor Time:

Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527

Logical channel: BCCH

Message: System Information Block Type 3

Message type: Downlink BCCH-FACH

ACK SEQ:

MSG SEQ:

ACK REQ:

BCCH FACH Message

message ->

 BCCH FACH MessageType index = 0 (BCCH FACH MessageType index systemInformation)

 systemInformation ->

 payload ->

 payload index = 1 (payload index firstSegment)

 firstSegment ->

 sib Type = 3 (SIB Type systemInformationBlockType3)

 seg Count = 1

 sib Data fixed ->

 SysInfoType3 ->

 v4b0NonCriticalExtensions included = 1

 sib4indicator = 0

 cellIdentity = 7357505

 cellSelectReselectInfo ->

 mappingInfo included = 0

 hcs ServingCellInformation included = 0

 cellSelectQualityMeasure ->

 cellSelectQualityMeasure index = 0 (cellSelectQualityMeasure

index cpich Ec N0)

 cpich Ec N0 ->

 q HYST 2 S included = 1

 q HYST 2 S = 2.00 dB

 modeSpecificInfo ->

 modeSpecificInfo index = 0 (modeSpecificInfo index fdd)

 fdd ->

 s Intrasearch included = 1

 s Intersearch included = 1

 s SearchHCS included = 0

 rat List included = 1

 s Intrasearch = 5

 s Intersearch = 4

 rat List ->

 RAT FDD InfoList size = 0

 RAT FDD InfoList[0] ->

 s HCS RAT included = 0

 rat Identifier = 0 (RAT Identifier gsm)

 s SearchRAT = 2

 s Limit SearchRAT = 0

 q QualMin = -18

 q RxlevMin = -58

 q Hyst 1 S = 4.00 dB

 t Reselection S = 1

 maxAllowedUL TX Power = 24

 cellAccessRestriction ->

 accessClassBarredList included = 1

```

cellBarred ->
    CellBarred index = 1 ( CellBarred index notBarred)
cellReservedForOperatorUse = 1 (ReservedIndicator notReserved)
cellReservationExtension = 1 (ReservedIndicator notReserved)
accessClassBarredList ->
    AccessClassBarredList[0] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[1] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[2] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[3] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[4] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[5] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[6] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[7] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[8] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[9] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[10] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[11] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[12] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[13] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[14] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
    AccessClassBarredList[15] = 1 (AccessClassBarred notBarred)
v590NonCriticalExtension included = 1
sysInfoType3 v4b0ext ->
    mapping LCR included = 0
v590NonCriticalExtension ->
    v5c0NoncriticalExtension included = 1
sysInfoType3 v590ext ->
    cellSelectReselectInfo v590ext included = 0
v5c0NoncriticalExtension ->
    v670NonCriticalExtension included = 1
sysInfoType3 v5c0ext ->
    cellSelectReselectInfoTreselectionScaling v5c0ext included = 0
v670NonCriticalExtension ->
    v770NonCriticalExtension included = 0
sysInfoType3 v670ext ->
    domainSpecificAccessRestrictionParametersForPLMNOfMIB
included = 1
    domainSpecificAccessRestictionForSharedNetwork included =
0
    domainSpecificAccessRestrictionParametersForPLMNOfMIB ->
        cSDomainSpecificAccessRestriction ->
            DomainSpecificAccessRestriction v670ext index = 0 (
DomainSpecificAccessRestriction v670ext index noRestriction)
        pSDomainSpecificAccessRestriction ->
            DomainSpecificAccessRestriction v670ext index = 0 (
DomainSpecificAccessRestriction v670ext index noRestriction)

```

Hex dump:
04 61 03 82 22 08 85 b5 a0 12 81 80 10 65 7f ff fd 48 00

Message ID: 7
Device ID: 1
Time: 07/18/13 12:47:19.190
Vendor Time:
Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527
Logical channel: BCCH
Message: System Information Block Type 1
Message type: Downlink BCCH-BCH
ACK SEQ:
MSG SEQ:
ACK REQ:

BCCH BCH Message
message ->
 sfn Prime = 1919
 payload ->
 payload index = 7 (payload index completeSIB List)
 completeSIB List ->
 CompleteSIB List size = 0
 CompleteSIB List[0] ->
 sib Type = 1 (SIB Type systemInformationBlockType1)
 sib Data variable ->
 Length = 143
 sib Data variable ->
 SysInfoType1 ->
 ue ConnTimersAndConstants included = 1
 ue IdleTimersAndConstants included = 1
 v3a0NonCriticalExtensions included = 0
 cn CommonGSM MAP NAS SysInfo ->
 NAS SystemInformationGSM MAP length = 1
 NAS SystemInformationGSM MAP = 21102
 cn DomainSysInfoList ->
 CN DomainSysInfoList size = 1
 CN DomainSysInfoList[0] ->
 cn DomainIdentity = 0 (CN DomainIdentity cs domain)
 cn Type ->
 cn Type index = 0 (cn Type index gsm MAP)
 gsm MAP ->
 NAS SystemInformationGSM MAP length = 1
 NAS SystemInformationGSM MAP = 2561
 cn DRX CycleLengthCoeff = 6
 CN DomainSysInfoList[1] ->
 cn DomainIdentity = 1 (CN DomainIdentity ps domain)
 cn Type ->
 cn Type index = 0 (cn Type index gsm MAP)
 gsm MAP ->
 NAS SystemInformationGSM MAP length = 1
 NAS SystemInformationGSM MAP = 1
 cn DRX CycleLengthCoeff = 6
 ue ConnTimersAndConstants ->

```

t 301 included = 0
n 301 included = 0
t 302 included = 1
n 302 included = 0
t 304 included = 0
n 304 included = 1
t 305 included = 0
t 307 included = 0
t 308 included = 1
t 309 included = 0
t 310 included = 1
n 310 included = 1
t 311 included = 1
t 312 included = 1
n 312 included = 0
t 313 included = 0
n 313 included = 1
t 314 included = 1
t 315 included = 1
n 315 included = 0
t 316 included = 0
t 317 included = 1
t 302 = 10 (T 302 ms2000)
n 304 = 3
t 308 = 0 (T 308 ms40)
t 310 = 0 (T 310 ms40)
n 310 = 0
t 311 = 0 (T 311 ms250)
t 312 = 6
n 313 = 5 (N 313 s50)
t 314 = 4 (T 314 s8)
t 315 = 1 (T 315 s10)
t 317 = 2 (T 317 infinity2)
ue IdleTimersAndConstants ->
t 300 = 10 (T 300 ms2000)
n 300 = 3
t 312 = 6
n 312 = 0 (N 312 s1)

```

Hex dump:

```

ef ee 01 8f c5 49 b9 08 50 09 10 00 10 92 f3 9a 60 01 ac 2a
9b 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01

```

Message ID: 8

Device ID: 1

Time: 07/18/13 12:47:19.190

Vendor Time:

Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527

Logical channel: BCCH

Message: System Information Block Type 1

Message type: Downlink BCCH-FACH

ACK SEQ:

MSG SEQ:

ACK REQ:

```
BCCH FACH Message
message ->
    BCCH FACH MessageType index = 0 ( BCCH FACH MessageType index
systemInformation)
        systemInformation ->
            payload ->
                payload index = 1 ( payload index firstSegment)
                firstSegment ->
                    sib Type = 1 (SIB Type systemInformationBlockType1)
                    seg Count = 1
                    sib Data fixed ->
                        SysInfoType1 ->
                            ue ConnTimersAndConstants included = 1
                            ue IdleTimersAndConstants included = 1
                            v3a0NonCriticalExtensions included = 0
                            cn CommonGSM MAP NAS SysInfo ->
                                NAS SystemInformationGSM MAP length = 1
                                NAS SystemInformationGSM MAP = 21102
                            cn DomainSysInfoList ->
                                CN DomainSysInfoList size = 1
                                CN DomainSysInfoList[0] ->
                                    cn DomainIdentity = 0 (CN DomainIdentity cs domain)
                                    cn Type ->
                                        cn Type index = 0 ( cn Type index gsm MAP)
                                        gsm MAP ->
                                            NAS SystemInformationGSM MAP length = 1
                                            NAS SystemInformationGSM MAP = 2561
                                    cn DRX CycleLengthCoeff = 6
                                CN DomainSysInfoList[1] ->
                                    cn DomainIdentity = 1 (CN DomainIdentity ps domain)
                                    cn Type ->
                                        cn Type index = 0 ( cn Type index gsm MAP)
                                        gsm MAP ->
                                            NAS SystemInformationGSM MAP length = 1
                                            NAS SystemInformationGSM MAP = 1
                                    cn DRX CycleLengthCoeff = 6
                                ue ConnTimersAndConstants ->
                                    t 301 included = 0
                                    n 301 included = 0
                                    t 302 included = 1
                                    n 302 included = 0
                                    t 304 included = 0
                                    n 304 included = 1
                                    t 305 included = 0
                                    t 307 included = 0
```

```

t 308 included = 1
t 309 included = 0
t 310 included = 1
n 310 included = 1
t 311 included = 1
t 312 included = 1
n 312 included = 0
t 313 included = 0
n 313 included = 1
t 314 included = 1
t 315 included = 1
n 315 included = 0
t 316 included = 0
t 317 included = 1
t 302 = 10 (T 302 ms2000)
n 304 = 3
t 308 = 0 (T 308 ms40)
t 310 = 0 (T 310 ms40)
n 310 = 0
t 311 = 0 (T 311 ms250)
t 312 = 6
n 313 = 5 (N 313 s50)
t 314 = 4 (T 314 s8)
t 315 = 1 (T 315 s10)
t 317 = 2 (T 317 infinity2)
ue IdleTimersAndConstants ->
t 300 = 10 (T 300 ms2000)
n 300 = 3
t 312 = 6
n 312 = 0 (N 312 s1)

```

Hex dump:

04 21 8a 93 72 10 a0 12 20 00 21 25 e7 34 c0 03 58 55 36 00

Message ID: 9

Device ID: 1

Time: 07/18/13 12:47:19.210

Vendor Time:

Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527

Logical channel: BCCH

Message: Master Information Block

Message type: Downlink BCCH-BCH

ACK SEQ:

MSG SEQ:

ACK REQ:

BCCH BCH Message

message ->

sfn Prime = 1920

```

payload ->
  payload index = 7 ( payload index completeSIB List)
  completeSIB List ->
    CompleteSIB List size = 0
    CompleteSIB List[0] ->
      sib Type = 0 (SIB Type masterInformationBlock)
      sib Data variable ->
        Length = 143
      sib Data variable ->
        MasterInformationBlock ->
          v690NonCriticalExtensions included = 0
          mib ValueTag = 7
          plmn Type ->
            PLMN Type index = 0 ( PLMN Type index gsm MAP)
            gsm MAP ->
              plmn Identity ->
                mcc ->
                  MCC[0] = 7
                  MCC[1] = 2
                  MCC[2] = 4
                mnc ->
                  MNC size = 0
                  MNC[0] = 3
                  MNC[1] = 9
              sibSb ReferenceList ->
                SIBSb ReferenceList size = 4
                SIBSb ReferenceList[0] ->
                  sibSb Type ->
                    SIBSb TypeAndTag index = 21 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoTypeSB1)
  sysInfoTypeSB1 = 3
  scheduling ->
    scheduling ->
      segCount included = 0
      sib PosOffsetInfo included = 0
      sib Pos ->
        sib Pos index = 1 ( sib Pos index rep8)
        rep8 = 1
    SIBSb ReferenceList[1] ->
      sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 2 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType3)
  sysInfoType3 = 3
  scheduling ->
    scheduling ->
      segCount included = 0
      sib PosOffsetInfo included = 0
      sib Pos ->
        sib Pos index = 3 ( sib Pos index rep32)
        rep32 = 14

```

```

SIBSb ReferenceList[2] ->
    sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 4 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType5)
    sysInfoType5 = 3
    scheduling ->
        scheduling ->
            segCount included = 1
            sib PosOffsetInfo included = 1
            segCount = 3
            sib Pos ->
                sib Pos index = 3 ( sib Pos index rep32)
                rep32 = 2
                sib PosOffsetInfo ->
                    SibOFF List size = 1
                    SibOFF List[0] = 0 (SibOFF so2)
                    SibOFF List[1] = 2 (SibOFF so6)
SIBSb ReferenceList[3] ->
    sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 6 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType7)
    scheduling ->
        scheduling ->
            segCount included = 0
            sib PosOffsetInfo included = 0
            sib Pos ->
                sib Pos index = 1 ( sib Pos index rep8)
                rep8 = 1
SIBSb ReferenceList[4] ->
    sibSb Type ->
        SIBSb TypeAndTag index = 10 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType11)
    sysInfoType11 = 3
    scheduling ->
        scheduling ->
            segCount included = 1
            sib PosOffsetInfo included = 1
            segCount = 3
            sib Pos ->
                sib Pos index = 3 ( sib Pos index rep32)
                rep32 = 7
            sib PosOffsetInfo ->
                SibOFF List size = 1
                SibOFF List[0] = 2 (SibOFF so6)
                SibOFF List[1] = 0 (SibOFF so2)

```

Hex dump:

f0 0e 00 8f 61 c9 07 24 ac 0a 28 3e 25 91 90 81 18 15 56 46
e2 40 00 00 00 00 00 00 00 00 00 01

Message ID: 10
Device ID: 1
Time: 07/18/13 12:47:19.210
Vendor Time:
Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527
Logical channel: BCCH
Message: Master Information Block
Message type: Downlink BCCH-FACH
ACK SEQ:
MSG SEQ:
ACK REQ:

BCCH FACH Message

```
message ->
    BCCH FACH MessageType index = 0 ( BCCH FACH MessageType index
systemInformation)
    systemInformation ->
        payload ->
            payload index = 1 ( payload index firstSegment)
            firstSegment ->
                sib Type = 0 (SIB Type masterInformationBlock)
                seg Count = 1
                sib Data fixed ->
                    MasterInformationBlock ->
                        v690NonCriticalExtensions included = 0
                        mib ValueTag = 7
                        plmn Type ->
                            PLMN Type index = 0 (PLMN Type index gsm MAP)
                            gsm MAP ->
                                plmn Identity ->
                                    mcc ->
                                        MCC[0] = 7
                                        MCC[1] = 2
                                        MCC[2] = 4
                                    mnc ->
                                        MNC size = 0
                                        MNC[0] = 3
                                        MNC[1] = 9
                                sibSb ReferenceList ->
                                    SIBSb ReferenceList size = 4
                                    SIBSb ReferenceList[0] ->
                                        sibSb Type ->
                                            SIBSb TypeAndTag index = 21 (SIBSb TypeAndTag index
sysInfoTypeSB1)
                                            sysInfoTypeSB1 = 3
                                            scheduling ->
                                                scheduling ->
                                                    segCount included = 0
```

```

        sib PosOffsetInfo included = 0
        sib Pos ->
            sib Pos index = 1 ( sib Pos index rep8)
            rep8 = 1
        SIBSb ReferenceList[1] ->
            sibSb Type ->
                SIBSb TypeAndTag index = 2 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType3)

            sysInfoType3 = 3
            scheduling ->
                scheduling ->
                    segCount included = 0
                    sib PosOffsetInfo included = 0
                    sib Pos ->
                        sib Pos index = 3 ( sib Pos index rep32)
                        rep32 = 14
                SIBSb ReferenceList[2] ->
                    sibSb Type ->
                        SIBSb TypeAndTag index = 4 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType5)

                    sysInfoType5 = 3
                    scheduling ->
                        scheduling ->
                            segCount included = 1
                            sib PosOffsetInfo included = 1
                            segCount = 3
                            sib Pos ->
                                sib Pos index = 3 ( sib Pos index rep32)
                                rep32 = 2
                            sib PosOffsetInfo ->
                                SibOFF List size = 1
                                SibOFF List[0] = 0 (SibOFF so2)
                                SibOFF List[1] = 2 (SibOFF so6)
                SIBSb ReferenceList[3] ->
                    sibSb Type ->
                        SIBSb TypeAndTag index = 6 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType7)

                    scheduling ->
                        scheduling ->
                            segCount included = 0
                            sib PosOffsetInfo included = 0
                            sib Pos ->
                                sib Pos index = 1 ( sib Pos index rep8)
                                rep8 = 1
                SIBSb ReferenceList[4] ->
                    sibSb Type ->
                        SIBSb TypeAndTag index = 10 ( SIBSb TypeAndTag index
sysInfoType11)

                    sysInfoType11 = 3
                    scheduling ->

```

```

scheduling ->
    segCount included = 1
    sib PosOffsetInfo included = 1
    segCount = 3
    sib Pos ->
        sib Pos index = 3 ( sib Pos index rep32)
        rep32 = 7
    sib PosOffsetInfo ->
        SibOFF List size = 1
        SibOFF List[0] = 2 (SibOFF so6)
        SibOFF List[1] = 0 (SibOFF so2)

```

Hex dump:

04 00 c3 92 0e 49 58 14 50 7c 4b 23 21 02 30 2a ac 8d c4 80

Message ID: 11

Device ID: 1

Time: 07/18/13 12:47:19.230

Vendor Time:

Latitude: -23.500797 Longitude: -46.562527

Logical channel: BCCH

Message: System Information Block Type 2

Message type: Downlink BCCH-BCH

ACK SEQ:

MSG SEQ:

ACK REQ:

BCCH BCH Message

message ->

sfn Prime = 1921

payload ->

payload index = 7 (payload index completeSIB List)

completeSIB List ->

CompleteSIB List size = 2

CompleteSIB List[0] ->

sib Type = 2 (SIB Type systemInformationBlockType2)

sib Data variable ->

Length = 23

sib Data variable ->

SysInfoType2 ->

nonCriticalExtensions included = 0

ura IdentityList ->

URA IdentityList size = 0

URA IdentityList[0] = 21102

CompleteSIB List[1] ->

sib Type = 0 (SIB Type masterInformationBlock)

sib Data variable ->

Length = 113

sib Data variable ->

MasterInformationBlock ->

```

v690NonCriticalExtensions included = 0
mib ValueTag = 8
plmn Type ->
    PLMN Type index = 0 ( PLMN Type index gsm MAP)
    gsm MAP ->
        plmn Identity ->
            mcc ->
                MCC[0] = 0
                MCC[1] = 10
                MCC[2] = 0

```

Apendice VI

6 – Animações de Campo Eletromagnético e Antenas.

6.1 - www.phys.vt.edu/~piilonen/flash/

1.1.1.1 Electromagnetism (used in PHYS 3405-3406):

- Electromagnetic waves at a dielectric boundary
- Electromagnetic fields and potentials from a moving point charge
- Electric field from a point charge moving back and forth
- Electromagnetic fields and potentials from a pointlike electric dipole antenna
- Electromagnetic waves in a waveguide

6.2 - www.cabrillo.edu/~jmccullough/Applets/...by.../EM_Waves.html

- EM Wave
- Radio Waves and EM Fields
- EM Wave Animation
- Electromagnetic Waves
- Circular Polarization
- Polarizer

6.3 - http://phys23p.sl.psu.edu/phys_anim/Phys_anim.htm

- Elec & Mag
- Wave

6.4 - <http://www.met.reading.ac.uk/clouds/maxwell/>

- Propagation
- Antennas

6.5- - http://www.wiley.com/college/strahler/0471480533/animations/ch04_animations/animation1.html

- Electromagnetic Spectrum

6.6 - <http://cddemo.szialab.org/>

- ❖ I. Basic concepts: Electromagnetic waves and types of polarization
 - Plane-polarized waves 1.
 - Plane-polarized waves 2.

- Superposition of plane-polarized waves 1.
 - Superposition of plane-polarized waves 2.
 - Superposition of plane-polarized waves 3.
 - Circularly polarized waves
 - Superposition of circularly polarized waves
- ❖ II. Interaction of light and matter
- Plane-polarized waves in an absorbing medium
 - Circularly polarized waves in an absorbing medium
 - Plane-polarized waves in a refracting medium
 - Circularly polarized waves in a refracting medium
 - Plane-polarized waves in a medium with circular dichroism
 - Plane-polarized waves in a medium with circular birefringence
 - Plane-polarized waves in a medium with both circular dichroism and circular birefringence

6.7 - <http://physics.usask.ca/~hirose/ep225/anim.htm>

- Pendulum (nonlinear effect)
- Wave Motion
- Wave Reflection and Transmission
- Reflection and transmission of E&M waves
- Standing Waves I
- Standing Waves II (Resonance in a chain vertically hanging)
- Standing Waves III (Drum membrane)
- Wave Dispersion
- Doppler Effect
- Electromagnetic Waves
- Impedance Matching
- Skin Effects
- Radiation of Electromagnetic Waves from Dipole Antenna
- Antenna Directivity
- Solitons

6.8 - http://www.goes-r.gov/users/comet/tropical/textbook_2nd_edition/media/flash/s8flyout.swf

- Polarization of electromagnetic radiation

6.9 - https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dipole_receiving_antenna_animation_2_800x403x15ms.gif

- Dipole receiving antenna animation

6.10 – <https://www.cst.com/Academia/Examples/Wire-Dipole-Antenna>

- Wire Antenna – Half-wavelength Dipole

6.11 - <http://demonstrations.wolfram.com/DipoleAntennaRadiationPattern/>

- Dipole Antenna Radiation Pattern

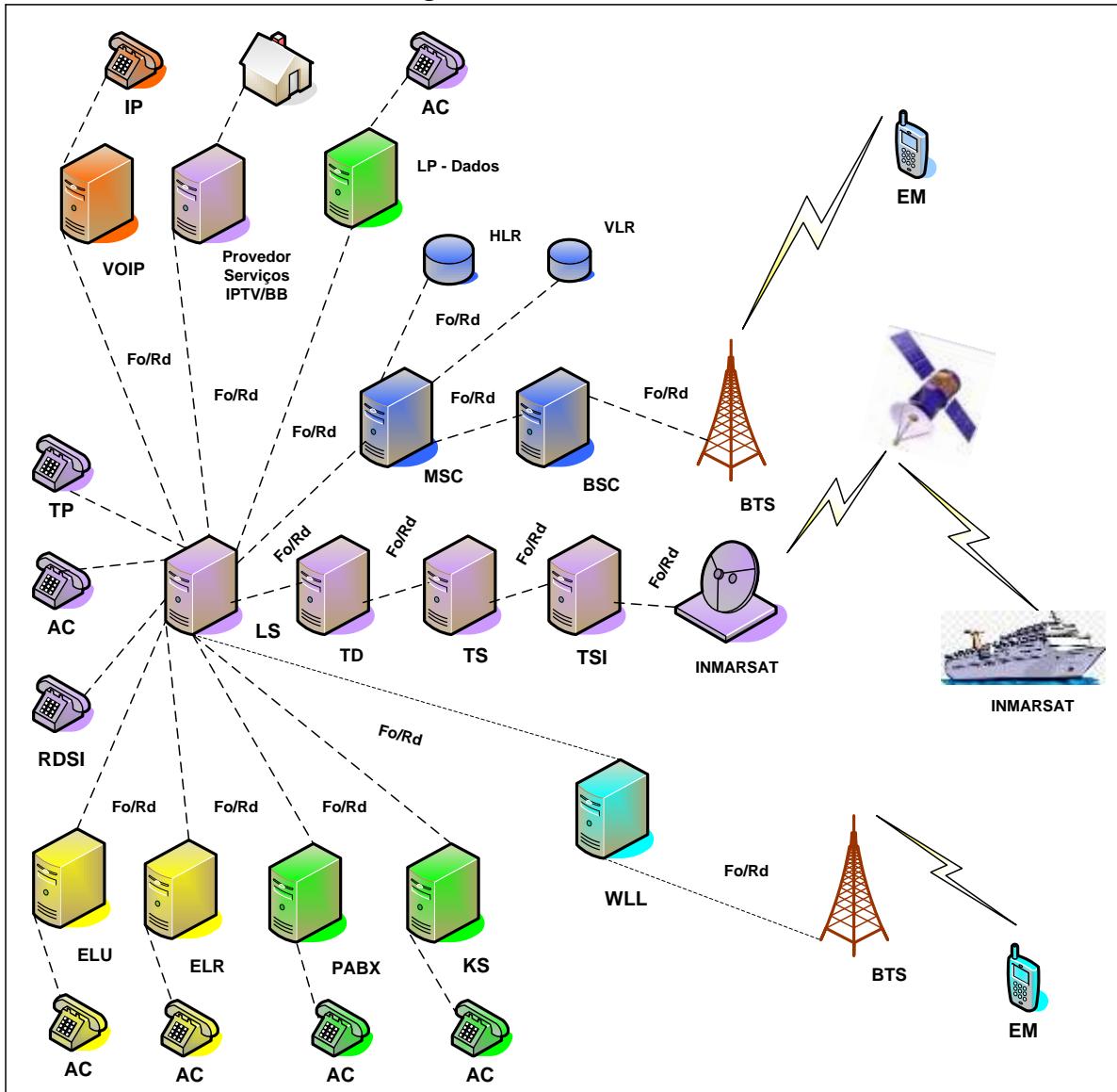
Apendice VII

Rede Mundial de Telecomunicações

1- Introdução.

A rede mundial de telecomunicações no que concerne a sistemas comutados é compartilhada, disputada e subdividida em três seguimentos de rede: pública, privada e móvel. A figura 1 a seguir exemplifica o sistema comutado mundial.

Figura 1 – Rede Mundial.



As centrais de comutação estabelecem circuitos temporários entre assinantes permitindo o compartilhamento de circuitos e promovendo a otimização dos recursos. A comutação pode ser estabelecida por circuito, pacote, célula ou IP.

1.1 – Rede de Telefonia Fixa.

A rede de telefonia pública comutada é constituída dos seguintes elementos de rede: LS, TD, TS, TSI, INMARSAT, WLL, ELU, ELR.

A LS é conhecida como central mãe é o core do sistema, na qual chega às linhas dos assinantes, com plano de numeração, com função de interliga-las e, também é responsável pelo processamento das chamadas, tarifação, bilhetagem, controle do tráfego telefônico e gerenciamento automático de operação, manutenção e falhas do sistema. Desempenha a função de escoamento do tráfego local conectada a assinantes do tipo: TP, AC, VOIP e RDSI.

Estão conectadas a LS as centrais do tipo privada, PABX e KS realizando as mesmas funções das centrais publica, mas com funções corporativas.

Os acessos ELR e ELU apresentam-se como uma extensão da LS, reduzem o custo com implantações de novas centrais. Estas por sua vez não realizam processamento de chamada, tarifação e controle de tráfego.

O WLL esta interligada a LS com serviços de telefonia celular fixa, o que equivale a dizer que substitui os pares de cabos telefônicos utilizados na rede de capilaridade (cabo metálico), reduzindo assim drasticamente os custos de implantação. O assinante conecta a central por sinal de rádio através de uma estação radio base, promovendo os mesmos serviços da rede publica comutada.

A central VOIP esta interligada a central LS, também conhecida com voz sobre IP, telefonia IP com um conjunto de tecnologias, largamente utilizadas em redes IP ou Intranet, com o objetivo de realizar comunicações de voz.

Os provedores de serviços se caracterizam por uma modalidade não comutada, utilizando-se da malha de capilaridade pública para promover serviços de banda larga, VOIP e IPTV.

As redes corporativas no que concerne a “grande assinante” utilizam linhas dedicadas, LP de dados interligando a central LS através da rede de transporte do tipo modem ótico ou rádio, caracterizando um como um serviço não compartilhado e comutado.

As centrais TD são as centrais que fazem a comutação de troncos entre duas ou mais LS em uma área local ou região metropolitana, funcionando como nó na rede, não trata de assinante e apresentam uma solução econômica.

As centrais TS funcionam como um nó na rede interligando duas ou mais central TD. Esta por sua vez é responsável pelo escoamento do tráfego interurbano entre cidades de estado.

As centrais TSI interligam duas ou mais centrais TS, são responsáveis pelo escoamento do tráfego internacional entre países.

A INMARSAT é uma central do tipo TSI, utilizando o sistema de comunicação via satélite, é responsável pelo escoamento do tráfego internacional marítimo.

O sistema de telefonia fixa comutado faz a conexão com o sistema móvel celular através das centrais do tipo MSC

1.2 - Sistema Móvel Celular.

O sistema móvel celular é composto basicamente pelos seguintes elementos de rede: MSC, BSC, BTS, HLR, VLR e EM.

A MSC é uma central de comutação da telefonia celular, apresentando-se como core do sistema, desempenhando as funções: processamento de chamada, tráfego telefônico, tarifação, bilhetagem, controle de potência dos enlaces de subida e descida, troca de canais (handoff) e gerenciamento automático de operação, manutenção e falha do sistema.

A BSC é a controladora do sistema radio, apresenta-se como interfase entre a MSC e BTS, é o núcleo da rede, desempenha funções de gerenciamento das BTS, realiza atividades similares a MSC tais como: supervisão do tráfego telefônico, controle automático de potência EM, supervisiona a troca de canais, gerenciamento de manutenção e falhas.

O site é a região geográfica onde se encontra a infraestrutura móvel constituída: edificação (prédio padrão, casa ou contêiner), BTS, sistema de energia, sistema de transmissão (radio, multiplexes, fibra óptica), torre e sistema irradiante. As antenas basestation do tipo setorial são responsáveis pela área de cobertura da célula através dos sinais de radio. A estação radio é responsável pela conexão do EM através da interfase aérea, constituída de transceptores, antenas e realizando a conexão com a ultima milha.

O HLR realiza a função de banco de dados dos assinantes. Nele é armazenado o cadastro de assinante: número do assinante, planos serviços contratados, serviços suplementares. A ativação ou a desativação dos serviços é feita no HLR. A MSC apresenta link de sinalização com o HLR e os dados de assinante são checados toda vez que ocorrer um processo de originação de chamada.

O VLR desempenha função de dados temporária dos usuários visitante (EM), podendo ser montada na MSC. Entende-se por visitante todo EM que não está registrada na MSC responsável por aquela área. Sendo assim todo assinante fora de área quando deseja fazer uma conexão, o VLR através de um link de sinalização consulta os dados do assinante no HLR antes de estabelecer a chamada.

1.3 – Plataformas de Altitude.

1.3.1 – Introdução.

O sistema HAPs oferece uma alternativa para a comunicação das redes sem fio, com características marcantes nos sistemas terrestres apresentando um conjunto de fácil implantação, baixo custo, manutenção e área de cobertura abrangente. As plataformas de altitude aparecem como uma nova tecnologia emergente para sistemas terrestres, oferecendo serviços de banda larga, sensoriamento remoto, navegação, segurança interna, meteorologia, aplicações militares, serviços de rádio difusão e sistema móvel celular.

1.3.2 – HAPs Definição.

HAPS são dirigíveis ou aviões que operam na estratosfera a altitudes tipicamente de 17 á 22 km , conforme mostra a figura 2 e 3. Esta altitude está acima das aeronaves comerciais e podem manter-se em uma posição quase estacionária. Com esta plataforma, elimina-se a infraestrutura de torres e postes, tornando-se um modelo econômico e de rápida implantação, dispensando licenças ambientais em área de floresta e evitando áreas de sombra (sem sinal de rádio). Com este modelo obtém-se uma maior eficiência no aproveitamento do espectro de frequência no que se refere a reuso de frequência e demonstra uma série de vantagens em comparação a redes tradicionais via satélite. Em sistema onde se utiliza aviões, são possíveis dois tipos de tecnologia: tripulados e não tripulados com uma trajetória circular. [1]

Figura 2 - Sky Tower



Figura 3 – Halo



1.3.3. – Topologia do Sistema HAPs.

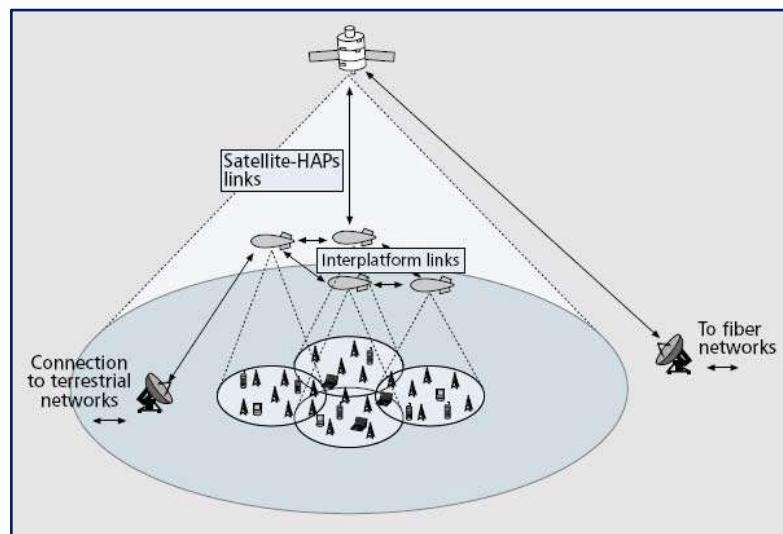
HAPs oferece uma grande variedade de topologias de rede, devido à sua rápida implantação e baixo custo. Ele pode ser incluído em várias topologias, dependendo do serviço permite a instalação de três tipos de topologias. Em primeiro lugar, pode ser usado como uma plataforma intermédia entre o satélite e sistema terrestre, melhorando a área de cobertura e gestão de recursos. Em segundo lugar, pode ser utilizado como segmento de estratosférico com uma arquitetura que utiliza juntamente com uma rede terrestre. Finalmente, pode ser alocado como um segmento estratosférico, usando um satélite como um link alternativo backhaul, para áreas desprovidas de serviço terrestre, onde links de satélite é a única possibilidade.

[1]

1.3.4 – Sistema Terrestre HAPs e Satélite.

Esta infraestrutura terrestre é constituída: HAPs e satélite formando uma rede mista, onde por sua vez o sistema HAPS funciona como uma interface entre o usuário final e a rede de satélite, obtendo-se assim uma melhora no desempenho de ambos. Ressaltando-se que o conjunto HAPs e satélite podem operar como sistemas independentes ou em redundância, o que equivale a dizer que em caso de falha um deles assumi a área de cobertura. Conforme exemplifica a figura 4 a seguir é um sistema de transmissão tripla envolvendo satélite, HAPs e terminal de usuário.[1]

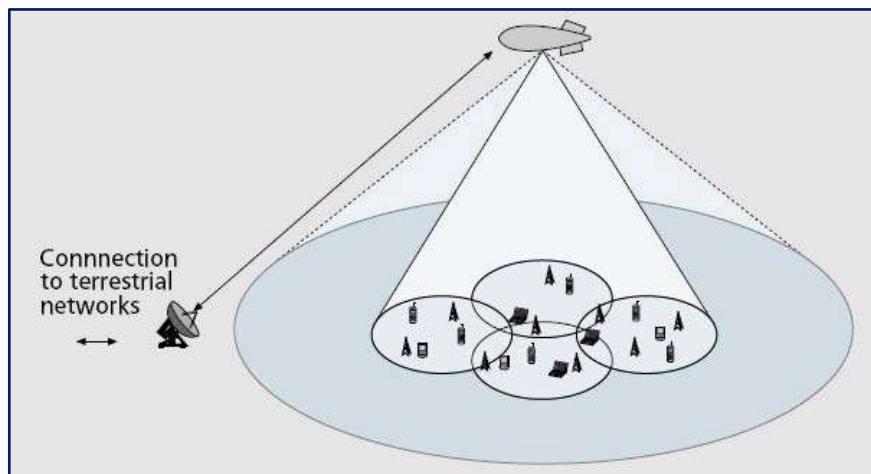
Figura 4 – Sistema HAPs e Satélite.



1.3.5 – Sistema Integrado Terrestre HAP.

Esta topologia terrestre engloba o sistema HAPs , EM e Estação Radio Controle que através de fibra óptica conecta-se com o sistema de comutação. Esta arquitetura é mais simples por não apresentar interconexão com a rede de satélite. Baseando-se em testes, o HAPs através do seu posicionamento na estratosfera, e sistema irradiante pode abranger células com mais de 150 km de raio, substituído grande parte das infraestruturas convencionais utilizadas por torres em telefonia celular e melhorando a otimização do sistema com a diminuição das áreas de sombra e consequentemente evitando a degradação dos serviços com queda de chamada.[1]

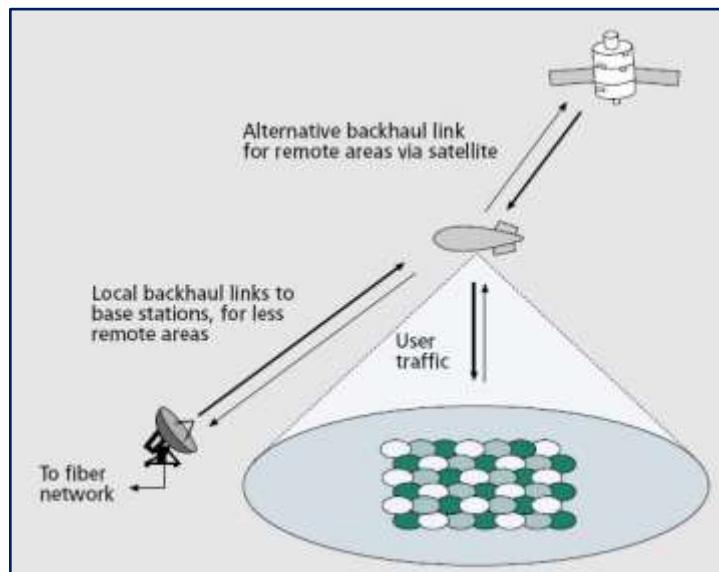
Figura 5 – Sistema Integrado HAPs



1.3.6 – Sistema Standalone HAPs.

Levando em considerações as arquiteturas utilizadas nos dois itens anteriores, o HAPs foi utilizado como sistemas intermediários entre terrestre e de satélite. Este sistema é constituído de satélite, HAPs e terminal móvel. Devido às facilidades múltiplas do HAPs pode-se utilizar-lo como plataforma de altitude em condição de redundância nos sistemas UMTS de 3.0 e 4.0 gerações em zonas rurais e remotas com pouco interesse econômico no que se refere a custos de equipamentos e implantação. [1]

Figura 6 – Sistema Standalone



Abreviaturas.

| | |
|------------|--|
| ❖ TP | Telefone público |
| ❖ AC | Assinante comum |
| ❖ RDSI | Rede digital de serviço integrado |
| ❖ IP | Internet protocol |
| ❖ EM | Estação móvel |
| ❖ ELU | Unidade de linha estendida |
| ❖ ELR | Estágio de linha remota |
| ❖ BB | Banda Larga |
| ❖ Rd | Radio |
| ❖ FO | Fibra ótica |
| ❖ LS | Central local |
| ❖ TD | Central tandem |
| ❖ TS | Central transito |
| ❖ TSI | Central transito Internacional |
| ❖ INMARSAT | Organização Internacional de telecomunicações marítimas por satélite |
| ❖ IPTV | Internet Protocol TV |
| ❖ PABX | Private automatic branch exchange |
| ❖ KS | Key system |
| ❖ MSC | Mobile switching center |
| ❖ BSC | Base station controller |
| ❖ BTS | Base transceiver station |
| ❖ HLR | Home location register |
| ❖ VLS | Visitor location register |
| ❖ WLL | Wireless local loop |
| ❖ LP | Linha privada |
| ❖ VOIP | Voice over Internet protocol |
| ❖ HAPs | High altitude platforms |
| ❖ HALO | High altitude long operation |

REFERENCIA

[1] - High Altitude Platforms for UMTS - Javier Cazorla Avilés - Master Of Science Thesis – Subject Approved By Department Council On January 15th, 2007