

Implementação do Sistema GSM-R na Rede Ferroviária Nacional – Projeto-piloto

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor

Jorge António Ferreira de Soure

Orientador

Doutor Fernando Lopes

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor na Empresa

Engenheiro José Manuel Carreira Miguel

Refer Telecom, S.A.

Coimbra, Outubro de 2013

*Aos meus pais, aos meus sobrinhos e
à Tina*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer à Administração da Refer Telecom e ao Sr. Diretor Geral Eng. Mário Alves, pela oportunidade que me foi concedida para realizar um estágio sobre o primeiro sistema GSM-R instalado em Portugal e por me terem proporcionado uma experiência tão enriquecedora e importante para o futuro da ferrovia nacional e sua interoperabilidade com outros países da Europa.

Ao Eng. Carreira Miguel agradeço pela constante disponibilidade e entusiasmo para prestar todos os esclarecimentos necessários e pela orientação do estágio assim como pelo constante incentivo para o meu envolvimento na gestão dos processos de instalação dos sistemas GSM-R, na confiança demonstrada pelo meu trabalho, na oportunidade de aprendizagem do sistema e na participação nas ações de formação que ocorreram sobre este novo sistema.

Ao Doutor Fernando Lopes pelo interesse demonstrado pelo trabalho e na orientação do mesmo, pelos ensinamentos transmitidos e pela disponibilidade para troca de impressões que muito enriqueceram este trabalho.

Aos meus colegas da Refer Telecom e da *Nokia Siemens Networks*, Mário Pereira, Ana Rita Beire, Jorge Mota e Jorge Lopes com quem tive oportunidade e muito gosto em trabalhar, pela partilha de ideias sobre as funcionalidades dos novos equipamentos, pela ajuda e esclarecimentos prestados e pela colaboração na realização da implementação do Projeto-piloto e nos testes realizados.

Aos meus pais, família e amigos pelas manifestações de confiança e amizade. E à minha companheira Cristina, pelo constante encorajamento e compreensão e por toda a ajuda que me deu durante a realização deste trabalho.

RESUMO

O GSM-R-*Global System for Mobile Communications Railway* começou o seu desenvolvimento em 1992 pela UIC (*União Internacional dos Caminhos de ferro*) com a criação do EIRENE (*European Integrated Railway Radio Enhanced Network*) e constitui a componente de telecomunicações do sistema ERTMS - *European Railway Traffic Management System* em conjunto com o ETCS - *European Train Control System* e o ATP-*Automatic Train Protection*. O GSM-R baseia-se assim no GSM público com algumas adaptações e um conjunto de funcionalidades adicionais necessárias à sua utilização especificamente ferroviária.

Em termos de rádio as principais diferenças relativamente à norma GSM, residem no facto de o sistema GSM-R suportar velocidades até aos 500 km/h, suportando *handovers* e seleção/re-seleção de células mais rápidos do que na norma do GSM original. Por outro lado, ao nível funcional e aplicacional, novas funções específicas da ferrovia foram consideradas, tais como por exemplo o controlo automático dos comboios e as chamadas de emergência.

O GSM-R encontra-se já instalado em diversos países europeus. Em Portugal encontra-se instalado na Linha de Cascais e entre a Estação do Oriente e a Ponte 25 Abril, atualmente ainda numa fase experimental.

O Estágio decorreu na empresa Refer Telecom – Serviços de Telecomunicações S.A. (RT) que é uma empresa do grupo REFER E.P.E. Mais concretamente, o estágio integrou-se nas atividades da Direção de Comunicações Móveis, pertencente à Direção de Coordenação de Sistemas Ferroviários da REFER Telecom.

Neste Relatório de Estágio pretende-se fazer uma apresentação das atividades com participação e acompanhamento do estagiário, integrada numa descrição de todas as fases em que se dividiu a implementação do Projeto-piloto GSM-R em Portugal, desde a elaboração dos elementos técnicos para o concurso até à sua implementação no terreno. Pretende-se ainda enquadrar os principais aspetos relacionados com a utilização de algumas ferramentas de suporte à operação e à manutenção ao sistema GSM-R.

Neste contexto são apresentados os conhecimentos teóricos e práticos adquiridos com a realização do estágio, incluindo o estudo necessário para compreender a arquitetura complexa do sistema GSM-R e tecnologias associadas, sobre a sua implementação no terreno e a operação e manutenção dos equipamentos, assim como sobre as áreas da contratação e da gestão de projetos.

O Projeto-piloto GSM-R é um dos mais importantes projetos de telecomunicações ferroviárias instalado em Portugal nos últimos anos, pois visa projetar a ferrovia nacional para o futuro, com melhores comunicações em termos de qualidade, segurança, fiabilidade, interoperabilidade e sustentabilidade. Trata-se assim de uma importante experiência profissional e pessoal, muito enriquecedora, e que no seu conjunto abre novas perspectivas para o futuro.

Palavras-chave: GSM-R, ERTMS, ETCS, Refer Telecom, Interoperabilidade, Projeto-piloto.

ABSTRACT

The GSM-R - Global System for Mobile Communications Railway development began in 1992 by UIC (*International Union of Railways*) with the creation of EIRENE (*European Integrated Railway Radio Enhanced Network*) and is the telecommunications component of the ERTMS - European Railway Traffic Management System, together with the ETCS European Train Control System and the ATP-Automatic Train Protection. The GSM-R system is based on the public GSM with a few adjustments and a set of additional features necessary for its specific use in the railway environment.

In what concerns the radio component, the main differences when compared to the GSM standard, are that the GSM-R system supports speeds that can go up to 500 km/ h, supporting handovers and selection/reselection of cells faster than the original GSM standard. On the other hand, at the functional and application levels, new railway specific functions were considered, in order to support more flexible and applied railway communications, such as automatic control of trains and emergency calls.

The GSM-R system is already installed in several European countries. In Portugal it is currently installed in the Cascais railway line, and between Estação do Oriente and Ponte 25 de Abril, currently still in an experimental phase.

The Internship took place in the company Refer Telecom - Serviços de Telecomunicações, S.A., a company integrated in the REFER E.P.E Group. More precisely, the Internship was integrated in the activities developed by Direção de Comunicações Móveis, which belongs to the Direção de Coordenação de Sistemas Ferroviários of Refer Telecom.

This Internship Report intends to present all the activities in which the trainee was involved, integrated in a description of all phases of the GSM-R Pilot Project implementation in Portugal, from the preparation of the technical elements for the tender proposal, to its field implementation. The main aspects related to some tools used to support the operation and maintenance of the GSM-R system are also described.

In this context, the theoretical and practical knowledge acquired through the Internship are presented, including the study required to understand the complex GSM-R architecture and associated technologies, in the field of the GSM-R field implementation, in the operation and maintenance, as well as in the project management and people hiring areas.

The GSM-R Pilot Project is one of the most important railway telecommunication projects installed in Portugal in recent years, as it seeks to project the national railway for the future, with better communications in terms of quality, safety, reliability, interoperability and sustainability. It is therefore an important professional and personal experience, very enriching, opening a whole new set of perspectives for the future.

Keywords: GSM-R, ERTMS, REFER, Refer Telecom, Interoperability, Pilot Project.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE ANEXOS	xxi
LISTA DE SÍMBOLOS	xxiii
LISTA DE ACRÓNIMOS	xxv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Considerações gerais sobre o sistema GSM-R	1
1.2. Enquadramento e objetivos do estágio na empresa	1
1.3. Objetivos e organização do relatório	3
2. A EVOLUÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS FERROVIÁRIAS	5
2.1. O Sistema Rádio Solo-Comboio (RSC).....	5
2.1.1. Evolução do sistema RSC	5
2.1.2. Constituição do sistema RSC	5
2.2. Resumo histórico da evolução do GSM-R	10
2.3. O GSM-R em Portugal	15
2.4. O sistema ERTMS (GSM-R e ETCS)	16
2.4.1. O ERTMS - <i>European Railway Traffic Management System</i>	16
2.4.2. O ETCS e o GSM-R	18
2.5. Funcionalidades do sistema GSM-R.....	24
2.6. A sustentabilidade do sistema ERTMS	29
3. ARQUITETURA E PLANEAMENTO DO GSM-R	31
3.1. Requisitos de Qualidade de Serviço	31
3.2. Arquitetura	31
3.3. Planeamento celular	32
3.4. O espectro da Rede Rádio GSM-R	34
3.5. Estações Base.....	36
3.6. Antenas	37
3.7. Cabos e conectores.....	40

3.8.	Repetidores.....	40
3.9.	Equipamento terminal	41
4.	CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA GSM-R	43
4.1.	Arquitetura de uma rede CORE (MSC- <i>Mobile Switching Center</i>).....	43
4.2.	Constituição do sistema CORE	46
4.2.1.	Voice Group Call Service (VGCS).....	54
4.2.2.	SMS Center	57
4.2.3.	Sinalização GSM – SS7	59
4.2.4.	UMTS-Universal Mobile Telecommunications System.....	61
4.3.	Constituição do Subsistema BSS	61
4.3.1.	Funcionalidades gerais da BSC.....	63
4.3.2.	Gestão de canais de sinalização entre BSC e BTSs	64
4.3.3.	Exchange Terminal (ET) - Terminal de Comutação.....	66
4.3.4.	TRAU (TCSM3i)	66
4.3.5.	Serviços de dados e mensagens	67
4.3.6.	Funcionalidades gerais da BTS.....	67
4.3.7.	Sistema de repetidores de fibra ótica	69
4.3.8.	Sistema <i>Dispatcher</i> e Cab radios	70
4.4.	Interoperabilidade.....	71
5.	FASES DE IMPLEMENTAÇÃO DA REDE MÓVEL GSM-R	73
5.1.	Faseamento do CORE	73
5.2.	Planeamento da Rede	74
5.2.1.	Estratégia de planeamento do projeto-piloto GSM-R.....	74
5.2.2.	Localização das Estações Base	75
5.3.	Implementação das infraestruturas para o Projeto-piloto - GSM-R.....	75
5.3.1.	Elaboração do Caderno de Encargos e Nota Técnica	75
5.3.2.	Realização do processo de concurso	77
5.3.3.	Obra de instalação das infraestruturas	77
5.4.	Implementação do subsistema BSS (<i>Base Station Subsystem</i>)	85
5.4.1.	Elaboração do caderno de encargos e nota técnica	85
5.4.2.	Realização do processo de concurso	86
5.4.3.	Obra de execução da instalação do subsistema BSS.....	86
5.5.	Integração do BSS na rede CORE.....	90
5.5.1.	Fase de comissionamento e testes de otimização da rede	91

Índice

5.5.2. Otimização realizada após a integração do sistema.....	105
5.6. Cadastro	112
6. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SUBSISTEMA BSS. APLICAÇÃO DO PROGRAMA INFORMÁTICO NETACT OSS 5.3.....	115
6.1. Breve descrição do sistema NetAct	115
6.2. Implementação da Rede do Projeto-piloto GSM-R no NectAct.....	116
6.3. Gestão dos alarmes da rede do GSM-R através do <i>NetAct</i>	119
6.4. Operação e Manutenção com NetAct	121
7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	125
7.1. Considerações finais	125
7.2. Sugestões para futuros desenvolvimentos	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXOS	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Organigrama Geral da Refer Telecom (março 2013)	2
Figura 2. <i>Sites</i> com a localização das BTS e Repetidores do projeto-piloto GSM-R [3].....	3
Figura 3. Sistema RSC – Diagrama Geral RSC [1].....	6
Figura 4. Sistema RSC – Diagrama do Posto Móvel [1].....	7
Figura 5. Equipamentos de Rádio Solo-Comboio 1 [1].	8
Figura 6. Equipamentos de Rádio Solo-Comboio	9
Figura 7. Desenvolvimento do GSM-R [2]	11
Figura 8. Serviços disponíveis no GSM-R – EIRENE [2]	11
Figura 9. Evolução das comunicações móveis [3]	13
Figura 10. Mapa europeu de implementação da rede GSM-R [2].....	14
Figura 11. Mapa mundial de implementação da rede GSM-R [2]	14
Figura 12. ERTMS – Cabine comboio [8]	17
Figura 13. ERTMS – Espanha [8]	17
Figura 14. Estrutura funcional do ERTMS [2]	18
Figura 15. ETCS (<i>European Train Control System</i>) – Estrutura geral [8].....	19
Figura 16. Endereçamento funcional em GSM-R [8].....	19
Figura 17. Níveis do ETCS (ERTMS) [8].....	21
Figura 18. <i>Man Machine Interface</i>	23
Figura 19. Eurobalisa.....	23
Figura 20. Arquitetura do equipamento de via [8]	23
Figura 21. Arquitetura do equipamento de bordo [8].....	24
Figura 22. Arquitetura completa do sistema GSM-R [13]	26
Figura 23. Sala comando e operação da circulação ferroviária.....	26
Figura 24. Âmbito do EIRENE [7].....	27
Figura 25. Arquitetura de rede GSM [6]	32
Figura 26. Ensaios de propagação na Linha de Cascais	33
Figura 27. Distribuição do espectro na faixa dos 900 MHz [6]	34
Figura 28. Definição de canal físico em GSM [6].....	35
Figura 29. Intervenientes de uma rede rádio GSM-R [6].....	36
Figura 30. Cobertura com estações base bi-sectorizadas com antenas diretivas [6]	37
Figura 31. Arquitetura de dupla cobertura rádio com estações intercaladas [6]	37
Figura 32. Representação do <i>Downtilt</i> . [6].....	38
Figura 33. Representação do Azimute.....	38
Figura 34. Exemplo de diagrama radiação horizontal e vertical para uma antena de 33° [6] ..	39
Figura 35. Antena <i>Kathrein</i> de 30° e diagramas de radiação horizontal e vertical [11].....	39
Figura 36. Cabo coaxial LCF 7/8 da <i>Draka</i> [12].....	40
Figura 37. Utilização de repetidores com interligação por rádio [6].....	41
Figura 38. Utilização de repetidores com interligação por Fibra Ótica [6].....	41
Figura 39. Arquitetura e diagrama de sinalização da rede GSM-R [3]	44
Figura 40. CMX-5000 - MSC do CCO de Lisboa.....	44
Figura 41. CMX-5000 – Bastidor.....	44
Figura 42. Diagrama geral do MSC na rede GSM-R [3]	45
Figura 43. Estrutura do VRS [3].....	47

Figura 44. CORE – VRS.....	48
Figura 45. CORE –SMS <i>Center</i>	48
Figura 46. <i>Voice Mail VMS</i>	48
Figura 47. Plataforma de gestão (NetAct)	48
Figura 48. <i>Packet switched and circuit switched traffic</i> [3].....	49
Figura 49. <i>Stack</i> do protocolo de sinalização do SGSN [3].....	50
Figura 50. SGSN.....	50
Figura 51. Flexi ISN (GGSN).....	50
Figura 52. Cartão SIM	52
Figura 53. Terminais móveis	52
Figura 54. CORE – Sistema alimentação.....	52
Figura 55. CORE – Quadro elétrico.....	52
Figura 56. Bastidor do <i>Switch Commander (MSC)</i>	53
Figura 57. <i>Location-dependent addressing in the GSM-R</i> [3]	54
Figura 58. Procedimento de chamada de voz de grupo (VGCS) para um MSC [3].....	55
Figura 59. Procedimento de chamada voz <i>broadcast</i> (VBS) para um MSC [3].....	56
Figura 60. Analisador de protocolos	57
Figura 61. SMS <i>Center</i> da NSN na rede GSM/GPRS/3G [3]	57
Figura 62. Exemplo de roteamento de uma mensagem curta (MO-MT) numa rede GSM [3].....	58
Figura 63. Percurso de uma mensagem no SMS <i>Center</i> [3].....	59
Figura 64. Diagrama básico de Sinalização em GSM [3].....	60
Figura 65. Níveis de Sinalização GSM SS7 [3].....	60
Figura 66. BSS – Elementos da Rede [3].....	62
Figura 67. BSS <i>Interfaces</i> [3]	62
Figura 68. GPRS – Rede e interfaces para GPRS [3]	64
Figura 69. BSS – BSC1.....	65
Figura 70. BSS – TRAU (TCSM3i).....	65
Figura 71. BSS – Exemplo do <i>A Interface</i> com <i>E1 standard</i> [3]	66
Figura 72. Topologia LAN do Flexi BSC [3]	67
Figura 73. BSS – BTS 240 II	68
Figura 74. BSS –Torre de antenas	68
Figura 75. BSS – Diagrama de blocos da BTS 240II e descrição dos módulos [3]	68
Figura 76. Repetidor <i>Powerwave</i>	69
Figura 77. Conjunto repetidor e antenas	69
Figura 78. Unidade Principal de Repetidores (FBU, <i>Fiber Base Unit</i>) [3]	70
Figura 79. Rádio cabine e <i>Rack RC900</i>	70
Figura 80. Posto de Operação	70
Figura 81. Chamada de grupo para uma área.....	71
Figura 82. Domínio de aplicação da interoperabilidade [10].....	72
Figura 83. Rede do Projeto-piloto GSM-R - Fase 1 [3].....	74
Figura 84. Nota técnica – Site de Santos	76
Figura 85. Exemplo de planta de implementação em Alcântara Mar [4]	78
Figura 86. Fases da instalação de torres com grua.....	80
Figura 87. Pormenor da rede de terras [4]	81
Figura 88. Fases de execução do maciço para a base da torre	82

Figura 89. Nova torre de 35m a ser preparada para instalar	83
Figura 90. Instalação da torre de 35m em trabalho noturno	83
Figura 91. Nova torre instalada	83
Figura 92. Instalação de torres nos diversos locais do Projeto-piloto GSM-R.....	84
Figura 93. Plano de trabalhos do projeto BSS - Fase 1 [3]	87
Figura 94. Plano de trabalhos do projeto BSS- Fase 2 [3]	87
Figura 95. Localização dos <i>sites</i> GSM-R na Linha de Cascais [3]	88
Figura 96. Trabalhos de instalação das antenas e cabos GSM-R nas torres.....	89
Figura 97. <i>Site</i> de equipamentos com bastidor de RSC e bastidor de GSM-R	89
Figura 98. Realização das primeiras chamadas de testes no GSM-R em Portugal	91
Figura 99. Linha de Cascais [3].....	92
Figura 100. Unidade motora de testes 3100/3200	92
Figura 101. Equipamento de bordo RC900	92
Figura 102. Antena exterior.....	92
Figura 103. Equipamento de testes CWI e PC	93
Figura 104. Configuração da BTS 2 de Paço de Arcos [3]	95
Figura 105. Configuração da BTS 1 de Alcântara [3].....	96
Figura 106. Relação das frequências assinadas a cada célula [3].....	97
Figura 107. Medidas realizadas com o CWI sentido Cais do Sodré-Cascais [14]	98
Figura 108. Medidas realizadas com o CWI sentido Cascais - Cais do Sodré [14]	98
Figura 109. Medidas de nível de sinal [14]	99
Figura 110. Medidas de qualidade [14]	99
Figura 111. Representação teórica do <i>Handover</i> [3].....	100
Figura 112. Arquitetura do sistema-Cenário de testes [3]	100
Figura 113. Gráfico de resultados dos testes NRD no sentido Cascais - Cais do Sodré [14]	101
Figura 114. Resultados dos testes NRD por georreferenciação Cais do Sodré-Cascais [14].	102
Figura 115. Testes de transmissão – Perdas de chamadas [14].....	103
Figura 116. Estudo de otimização dos <i>tilts</i> e azimutes entre S. João e Carcavelos.....	106
Figura 117. Estrutura da ferramenta de predição de cobertura rádio <i>Railwave</i>	106
Figura 118. Criação/Edição de dados com a <i>Railwave</i>	107
Figura 119. Análise do nível de sinal por BTS (todas as BTS representadas).....	107
Figura 120. Solução implementada pela NSN	108
Figura 121. Otimização sugerida após implementação	108
Figura 122. Comparação entre a utilização de <i>tilts</i> de -4° e de -1° no PK16,865 e de 0° em S. João.....	109
Figura 123. Comparação entre a utilização de <i>tilts</i> de -4° e <i>tilts</i> de -1° no PK16,865 e de 0° em S. João (<i>Best Server</i>).....	109
Figura 124. Zoom da Figura 123 no PK19 a PK20.....	110
Figura 125. Viagem Cascais – Cais do Sodré (Antena exterior) - Cobertura por frequência.110	
Figura 126. Viagem Cascais – Cais do Sodré (Antena exterior) - <i>Best Server</i>	111
Figura 127. Viagem Cascais – Cais do Sodré (Antena exterior) - <i>Serving Sell</i>	111
Figura 128. Diagrama de radiação da antena utilizada (representação polar logarítmica) [11]	112
Figura 129. Diagrama de radiação da antena utilizada (representação polar linear) [11]	112
Figura 130. Exemplo de desenho de cadastro de ligações externas do Flexi ISN [3].....	113

Figura 131. Exemplo de desenho de cadastro de interligações do SMSc [3]	113
Figura 132. Vista principal da ferramenta de O&M- <i>NetAct</i>	116
Figura 133. Vista da pasta de <i>Configuration</i> da ferramenta <i>NetAct</i>	116
Figura 134. Vista da pasta <i>Desktop</i> da ferramenta <i>NetAct</i>	117
Figura 135. Rede GSM-R – Diagrama de rede com a BSC1 e as BTS	117
Figura 136. Rede GSM-R – Diagrama geral da rede.....	118
Figura 137. Rede GSM-R – Diagrama de objetos da rede.....	119
Figura 138. Rede GSM-R – Alarmes ativos na rede.....	120
Figura 139. <i>NetAct</i> – Gestão dos alarmes [3].....	121
Figura 140. Rede GSM-R – CM Editor do <i>NetAct</i>	122
Figura 141. Rede GSM-R – CM Editor – Comando ZEEI.....	123
Figura 142. Realização de tarefas O&M com a ferramenta <i>NetAct</i> durante o estágio	124
Figura 143. Mapa ferroviário de Portugal.....	126
Figura 144. Rede GSM-R – Próximos desenvolvimentos dos sistemas [3]	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Funções de comunicação de voz requeridas no GSM-R [9].....	24
Tabela 2. Aplicações GSM-R identificadas pelo EIRENE [13].....	25
Tabela 3. Tempos de estabelecimento de chamada definidos pelo EIRENE.....	27
Tabela 4. Características principais do GSM-R[2].....	28
Tabela 5. Exemplos de atenuação nos cabos, para 900 MHz.....	40
Tabela 6. Classe de potência dos terminais móveis [6].....	42
Tabela 7. Descrição das <i>interfaces standard</i> da rede GSM-R [3].....	46
Tabela 8. Interfaces lógicas e os protocolos a usar no SGSN [3].....	49
Tabela 9. Interfaces lógicas e os protocolos a usar no Flexi ISN [3].....	51
Tabela 10. Localização das estações base.....	75
Tabela 11. Configuração dos sistemas radiantes [3].....	94
Tabela 12. Tabela de novas frequências.....	97
Tabela 13. Medidas de tempos de <i>handover 1</i>	99
Tabela 14. Medidas de tempos de <i>handover 2</i>	99
Tabela 15. Resultados dos testes NRD [14].....	101
Tabela 16. Resultados dos testes TD [14].....	102
Tabela 17. Resultados finais dos testes TD [14].....	102
Tabela 18. Resultados dos testes TI/CLR sentido Cais do Sodré-Cascais [14].....	103
Tabela 19. Resultados dos testes GPRS no sentido Cais do Sodré-Cascais [14].....	104
Tabela 20. Configuração dos repetidores de Pedrouços e Santos [14].....	104

LISTA DE ANEXOS

Anexo I – Antenas Katrein

Anexo II – Cabos coaxiais da Draka

Anexo III – Relatórios de testes e otimização da NSN

Anexo IV – Especificações GSM-R do EIRENE

Anexo V – ERTMS *Factsheets*

LISTA DE SÍMBOLOS

f	Frequência [MHz]
f_{DL}	Frequência em <i>downlink</i> [MHz]
f_{UL}	Frequência em <i>uplink</i> [MHz]
G_{ant}	Ganho da antena da BTS [dBi]
G_{div}	Ganho de diversidade [dB]
G_{MS}	Ganho da antena do MS [dB]
h_{be}	Altura da estação base [m]
h_m	Altura do móvel [m]
L_{f+j}	Atenuação dos cabos e conectores implementados na BTS [dB]
N_{BTS}	Número de BTS
N_{canais}	Número de canais
N_{cc}	Número de células por <i>Cluster</i>
N_u	Número de utilizadores
N_{uBTS}	Número de utilizadores por BTS

LISTA DE ACRÓNIMOS

2G	<i>Second-Generation Wireless Telephone Technology</i>
3G	<i>Third-Generation Wireless Telephone Technology</i>
AC	<i>Authentication Center</i>
ARFCN	<i>Absolute Radio Frequency Channel Number</i>
ASCI	<i>Advanced Speech Call Item</i>
ATC	<i>Automatic Train Control</i>
ATP	<i>Automatic Train Protection</i>
AUC	<i>Authentication Center</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BSS	<i>Base Station Subsystem</i>
BTM	<i>Balise Transmission Module</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station</i>
CCO	<i>Centro de Comando e Operação</i>
CdV	<i>Circuito de Via</i>
C/I	<i>Carrier to Interference (ratio)</i>
CS	<i>Circuit Switching</i>
CT	<i>Call Type</i>
DB	<i>Database</i>
DM-MT	<i>Direct Mode Mobile Termination</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
E-GSM	<i>Extended GSM</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
EIRENE	<i>European Integrated Railway Radio Enhanced Network</i>
eMLPP	<i>enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption</i>
ERTMS	<i>European Railway Traffic Management System</i>
ETCS	<i>European Train Control System</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
EVC	<i>European Vital Computer</i>
FC	<i>Function Code</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FN	<i>Functional Number</i>
FFSK	<i>Fast Frequency Shift Keying</i>
GCR	<i>Group Call Register</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
GMSC	<i>MSC with gateway functionality for incoming traffic</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPRS	<i>General Packet Real Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i>
GSM-R	<i>Global System for Mobile communications – Railway</i>
HLD	<i>High Level Design</i>
HOW	<i>Hand Over Word</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
IM	<i>Intercept Manager</i>
IMG	<i>Integrated Media Gateway</i>

IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i>
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>
IN	<i>Intelligent Network</i>
INT TDM	<i>Interconnecting TDM</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IRI	<i>Intercept Related Information</i>
ISEC	<i>Instituto Superior Engenharia Coimbra</i>
ISEL	<i>Instituto Superior Engenharia Lisboa</i>
ISU	<i>Interface Signaling</i>
ISUP	<i>Integrated Services Digital Network (ISDN) User Part</i>
JI	<i>Junta Isolante</i>
JRU	<i>Juridical Recorder Unit</i>
L3	<i>Layer 3</i>
LAC	<i>Location Area Code</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LEU	<i>Line side Electronic Unit</i>
LTM	<i>Loop Transmission Module</i>
M3UA SS7 MTP3	<i>User Adaptation Layer</i>
MAP	<i>Mobile Application Part</i>
MCC	<i>Monitoring Center Controller</i>
MMI	<i>Man Machine Interface</i>
MORANE	<i>MOBILE RADIO for railway Networks in Europe</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
MS	<i>Management Station</i>
MSC	<i>Mobile Switching Centre</i>
MSISDN	<i>Mobile Station Internet Subscriber Directory Number</i>
MSRN	<i>Mobile Station Roaming Number</i>
MSS	<i>MSC Server</i>
MTP	<i>Message Transfer Part</i>
NSN	<i>Nokia Siemens Networks</i>
NSS	<i>Network Subsystem</i>
O&M	<i>Operation and Maintenance</i>
OMC	<i>Operation and Maintenance Centre</i>
OMU	<i>Operation and Maintenance Unit</i>
PAD	<i>Protocol Adapter</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PDP	<i>Packet Data Protocol</i>
PK	<i>Ponto quilométrico</i>
PM	<i>Posto Móvel</i>
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
POI	<i>Point of Interconnection</i>
PS	<i>Packet switching</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
QoS	<i>Qualidade de Serviço</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAC	<i>Railways Access Code</i>
REC	<i>Recorder</i>

REFER	<i>Rede Ferroviária Nacional</i>
RSC	<i>Radio Solo-comboio</i>
RT	<i>Refer Telecom</i>
RTM	<i>Radio Transmission Module</i>
SCCP	<i>Signalling Connection Control Part</i>
SCTP	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SIGTRAN	<i>SIGTRAN protocol, IETF signalling transmission</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>
SMS	<i>Short Messaging Service</i>
SMSC	<i>Short Message Service Center</i>
SPMU	<i>Speed Monitoring Unit</i>
SYS	<i>System Server</i>
STM	<i>Specific Transmission Modules</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TIU	<i>Train Interface Unit</i>
TRAU	<i>Transcoder and Rate Adaptation Unit</i>
TRX	<i>Transceiver</i>
UIC	<i>União Internacional dos Caminhos de ferro</i>
UIN	<i>User Identifier Number</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telephone System</i>
VBS	<i>Voice Broadcast Service</i>
VGCS	<i>Voice Group Call Service</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais sobre o sistema GSM-R

O GSM-R (*Global System for Mobile Communications Railways*) é um sistema de comunicações móveis específico para a rede ferroviária que surgiu da necessidade de ser criado um sistema de comunicações digitais sem-fios que cumprisse o objetivo de uniformização tecnológica em toda a rede ferroviária na Europa.

Para cumprir este objetivo foi iniciado em 1992, pelo UIC – *Union Internationale du Chemin-de-Fer*, um projeto europeu denominado por EIRENE - *European Integrated Railway Radio Enhanced Network* do qual resultaram um conjunto de especificações para a implementação da tecnologia GSM-R.

As principais diferenças entre os sistemas GSM e GSM-R, no que respeita à componente rádio, residem no facto do sistema GSM-R permitir velocidades até 500 km/h, suportando *handovers* e seleção/resseleção de células mais rápidos do que na norma original. Por outro lado, foram adicionadas novas funcionalidades ao sistema de modo a permitir uma utilização mais flexível e aplicada às comunicações ferroviárias.

Relativamente ao espectro de frequências, em 1995 o ETSI – *European Telecommunications Standard Institute* reservou duas faixas de frequência entre 876 e 880 MHz (*uplink*) e 921-925 MHz (*downlink*) para a utilização pelos sistemas EIRENE, tendo mais tarde sido denominada por banda GSM-R.

1.2. Enquadramento e objetivos do estágio na empresa

O estágio decorreu na Refer Telecom – Serviços de Telecomunicações S.A., que é uma empresa integrada no grupo REFER E.P.E., sendo também um Operador de Telecomunicações Ferroviárias e de Serviços Especializados em Telecomunicações e Tecnologias de Informação.

A Refer Telecom (Figura 1) foi criada no ano 2000, dedicando-se atualmente aos seguintes serviços: Telecomunicações Ferroviárias; Serviços de Operação e Manutenção; Soluções de Telecomunicações; Consultoria em Sistemas Críticos e Soluções de *Data Center*.

Os serviços de Telecomunicações Ferroviárias são responsáveis pela conceção, implementação e gestão das soluções e produtos específicos destinados ao desenvolvimento e suporte das telecomunicações e sistemas de apoio à exploração ferroviária. Neste âmbito incluem-se as comunicações móveis de Rádio Solo-Comboio e GSM-R, Sistemas SCADA (Telecomando de Energia e Supervisão de Infraestruturas), Informação ao Passageiro, Vídeo vigilância, Redes de Suporte à Exploração Ferroviária (Voz e Dados) e Projeto de Soluções Integradas de Telecomunicações.

A Refer Telecom está licenciada pela Autoridade Nacional de Telecomunicações (ANACOM) como Prestador de Serviço Fixo Telefónico - Licença nº ICP-06 SFT/2001 e

Operador de Redes Públicas no Território Nacional - Licença nº ICP-09 RPT/2001 e estando ainda registada pelo mesmo organismos como Prestador de Serviços de Transmissão de Dados e Serviços Internet - registo nº ICP-005/2001.

Em 2009, a Refer Telecom passou também a ser Operador de Serviços de Voz através da Internet (VoIP) de uso nómada -Declaração ICP-ANACOM n.º 09/2009 e Operador Autorizado para o Sistema GSM-R.

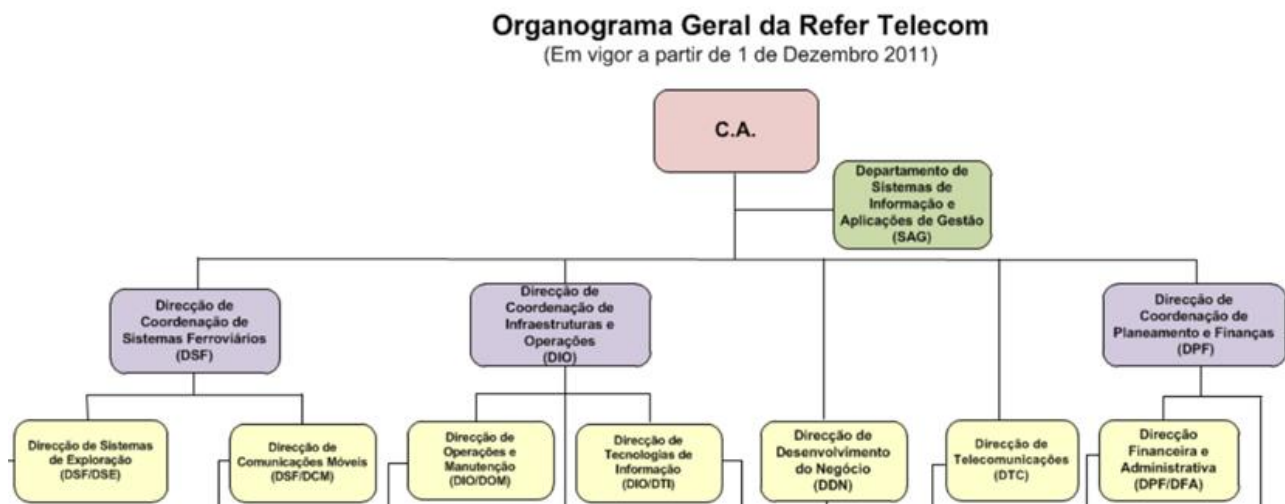


Figura 1. Organograma Geral da Refer Telecom (março 2013)

O objetivo geral deste estágio consistiu em acompanhar a implementação do Projeto-piloto do novo sistema de comunicações móveis GSM-R na Rede Ferroviária Nacional, cuja implementação é da responsabilidade da Refer Telecom.

O estágio decorreu entre Dezembro 2012 e Julho de 2013, na Direção de Comunicações Móveis, pertencente à Direção de Coordenação de Sistemas Ferroviários da Refer Telecom. Durante os 8 meses de estágio foi efetuada a participação e o acompanhamento de diversas fases que constituem o Projeto-piloto, desde a contratação até à implementação, incluindo o *commissioning* e os testes de integração. Quando o estágio se iniciou em Dezembro, já se encontravam implementadas as fases de instalação do CORE e das infraestruturas do sistema, estando em curso a fase de implementação do Subsistema BSS/BSC. As atividades que foram realizadas neste contexto compreenderam assim o envolvimento com as equipas de engenharia e fornecedores do projeto de implementação da nova rede, bem como o envolvimento com os colegas da Refer Telecom com o intuito do cumprimento das normas internas em vigor na empresa. Tais atividades foram desenvolvidas nas instalações da Refer Telecom localizadas na rua Passeio do Báltico, nº 4 em Lisboa, no centro de Comando e Operações (CCO da REFER em Braço de Prata), assim como nas instalações da Linha de Cascais e Linha do Norte.

O estágio teve assim como principais objetivos, realizar diversas atividades no Projeto-piloto do GSM-R nas Linhas de Cascais e Linha do Norte, tendo o seu início coincidido com a fase de implementação do Subsistema de rádio BSS/BSC. Nesta fase do projeto trataram-se vários

processos desde a gestão dos processos de contratação, da sua implementação no terreno, dos testes de otimização e finalmente na operação e manutenção do sistema.

A instalação dos *sites* das *Base Transceiver Station* (BTS) e repetidores tiveram lugar nas estações de Santos, Alcântara Mar, Pedrouços, Paço de Arcos, Carcavelos (Pk16.850), S. João do Estoril, S. Apolónia, Braço de Prata, Oriente e Alvito como esquematiza a Figura 2.

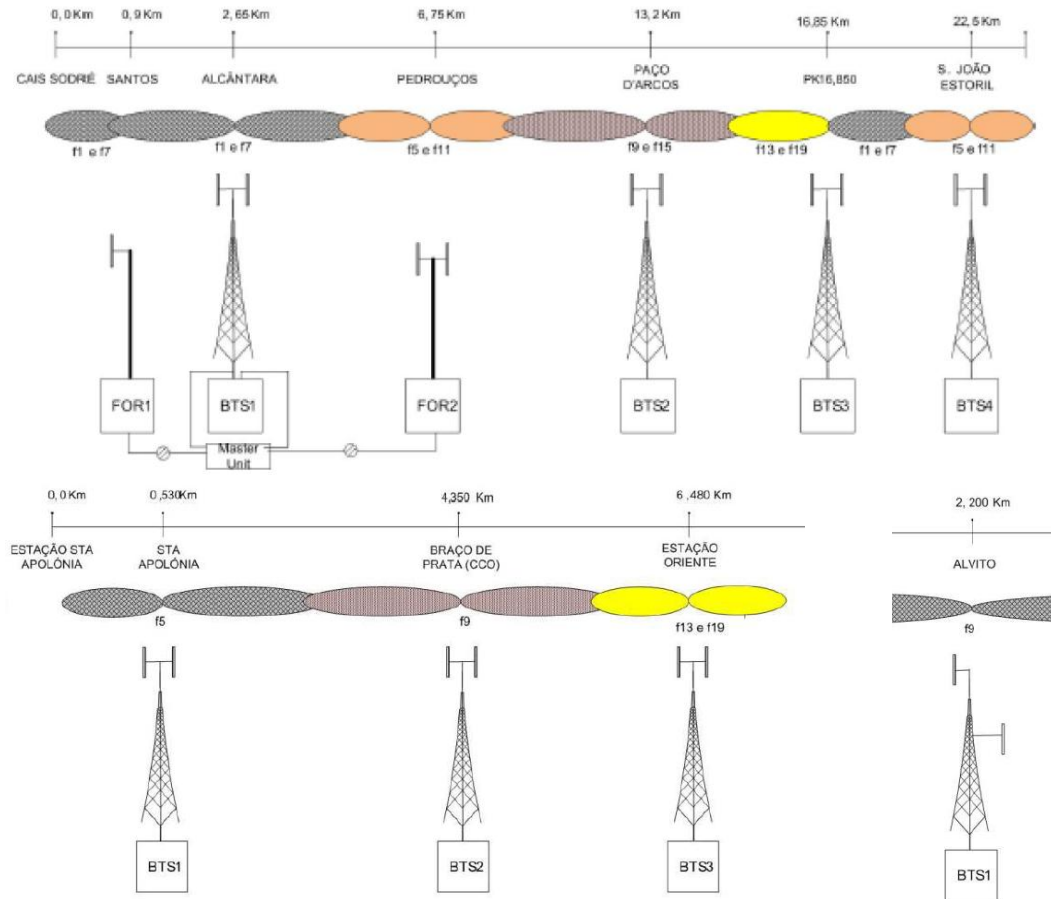


Figura 2. *Sites* com a localização das BTS e Repetidores do projeto-piloto GSM-R [3]

1.3. Objetivos e organização do relatório

Neste relatório pretende-se fazer uma descrição de todas as fases de implementação da rede GSM-R, e enquadrar os principais aspetos relacionados com a operação e a manutenção de algumas ferramentas de suporte ao sistema GSM-R. Neste contexto são descritos os conhecimentos práticos obtidos com a realização do estágio incluindo assuntos das áreas de gestão de projetos, da arquitetura do sistema GSM-R e na sua operação e manutenção.

Na sequência da presente introdução, apresenta-se, no Capítulo 2, uma introdução aos sistemas de comunicações móveis analógicos (RSC) atualmente existentes na Rede Ferroviária Nacional e a sua evolução para o novo sistema de comunicações digital, o GSM-R. Inclui-se também uma introdução ao sistema de controle de circulação ferroviária, o

ERTMS, suas principais vantagens para as redes ferroviárias e para a interoperabilidade Europeia.

No Capítulo 3 é apresentada a arquitetura e planeamento celular da rede GSM-R, com uma breve descrição dos elementos constituintes da rede GSM-R.

No Capítulo 4 descrevem-se a função e o funcionamento de cada um dos equipamentos do sistema GSM-R.

No Capítulo 5 é efetuada a descrição das diversas fases de implementação do Projeto-piloto GSM-R, incluindo a instalação do sistema central (CORE), a implementação das infraestruturas e a instalação do subsistema BSS (*Base Station Subsystem*).

No Capítulo 6 apresenta-se uma descrição sobre as atividades de operação e manutenção realizadas com recurso à ferramenta NetAct da *Nokia Siemens Networks*.

No Capítulo 7 são apresentadas as considerações finais do trabalho realizado e as perspetivas para o futuro.

2. A EVOLUÇÃO DAS COMUNICAÇÕES MÓVEIS FERROVIÁRIAS

Neste capítulo pretende-se fazer a descrição dos sistemas de comunicações móveis existentes na Rede Ferroviária Portuguesa e a evolução para os novos sistemas de comunicações GSM-R e de sinalização ETCS, que no seu conjunto compõem o sistema ERTMS.

2.1. O Sistema Rádio Solo-Comboio (RSC)

O sistema de Rádio Solo-Comboio (RSC) foi o primeiro sistema de comunicações móveis existente na ferrovia portuguesa. Nas seções seguintes apresenta-se uma descrição da sua evolução e principais características. No âmbito do estágio do Projeto-piloto foi necessário enquadrar as comunicações móveis ferroviárias e estudar o sistema existente.

2.1.1. Evolução do sistema RSC

O primeiro sistema de Rádio Solo-Comboio (RSC) português foi instalado na linha de Sintra em 1988, permitindo apenas comunicações de voz. O sistema RSC (sistema partilhado entre os Operadores ferroviários e a REFER) destina-se a permitir a comunicação por voz e dados entre os Maquinistas, os Operadores e os Responsáveis pela Regulação de Tráfego. Deste modo, são permitidas as comunicações: *i*) entre o posto de comando e o maquinista; *ii*) entre as estações e o maquinista e *iii*) os maquinistas de dois comboios.

2.1.2. Constituição do sistema RSC

O Rádio Solo-comboio é um sistema de comunicações centralizado e devido a isso, qualquer comunicação em fonia necessita de autorização prévia do Centro Controle Operações (CCO). As linhas ferroviárias estão divididas, sob o ponto de vista de regulação, em um ou mais sectores. Assim, cada Sector de Regulação é responsável pela regulação de um troço de via. As comunicações entre as Estações Base (EB – equipamento que faz a comunicação entre o comboio e regulador) e os Postos Móveis (PM – equipamento que se encontra no comboio para estabelecer a comunicação com o regulador), são feitas através de um grupo de frequências na banda dos 450 MHz, e cada sector possui três frequências de emissão e uma de receção, ou seja, cada EB emite em f1, f2 ou f3 e recebem em f4, e os PM emitem em f4 e recebe em f1, f2 ou f3 (Figura 3).

As EB estão dispostas de modo a que a primeira EB emite em f1, a segunda em f2, a terceira em f3 e as seguintes continuam neste ciclo de frequências, ou seja, f1, f2, f3, f1, f2, f3, etc. Esta sequência é feita de modo a poder reutilizar as frequências e a não existir interferências entre elas, isto é, quando se volta a usar f1, o sinal da EB anterior com a mesma frequência é mínimo e é confundido com o ruído não sendo considerado pelo PM.

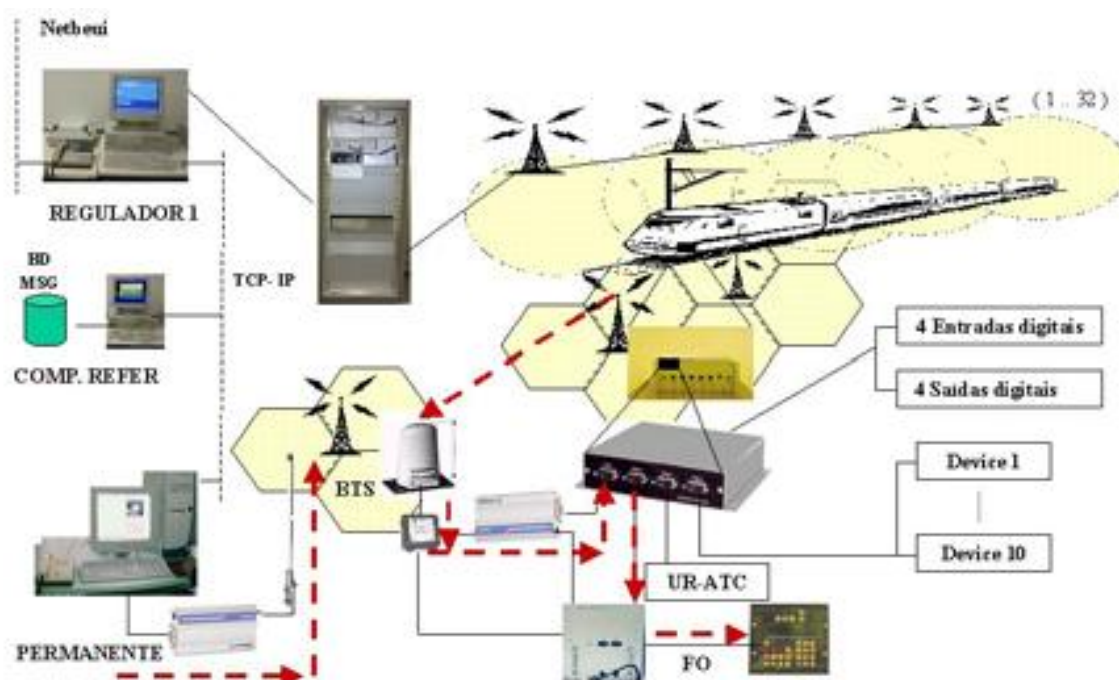


Figura 3. Sistema RSC – Diagrama Geral RSC [1]

O PM vai-se registrando nas várias EB ao longo da linha, fazendo *scanning* às três frequências e selecionando a que recebe com nível de sinal mais elevado. A cada linha de circulação ferroviária é atribuído um grupo distinto de frequências, de modo que essas frequências possam ser reutilizadas ao longo da mesma linha. Cada Sector de Regulação (SR) só pode suportar até 32 Estações Base devido ao endereçamento das EB. Nos Centros de Controlo de Operações (CCO) encontram-se instalados os Postos Reguladores (PR) cuja função consiste em estabelecer, controlar e supervisionar todo o tráfego de mensagens. O sistema é constituído pelos seguintes dois tipos de equipamentos de base:

- Equipamento fixo (Posto Regulador, Posto Fixo e Posto de Estação);
- Equipamento móvel, portátil e transportável.

Nas comunicações do sistema RSC existem três tipos de mensagens as quais se classificam em função da sua modulação, como: mensagens de fonia, mensagens de *status* e mensagens de SDM (*Short Data Message*).

O Posto Móvel (PM) é a designação dada ao conjunto de equipamentos instalados nas locomotivas e que garante a comunicação, via rádio, entre o comboio e o Posto Regulador do Sector de Regulação em que este se encontra registado. As comunicações possíveis são:

- Comunicação de fonia entre o Maquinista e os passageiros através do sistema de anúncio aos passageiros;
- Comunicação de fonia entre o Maquinista e o Revisor através do sistema de interfonia;

- Comunicação de fonia entre o PR e os passageiros através do sistema de anúncio aos passageiros (diretamente ou por intervenção do Maquinista). Comunicação de fonia com outros PM;
- Comunicação de fonia com os Postos de Estação do respetivo Sector de Regulação.

Todas estas ligações têm de ser executadas através do PR. A comunicação entre PM e PR pode ser efetuada em fonia ou através de mensagens *status*. Um Posto Móvel da Figura 4 é assim constituído por um subbastidor Tx/Rx, que por sua vez é composto por:

- um transceptor BG550 CP-N;
- uma ORD (Unidade de Recolha de Dados);
- um conversor DC/DC 60..140 /12 VDC;
- uma carta de interface com o sistema de Anúncio a Passageiros (AP);
- uma unidade de comando BG 550 CP-N;
- um microtelefone;
- um altifalante de 10W;
- uma antena.

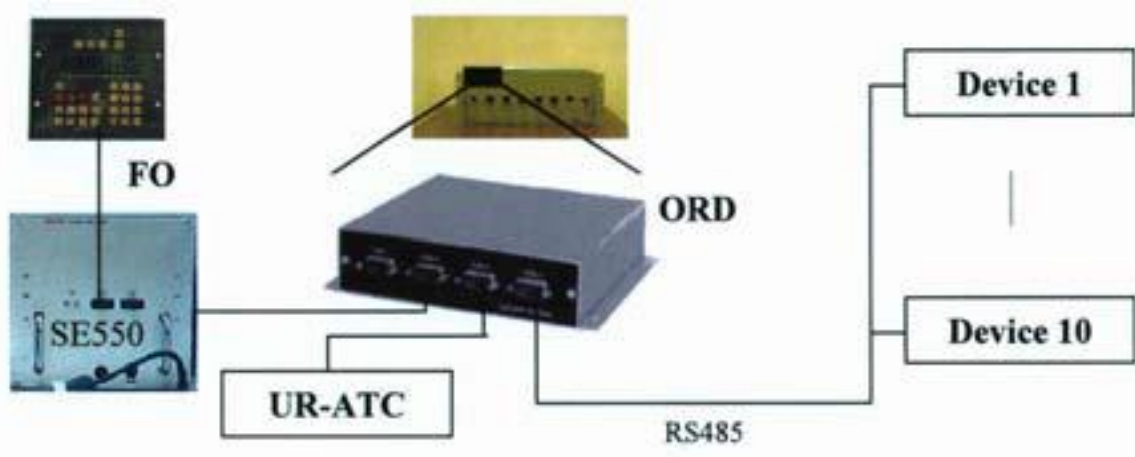
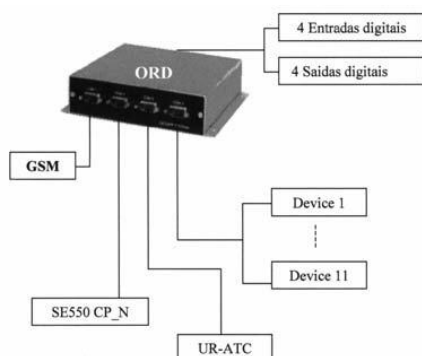


Figura 4. Sistema RSC – Diagrama do Posto Móvel [1]

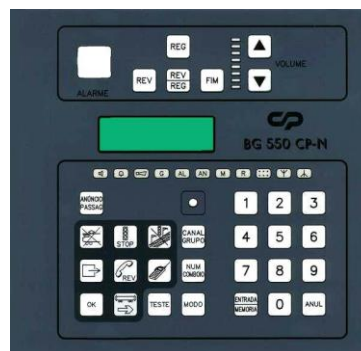
A Unidade de Recolha de Dados (ORD) da Figura 5-a), realiza a interligação entre o transceptor e os equipamentos do móvel sendo responsável pela interpretação e encaminhamento dos comandos e dados recebidos pelo transceptor. A ORD providencia soluções de compatibilização entre as interfaces. Os dados adquiridos por diferentes equipamentos (telemetria, GPS, DGPS, etc.) podem ser recolhidos pela ORD (Device 1...10), e encaminhados para diferentes equipamentos de comunicações (RSC, GSM, *Tetra*, *Iridium*, *Trunk*, GSM-R, etc.).

A Unidade de Comando BG550 CP-N apresentada na Figura 5-b, encontra-se instalada junto ao Maquinista, possibilita a gestão quer das comunicações internas (Maquinista/Revisor),

quer das comunicações externas via rádio (Maquinista/Regulador, Revisor/Regulador), e em qualquer dos casos em modo *Half Duplex*.



(a) Unidade de Recolha de Dados



(b) Unidade Comando BG550 CP-N

Figura 5. Equipamentos de Rádio Solo-Comboio 1 [1].

A integração do GSM neste sistema surgiu para tentar resolver a falta de comunicação entre os Postos de Comando Locais/Centros de Tráfego Centralizados com os Postos Móveis, nas linhas onde não existe cobertura de Rádio Solo Comboio. Assim, surgiu a ideia de integrar o GSM no Rádio Solo-Comboio, utilizando uma das operadoras existentes da rede GSM. Com esta integração, a transmissão de dados passa de 1200 bits/s para 9600 bits/s. Esta alteração é feita ao nível dos componentes do bastidor do Posto Móvel e na mudança para uma antena *dual mode* [1].

A Figura 6 apresenta os equipamentos que constituem o sistema de comunicações móveis analógico de RSC. Na Figura 6-a podemos ver o equipamento de testes móvel utilizado pelos técnicos de manutenção, na Figura 6-b vimos a consola de fonia, a Figura 6-c vemos o equipamento de comunicações utilizado pelo Regulador, na Figura 6-d o equipamento usado nas estações, na Figura 6-e a torre e cabine do posto fixo de plena via e na Figura 6-f um bastidor dos equipamentos.



(a) Equipamento móvel de testes



(b) Consola de fonia



(c) Equipamentos comunicações do Regulador



(d) Equipamentos comunicações de estação



(e) Posto fixo em plena via



(f) Bastidor de posto fixo

Figura 6. Equipamentos de Rádio Solo-Comboio

2.2. Resumo histórico da evolução do GSM-R

O GSM-R-*Global System for Mobile Communications Railways*, é um sistema de rádio para fornecer comunicações de voz e de dados entre os controladores e os comboios, baseada no padrão GSM, usando frequências especificamente reservadas para aplicação ferroviária com certas funções específicas e avançadas.

Em 1992, o UIC - *Union Internationale des Chemins-de-Fer* deu início ao trabalho de especificação de um novo sistema de comunicações digitais sem fios, específico para caminho-de-ferro, que cumprisse o objetivo de uniformização tecnológica em toda a Europa. Esta especificação, que foi definida de forma a cumprir os requisitos de comunicações da rede de caminho-de-ferro do espaço Europeu, sendo denominada por EIRENE-*European Integrated Railway Radio Enhanced Network*.

O grupo que foi incumbido de desenvolver o EIRENE, trabalhou em conjunto com o ETSI - *European Telecommunications Standards Institute* e um consórcio de operadores, fornecedores, fabricantes e vendedores denominado por MORANE-*Mobile Radio for Railways Networks in Europe*.

Este consórcio trabalhou no sentido de desenvolver um sistema digital, fiável e flexível, que cumprisse os requisitos impostos pelos intervenientes no sector ferroviário. Por outro lado era necessário fazer convergir num único sistema os diversos esforços de desenvolvimento de sistemas de comunicações sem-fios digitais nos diferentes países.

A convergência entre os diferentes sistemas existentes, de geração analógica, não é fácil, dadas as especificidades de utilização e tecnológicas ao nível de cada operador/país. A escolha tecnológica recaiu então sobre a tecnologia GSM-*Global System for Mobile Communications*, dada a sua robustez e fiabilidade ao nível da transmissão rádio, com provas dadas em centenas de países e milhões de utilizadores, que fazem da tecnologia GSM o maior sucesso em termos de normas de comunicações sem-fios. No entanto, existiu a necessidade de se efetuar algumas alterações à norma, dadas especificidades e requisitos particulares da utilização em caminhos-de-ferro. Assim, partindo da norma GSM Fase 2+, foi criada a norma GSM-R específica para uma utilização ferroviária, cujos primeiros protótipos foram produzidos em 1997.

Resumidamente, a evolução dos sistemas GSM-R aconteceu da seguinte forma:

- 1995 – Atribuição das bandas de frequência 876-880 e 921-925 MHz, com 19 canais dedicados às aplicações ferroviárias;
- 1995 - 2000 Foram identificados os requisitos de desempenho dos caminhos-de-ferro. As especificações foram definidas pelo EIRENE e validado pela MORANE e por um grupo de fabricantes e operadores;
- 1997 – O memorando de entendimento (MoU) para o GSM-R foi assinado por 32 empresas do setor ferroviário;
- 1997 - O GSM-R está oficialmente mandatado pela Diretiva Europeia.

Na Figura 7 podemos observar as fases da evolução do desenvolvimento do sistema GSM-R, tendo em consideração as especificações do EIRENE, a fase de validação pela MORANE, e todos os desenvolvimentos posteriores à sua validação que ocorreu até ao ano 2000. Após o ano 2000 surgiram outras fases do desenvolvimento do sistema, sempre de acordo com as especificações do EIRENE, assim como também de acordo com a evolução que tem existido nos últimos anos na tecnologia baseada em GSM. Atualmente o projeto EIRENE encontra-se na sua versão nº 15.3.0 de 8 março de 2012.

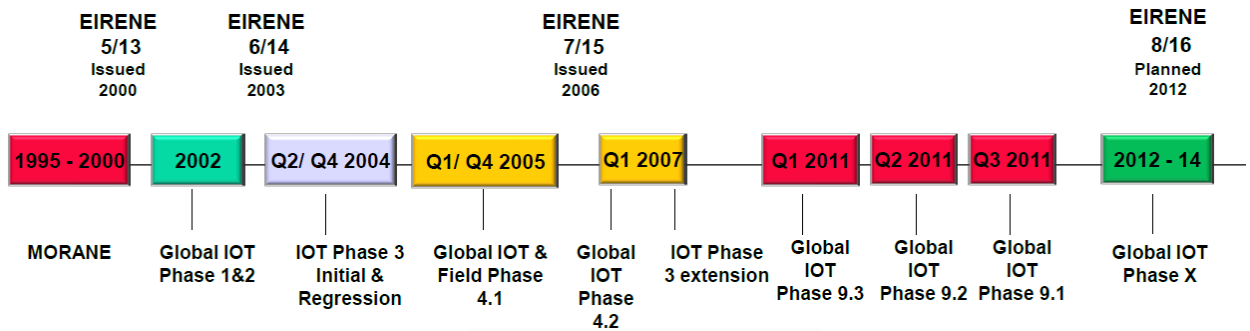


Figura 7. Desenvolvimento do GSM-R [2]

A especificação padrão do GSM-R é subdividida em dois documentos do EIRENE (*UIC GSM-R Specification Project*):

- FRS - Especificação de Requisitos Funcionais;
- SRS - Sistema de Especificação de Requisitos.

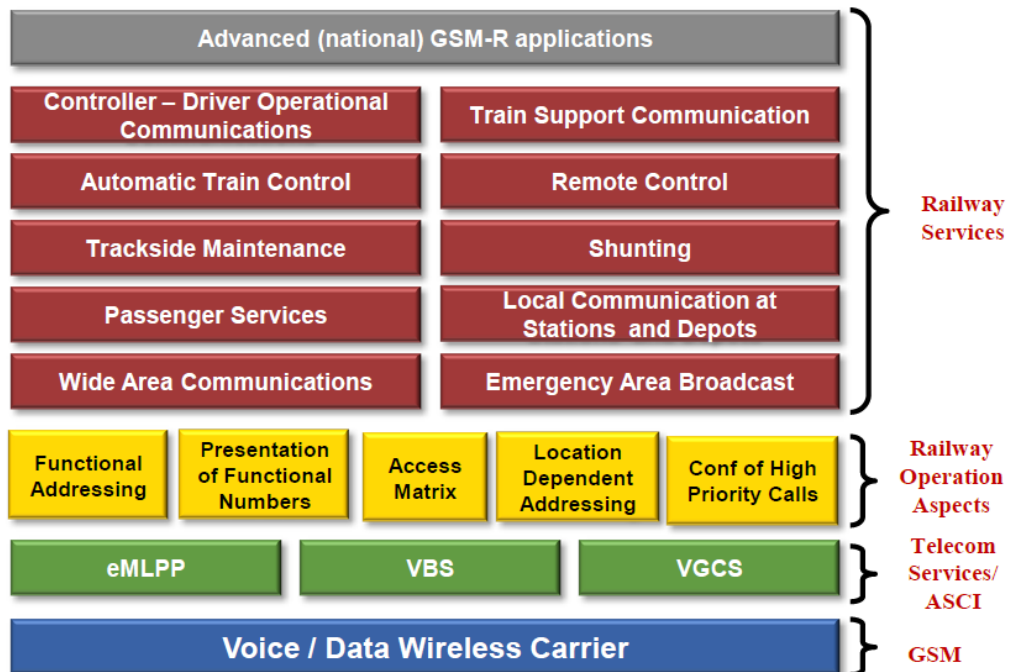


Figura 8. Serviços disponíveis no GSM-R – EIRENE [2]

Na Figura 8 podemos ver todos os serviços que foram definidos pelo EIRENE e que já se encontram disponíveis no GSM-R. Na mesma figura estão definidos a vermelho os serviços disponibilizados especificamente para a ferrovia, a amarelo os aspetos de operação específicos na ferrovia, a verde os serviços de telecomunicações e a azul os serviços suportados em GSM.

Em termos rádio as principais diferenças, relativamente à norma GSM, residem no facto de o sistema GSM-R suportar velocidades que podem ir até aos 500 km/h, suportando *handovers* e seleção/re-seleção de células mais rápidos do que na norma do GSM original. Por outro lado, ao nível funcional e aplicacional, novas funções foram consideradas de forma a suportar a utilização mais flexível e aplicada às comunicações ferroviárias, tais como por exemplo o controlo automático dos comboios, as chamadas de emergência, etc..

Confiabilidade e disponibilidade do GSM-R

No que respeita à confiabilidade e disponibilidade do sistema GSM-R podemos afirmar o seguinte:

- Altíssima confiabilidade e disponibilidade de produtos e redes baseadas na experiência de longo prazo provado em sistemas públicos e redes ferroviárias;
- Engenharia dedicada e processos de otimização do sistema;
- Redundância superior interna e soluções geográficas redundantes completas;
- Sistema de gestão da rede incluindo falhas em tempo real e gestão de acidentes;
- Funcionalidade de cobertura dupla especial, de muito alta confiabilidade para ETCS (*European Train Control System*);
- Redundância disponível através das redes públicas – os terminais GSM-R operam em toda a banda dos 900 e 1800 MHz GSM (comutação manual ou automática).

GSM-R - Garantias e vantagens económicas:

- Baseado em GSM como um produto de mercado de massa orientada para IP;
- Evolução futura baseada em GSM / ETSI & GPP 3;
- Sem risco operacional – sistema aprovado e em operação em alta velocidade e em linhas convencionais há mais de 10 anos;
- Sem risco do produto.

O sistema GSM-R tem assim evoluído de acordo com a evolução tecnológica verificada nos sistemas GSM das redes públicas convencionais, sendo que em Portugal este sistema não utiliza a rede 3G mas sim 2G. O mapa da Figura 9 mostra a evolução ocorrida nos sistemas GSM convencionais e UMTS. Na Figura 9 podemos observar que num espaço de tempo de aproximadamente 20 anos, as comunicações móveis evoluíram de analógico da primeira geração (ex: NMT) para digital da segunda geração (Ex: GSM), tendo depois evoluído rapidamente para outras tecnologias digitais como o GPRS e o EDGE-*Enhanced Data Rates for GSM Evolution* até à terceira geração. A partir de 2003/2004 começaram a aparecer as

comunicações móveis com multimédia, utilizando por exemplo o W-CDMA (UMTS- *Universal Mobile Telephone System*) e na atualidade já a entrarmos na denominada quarta geração.

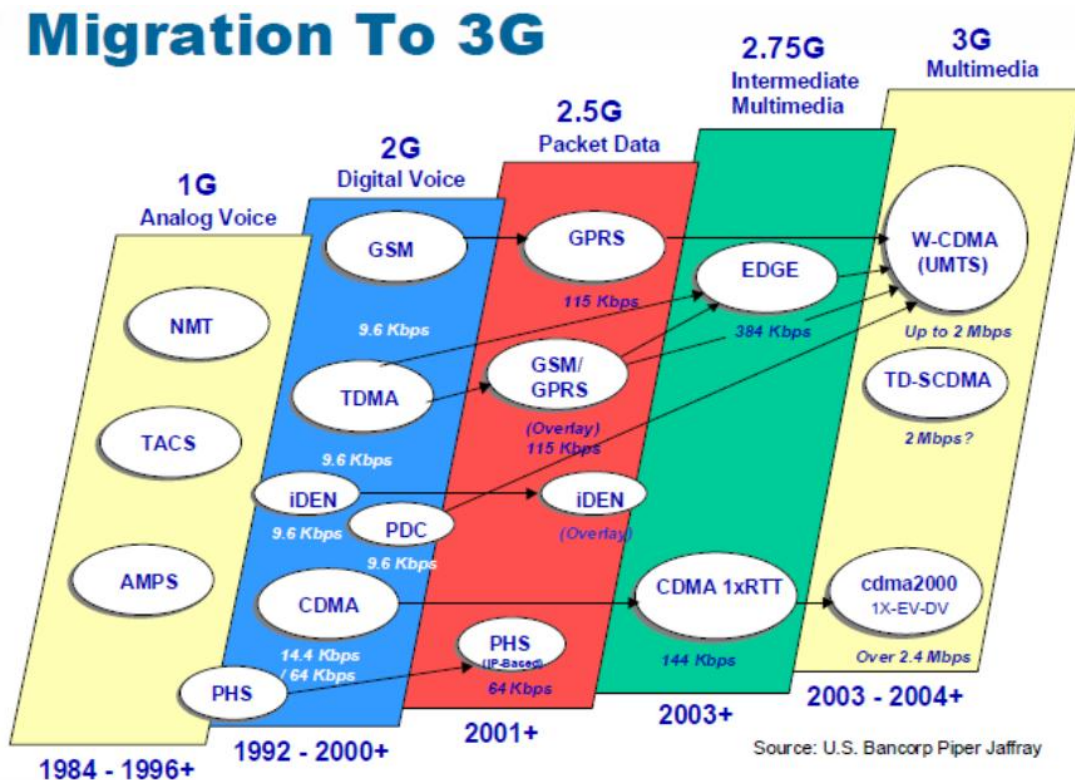


Figura 9. Evolução das comunicações móveis [3]

Entretanto, como se pode observar no mapa da Figura 10, outros países iniciaram a implementação da rede GSM-R, tais como: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, República Checa, Grécia, Finlândia, França, Lituânia, Eslováquia, Espanha, Suíça e Reino Unido. A Hungria, Dinamarca, Portugal, Croácia, Polónia, Roménia, Eslovénia estão em processo de concurso e instalação das novas redes GSM-R. Fora da Europa, o GSM-R está já instalado na China e na Índia, e em fase de implantação também na Argélia, Turquia e Arábia Saudita.

Na Europa, onde existem cerca de 221000 km de infraestruturas ferroviárias, 160000 km estão previstos terem cobertura com GSM-R, o que significa 70% das infraestruturas. Tendo como referência o ano de 2011, cerca de 85000 km de rede ferroviária estão já equipados com o sistema GSM-R, dos quais 68000 km estão em operação, o que significa 43,7% da rede planeada, que incluem 115000 terminais móveis, 40000 rádios de cabine, e 2000 *dispatch systems* (sistema de operação para GSM-R).

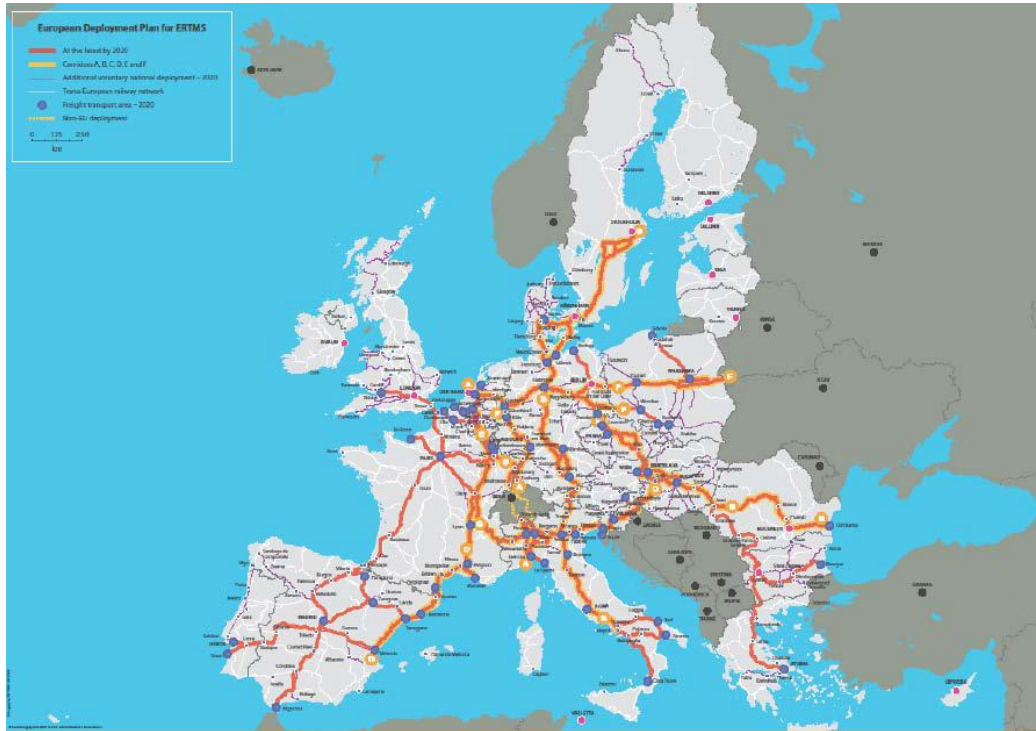


Figura 10. Mapa europeu de implementação da rede GSM-R [2]

A Figura 11 ilustra a evolução mundial verificada no sistema GSM-R em 56 países dos 5 continentes. Nessa figura podemos observar que nos últimos anos tem-se verificado um aumento muito significativo de países com o GSM-R instalado, principalmente a partir do ano 2002.

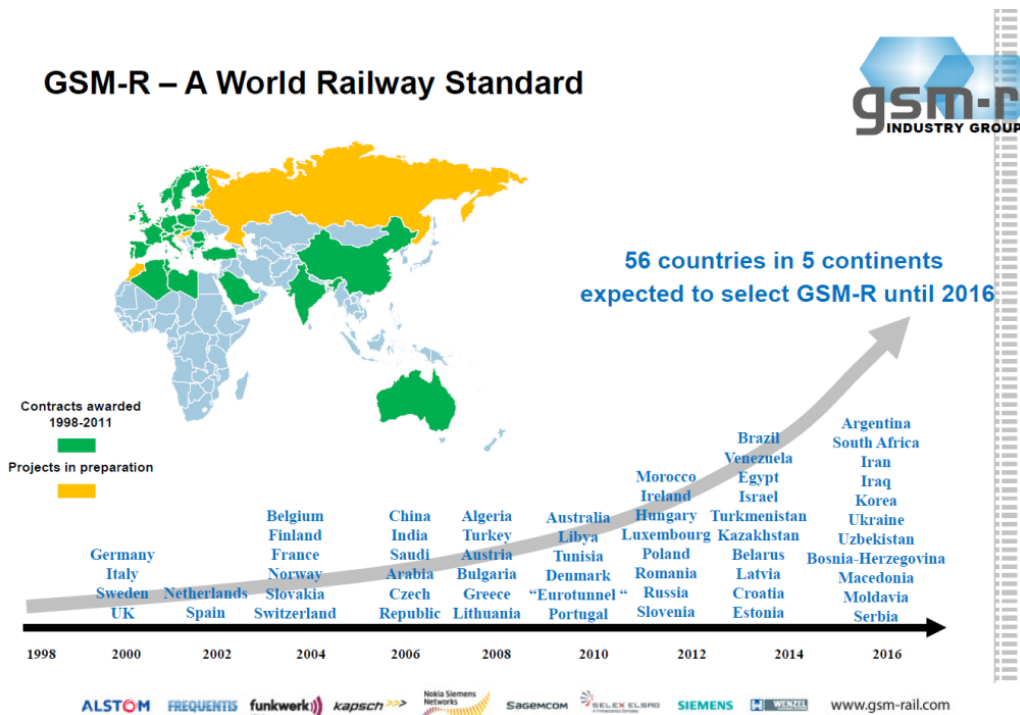


Figura 11. Mapa mundial de implementação da rede GSM-R [2]

2.3. O GSM-R em Portugal

O sector das comunicações móveis aplicadas à ferrovia em Portugal, tem acompanhado a evolução da tecnologia e as necessidades da ferrovia nesse sector específico, através da instalação do sistema GSM-R, preparando-se para transitar para a era da interoperabilidade, através do projeto EIRENE. O projeto EIRENE visa colmatar algumas barreiras de natureza técnica, que impedem a livre circulação ferroviária, ou seja, a interoperabilidade na Europa.

No passado, cada país utilizou o seu próprio sistema analógico de desenvolvimento e especificação nacional, que não era compatível com os existentes nos países vizinhos. Portugal não foi exceção, tendo instalado na rede ferroviária nacional o sistema analógico Rádio Solo-Comboio (RSC), o qual é ainda o sistema de comunicações rádio existente e a funcionar.

Com a globalização, este facto constituía um obstáculo à livre circulação de comboios internacionais. Em consequência foi desenvolvido um sistema único e interoperável no espaço europeu, com as capacidades técnicas adequadas aos atuais requisitos de segurança, capacidade e fiabilidade da moderna exploração ferroviária. Assim, em 1992, tal como referido atrás, a UIC e a CE (Comissão Europeia) iniciaram o projeto EIRENE, projeto esse que tinha como objetivo a especificação dos requisitos necessários para as comunicações ferroviárias e foi validado pelo MORANE. Em 1993, os caminhos-de-ferro decidiram utilizar o GSM como a tecnologia base para o desenvolvimento da nova geração de sistemas de rádio comunicações. Para além das razões técnicas e económicas, a escolha do GSM, deveu-se à sua grande robustez e fiabilidade ao nível da transmissão rádio. No entanto, e uma vez que esta tecnologia não cumpria todos os requisitos necessários para um serviço eficiente de transporte ferroviário, foram efetuadas alterações que resultariam no sistema GSM-R.

Em Portugal, desde o ano 2000, que a entidade responsável pela gestão das comunicações ferroviárias é a Refer Telecom, ficando esta encarregue de aplicar o sistema europeu à ferrovia portuguesa.

Em Fevereiro de 2008, a REFER delegou na Refer Telecom a prossecução dos estudos, projetos e a obtenção de licenciamento junto da ANACOM (Autoridade Nacional para as Comunicações), tendo em vista a implementação de uma rede de comunicações rádio GSM-R a instalar nas principais linhas da rede ferroviária convencional e também das futuras linhas de alta velocidade.

Verificam-se assim várias vantagens na utilização deste novo sistema, as quais se descrevem de seguida.

Interoperabilidade: Comunicações sem fronteiras do sistema ferroviário:

- Aumentar a velocidade média de viagem;
- Aumentar a velocidade máxima com linha de visão dos sinais;
- Aumentar a capacidade de linha através da diminuição da distância entre comboios;
- Garantida para alta velocidade (500 km / h) e para linhas de exploração convencional;

- Sem fronteiras.

Eficiência: A comunicação ferroviária a custo reduzido:

- Reduzir o custo da infraestrutura após adotada a tecnologia GSM;
- Somente um sistema de rádio para todas as aplicações (incluindo ETCS);
- Reduzir o custo da infraestrutura através da competição entre fornecedores;
- Produtos padrão disponíveis com mais facilidade.

2.4. O sistema ERTMS (GSM-R e ETCS)

O Sistema de Gestão Ferroviária Europeia ERTMS-*European Railway Traffic Management System*, é um grande projeto industrial desenvolvido por oito membros da UNIFE – *Alstom Transport, Ansaldo STS, AZD Praha, Bombardier Transportation, Invensys Rail, Mermec, Siemens Mobility e Thales*, em estreita cooperação com a União Europeia, e os *Stakeholders* das empresas ferroviárias e da indústria dos sistemas GSM-R.

No dia 4 de julho de 2008, a Comissão Europeia e os representantes do sector ferroviário europeu assinaram um Memorando de Entendimento (MoU) sobre o reforço da cooperação para acelerar a implantação do ERTMS. Este documento forma a base do compromisso de longo prazo de todas as partes interessadas – a indústria ferroviária, os gestores da infraestrutura, as empresas ferroviárias e as instituições da EU - para implantar ERTMS ao longo da rede ferroviária europeia.

O memorando foi assinado pelos seguintes *Stakeholders*:

- *The European Commission;*
- *UNIFE, the European Rail Industry;*
- *CER, the Community of European Railways;*
- *UIC, the International Union of Railways;*
- *EIM, the European Rail Infrastructure Managers;*
- *ERFA, the European Rail Freight Association;*
- *GSM-R group, representing the GSM-R industry.*

2.4.1. O ERTMS - *European Railway Traffic Management System*

O sistema ERTMS é constituído essencialmente por dois sistemas básicos:

- **ETCS** (*European Train Control System*), o Sistema Europeu de Controlo de Comboios, é um sistema de controlo da velocidade (*ATP-Automatic Train Protection System*) para substituir os atuais sistemas de controlo de velocidade de cada país (em Portugal utiliza-se o CONVEL);
- **GSM-R** (*Global System for Mobile Communications Railways*), é um sistema de rádio para fornecer comunicações de voz e de dados entre os controladores e os comboios, baseada no padrão GSM, usando frequências especificamente reservadas para aplicação ferroviária com certas funções específicas e avançadas.

Na Figura 12 temos uma foto ilustrativa dos equipamentos instalados na cabine de uma locomotiva, que permitem o interface entre o operador e o equipamento. Através destes equipamentos é possível ao maquinista comunicar com os centros de comando e ao mesmo tempo receber informações da sinalização eletrónica através do ETCS. Na Figura 13 podemos observar o ponto de situação da instalação do sistema ERTMS em Espanha, com os diversos níveis de ETCS, visto que em Portugal ainda não existe nenhuma linha com este sistema instalado. Podemos ainda observar nessa figura que em Espanha já existem linhas com ETCS nível 1/2. Existem no entanto já alguns países com ETCS nível 2, como por exemplo a França e a Alemanha.



Figura 12. ERTMS – Cabine comboio [8]



Figura 13. ERTMS – Espanha [8]

O ERTMS visa substituir os atuais sistemas de controle da circulação ferroviária existentes em cada país, por um sistema único em todo o espaço Europeu. A implantação do ERTMS permitirá a criação de um sistema ferroviário contínuo Europeu e aumentará a competitividade europeia do sector ferroviário. Atualmente, existem mais de 20 sistemas de controle circulação ferroviária em toda a União Europeia, sendo que cada comboio tem de ser equipados com pelo menos um sistema, mas às vezes até mais do que um. Cada sistema é autónomo e não interoperável e, portanto, requer ampla integração e esforço de engenharia, aumentando os custos da entrega total de tráfego transfronteiriço. Isso restringe a concorrência e prejudica a competitividade do sector ferroviário europeu relativamente ao transporte rodoviário, através da criação de barreiras técnicas às viagens internacionais. Por exemplo, o comboio “*Thalys*” que faz normalmente a viagem entre Paris-Bruxelas-Colónia e Amsterdão têm de estar equipado com 7 tipos diferentes de sistemas de controlo de comboios, o que traz custos consideráveis, além da dificuldade na implementação de todos estes sistemas diferentes numa mesma cabine e da sua operação pelos Maquinistas.

Como um sistema de controle ferroviário europeu exclusivo, o ERTMS é projetado para gradualmente substituir os sistemas existentes incompatíveis em toda a Europa. Isso trará benefícios consideráveis para o sector ferroviário, sendo que a interoperabilidade dos sistemas, por sua vez, irá aumentar o tráfego ferroviário internacional de passageiros e

mercadorias. Além disso, o ERTMS é sem dúvida o sistema de controle de melhor desempenho de circulação ferroviária no mundo e traz vantagens significativas em termos de economia de custos de manutenção, segurança, confiabilidade, pontualidade e capacidade de tráfego. Isso explica por que o ERTMS tem cada vez mais sucesso também fora da Europa, e está a tornar-se o sistema de controle de escolha para países como a China, Índia, Taiwan, Coreia do Sul e Arábia Saudita. Ao tornar o sector ferroviário mais competitivo, o ERTMS ajuda a nivelar o transporte ferroviário com o rodoviário e, finalmente, proporcionar significativos ganhos ambientais. Na Figura 14 podemos observar a estrutura funcional do sistema ERTMS, associado às atividades europeias.

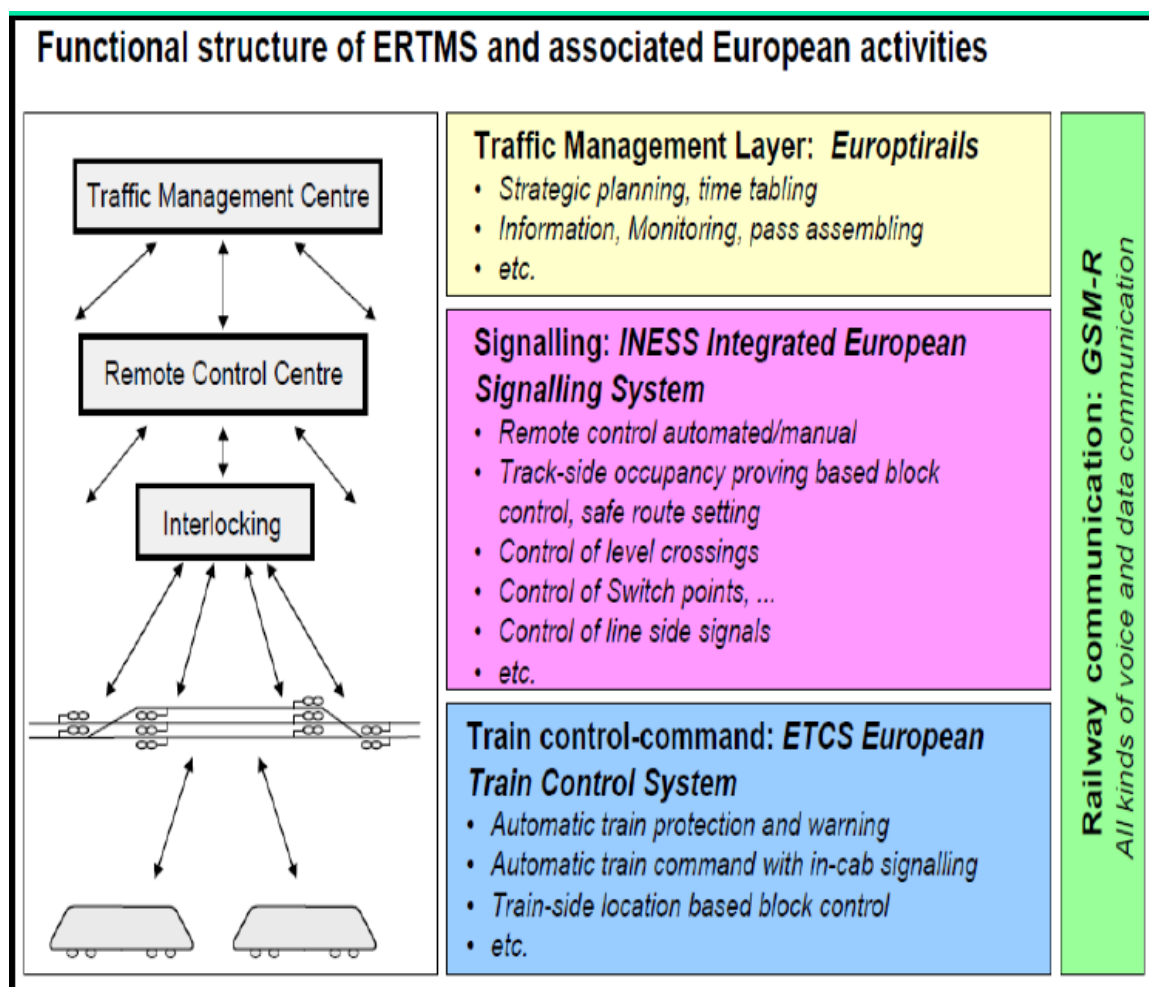


Figura 14. Estrutura funcional do ERTMS [2]

2.4.2. O ETCS e o GSM-R

No que respeita à funcionalidade do sistema ERTMS, este consiste essencialmente na utilização simultânea dos dois sistemas que o compõem, o ETCS e o GSM-R. A Figura 15, exemplifica num diagrama de blocos como funciona o sistema ETCS e a Figura 16 o endereçamento funcional do sistema GSM-R.

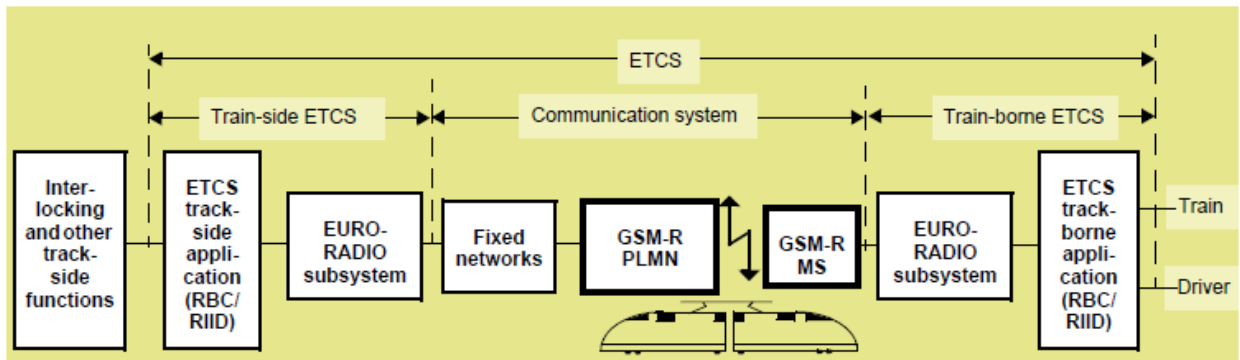


Figura 15. ETCS (*European Train Control System*) – Estrutura geral [8]

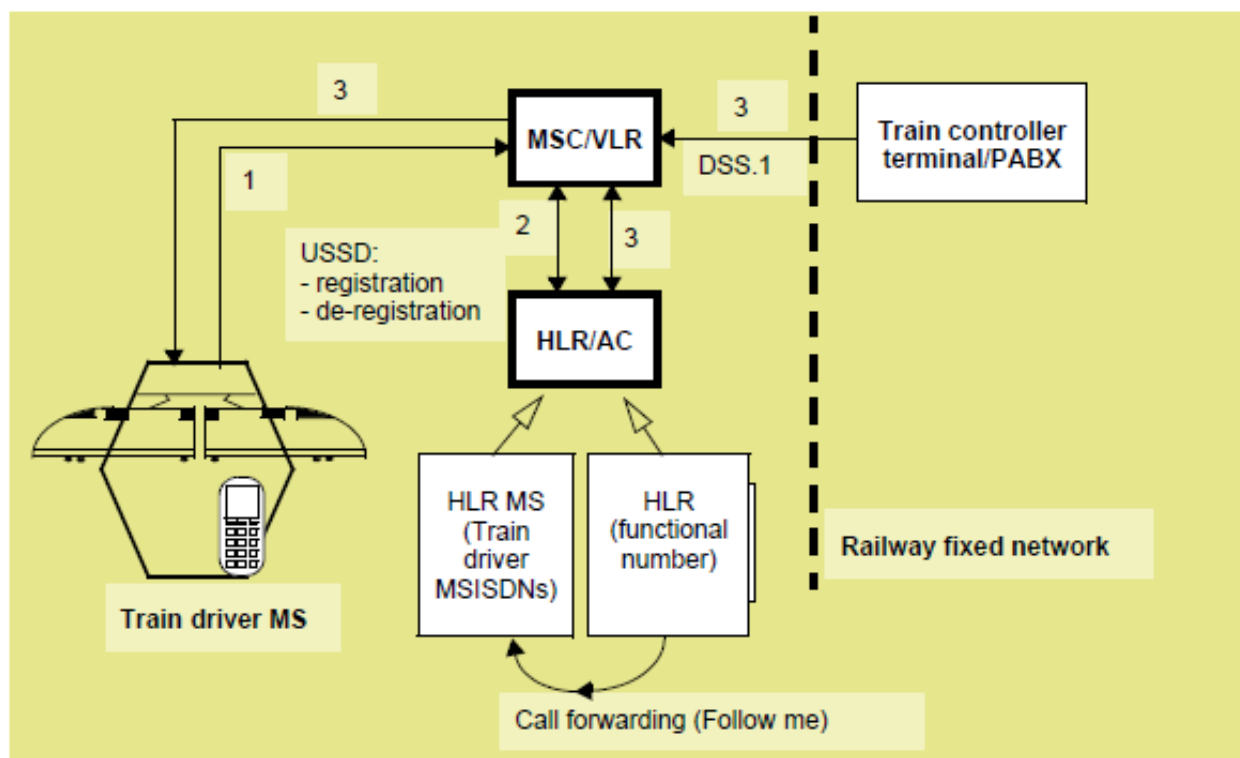


Figura 16. Endereçamento funcional em GSM-R [8]

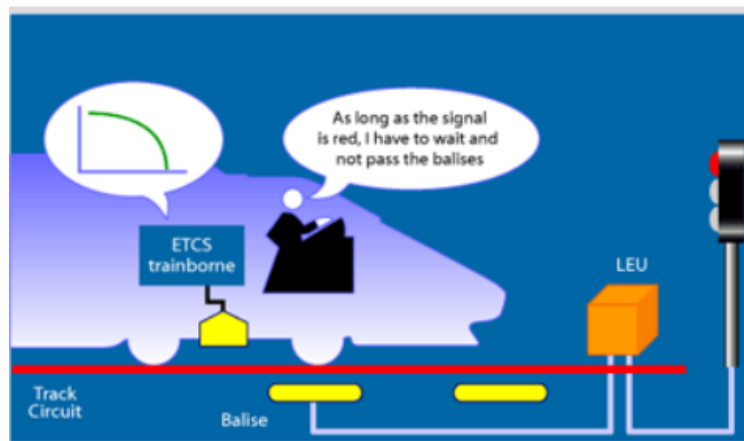
Os dados de posição do comboio são recolhidos pelas Eurobalisas (marco eletrónico passivo). A localização real do comboio é obtida através do sistema de posicionamento global (GPS), sendo os dados transmitidos através do GSM-R. A posição do comboio, a velocidade, o número de vagões/carruagens e informações de bordo são transmitidos para o *Radio Block Center* (RBC). O RBC compara os dados do tráfego de todos os comboios na respetiva área e transmite o perfil de velocidades relevantes para cada comboio individualmente. Esta aplicação permite às ferrovias operar os comboios através de estruturas de movimento em bloco, o que reduz a distância necessária entre os comboios numa única linha, resultando numa utilização otimizada e mais eficaz da rede e conseguindo-se assim colocar mais comboios com menores distâncias/tempo entre eles.

Os "níveis" do sistema ETCS definem diferentes níveis utilizados no sistema ERTMS como um sistema de controle de comboios, que variam desde as comunicações simples (Nível 1) para comunicação contínua entre o comboio e o centro de controle rádio (Nível 2) e tecnologia de controle total sem sinais (Nível 3), que se encontra ainda em fase de conceção.

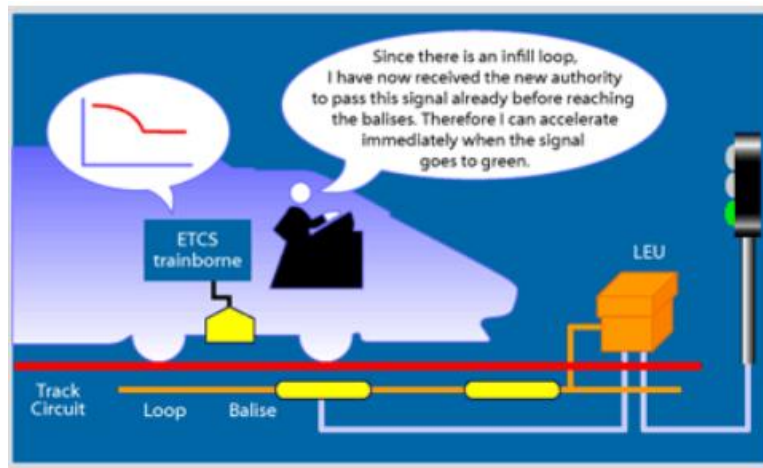
O **ETCS nível 1** é, essencialmente, apenas um sistema de sinalização de cabina e ATP, que funciona em sobreposição aos sistemas completos de sinalização automática tradicional. As informações de sinalização, obtidas diretamente a partir dos encravamentos e/ou dos sinais laterais luminosos, são transmitidas através de balizas, localizadas junto a cada sinal, para a unidade existente no material motor [5]. Enquanto o sinal estiver vermelho, tem que se aguardar e não ultrapassar as balizas (Figura 17 a)). Uma vez que se tem permissão da libertação da ordem de frenagem e tendo-se já recebido a nova autorização para ultrapassar o sinal antes de atingir as balizas, pode-se acelerar imediatamente, quando o sinal ficar verde (Figura 17 b)).

O **ETCS nível 2** utiliza uma comunicação rádio permanente entre a unidade motora e a infraestrutura, para transmissão das informações de sinalização propriamente dita no sentido descendente, ou seja, para a unidade motora e de localização e velocidade de comboio no sentido ascendente. As balizas passam a ser utilizadas apenas para efeitos de localização, não transmitindo informação dinâmica de sinalização, e a sinalização lateral poderá ser dispensável [5]. A regulação do tráfego e o estado da via, vêm totalmente através da informação via rádio, portanto o ecrã da cabine é atualizado constantemente e não necessita de sinais ao longo da via (Figura 17 c)).

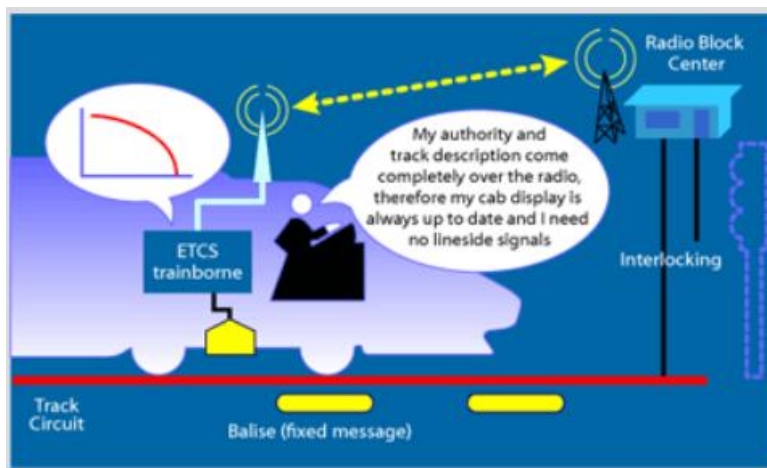
O **ETCS nível 3** requer a utilização de um sistema embestado, de segurança intrínseca, para deteção da integridade do comboio, o que permitirá dispensar na totalidade a infraestrutura tradicional de sinalização em plena via [5]. A verificação da integridade do comboio é feita no próprio comboio, portanto os circuitos de via não são necessários e pode-se circular em cantão móvel (Figura 17 d)).



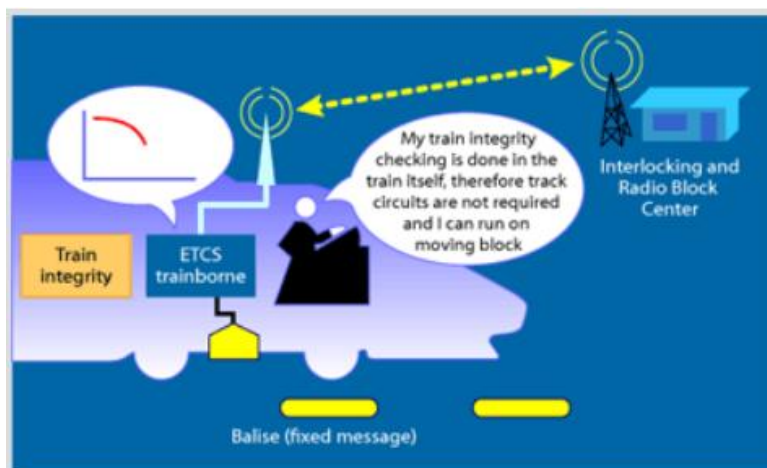
a) Nível 1-Com Eurobalisa sem permissão da libertação da ordem de frenagem



b) Nível 1-Com Eurobalisa com permissão da libertação da ordem de frenagem



c) Nível 2 do ETCS – Com ou sem sinalização vertical



d) Nível 3 do ETCS – Sem sinalização vertical

Figura 17. Níveis do ETCS (ERTMS) [8]

O ERTMS pode assim ser considerado o sistema de controlo de comboios de melhor desempenho no mundo, trazendo assim benefícios consideráveis além de interoperabilidade, tais como:

- Aumento da capacidade nas linhas existentes e uma maior capacidade para responder à procura crescente de transporte;
- Velocidades mais altas: ERTMS permite uma velocidade até 500 km / h;
- Maiores índices de confiabilidade. O ERTMS pode aumentar significativamente a confiabilidade e pontualidade, que são cruciais para o transporte de passageiros e de carga;
- Reduzir os custos de produção. Está comprovado que se trata de um sistema de mais fácil instalação, menor manutenção, logo mais económico e competitivo;
- Redução dos custos de manutenção: Com ERTMS de nível 2, a sinalização de solo não é mais necessária, o que reduz consideravelmente os custos de manutenção;
- Um mercado de fornecimento aberto: os clientes serão capazes de comprar equipamentos para instalação em qualquer lugar na Europa e todos os fornecedores serão capazes de concorrer a qualquer oportunidade. Os rádios e equipamentos de bordo podem ser feitos por qualquer um dos seis fornecedores do ERTMS, o que torna o mercado de fornecimento mais competitivo;
- Redução do prazo de entrega do contrato devido à redução significativa de engenharia de processos;
- Processo de aprovação simplificado na Europa e custos de certificações muito reduzidos tradicionalmente associadas com a introdução de novos sistemas;
- Maior segurança para os passageiros, funcionários e transporte de mercadorias.

Principais elementos que constituem o sistema ERTMS/ETCS:

- Computador de bordo *EVC-European Vital Computer*, que irá processar toda a informação recebida pelo comboio através da Eurobalisa, GSM-R, etc.;
- Antena de bordo, que irá comunicar com a Eurobalisa;
- O *JRU-Juridical Record Unit*, que grava a informação originada na viagem do comboio;
- O *MMI, Man Machine Interface* da Figura 18, que é onde é recebida toda a informação vinda da Eurobalisa, do sistema GSM-R, etc., e que mostra a informação ao Maquinista;
- A Eurobalisa da Figura 19, transmite o perfil de velocidade, o gradiente da linha e a informação da localização dos comboios.



Figura 18. Man Machine Interface



Figura 19. Eurobalisa

A implementação do sistema ERTMS requer componentes normalizados, com especificações nas TSI-*Technical Specifications for Interoperability*, em conjunto com as normas CENELEC-*Commite Européen de Normalisation Electrotechnique*, sendo interligadas conforme a Figura 20. Ao longo da via ferroviárias, os principais elementos constituintes do sistema ERTMS são a eurobalisa, o equipamento de ligação ao encravamento LEU-*Line side electronic Unit* e o RBC-*Radio Block Centre*.

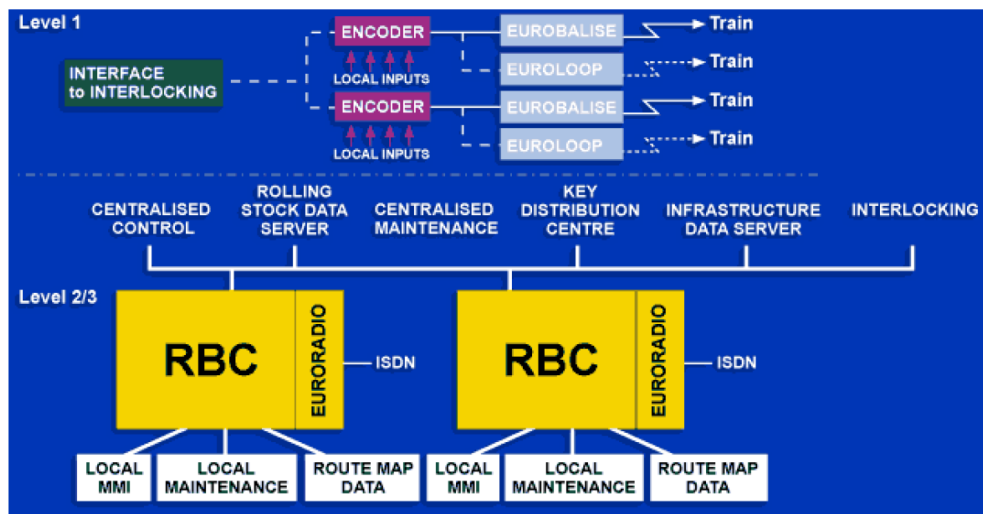


Figura 20. Arquitetura do equipamento de via [8]

A nível do equipamento de bordo, o mesmo é constituído essencialmente pelo MMI-*Man Machine Interface*, o EVC-*European Vital Computer*, LTM-*Loop Transmission Module*, JRU-*Juridical Recorder Unit*, os sensores que ligam ao SPMU-*Speed Monitoring Unit*, o TIU-*Train Interface Unit*, o RTM-*Radio Transmission Module*, BTM-*Balise Transmission Module* e o interface STM-*Specific Transmission Modules*, que constituem o sistema ERTMS, conforme ilustrado na Figura 21.

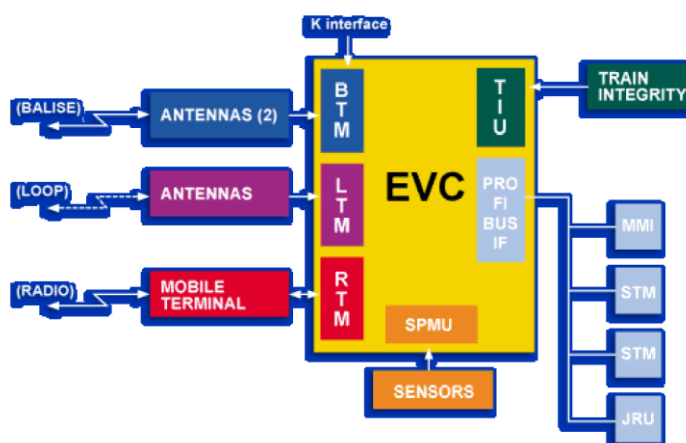


Figura 21. Arquitetura do equipamento de bordo [8]

2.5. Funcionalidades do sistema GSM-R

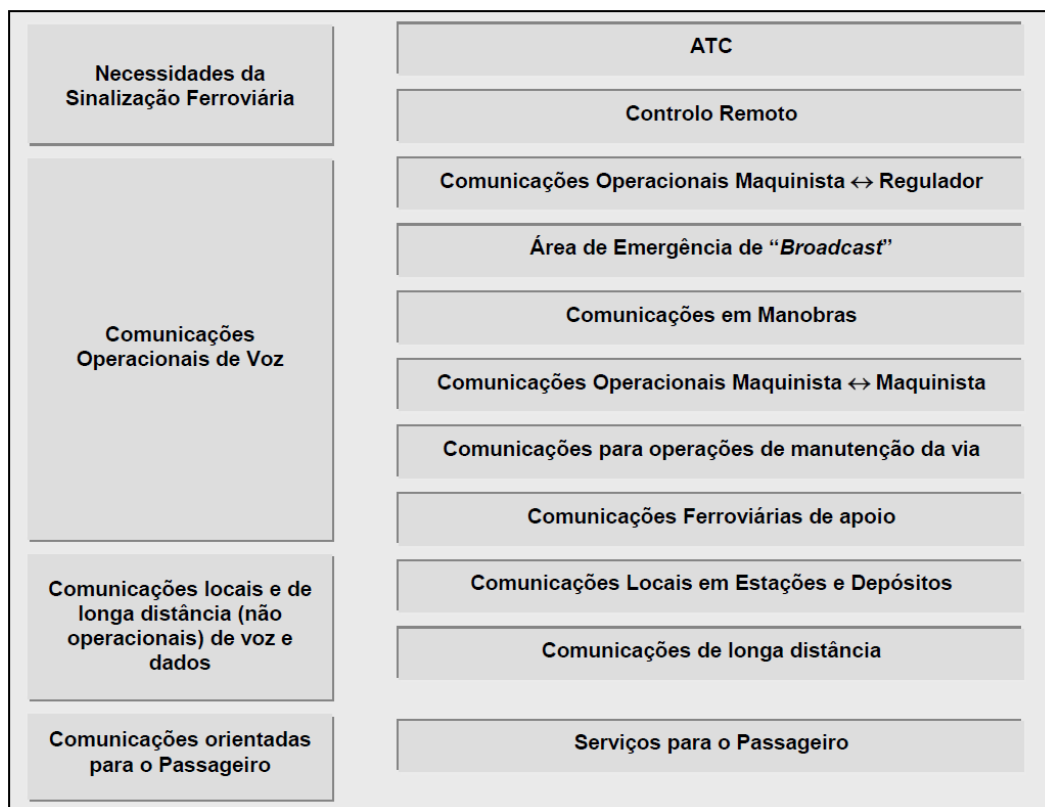
O GSM-R constitui assim a componente de telecomunicações do sistema ERTMS e desempenha, em termos de interoperabilidade, a dupla função de suporte de comunicações de rádio envolvidas no sistema ETCS nível 2 (e futuramente nível 3) e de sistema de comunicações de rádio propriamente dito, suportando as comunicações entre os Maquinistas e os Operadores de comando de circulação. Este sistema baseia-se assim na tecnologia do GSM público com algumas adaptações e um conjunto de funcionalidades adicionais necessárias à sua utilização especificamente ferroviária, conforme se pode verificar na Tabela 1.

Tabela 1. Funções de comunicação de voz requeridas no GSM-R [9]

Train controller-driver operational communication	Functional addressing, location-dependent addressing, enhanced multi-level precedence and preemption
Emergency area broadcast	Enhanced multi-level precedence and preemption with fast call setup, voice group call service
Shunting communication	Enhanced multi-level precedence and preemption, voice group call service, CS data transmission during active voice group call
Driver-driver operational communication	Multi party service, closed user group, onboard wired or DECT system addressing, location-dependent addressing, enhanced multi-level precedence and preemption (controller - driver)
Track side maintenance communication	Functional addressing, location-dependent addressing, closed user group
Train support communication	Functional addressing, location-dependent addressing, enhanced multi-level precedence and preemption controller-driver operational communication

Na Tabela 2 podemos identificar as aplicações existentes no GSM-R, que foram definidas pelo EIRENE, onde se destacam as funcionalidades específicas para a sinalização ferroviária e as comunicações de voz específicas.

Tabela 2. Aplicações GSM-R identificadas pelo EIRENE [13]



As melhorias implementadas em relação ao sistema GSM público são essencialmente:

- VGCS (*Voice Group Call Service*) – Chamada de grupo;
- VBS (*Voice Broadcast Service*) – Chamada geral de *broadcast*;
- eMLPP (*Enhanced Multi Level Priority and Pre Emption*) – Prioridade e preempção com cinco níveis.

De referir que estas aplicações já existiam no GSM, mas sem aplicação pelos operadores, mas passaram a ter um maior destaque na sua utilização em GSM-R.

O alinhamento do plano de numeração para o GSM-R (EIRENE) para os Cenários de chamadas de voz em GSM-R é:

- Ligações regular ponto-a-ponto;
- Chamadas para / de "números funcionais" (também ponto-a-ponto);
- Chamadas de Grupo (VBS / VGCS).

Na Figura 22 podemos observar um diagrama com a arquitetura completa do sistema GSM-R.

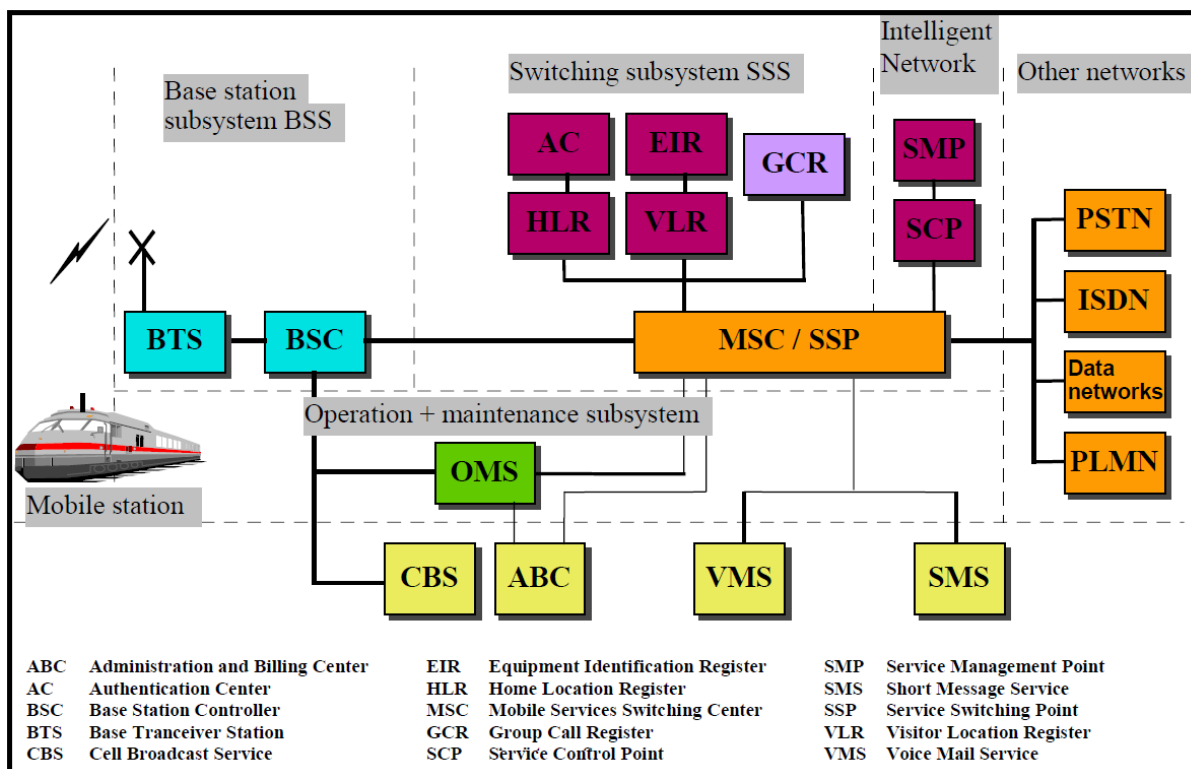
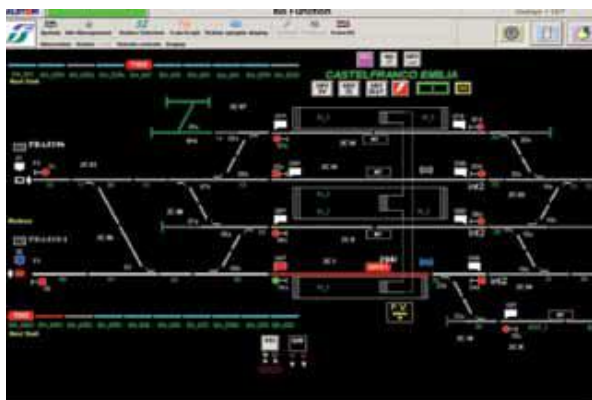
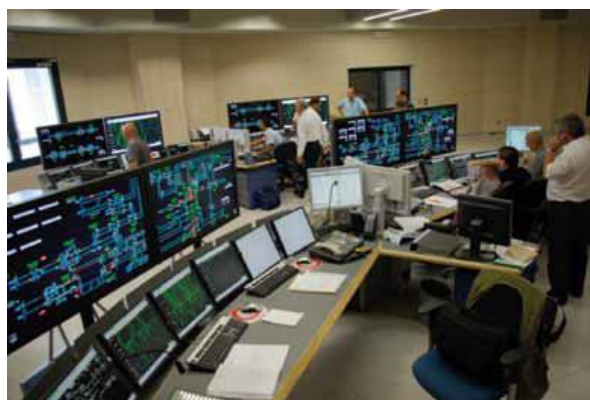


Figura 22. Arquitetura completa do sistema GSM-R [13]

Na Figura 23 a) e b) podemos observar uma sala de comando de circulação, onde está representado o painel de sinalização do sistema ERTMS.



a) Painel de visualização da circulação



b) Sala de controlo sinalização

Figura 23. Sala comando e operação da circulação ferroviária

Na Figura 24 podemos observar o âmbito do sistema definido pelo EIRENE.

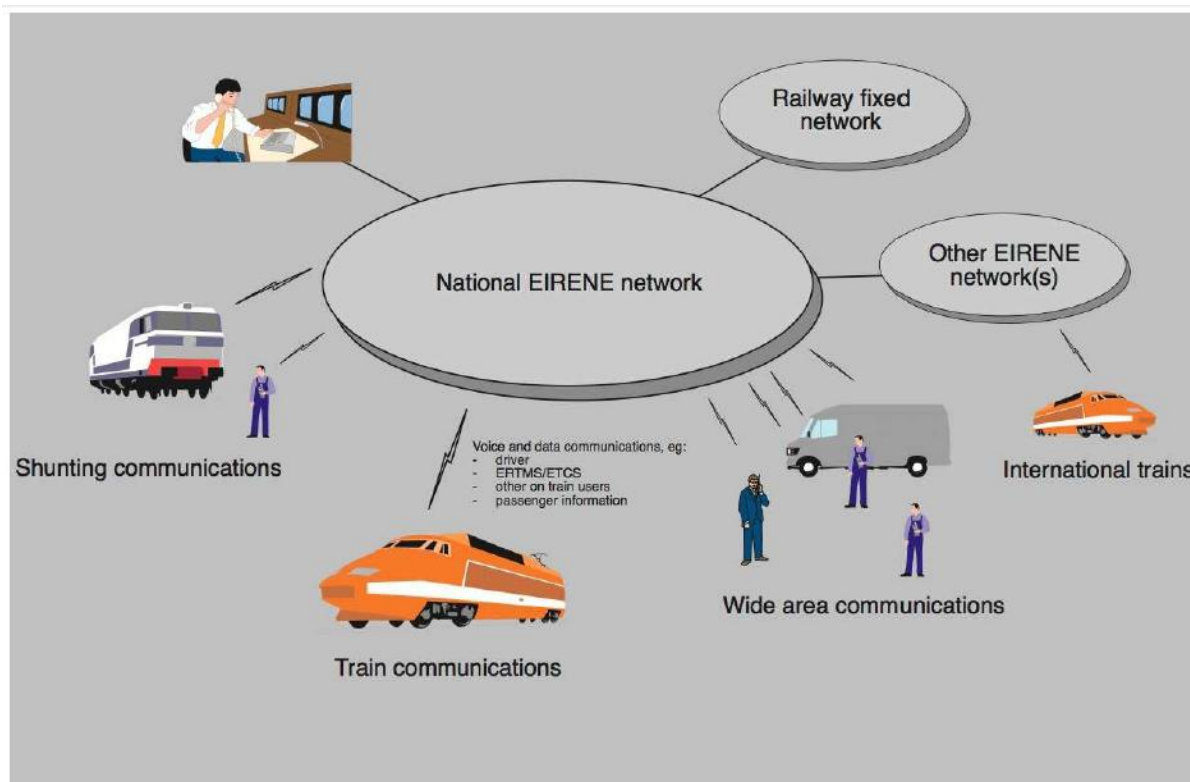


Figura 24. Âmbito do EIRENE [7]

Na Tabela 3 temos a indicação dos tempos máximos de estabelecimento das chamadas, dentro de cada tipo, definidas pelo EIRENE.

Tabela 3. Tempos de estabelecimento de chamada definidos pelo EIRENE

Classe	Tipo de Chamada	Tempo de Estabelecimento da Chamada
Classe I	Chamada de Emergência Ferroviária	$\leq 1s$
Classe Ia	Chamada de Grupo urgente de Móvel para Móvel	$\leq 2s$
Classe II	Todas as operacionais cobertas pelas acima mencionadas	$< 5s$
Classe III	Todas as chamadas de baixa prioridade	$< 10s$

Com o sistema ERTMS consegue-se melhorar a supervisão global na operação da circulação ferroviária, relativamente aos outros sistemas mais convencionais.

No que respeita às principais funcionalidades do sistema GSM-R, apresentam-se de seguida na Tabela 4 as respetivas funções e aplicações.

Tabela 4. Características principais do GSM-R[2]

Function	Feature	Application	Implemented in
GSM-R frequency band	Frequency shift	EIRENE frequency band for boarder crossing traffic.	BTS
	Channel numbering according to GSM Phase 2+	Operation of EIRENE frequency band and standard GSM frequency band.	BSC
Improved equalizer for GSM-R	Equalizer for high speed	Functionality of GSM up to a maximum speed of 500 km/h for the MS.	BTS
Location-dependent addressing	Cell oriented routing of short numbers	Routing of train originated calls depending on the location of the train. HLR gives cell accuracy whereas IN gives the possibility to enhance the location accuracy with GPS etc.	MSC/VLR and HLR/AC, or IN
Functional addressing	Follow me	Functionality allowing controlling of calls addressed to functional numbers (for each train function according to EIRENE numbering plan) routed to their destinations registered by the follow me procedures.	MSC/VLR and HLR/AC, or IN
	SMS to functional numbers	For operational purposes, SMS sent to functional address which can be either MS or fixed dispatcher locations.	MSC/VLR, SMSC and IN
	Group communication in trains	Automatic group selection for personnel on the same train.	IN, HLR/AC and GCR
Display of functional numbers	User-to-user signaling 1 (UUS.1), MOC and MTC	Display of functional number instead of MSISDN, transport of additional information.	MSC/VLR
Voice group call	ASCI voice group call service according to GSM Phase 2+	Typically trunked radio communication, point-to-multipoint, several dispatchers (MOC or MTC), many listeners, subsequent speakers. Is used mainly for railway emergency calls, shunting team communication and trackside maintenance.	MSC/VLR, HLR/AC, BSC and BTS, new software register GCR in MSC
Voice broadcast call	ASCI voice broadcast system according to GSM Phase 2+	Typically trunked radio communication, point-to-multipoint, 1 speaker and several dispatchers (MOC or MTC), many listeners. Is used mainly for railway emergency calls.	MSC/VLR, HLR/AC, BSC and BTS, new software register GCR in MSC
Fast call setup	Fast call setup dependent on call priority	Call setup within 1 second as specified in EIRENE (e.g., for railway emergency calls).	MSC/VLR, HLR/AC
Priority services	eMLPP according to GSM Phase 2+	Priority level management according to EIRENE, e.g., pre-emption of low-priority traffic channels for ETCS and railway emergency calls in case that all traffic channels are busy on radio interface.	MSC/VLR, HLR/AC, BSC and BTS, new software register GCR in MSC
	MLPP as specified for ISDN	Mapping of GSM-R eMLPP priority to the different equipment like PABX, ISDN telephone and -terminal (wired ISDN is designed as non-blocking).	Train controller workstation/ PABX

2.6. A sustentabilidade do sistema ERTMS

Fazendo uso das novas tecnologias e do sistema ERTMS, composto pelos sistemas de telecomunicações GSM-R e de sinalização ETCS, é possível reduzir os consumos de energia dos atuais sistemas de sinalização e rádio solo-comboio, pois esta nova tecnologia é mais abrangente e requer menos equipamentos no terreno, logo, menores consumos.

À medida que cada sistema vai subindo de nível, e a quantidade de equipamentos vai sendo reduzida no terreno, vai verificar-se uma significativa redução do consumo energético, uma redução de equipamentos para manter, logo implica uma redução da pegada ecológica e assim uma significativa melhoria da sustentabilidade destes sistemas.

O ERTMS pode assim ser considerado o sistema de controlo de comboios de melhor desempenho no mundo, trazendo benefícios consideráveis além de interoperabilidade, tais como:

- Aumento da capacidade nas linhas existentes e uma maior capacidade para responder às demandas crescentes de transporte;
- Velocidades mais altas: ERTMS permite uma velocidade até 500 km / h;
- Maiores índices de confiabilidade;
- Redução dos custos de produção;
- Redução dos custos de manutenção: Com ERTMS de nível 2, a sinalização de solo não é mais necessário, o que reduz consideravelmente os custos de manutenção;
- Um mercado de fornecimento aberto: os clientes serão capazes de comprar equipamentos para instalação em qualquer lugar na Europa e todos os fornecedores serão capazes de concorrer a qualquer oportunidade. Os rádios e equipamentos de bordo podem ser feitos por qualquer um dos seis fornecedores do ERTMS, o que torna o mercado de fornecimento mais competitivo;
- Redução do prazo de entrega do contrato devido à redução significativa de engenharia de processos;
- Processo de aprovação simplificado na Europa e custos de certificações muito reduzidos tradicionalmente associadas com a introdução de novos sistemas;
- Maior segurança para os passageiros, funcionários e transporte de mercadorias.

Uma outra questão muito importante, será a redução nos consumos das próprias locomotivas dos comboios, pela melhor e mais eficiente gestão da circulação ferroviária. Sendo assim, a questão que se coloca é *“como é que efetivamente se consegue essa melhoria de consumos?”*

A resposta prende-se com o facto de os novos sistemas de sinalização ETCS em conjunto com o GSM-R permitirem dar uma informação mais rápida da localização dos comboios na via, permitindo que mais rapidamente se possa obter informação de segurança da proximidade de outro comboio. Esta situação fará com que diminuam as travagens e acelerações, que consomem muita energia, fazendo uma otimização da quantidade de comboios e dos seus consumos.

Pode assim verificar-se que o impacto destas novas tecnologias é muito significativo, pois a sua implementação permite reduzir significativamente o consumo de energia nas diversas redes ferroviárias europeias, e quem sabe mundialmente, pois reduz a quantidade de equipamentos instalados e reduz o consumo global de energia, tornando-se cada vez mais sustentável. A eficácia do funcionamento destes novos sistemas de sinalização e telecomunicações permite colocar mais comboios a circular, reduzindo o tempo de espera da informação da localização dos comboios, e torna-os interoperáveis, ou seja, de mais fácil circulação entre países. Esta melhoria é de extrema importância para a sustentabilidade do planeta, pois irá competir com os transportes rodoviários, reduzindo a quantidade de veículos de transporte de mercadorias nas estradas e reduzindo assim o consumo energético global.

3. ARQUITETURA E PLANEAMENTO DO GSM-R

Pretende-se neste capítulo fazer uma descrição da arquitetura e do planeamento do sistema GSM-R. No âmbito dos trabalhos desenvolvidos durante o estágio no Projeto-piloto, o conhecimento detalhado da arquitetura da rede revelou-se fundamental, pelo que foi necessário proceder ao estudo do planeamento da rede que a RT desenvolveu. Neste caso específico, este conhecimento detalhado revela-se de extrema importância pela geografia especial associado ao Projeto-piloto, que envolve por um lado significativos obstáculos devido aos edifícios existentes e por outro devido ao facto de a linha acompanhar na maioria da sua extensão o leito do rio Tejo, o que representa condições especiais de propagação, que tem de ser consideradas no estudo de propagação.

3.1. Requisitos de Qualidade de Serviço

A qualidade de serviço de uma rede pode ser definida a dois níveis, ao nível da cobertura ao nível da capacidade. Ao nível da cobertura, deve ser garantida uma probabilidade de cobertura acima de um determinado valor estatístico para um *C/I* (*Carrier to Interference Ratio*) acima do recomendado. Ao nível da capacidade a rede deverá apresentar valores de atraso ou de bloqueio abaixo de valores máximos impostos pelo operador e garantidos no processo de planeamento.

Em termos de GSM-R, e de acordo com as especificações, os principais parâmetros de qualidade de serviço específicos do sistema são:

- Probabilidade de cobertura de 95 %;
- Tempos de estabelecimento de ligações menores que 5 segundos em 95% das chamadas e menores que 7.5 segundos em 100% das chamadas;
- Tempos de estabelecimento de ligações menores que 2 segundos em chamadas de emergência;
- Atraso máximo no estabelecimento de uma ligação é de 0.7 segundos;
- Disponibilidade acima de 99.95%.

3.2. Arquitetura

A arquitetura do sistema GSM-R é tradicionalmente idêntica à do GSM público. Esta deverá ser projetada de forma a minimizar a complexidade das estações base de transmissão, para em caso de alterações topológicas, como a criação ou sectorização de células, o custo seja o menor possível. Outro conceito importante a ter em conta no projeto, é a gestão e manutenção centralizada da rede bem como a interligação a outras redes. Na Figura 25 apresenta-se a arquitetura da rede GSM-R, incluindo os principais elementos de rede.

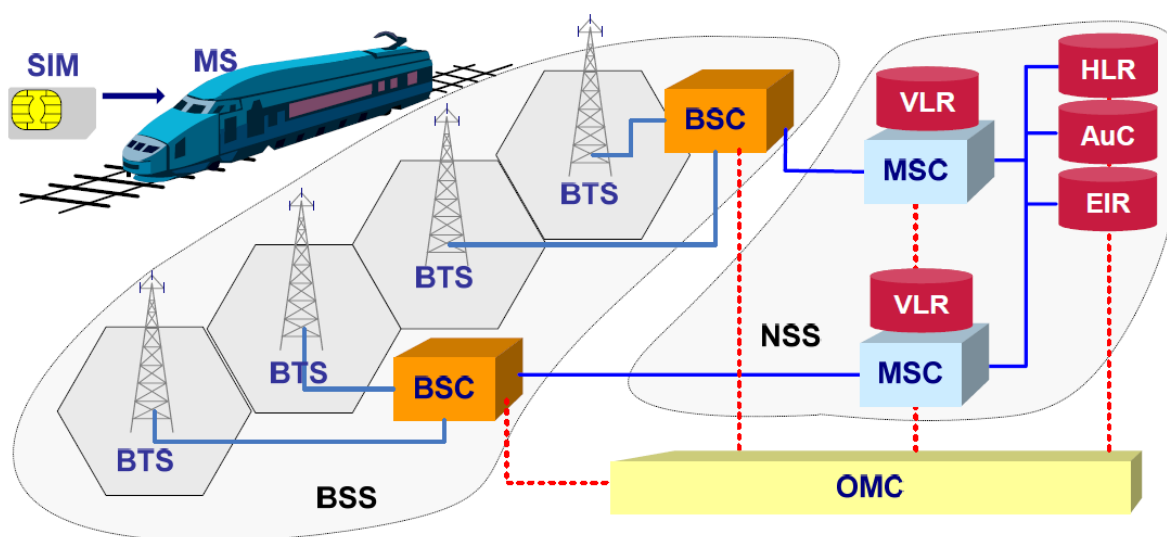


Figura 25. Arquitetura de rede GSM [6]

No extremo da estrutura apresentada encontra-se o equipamento terminal, denominado por MS (*Mobile Station*) que faz a interligação à rede de acesso rádio através da interface rádio. Este equipamento inclui ainda a entidade funcional SIM (*Subscriber Identity Module*) que é um cartão inteligente que contém as informações específicas de cada assinante/utilizador.

A rede do operador é constituída por dois subsistemas funcionalmente distintos. O BSS (*Base Station Subsystem*), que inclui os BSCs (*Base Station Controllers*) que controlam as BTS's (*Base Transceiver Stations*), contendo cada uma, um número de TRXs (*Transceivers*). Este subsistema engloba todas as funcionalidades relativas à transmissão rádio, sendo no âmbito deste documento, o que se reveste de maior importância. Por outro lado o NSS (*Network SubSystem*) liga ao BSS via interface A do GSM, interface aberta com canais de 64 kbps.

O NSS (*Network SubSystem*) contém os MSC (*Mobile Services Switching Centre*) com a responsabilidade no controlo das chamadas. Associado a cada MSC existe um VLR (*Visitor Location Register*) que contém toda a informação temporária dos assinantes que se encontram a utilizar a área de serviço assegurada pelo MSC. Centralmente existe um conjunto de bases de dados que permitem a gestão do perfil dos assinantes, dos mecanismos de segurança e do equipamento terminal, designadas respetivamente por HLR (*Home Location Register*), AuC (*Authentication Center*) e EIR (*Equipment Identity Register*). O OMC (*Operation and Maintenance Centre*) é o responsável pela monitorização do funcionamento de toda a rede, englobando as funcionalidades de configuração de rede, monitorização de desempenho, gestão de assinantes, entre outros [6].

3.3. Planeamento celular

De forma a garantir cobertura e evitar interferência excessiva, qualquer rede celular necessita de planeamento. As atividades principais a executar durante o planeamento são:

1. Análise de Tráfego e Cobertura

2. Planeamento
3. *Surveys*
4. Projeto do Sistema
5. Implementação
6. Afinação do Sistema

O processo de planeamento inicia-se com a análise de tráfego e cobertura. Esta análise deverá produzir informação geográfica assim como capacidade esperada para a rede.

Para se efetuar um adequado planeamento da rede, têm que previamente ser realizados vários testes de propagação nas zonas onde se pretende fazer a implementação, conforme se pode visualizar a título de exemplo na Figura 26. Nesta figura podemos observar as leituras efetuadas na fase de estudos para o planeamento celular, realizadas na Linha de Cascais, utilizando as frequências de 467,650 MHz, 467,700 MHz e 467,750 MHz, que são as frequências utilizadas no sistema analógico RSC.

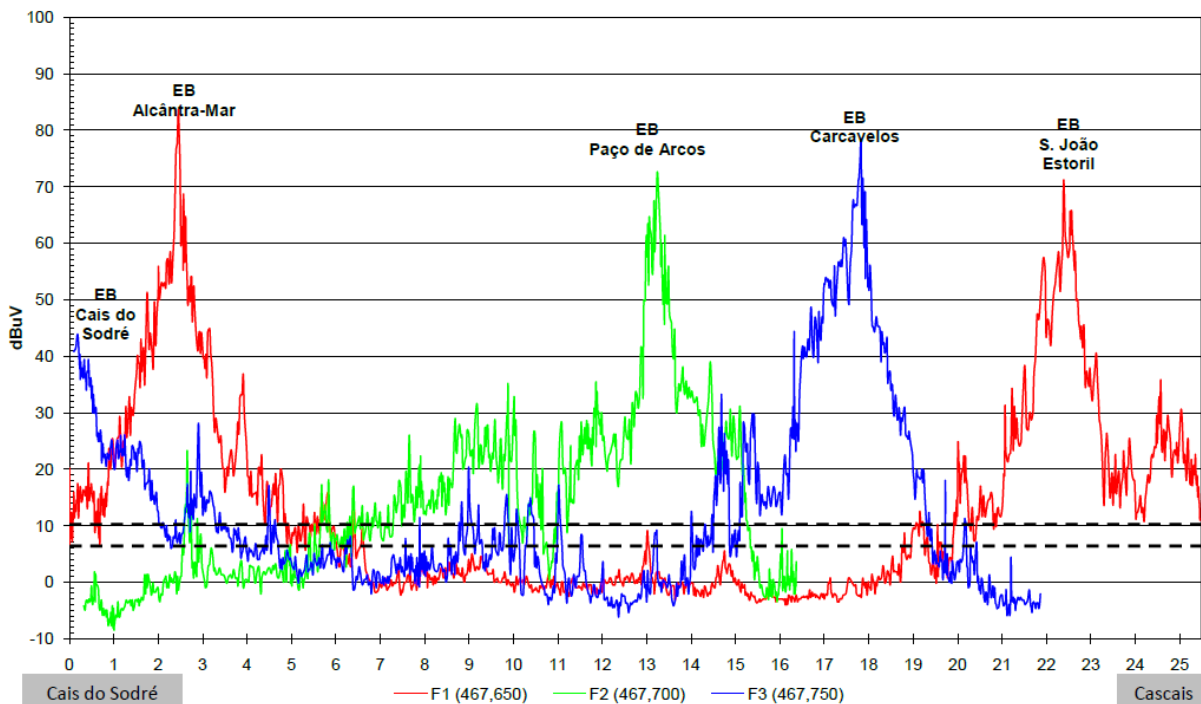


Figura 26. Ensaio de propagação na Linha de Cascais

Depois de se trabalharem os dados da fase anterior, deverá ser produzido um planeamento inicial. Este deverá ser uma representação da rede do ponto de vista do padrão celular adotado no mapa a cobrir ou instalar o GSM-R. Tipicamente, nesta fase do processo, deverão ser indicados já alguns exemplos de predição de cobertura. Recorrendo a ferramentas de planeamento de cobertura rádio apropriada e depois de se identificarem os potenciais locais a instalar as estações base.

3.4. O espectro da Rede Rádio GSM-R

Em termos de espectro de frequências, em 1995 o ETSI reservou duas faixas de frequência entre 876 e 880 MHz (*uplink*) e 921-925 MHz (*downlink*) para a utilização pelos sistemas EIRENE, tendo mais tarde sido denominada por banda GSM-R, conforme se pode verificar na Figura 27. À semelhança do GSM público, cada portadora ocupa um espectro de 200 kHz, o que totaliza 19 pares de portadoras na banda GSM-R. Além dos 19 canais de rádio, foram reservados 200 kHz adicionais para banda de guarda com a banda E-GSM. No extremo inferior da faixa GSM-R foram reservados 100 kHz para o Modo Direto, que permite a comunicação direta entre terminais. Na Figura 27 apresenta-se o espectro total na banda dos 900 MHz, incluindo a faixa GSM.

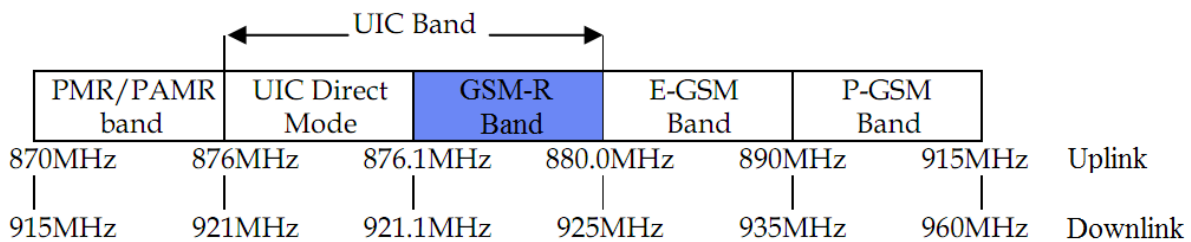


Figura 27. Distribuição do espectro na faixa dos 900 MHz [6]

Em termos nacionais a faixa de extensão do GSM (E-GSM) poderá ser utilizada para aumentar o número de portadoras GSM-R, dependendo da entidade reguladora. Uma das limitações mais importantes no planeamento de uma rede de GSM-R é a disponibilidade do espectro.

À semelhança do GSM público, cada portadora ocupa um espectro de 200 kHz, o que equivale a 19 pares de canais de frequência utilizáveis. A frequência de cada portadora é designada por ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*). Para portadoras GSM-R é utilizada a convenção representada na equação seguinte, onde $F_{UL}(n)$ é o valor da frequência da portadora ARFCN (n) em *uplink*, e $F_{DL}(n)$ o valor da frequência em *downlink*:

$$F_{UL}(n) = 890 + 0.2 \times (n - 1024) \text{ MHz} \quad , 955 \leq n \leq 973$$

$$F_{DL}(n) = F_{UL}(n) + 45 \text{ MHz}$$

A partir daqui, cada par será referido como um canal de frequência. Além dos 19 canais, foram reservados para a banda de guarda 200 kHz adicionais para evitar interferências entre as bandas GSM-R e E-GSM.

O canal físico GSM é definido com base na combinação de duas técnicas de acesso múltiplo:

- FDMA (*Frequency Division Multiple Access*): a cada canal faz-se corresponder uma frequência. O utilizador pode aceder a qualquer frequência;
- TDMA (*Time Division Multiple Access*): cada portadora é dividida num número de *time slots* e a cada um deles corresponde um canal de comunicação independente.

A combinação destes dois sistemas de acesso é feita por aplicação do sistema TDMA a cada canal FDMA, obtendo assim uma trama TDMA por portadora, como se apresenta na Figura 28. A transmissão é efetuada através de *bursts*. Um *burst* consiste numa sequência de bits, com duração finita e que ocupa espectro rádio. São enviados em janelas de tempo e frequência, designado por *slots*. A frequência central dos *slots* é espaçada 200 kHz, dentro da banda de frequência do sistema, e estes ocorrem com intervalo de tempo de $15/26$ ms, ou seja, $577 \mu\text{s}$. Os limites das durações dos *slots* são simultâneos numa determinada célula para todas as portadoras.

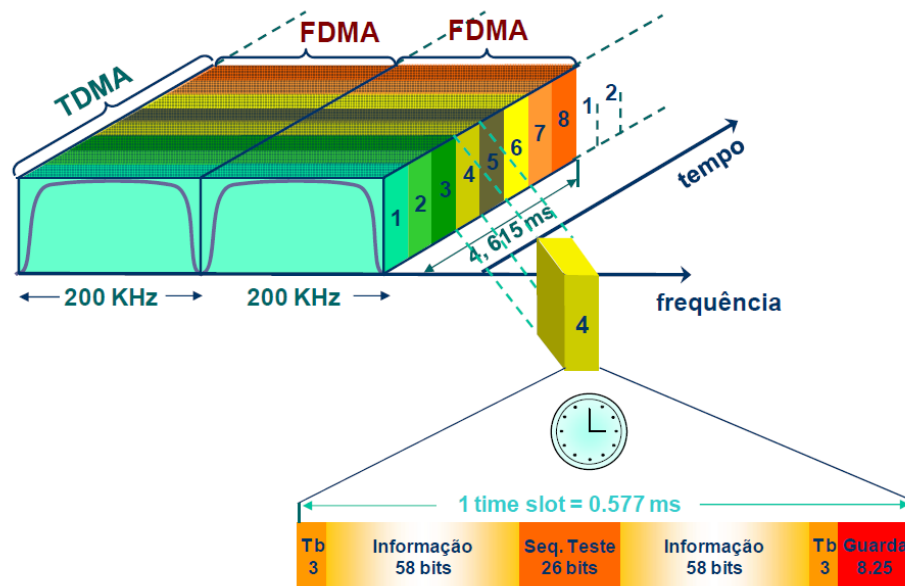


Figura 28. Definição de canal físico em GSM [6]

Na Figura 29 apresentam-se os intervenientes numa rede rádio GSM-R. Nesta figura é possível verificar os elementos necessários à transmissão, bem como as atenuações, potências ou ganhos que representam cada um deles. Esta figura representa assim como pode ser efetuado o balanceamento do sistema, o qual deve ser realizado antes do cálculo de cobertura. No entanto a prática mostra que a potência da BTS deve-se situar (2 a 3 dB) acima do valor calculado. Isto deve-se ao facto de que os ganhos de diversidade por vezes excedem os 3.5 dB recomendados. O balanceamento é obtido quando o nível de sensibilidade do terminal (sentido descendente), $SSMS$, é obtido no mesmo ponto, ou no mesmo raio em que se obtém a sensibilidade da BTS, $SSsens$, (sentido ascendente). Assim, a potência recebida pelo MS, Pr_{xMS} , é igual à potência emitida pela BTS, Pt_{xBTS} , mais os ganhos e perdas associadas [6].

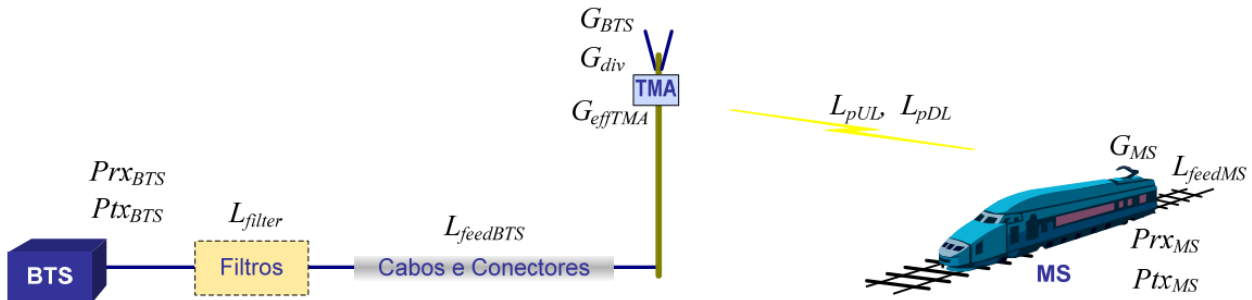


Figura 29. Intervenientes de uma rede rádio GSM-R [6]

Em que:

P_{RXMS} = Potência recebida no terminal;

P_{RXBTS} = Potência recebida na BTS;

P_{TXMS} = Potência de emissão do terminal;

P_{TXBTS} = Potência de emissão da BTS;

$L_{feedBTS}$ = Atenuação nos cabos e conectores na BTS;

L_{feedMS} = Atenuação nos cabos e conectores do equipamento terminal;

L_{filter} = Atenuação devido aos filtros externos à BTS;

G_{BTS} = Ganho da antena da estação base;

G_{MS} = Ganho da antena do terminal;

G_{div} = Ganho de diversidade;

G_{effTMA} = Ganho efetivo do TMA;

L_{pUL} = Atenuação do percurso ascendente;

L_{pDL} = Atenuação do percurso descendente.

3.5. Estações Base

As estações base em GSM-R diferem das estações base das outras redes por terem que garantir uma cobertura rádio em linha, ao longo da ferrovia, e não em área. Para garantir a cobertura em linha, deverão ser utilizadas antenas diretivas ao longo da linha ferroviária e orientadas diretamente para a mesma. Recorrendo a este tipo de antenas e evitando o uso de antenas omnidirecionais é possível reduzir a interferência no interior e exterior da rede GSM-R.

Normalmente deve existir no mínimo um sector em cada estação base ao longo da linha férrea, como se encontra representado na Figura 30. No entanto, pode ser considerado um terceiro sector a fim de se conseguir uma cobertura extra por parte da estação base.

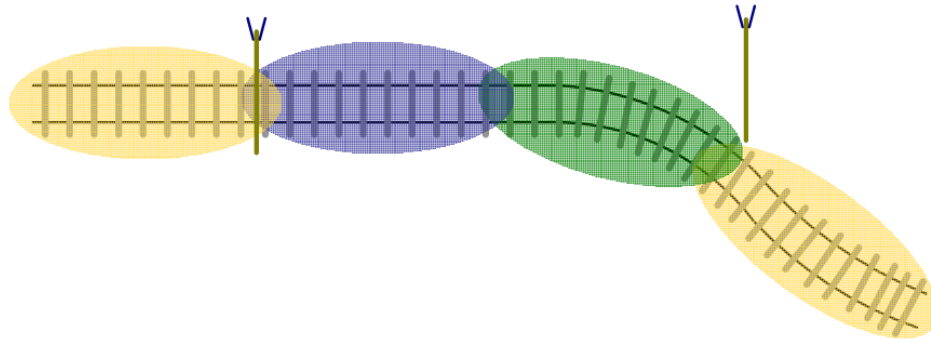


Figura 30. Cobertura com estações base bi-setorializadas com antenas diretivas [6]

Na Figura 31 pode-se observar a título de exemplo, uma outra arquitetura de dupla cobertura de rádio, com estações intercaladas, usadas em redes de alta velocidade com ERTMS, onde se pretende uma melhor cobertura com redundância máxima.

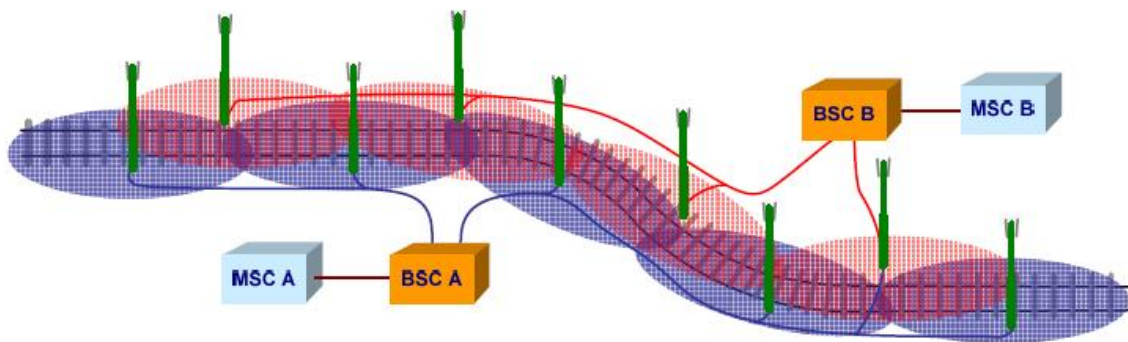


Figura 31. Arquitetura de dupla cobertura rádio com estações intercaladas [6]

3.6. Antenas

As antenas a utilizar são um elemento fundamental da rede, sendo que existe um grande número de antenas disponíveis no mercado. As principais diferenças entre elas são os seus diagramas de radiação representados no plano horizontal e no plano vertical, bem como o tipo de polarização.

As antenas são tanto mais diretivas quanto menor for a sua abertura. Por sua vez, o ganho máximo é tanto maior quanto mais diretiva for a antena [6].

Dois aspetos muito importantes para a otimização da cobertura são o *downtilt* e o azimute das antenas. O *downtilt*, ou simplesmente *tilt*, é utilizado para melhorar a cobertura em micro-células de antenas com alturas elevadas e para reduzir a interferência. Consiste na variação do ângulo vertical da antena, direcionando o lobo principal do seu diagrama vertical para um ponto abaixo da linha de horizonte. Para reduzir a interferência co-canal o lobo principal deverá apontar para a zona onde se pretende reduzir a interferência. No entanto, isto pode levar à redução da intensidade do sinal na fronteira da célula. Existem duas formas de se

efetuar o *downtilt* da antena, por meios mecânicos ou elétricos. A Figura 32 representa um exemplo do *tilt* [6].

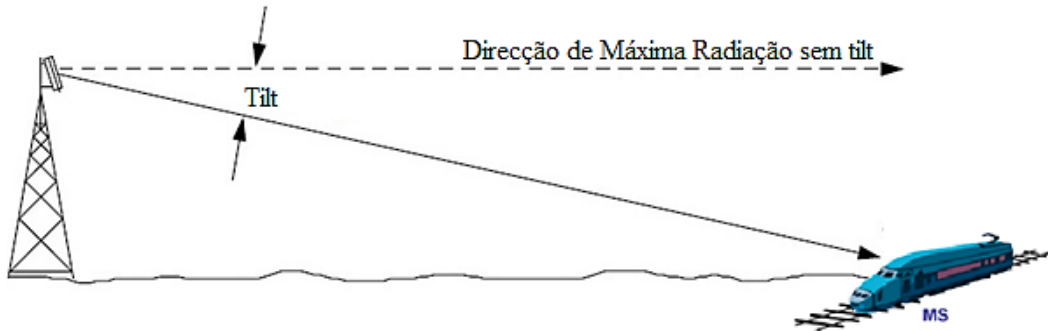


Figura 32. Representação do *Downtilt*. [6]

Outro aspeto importante é o azimute. Este é definido pela direcção do lobo principal do diagrama da antena no plano horizontal. Este varia entre 0° e 360° no sentido dos ponteiros do relógio. Um azimute de 90° , por exemplo, implica que a antena está a apontar para Este, como exemplificado na Figura 33. Uma vez que, em GSM-R, lidamos com antenas diretivas a definição do azimute é de extrema importância. Ele deve estar direccionado de modo a que cubra a maior distância de linha possível. Na Figura 34 apresentam-se os exemplos de diagrama de radiação no plano horizontal e no plano vertical.

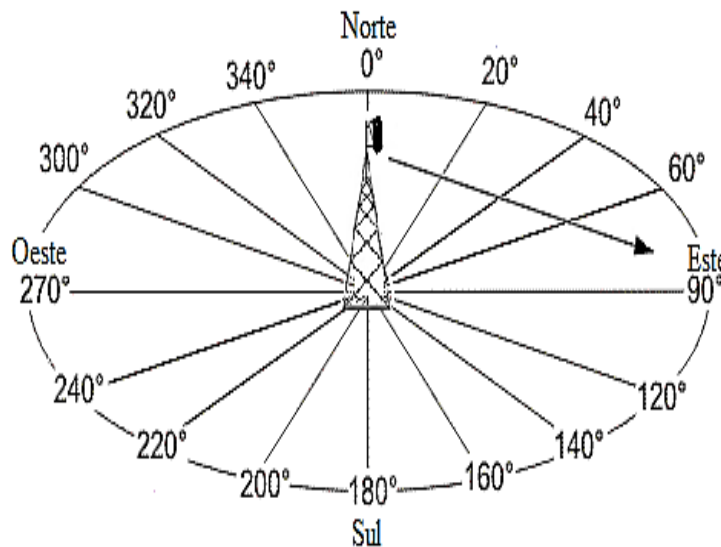


Figura 33. Representação do Azimute

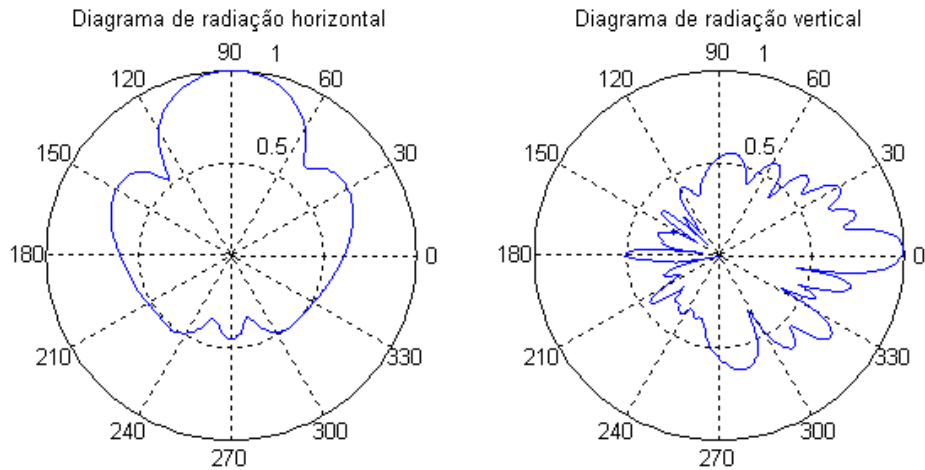


Figura 34. Exemplo de diagrama radiação horizontal e vertical para uma antena de 33° [6]

Na Figura 35 podemos analisar o diagrama vertical e o diagrama horizontal de uma antena da *Kathrein* com dupla polarização e de 30° , conforme Anexo I.

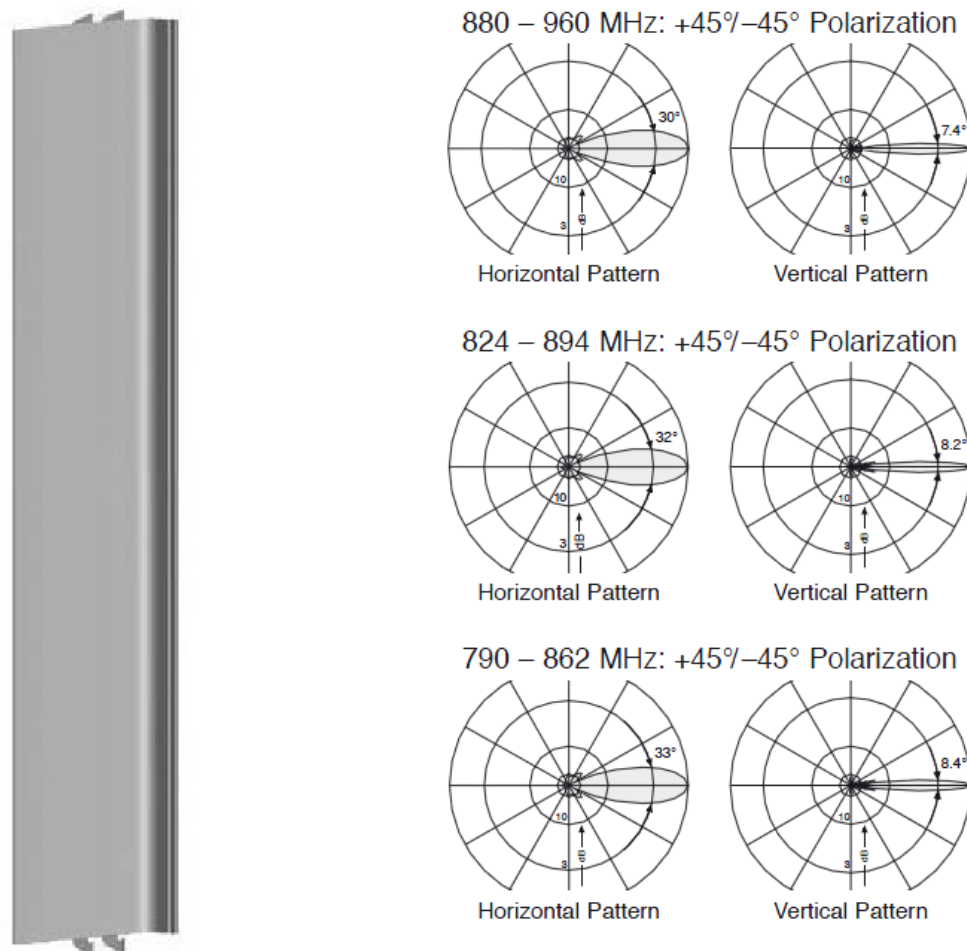


Figura 35. Antena *Kathrein* de 30° e diagramas de radiação horizontal e vertical [11]

3.7. Cabos e conectores

A atenuação sofrida pelo sinal nos cabos de alimentação das antenas terá de ser tida em conta no cálculo da potência de emissão e recepção. Os tipos de cabos mais comuns são os de 1/2" e 7/8", conforme catálogo no Anexo II e como se pode observar na Figura 36. Na Tabela 5 são apresentados alguns valores de referência. Além do valor da atenuação do cabo, terá de se contabilizar a atenuação devida aos conectores, que, tipicamente é de 0.1 dB por cada conector incluído. No Anexo II é apresentado o catálogo tipo dos cabos coaxiais usados no Projeto-piloto.

Tabela 5. Exemplos de atenuação nos cabos, para 900 MHz.

Tipo de Cabo	Atenuação [dB/100 m]
LCF 1/2"	7.2
LCF 7/8"	4.0
LCF 1-1/4"	3.3
LCF 1-5/8"	2.6



Figura 36. Cabo coaxial LCF 7/8 da *Draka* [12]

3.8. Repetidores

Os repetidores são equipamentos que deverão ser utilizados em situações onde a cobertura não é a mais adequada, como por exemplo em túneis ou em zonas de sombra.

Um repetidor amplifica o sinal entre 50 a 90 dB. No entanto, a sua utilização deverá ser moderada, caso contrário poderá provocar complicações em termos de interferência e de capacidade.

Existem duas técnicas para o uso de repetidores. A mais comum utiliza a cobertura rádio da BTS para estabelecer a ligação (ver Figura 37). Neste caso os repetidores comportam-se como amplificadores de potência bidirecionais com ganhos elevados, e asseguram um aumento da cobertura repetindo a frequência de utilização da estação base nas zonas de sombra.

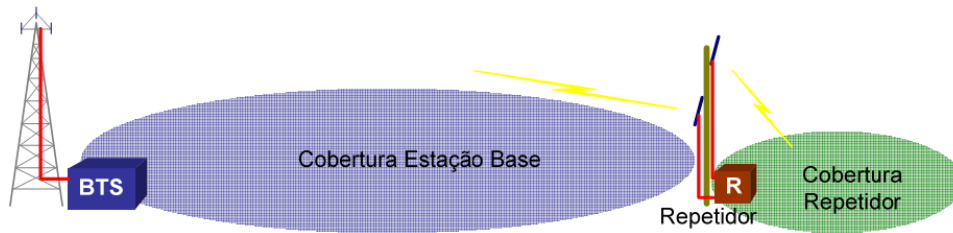


Figura 37. Utilização de repetidores com interligação por rádio [6]

A outra forma é a utilização de fibra ótica para estabelecer a ligação entre a estação base e o repetidor (ver Figura 38). Esta solução é normalmente utilizada para cobertura de interiores ou de túneis.

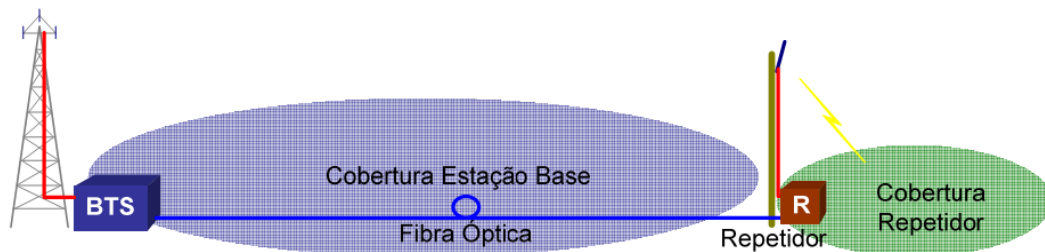


Figura 38. Utilização de repetidores com interligação por Fibra Ótica [6]

3.9. Equipamento terminal

Apesar de em GSM-R se considerar a norma GSM no que diz respeito às características rádio, a diversidade de equipamento será menor, tendo sido considerado nas especificações três tipos de equipamentos terminais móveis para a rede GSM-R:

- Terminais de cabine do Maquinista (*Cab Radio*), para utilização do Maquinista do comboio e para ERTMS/ETCS;
- Terminais operacionais (*Operational Radio*) que serão utilizados pelos técnicos envolvidos nas operações com os comboios tal como técnicos de manutenção e controlo da linha;
- Terminais de uso geral (*General Purpose Radio*) para utilização geral por todo o pessoal da ferrovia.

Em termos de potência de emissão, e de acordo com a norma GSM [6] e as especificações GSM-R, apresentam-se os valores de potência de emissão e sensibilidade para os equipamentos terminais na Tabela 6.

Tabela 6. Classe de potência dos terminais móveis [6]

Classe de Potência	Terminal GSM-R	Potência de emissão [dBm]	Sensibilidade [dBm]
2	<i>Cab Radio</i>	39	-106
3	-	37	-106
4	<i>Operational Radio, General Purpose Radio</i>	33	-104
5	-	29	-104

As sensibilidades apresentadas são apenas indicativas, pois apesar das normas considerarem valores mais conservadores, na prática os equipamentos terminais de uma forma geral possuem sensibilidades da ordem de -104 dBm ou -106 dBm, em alguns casos.

4. CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA GSM-R

Neste capítulo serão desenvolvidas as componentes técnicas que constituem uma rede GSM-R, cuja arquitetura geral e os aspetos de planeamento de rádio foram descritos no Capítulo 3. De um modo geral uma rede GSM-R é constituída por:

- MSC - *Core Network* (CN);
- BSS - *Radio Access Network* (RAN);
- *Network Element Management* (NEM).

Durante o período de estágio foi possível participar nas fases de implementação, comissionamento e otimização da rede GSM-R, sendo também necessário realizar uma abordagem teórica ao sistema na sua globalidade, sendo seguidamente descrito os elementos constituintes de uma rede GSM-R, a qual se divide essencialmente no CORE, no Subsistema BSS e no equipamento de bordo ou móvel.

4.1. Arquitetura de uma rede CORE (MSC- *Mobile Switching Center*)

A rede de CORE CS é constituída por um conjunto de equipamentos denominados por MSC (*Mobile Switching Center*) / HLR (*Home Location Register*) / VLR (*Visitor Location Register*) / EIR (*Equipment Identification Register*) combinados, onde se pode observar as interligações a vários elementos de rede e o tipo de sinalização existente entre eles conforme se pode visualizar na Figura 39. Relativamente à rede Core PS (*packet switch*) é composta pelo SGSN e Flexi ISN (GGSN). A rede *packet core* (*packet switch*) é utilizada para transportar tráfego de dados baseado em pacotes, oferecendo também o acesso a redes de dados exteriores. Na rede PS 2G o SGSN encontra-se diretamente ligado à rede rádio através da BSC.

Todas as mensagens de sinalização de e para o MSC podem ser baseadas em IP. São usadas *stack* do protocolo SIGTRAN baseadas, entre outros, em M3UA como transporte de sinalização alternativo. As redes SS7 tradicionais e as redes IP baseadas em Ethernet ou ATM podem ser ligadas para mensagens de sinalização ASCII (*Advanced Speech Call Item*), dispositivo avançado de chamada de voz.

A arquitetura do CORE de uma rede GSM-R é composta essencialmente por:

- MSC (*Mobile Services Switching Center*)/VLR (*Visitor Location Register*) *node*;
- HLR (*Home Location Register*)/AC (*Authentication Center*) *node*;
- VRS (*Voice recorder system*);
- SGSN e Flexi ISN (GGSN);
- VMS (*Voice Mail Service*);
- SMS Center (*Short Message Center*);
- Sistema alimentação.

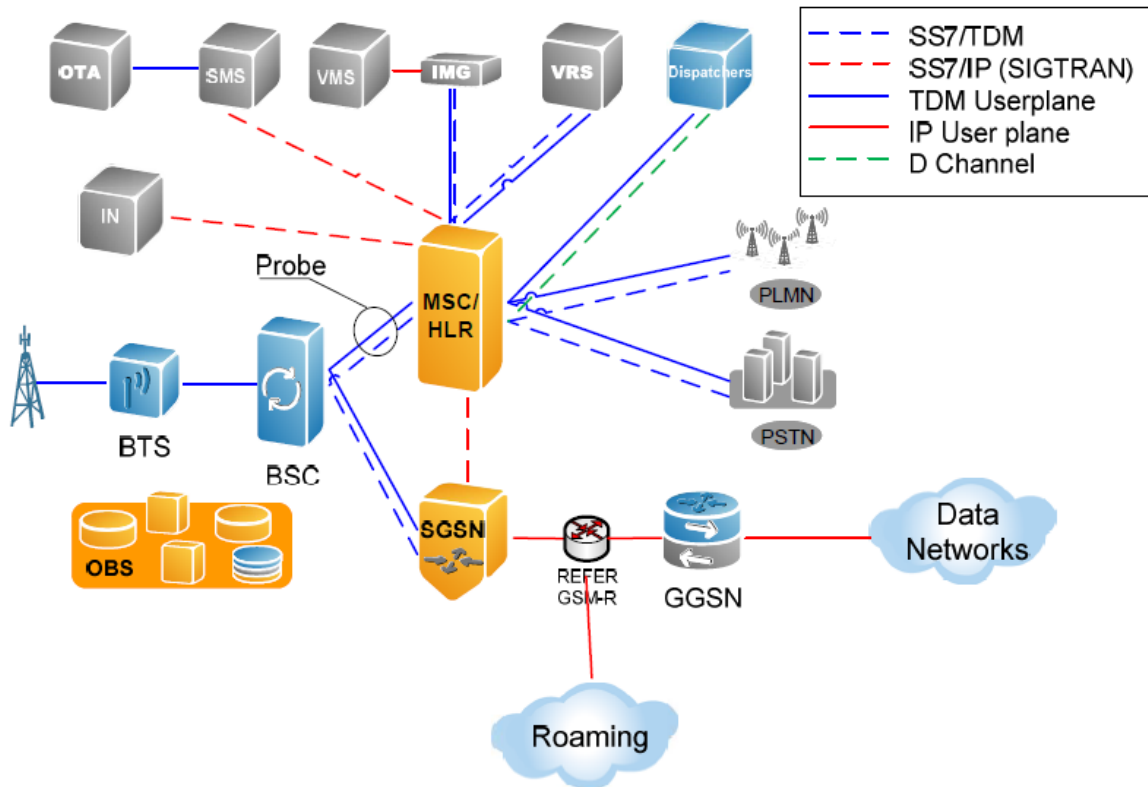


Figura 39. Arquitetura e diagrama de sinalização da rede GSM-R [3]

Na Figura 40 e na Figura 41 são apresentadas duas imagens dos bastidores do sistema CORE implementado na Refer Telecom.



Figura 40. CMX-5000 - MSC do CCO de Lisboa



Figura 41. CMX-5000 – Bastidor

Na Figura 42 podemos ver o diagrama geral do MSC. Como é possível verificar pela figura as unidades funcionais mais importantes são:

- *Message Buffer (MB)*;
- *Switching Network (SN)*;
- *Signaling System Network Control (SSNC)*;
- *Central Clock Generator (CCG)*;
- *Hard-Disks*.

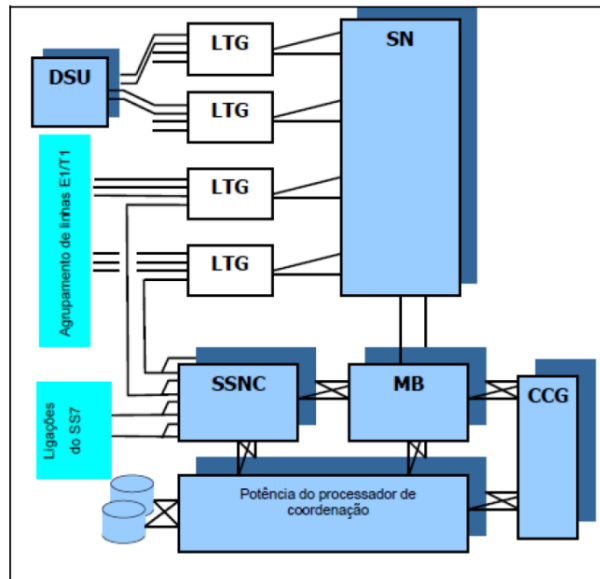


Figura 42. Diagrama geral do MSC na rede GSM-R [3]

O sistema integrado MSC/VLR/HLR/GCR/AC/EIR, implementado no nó principal, processa todos os serviços de controlo de chamadas na plataforma GSM-R. Permite assim alternar as ligações rádio entre:

- Uma estação móvel (EM) GSM-R e um terminal de rede fixa (isto é, PSTN/RDIS ou *DISPACHER*);
- Uma estação móvel (EM) GSM-R e outra estação móvel PLMN (rede pública GSM ou redes GSM-R de outros países, desde que esteja em vigor um acordo de *roaming*);
- Duas estações móveis (EMs) no sistema GSM-R. O *Mobile Switching Center* (MSC) também pode comutar as chamadas de/ para os assinantes ligados através de um acesso RDIS primário ao subsistema do terminal fixo. Nas redes GSM de referência, o MSC é normalmente implementado com o *Visitor Location Register* (VLR) num único nó físico. Todos os elementos do *Switching Subsystem* são integrados num único nó físico (MSC/VLR/HLR/AC/GCR/EIR).

Na Tabela 7 apresenta-se a descrição das *interfaces standard* de uma rede GSM-R e o tipo de tráfego existente entre eles. Os interfaces existentes são o interface A, o interface Gb, o interface Gr e o interface Gn.

Tabela 7. Descrição das *interfaces standard* da rede GSM-R [3]

INTERFACE	ENDPOINT	TIPO DE TRÁFEGO	DESCRIÇÃO
A	BSC MSC	TDM	Ligação entre BSC e MSC (tráfego CS 2G)
Gb	BSC SGSN	TDM	Ligação entre BSC e SGSN (tráfego PS 2G)
Gr	SGSN HLR	TDM / IP (SIGTRAN)	Ligação entre SGSN e o HLR (questionar informação relativa aos subscritores)
Gn	SGSN Flexi ISN (GGSN)	IP	Ligação entre SGSN e o Flexi ISN

4.2. Constituição do sistema CORE

O **VLR** (*Visitor Location Register*) é uma base de dados com informação sobre todos os assinantes GSM que atualmente partilham a sua área de serviço e, tal como com o HLR, está completamente integrado no MSC. Se o assinante GSM entrar numa área de serviço VLR regista-se, através do procedimento *Location Update* (Atualização de Localização) – usando o IMSI, esta informação é passada para o seu registo de localização (HLR). Toda a informação relevante ao assinante é então copiada do HLR para o VLR, incluindo os *Triplets* de autenticação. O HLR também armazena o endereço relacionado (área de serviço VLR) para o VLR.

Durante o estabelecimento da chamada, o VLR emite um número *roaming* (MSRN) ao assinante móvel GSM (MSRN) logo que este é requisitado para uma chamada móvel terminada (MTC) pelo MSC através do HLR. Este número é utilizado para configurar a ligação do MSC visitado para o próprio MSC/VLR.

A área de serviço VLR é composta por uma ou mais áreas de localização (LAC- *Location Area Code*). Uma área de localização, por sua vez, inclui todas as BTS servidas por um BSC ou vários BSC. Dado que um assinante está apenas a mover-se dentro de uma área de localização, não é necessário atualizar o VLR ou HLR.

O **GCR** (*Group Call Register*) é a base de dados do GSM que armazena os dados relacionados com chamadas ASCII (*Advanced Speech Call Item*). Existe o Serviço de *Voice Group Call Service* (VGCS) e o Serviço de Transmissão de Voz. Armazena os atributos relacionados com o VGCS e o VBS (*Group IDs*, endereço do controlador de tráfego, identificadores da célula de *downlink* pertencentes à área do MSC e prioridade eMLPP do grupo). Cada *Group-ID* é armazenado com a lista correspondente de células formando a área específica de chamada de grupo. A função GCR é principalmente uma função da base de dados, guardando informação acerca das chamadas de voz de grupo. Os dados GCR para uma

chamada de voz de grupo específica são definidos na criação dos atributos das chamadas de grupo e podem ser posteriormente modificados.

A estrutura de rede atual **VRS** (*Voice Recorder System*), apresentado na Figura 43, pressupõe uma solução de *Front-End* para o GSM-R e um *Back-End* para as operações do Centro de Monitorização. O sistema de *Front-End* será adotado em conformidade com os fornecedores de rede e atualização do *software* de rede do sistema GSM-R. Além do Centro de Monitorização a opção apropriada para a interceção das chamadas GSM-R será ativar a funcionalidade de interceção na rede, ou seja, para realizar uma chamada de conferência de terceiros para o Centro de Monitorização. Na Figura 44 pode-se visualizar uma imagem do sistema instalado no Centro Comando e Operação (CCO).

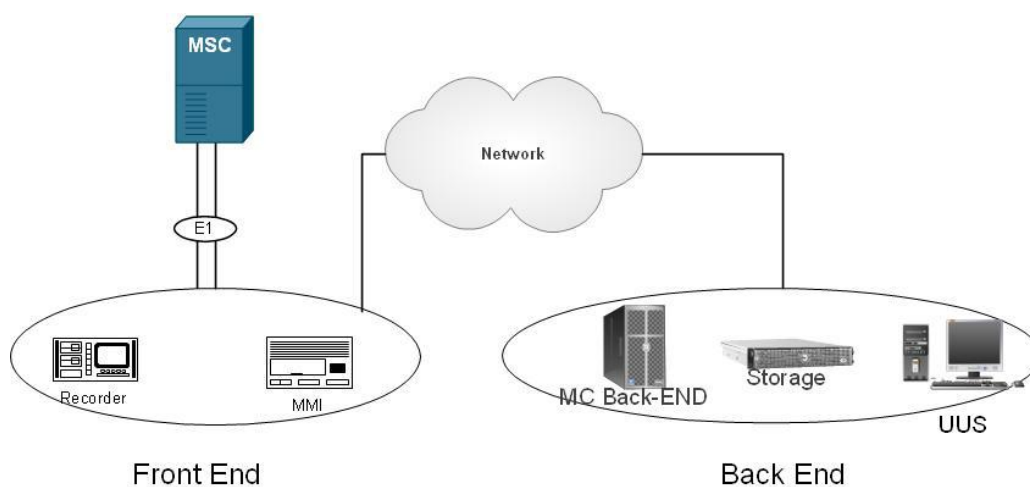


Figura 43. Estrutura do VRS [3]

O **SMS Center** (*Short Message Service Center*) da NSN, Figura 45, fornece o serviço e mensagens curtas (SMS) ponto a ponto nas redes GSM/GPRS/3G. Podem ser enviadas e recebidas mensagens curtas por estações móveis e por aplicações (25m/seg).

A plataforma de **Voice Mail Service-VMS**, Figura 46, é uma plataforma de *hardware* e *software* escalonável e otimizada que permite aos prestadores de serviços desenvolverem características únicas de voz, vídeo e dados sobre redes PSTN (*Public Switched Telephone Network*) de pacotes. Os principais componentes da solução são o *Servidor Media Mereon* e o *Servidor de Aplicação de Mensagens Unificadas Mereon*.



Figura 44. CORE – VRS



Figura 45. CORE –SMS Center

A plataforma **NecAct** representada na Figura 47, é onde se podem fazer as intervenções de Operação e Manutenção (O&M), ou seja, a gestão do sistema BSS.



Figura 46. Voice Mail VMS



Figura 47. Plataforma de gestão (NetAct)

Na Tabela 8 podemos observar as interfaces lógicas e os protocolos a usar no SGSN, assim como os protocolos usados por cada uma das interfaces lógicas.

Tabela 8. Interfaces lógicas e os protocolos a usar no SGSN [3]

Interface lógica	Interface para	Tipo	Interface física/rede	Protocolo
Gb	RAN (BSC)	Dados e controlo do utilizador	Frame relay/TDM	BSSGP
Gn	Outras GSNs (GGSN, SGSN)	Dados e controlo do utilizador	Ethernet /IP	GTP
Gp	GSNs Inter-PLMN	Dados e controlo do utilizador	Ethernet /IP	GTP
Gr	HLR	Sinalização	SS7 (E1)	MAP
Gf	EIR	Sinalização	SS7 (E1, T1/IP Ethernet')	MAP
-	Servidor de nomes de domínio (DNS)	Resolução de endereços APN	Ethernet /IP	DNS

Na Figura 48. Pode-se observar o diagrama da partilha da rede entre o CS (*Circuit Switched*) e o PS (*Packet Switched*).

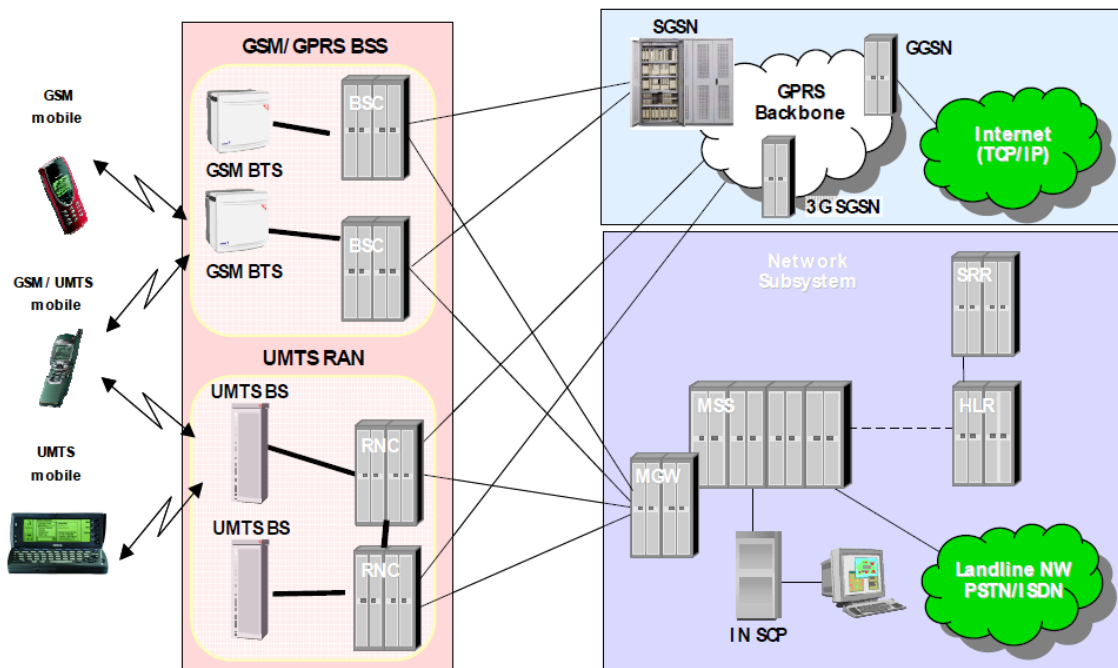


Figura 48. Packet switched and circuit switched traffic [3]

O SGSN apresentado na Figura 50 é o elemento de rede equivalente ao MSC (*Mobile Services Switching Centre*). Suporta, por exemplo, o encaminhamento de chamadas, a taxação atuando como *gateway* entre a rede GPRS e a BSS (rede rádio), o processamento do assinante e a Gestão de Mobilidade GPRS (GMM), cifra e executa a compressão, bem como a criação de informação de cobrança e estatística. As ligações de dados são criadas através da rede de GPRS ao GGSN (*Gateway GPRS Support Node*).

Este elemento de rede combina as características de uma plataforma multiprocessador amplamente testada em campo, “*carrier-class*”, fiável, com as funções de dados móveis baseados no Protocolo IP necessário, usado no GPRS.

A *stack* do protocolo de sinalização da SGSN é o apresentado na Figura 49.

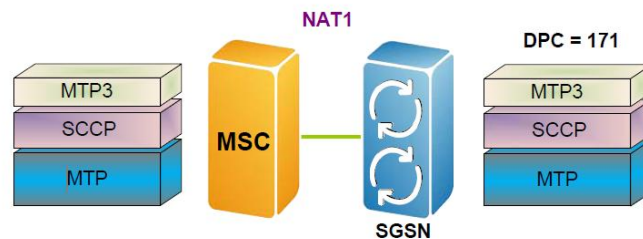


Figura 49. *Stack* do protocolo de sinalização do SGSN [3]

Na Figura 50 pode-se observar uma imagem do SGSN e na Figura 51 pode-se observar uma imagem do Flexi ISN (GGSN) instalados na rede GSM-R.

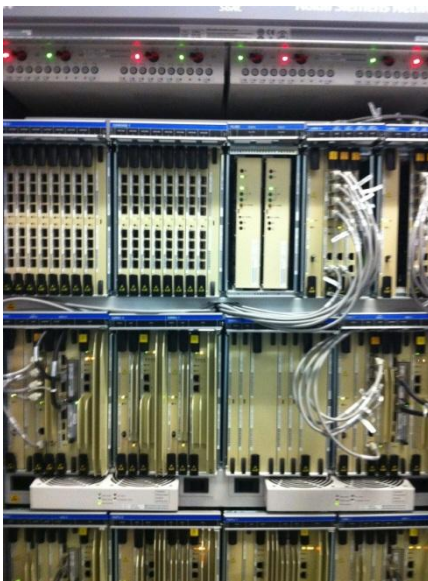


Figura 50. SGSN

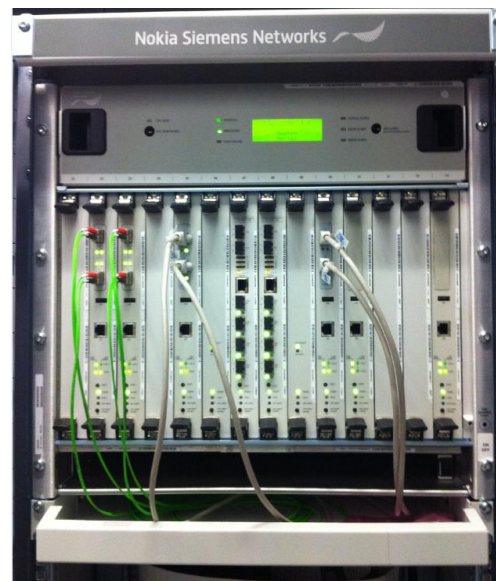


Figura 51. Flexi ISN (GGSN)

As unidades funcionais do SGSN são:

- **Operation and Maintenance Unit (OMU)**, que suporta a supervisão centralizada, alarmes, funções de recuperação e ligações para a interface com o utilizador.
- **Marker and Charging Unit (MCHU)**, que recolhe e guarda dados de taxaço controla e supervisiona, pesquisa por circuitos disponíveis e é responsável por estabelecer e libertar todas as ligações;

- **Signalling and Mobility Management Unit (SMMU)**, que suporta os protocolos MTP, SCCP, TCAP e MAP nas ligações SS7 do SGSN e também possui uma base de dados para os subscritores visitantes;
- **Packet Processing Unit (PAPU)**, que executam a conversão do protocolo do backbone GPRS (Gn) para os protocolos de BSS (Gb), simultaneamente a operações de cifragem e compressão. Ele também trata de funções de sessão e gestão local. Permite ligações *Frame Relay* e IP;
- **Group Switch (GSW2KB)**;
- **Clock and Synchronization Unit (CLS)**;
- **Clock and Alarm Buffer Unit (CLAB)**;
- **Exchange Terminal (ET)**;
- **SDH/SONET Exchange Terminal (SET, ETS2)**;
- **LAN Switch Unit (LANU)**;
- **The high-speed Ethernet based Message Bus (EMB)**.

O **Flexi ISN** (GGSN) da Figura 51 é um elemento de rede CORE PS que incorpora os serviços avançados de conhecimento e funcionalidades de análise de tráfego. Atua como um *gateway* entre redes sem fios de dados e redes de dados externas, como redes de operadores de serviços, redes corporativas e Internet. As principais funções do Flexi ISN são baseadas nas normas 3GPP, *Release 7*, com suporte para redes 2G e 3G (GSM, EDGE e WCDMA), redes de acesso sem fios e de alta velocidade HSPA / HSPA +. Na Tabela 9 são apresentados as interfaces lógicas e os protocolos a usar no Flexi ISN.

Tabela 9. Interfaces lógicas e os protocolos a usar no Flexi ISN [3]

Interface lógica	Interface para	Tipo	Interface física/rede	Protocolo
Gn	Outros GSNs (GGSN, SGSN)	Dados e controlo do utilizador	Ethernet /IP	GTP
Gp	GSNs Inter-PLMN	Dados e controlo do utilizador	Ethernet /IP	GTP
Gi	ISP, WAPGW, MMSC	Dados do utilizador	Ethernet /IP	TCP/UDP
-	Servidor de nomes de domínio (DNS)	Resolução de endereços APN	Ethernet /IP	DNS

Os **Cartões SIM** do sistema GSM-R da Figura 52, são elementos críticos e por isso muito importantes na rede, por serem introduzidos nos terminais móveis da rede GSM-R (Figura 53), o que permite o seu acesso à rede e correto funcionamento, em função dos dados neles armazenados. Na realidade, o objetivo do cartão SIM é personalizar o telemóvel com os dados do utilizador que o vai usar.

Os Cartões SIM do GSM-R devem cumprir os seguintes *standards*:

- FFFIS para cartões SIM de GSM-R. Este documento descreve as especificações dos cartões SIM de GSM-R para que possam cumprir os requisitos da EIRENE;
- EIRENE - Requisito de Especificação do Sistema;
- EIRENE - Especificação de Requisitos Funcionais;
- GSM11.11- Especificação do Módulo de Identificação do Assinante –Interface de Equipamento Móvel (SIM – ME). Dado que é um requisito obrigatório que os cartões SIM do GSM-R sejam compatíveis com a rede GSM, há que cumprir ainda as especificações gerais.



Figura 52. Cartão SIM



Figura 53. Terminais móveis

O **sistema de alimentação** do MSC é constituído por um equipamento de fornecimento EFACEC e DELTA, Figura 54, o qual é alimentado a partir do quadro geral do edifício do CCO, Figura 55, que se encontra socorrido por gerador e por baterias.



Figura 54. CORE – Sistema alimentação



Figura 55. CORE – Quadro elétrico

O **Switch Commander** (Figura 56) é o equipamento que gere a operação e manutenção do MSC. É baseado em Windows NT e é executado em servidores Windows NT. Este servidor permite visualizar toda a rede existente, fazer a respetiva manutenção, visualizar e gerir as

comunicações entre todos os terminais do CORE, ver alarmes, alterar parâmetros da rede, gerir equipamentos da rede, etc.



Figura 56. Bastidor do *Switch Commander (MSC)*

Procedimento chamada:

Na Figura 57 podemos observar o diagrama de blocos de um procedimento de chamada. Um comboio numa viagem, por exemplo, de Paris a Viena, pode passar várias áreas de controle da circulação. A ligação entre um Maquinista e o Controlador da respetiva área é para ser fácil de estabelecer. A informação sobre a localização real do comboio é sempre emitida pela função de atualização de localização.

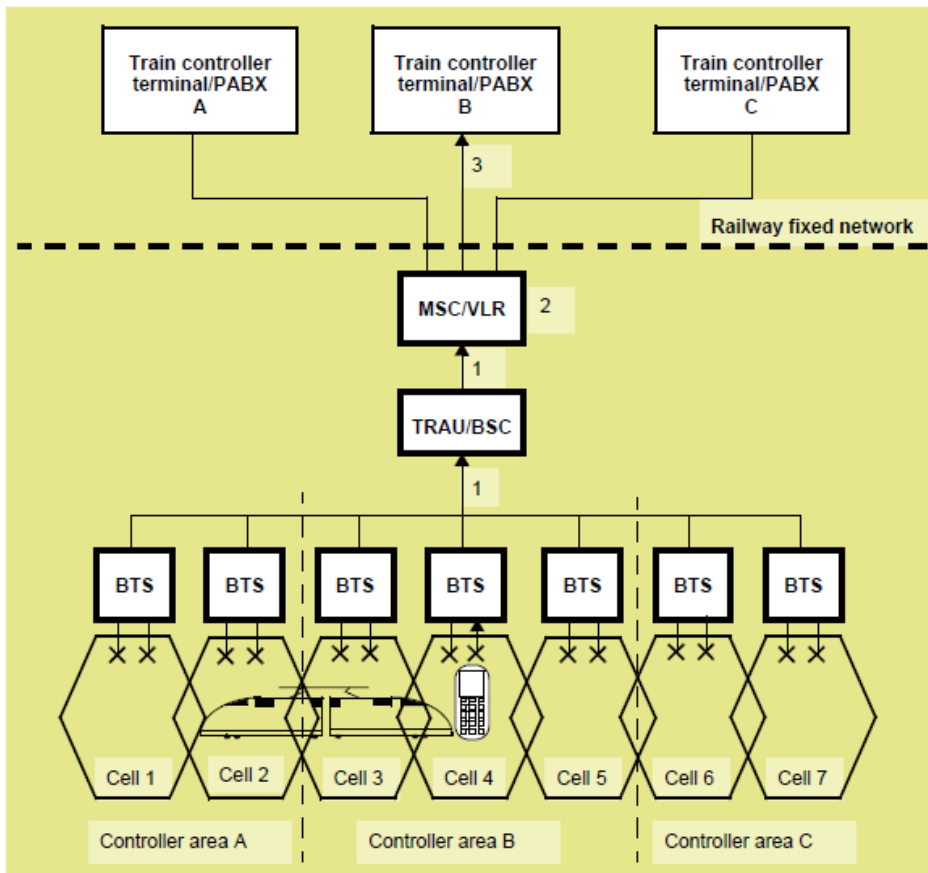


Figura 57. *Location-dependent addressing in the GSM-R* [3]

4.2.1. Voice Group Call Service (VGCS)

As chamadas de grupo **VGCS-Voice Group Call Service** podem ser aplicadas a muitos tipos de comunicação em grupo, especialmente manobras, comunicação entre equipas, rádios do comboio e chamadas de emergência. Um assinante pode fazer uma chamada de grupo, para todos os ouvintes [3].

Na Figura 58 pode-se observar o procedimento de chamada de grupo, o qual se descreve seguidamente:

1. O grupo de referência chamado é marcado por qualquer despachante (que é fixo ou móvel de destino identificado pelo seu número do diretório individual).
2. O MSC reconhece que este número pertence a um grupo de chamadas de grupo.
3. O MSC recupera todas as informações necessárias a partir do registo da chamada de grupo (GCR).
4. O MSC liga-se ao despachante em ligação duplex.
5. O MSC inicializa a configuração para a ligação *duplex* e posteriormente em *half-duplex* para todas as células de rádio pertencentes à área de chamada de grupo. Os membros do grupo na zona chamada estão ligados apenas por meio de ligação descendente, o que significa que eles só podem ouvir a chamada.

6. No caso de uma mudança do elemento falador, a ligação específica é libertado pela corrente alto-falante e do ex-presidente (agora ouvinte) muda o *downlink* comum.
7. O MSC envia uma indicação de rede para os assinantes de escuta que o *uplink* é livre.
8. O novo orador envia um pedido de *uplink*.
9. O MSC decide alocar um *link* dedicado para o novo utilizador orador utilizando assim a chamada "resolução de contenção" do processo.
10. O novo assinante orador envia uma confirmação de pedido de *uplink*.
11. Os outros assinantes ouvintes recebem uma confirmação ou rejeição do *uplink*
12. O MSC inicia a mudança para um recurso dedicado. Se o *uplink* é liberado pelo último orador e se nenhum novo orador for definido, a chamada é liberada após um tempo de espera previamente definido.

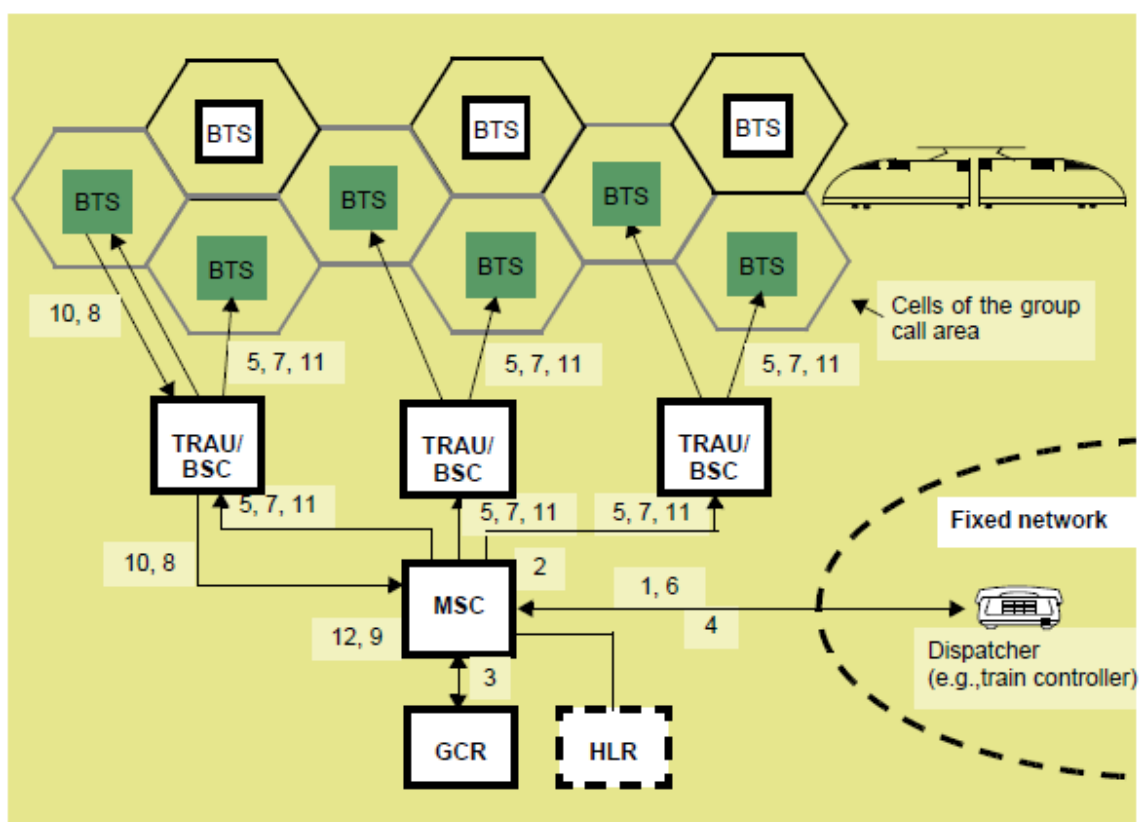


Figura 58. Procedimento de chamada de voz de grupo (VGCS) para um MSC [3]

Início de Chamada, no caso de uma área limitada na área de envolvimento de um MSC:

A iniciação de chamadas é feita através de um "número de grupo ID", através do assinante de serviço ou através da marcação de um grupo de chamadas de referência através do despachante, conforme se pode observar no diagrama da Figura 59, e que seguidamente se descreve:

1. O número do grupo de chamada de referência é marcado por qualquer despachante.

2. O MSC reconhece que este número pertence a um grupo.
3. O MSC recupera todas as informações necessárias a partir do registo da chamada de grupo (GCR).
4. O MSC liga-se ao despachante com uma ligação *duplex*.
5. O MSC inicia a chamada em *duplex* e depois passa para *half-duplex* em todas as células de rádio pertencentes à área de chamada de grupo. Os membros do grupo dessa zona estão ligados apenas por meio de ligação descendente, o que significa que eles só podem ouvir a chamada.

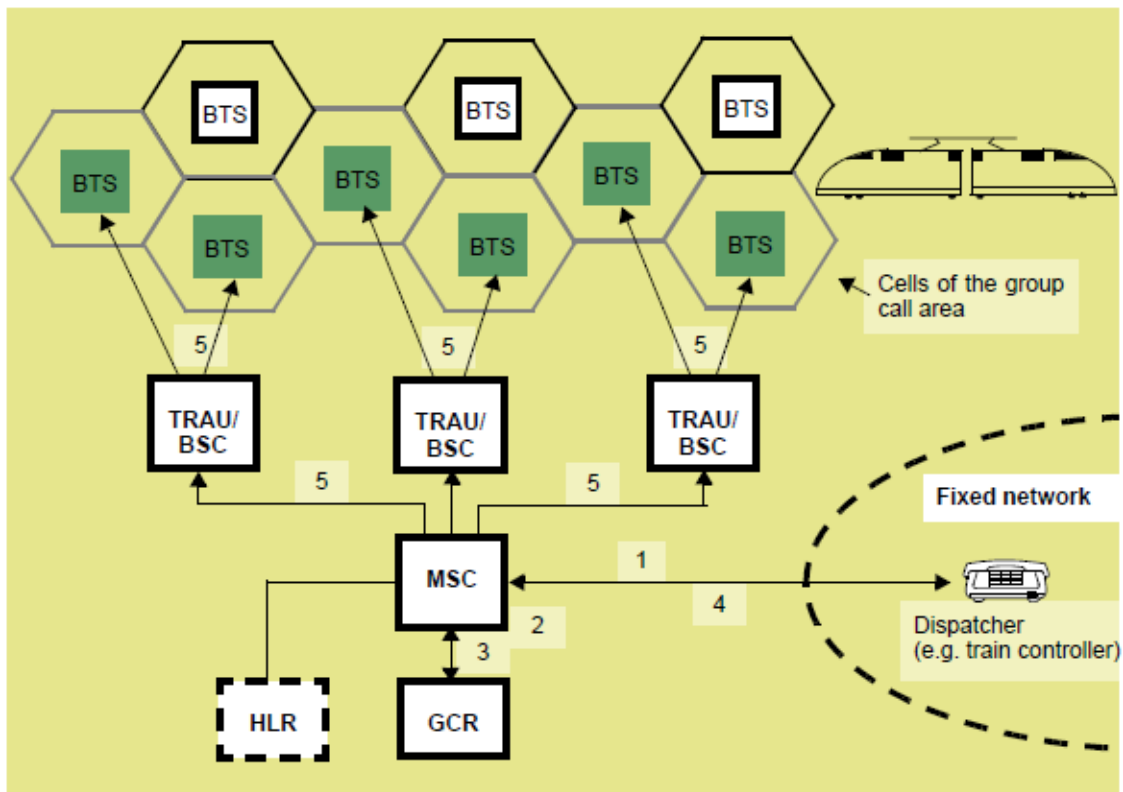


Figura 59. Procedimento de chamada voz *broadcast* (VBS) para um MSC [3]

O analisador de protocolos apresentado na Figura 60 é a ferramenta de trabalho de manutenção e configuração utilizada para fazer diversos testes no CORE, nomeadamente para permitir fazer o acompanhamento do endereçamento de uma chamada. Este equipamento foi utilizado pela NSN durante a fases de testes do sistema CORE.

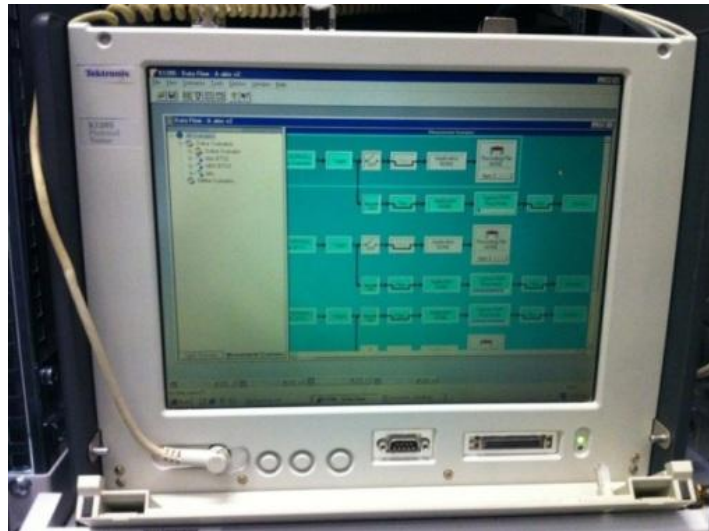


Figura 60. Analisador de protocolos

4.2.2. SMS Center

O SMSC-*Short Message Service Center* é o equipamento responsável pela gestão das mensagens (SMS), que se encontra no CORE da rede GSM-R. A Figura 61 ilustra a representação do SMSC numa rede GSM-R

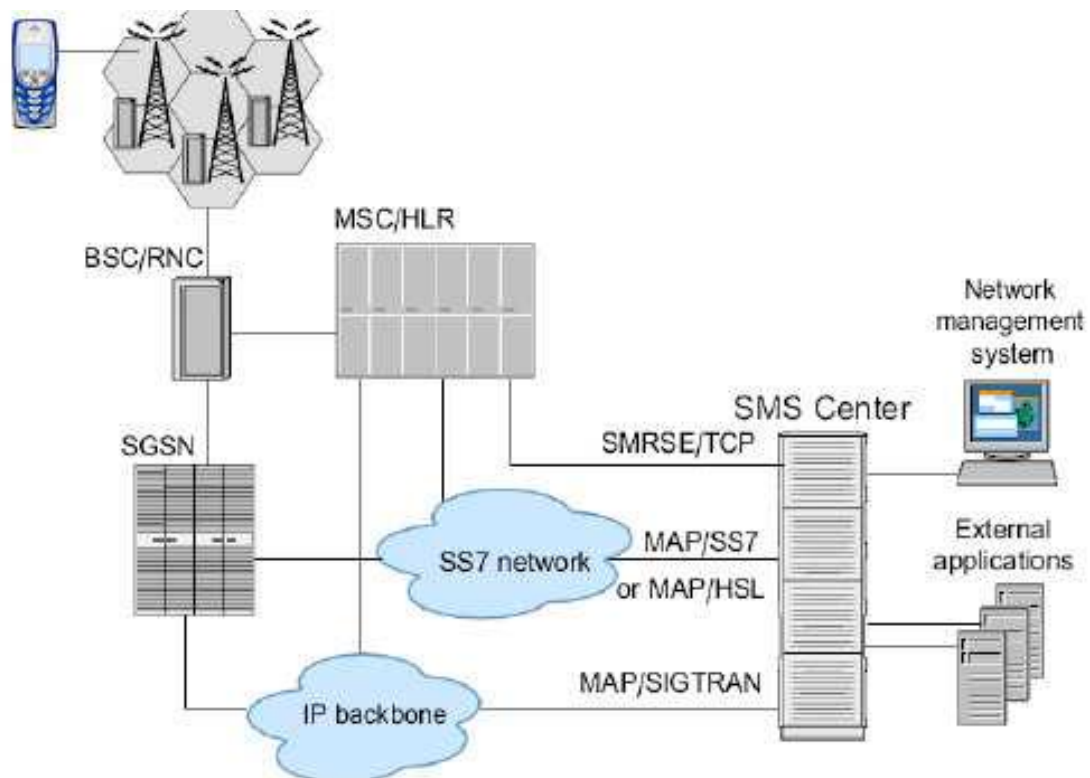


Figura 61. SMS Center da NSN na rede GSM/GPRS/3G [3]

SMSC e solicita a informação da rota ao HLR. Uma vez que a informação de localização para o terminal móvel de destino é obtida a partir do HLR, o SMSC pode entregar a SMS ao MSC visitado (VMSC) do terminal móvel do destinatário. Se a entrega falhar, o SMSC tenta reenviar a SMS de acordo com uma programação predefinida, até o período de validade da SMS ser atingido. Se a entrega falhar devido a um erro temporário, e o terminal móvel aparecer acessível novamente dentro do tempo de validade, a rede envia um alerta de notificação de SC ao SMSC para informar que o terminal móvel está novamente capaz de receber a SMS.

6. Depois de uma tentativa de entrega da SMS para o seu destino, a rede GSM envia um relatório de entrega para o SMSC para o informar que a entrega foi bem-sucedida ou falhou. O relatório de entrega positivo vem do terminal móvel, e normalmente os relatórios de entrega negativos (também conhecido como um relatório de falha) têm origem num elemento de rede, mas também podem ter origem na MS (por exemplo, se a memória estiver cheia).
7. Se o autor da SMS pediu uma confirmação de entrega, o SMSC irá enviar um relatório de *status*, que informa o originador da mensagem se a entrega da SMS foi realizada com sucesso ou se falhou.

A Figura 63 representa o diagrama de blocos dos subsistemas que uma SMS tem de percorrer no sistema SMSC de uma rede GSM-R.

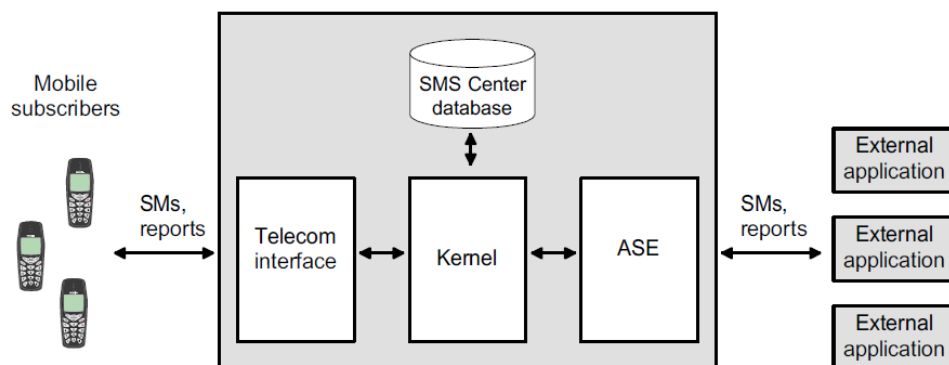


Figura 63. Percurso de uma mensagem no SMS Center [3]

4.2.3. Sinalização GSM – SS7

O sistema de sinalização SS7 é usado pela *Nokia Siemens Networks* (NSN) em GSM PLMN, entre os sistemas NSS e BSS, OMS e ISDN, conforme descrito no diagrama de blocos da Figura 64. Neste diagrama podemos ver com quem necessitam cada um dos componentes de comunicar.

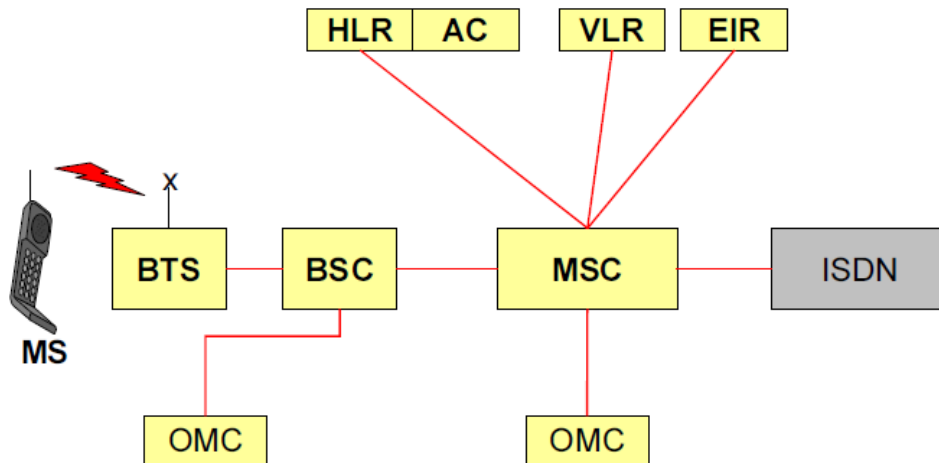


Figura 64. Diagrama básico de Sinalização em GSM [3]

Com este propósito foram criados 4 níveis, conforme representado na Figura 65:

- Nível 1 – Físico e elétrico – Define os atributos elétricos e físicos da transmissão;
- Nível 2 – Sinalização *Data Link* – Garante que não existem erros na transmissão;
- Nível 3 Sinalização das funções de rede – Responsável pelo encaminhamento de mensagens e gestão da rede;
- Nível 4 – *User parts* – Responsável pelas chamadas.

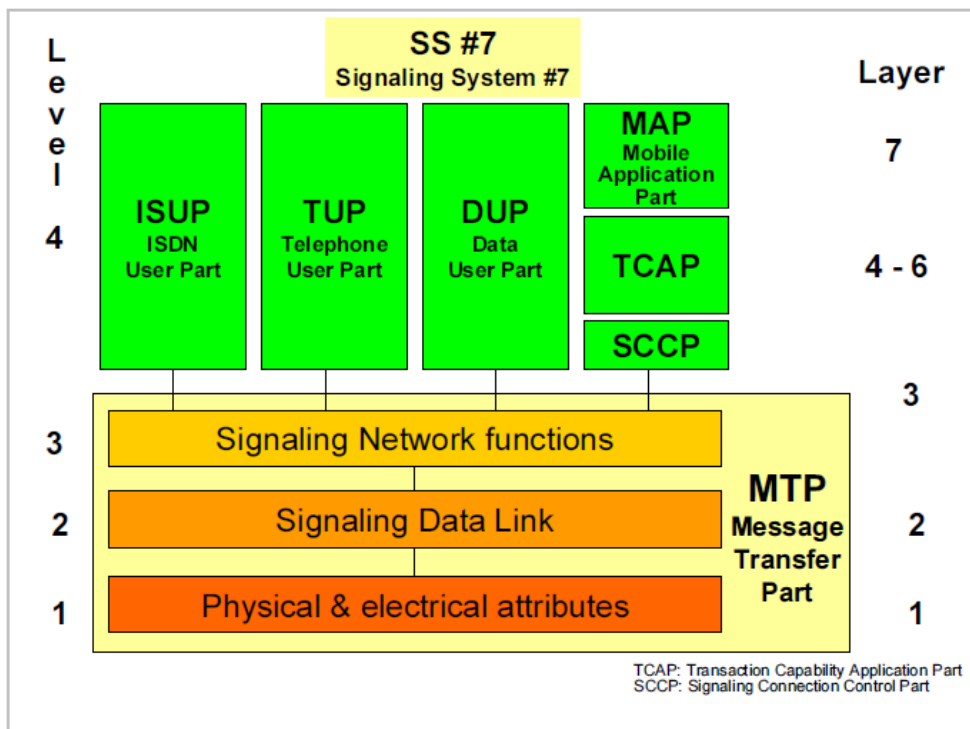


Figura 65. Níveis de Sinalização GSM SS7 [3]

4.2.4. UMTS-Universal Mobile Telecommunications System

O UMTS faz parte da evolução natural que tem ocorrido nos últimos anos nos sistemas de comunicações móveis, sendo conhecida por terceira geração, que adiciona as funcionalidades de banda larga, permitindo assim um elevado número de utilizações, nomeadamente:

- Acesso IP;
- E-mail;
- Transmissão em tempo real;
- Multimédia;
- Áudio e vídeo;
- Etc..

Este serviço permite assim o acesso mundial à rede, capacidades de vídeo e multimédia, alta qualidade de serviços (QoS), flexibilidade de serviços, utilização de terminais móveis multimodo e multibanda (GSM/UMTS).

No entanto, não se prevê para já a necessidade da utilização do UMTS nas redes GSM-R, sendo só necessário utilizar o GPRS.

4.3. Constituição do Subsistema BSS

O subsistema BSS-*Base Station Subsystem* apresentado na Figura 66, é constituído essencialmente por:

- BSC - *Base Station Controller*. (modelo FLEXI-BSC.);
- TRAU - *Transcoder and Rate Adaptation Unit* (modelo TCSM);
- BTS - *Base Transceiver Stations* (modelo BS240-II B);
- PCU/CCU – *Packet Control Unit/ Channel Codec Unit*;
- Antenas;
- Repetidores;
- Plataforma de gestão OMC (modelo NETACT);
- Rádios Cabine (*Cab radios*);
- *Dispatcher*;
- Terminais móveis (MS).

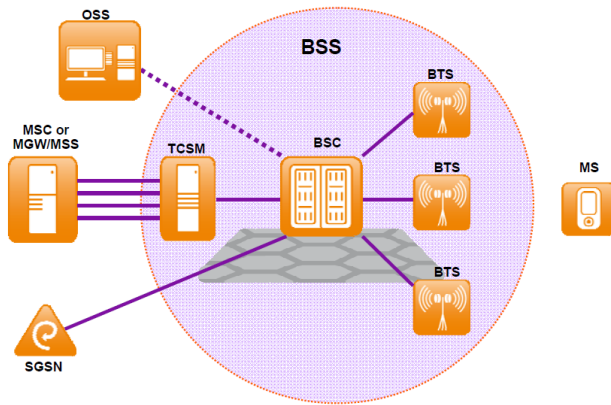


Figura 66. BSS – Elementos da Rede [3]

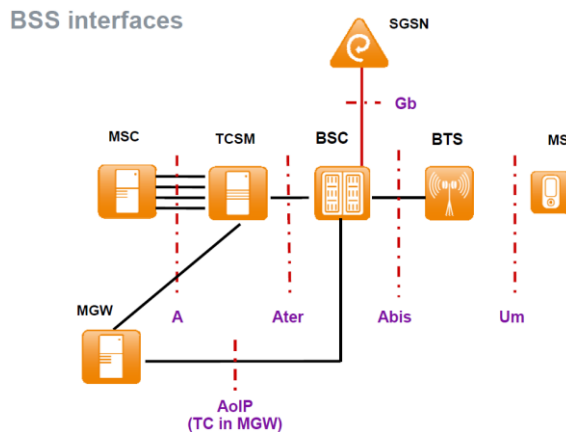


Figura 67. BSS Interfaces [3]

TCSM: *Transcoder Submultiplexer*

BSC: *Base Station Controller*

BS: *Base Station*

MS: *Mobile Station*

MSC: *Mobile Switching Centre*

SGSN: *Serving GPRS Support Nodes*

Na Figura 67 são apresentadas todas as interfaces existentes no subsistema BSS, e que se descrevem seguidamente:

Interface A

A Interface A entre o MSC/MGW e o BSC é implementada de acordo com os *standards* GSM. Visto que a interface A é aberta, o Flexi BSC pode ser utilizado com quaisquer centros de comutação que suportem a interface A estandardizada ETSI/3GPP. A interface é definida de acordo com o sistema de sinalização N.º 7 (SS7) que é similar ao modelo de protocolo OSI por camadas. O *Message Transfer Part* (MTP) e o *Signaling Connection Control Part* (SCCP) oferecem as funções de rede de sinalização necessárias para levar as mensagens da camada da *Base Station Subsystem Application Part* (BSSAP).

Interface Ater

A interface Ater é uma interface interna entre o BSC e o TCSM. Nesta interface, os canais de *frame* da TRAU-*Transcoding and Rate Adaptation Unit* (Unidade de Conversão de Códigos e Adaptação de débitos) com capacidade de 8 Kbit/s, 16 Kbit/s, 32 Kbit/s, ou 64 Kbit/s são multiplexados em *slots* de tempo de 64 Kbit/s para uma transmissão otimizada.

A TRAU é um bloco individual do TCSM e converte os canais de tráfego de 64 Kbit/s que chegam do MSC, em canais com uma taxa de 16 Kbit/s ou 8 Kbit/s. Faz igualmente a multiplexagem destes canais para caberem nos *slots* de tempo do tronco, para o BSC. No sentido inverso (BSC para MSC) funciona de acordo com o mesmo princípio.

Interface Abis

O componente de telecomunicações da *Interface Abis* entre o BSC e o BTS é implementado de acordo com as recomendações 3GPP 48.051, 48.052, 48.054. O componente Abis O&M é propriedade da *Nokia Siemens Networks* e suporta funcionalidades adicionais como a unidade de monitorização de teste de *site*, consistência de alarmes, gestão de equipamento de transmissão remota e gestão de base de dados BTS.

Interface Gb

A interface Gb entre o BSC (PCU) e o *Serving GPRS Support Node* (SGSN) é implementada de acordo com as recomendações GSM 08.16 e 08.18. É uma interface aberta que liga o BSS à rede de base GPRS.

4.3.1. Funcionalidades gerais da BSC

O Flexi BSC-*Base Station Controller* é a entidade funcional dentro da rede GSM que age como ligação entre a rede de base e muitas estações base. O Flexi BSC processa o tráfego e a alocação de recursos de sinalização de telemóveis e gere as transferências entre as BTS.

O Flexi BSC é baseado numa arquitetura modular de *software* e *hardware*. A arquitetura distribuída é implementada com um sistema de multiprocessador redundante e de grande capacidade, a plataforma de computação DX 200. O sistema permite a distribuição da capacidade de processamento entre diversas unidades informáticas com tarefas dedicadas. A principal função do Flexi BSC é controlar e gerir o BSS (*Base Station Subsystem*) e os canais de rádio.

A Chamada Básica fornece serviços de voz e dados ao subscritor móvel, oferecendo os meios para estabelecer chamadas de voz e dados com taxas total ou parcial.

Gestão de canais terrestres:

- Alocação de canais de tráfego entre BSC e BTSs ;
- Suporte em *pool* para os circuitos de interface A;
- Atribuição flexível de canal, por exemplo, *half-rate* e dados comutados em circuito de alta velocidade;
- Multiplexagem e comutação de canais ATER.

Gestão de canais de rádio:

- Gestão de sinalização comum de configurações de canais de tráfego;
- Gestão de canais de tráfego (TCH) e canais de controlo *stand-alone* dedicados (SDCCH);
- Gestão de canais de controlo de radiodifusão (BCCH) e canais de controlo comuns (CCCH);

- Gestão de saltos de frequência que permite a utilização eficaz dos recursos de rádio e melhor qualidade de voz para o subscritor GCM.

Transferências:

- Intra-BSC, intra-celular (tanto intra-TRX como inter-TRX);
- Intra-BSC, inter-celular;
- Inter-BSC, de entrada e saída.

4.3.2. Gestão de canais de sinalização entre BSC e BTSs

A BSC supervisiona todas as ligações de sinalização ponto-a-ponto permanentes LAPD a 16, 32 ou 64 KBit/s, consistindo numa conexão por unidade emissora-recetora (TRX) e a unidade de manutenção e funcionamento BTS (OMU).

Pacote de processamento de dados GPRS/EDGE:

Na Figura 68 é apresentado o pacote de processamento de dados GPRS, que consiste em:

- Estabelecimento e gestão de conexões;
- Alocação de recursos;
- Calendarização;
- Transferência de dados;
- Controlo de potência do MS *uplink*;
- Partilha de carga Gb (*uplink*);
- Controlo de fluxo (*dowlink*).

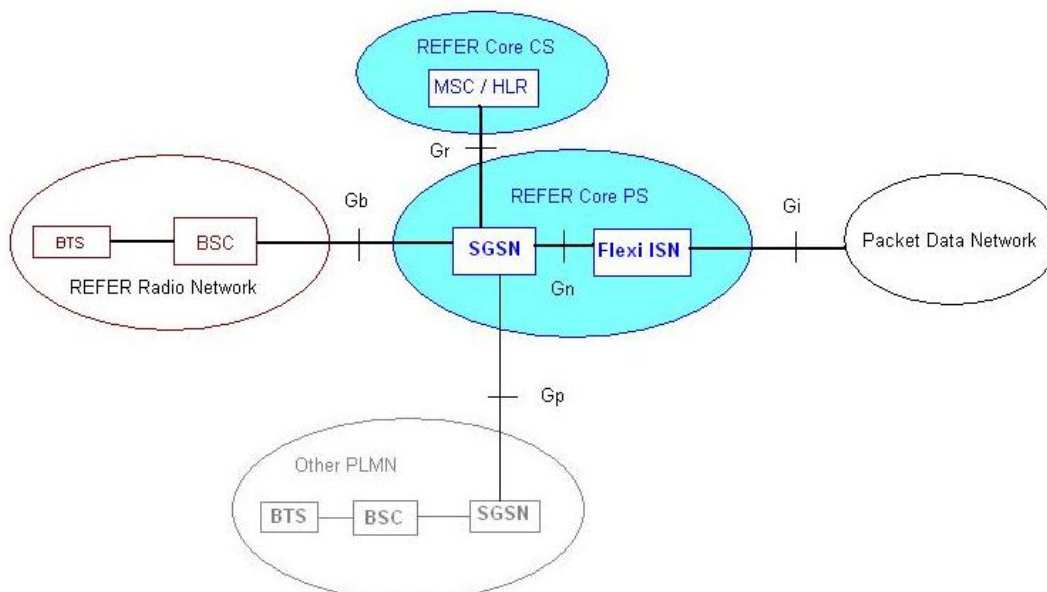


Figura 68. GPRS – Rede e interfaces para GPRS [3]

Manutenção

O BSC possibilita os seguintes procedimentos de manutenção:

- Localização de falhas para o BSC;
- Reconfiguração do BSC;
- Suporte de reconfiguração para o BTS;
- Atualização do *software* de BSC, TCSM e BTS.

A Figura 69 apresenta a BSC (*Base Station Controller*) instalada na sala de equipamentos do CCO. A BSC é assim o elemento principal do sistema BSS, fazendo a gestão de todo o tráfego das BTS e comunicação com o TRAU (Figura 70), que por sua vez comunica com o MSC.

Segundo as especificações do fabricante NSN, o Flexi BSC oferece uma disponibilidade muito elevada de 0.9999998, ou seja, praticamente 100%.

A BSC é assim constituída essencialmente por:

- **GSW** – *Group Switch*;
- **ET** – *Exchange Terminal*;
- **CLS** – *Clock and Synchronization (BSC)*;
- **OMU** – *Operation and Maintenance Unit*;
- **BSCU** – *BSC Signalling Unit*;
- **MCMU** – *Clock and Synchronization (GSW)*.



Figura 69. BSS – BSC1



Figura 70. BSS – TRAU (TCSM3i)

4.3.3. Exchange Terminal (ET) - Terminal de Comutação

Todas as interfaces para MSC, a 2.048 Mbit/s (no ambiente ETSI) ou a 1.544 Mbit/s (no ambiente ANSI), estão ligadas a Terminais de Comutação (ETs). Os ETs adaptam os circuitos externos PCM ao comutador de grupo e sincronizam com o relógio do sistema. A sincronização está incluída na *frame de bits*.

Cada ET está ligado à rede de comutação e à unidade de relógio do Flexi BSC através de ligações por fio permanentes. Os ETs estão igualmente ligados à interface LAPD através de um *link LAPD*. Estão disponíveis dois tipos de conectores, simétricos e coaxiais (15/120 SL) para os ETs.

As unidades *plug-in* ET 16 contêm 16 ETs separados. A Figura 71 apresenta a distribuição dos *time slots* do interface *standard* E1, onde se pode verificar que o *time slot* 16 é o responsável pela sinalização SS7.

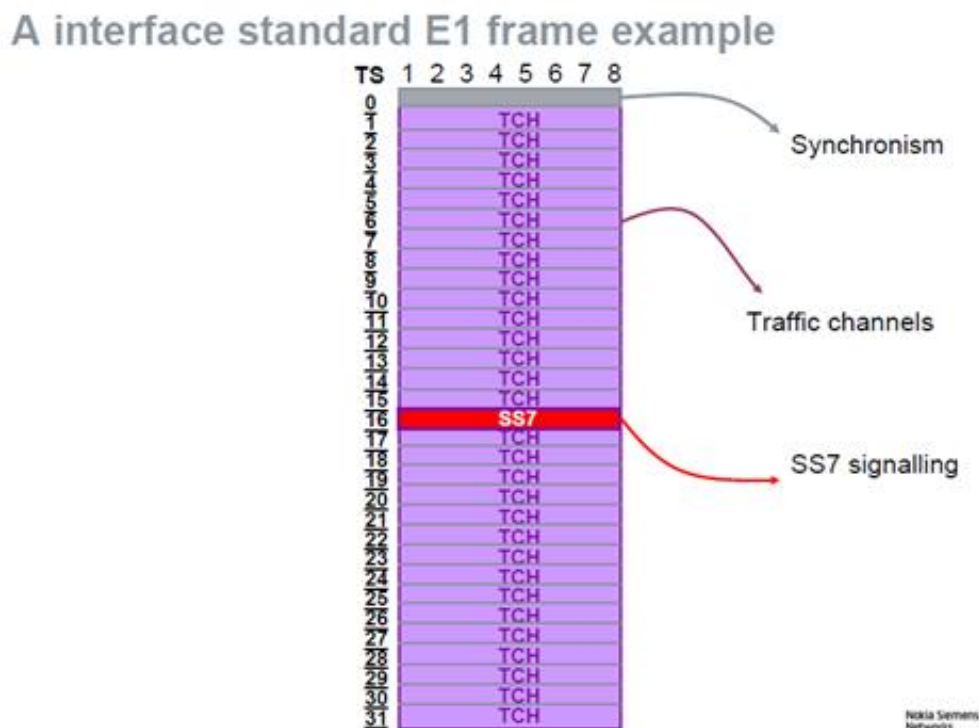


Figura 71. BSS – Exemplo do A Interface com E1 standard [3]

4.3.4. TRAU (TCSM3i)

O *Transcoder Submultiplexer* (TCSM3i) da Figura 70 ou Conversor de códigos submultiplexador, tem funções de codificação de voz e oferece submultiplex que é utilizada entre o BSC e o TCSM para reduzir os custos de transmissão. O *Transcoder Submultiplexer* da *Nokia Siemens Networks* converte os canais de tráfego de 64 Kbit/s que chegam do *Mobile Switching System* (MSC) em canais de subslots de tempo de 16 Kbit/s. Realiza depois a *multiplexing* destes canais num rácio de 4:1 para caberem nos *subslots* de tempo da linha de transmissão ligada ao (BSC), reduzindo os custos de transmissão terrestres.

4.3.5. Serviços de dados e mensagens

O **GPRS** (*General Packet Radio Service*) oferece acesso a radiocomunicações por pacotes para telemóveis GSM/GPRS. A vantagem do GPRS é que pode utilizar os mesmos recursos que as conexões de circuitos comutados, ao partilhar a capacidade *overhead*. Isto significa que um telemóvel utiliza os recursos apenas durante um curto espaço de tempo, quando existem dados para serem enviados ou recebidos.

O Comutador **LAN** integrado (SWU) oferece acesso à rede IP do operador como comutação LAN de primeiro nível. O equipamento externo preferido é um comutador LAN multicamadas (L2/L3), Figura 72. Outra possibilidade é utilizar um *router* como primeira ligação externa. A ligação é estabelecida através do painel de conexão do Flexi BSC.

A implementação de *hardware* redundante dos SWUs contém pares de comutadores LAN (unidade *plug-in* ESBxx) situados nos cartuchos redundantes. Um par de comutadores LAN está dedicado a coligir dados de outras unidades informáticas e dois pares à recolha de tráfego de utilizador das unidades de controlo de pacote.

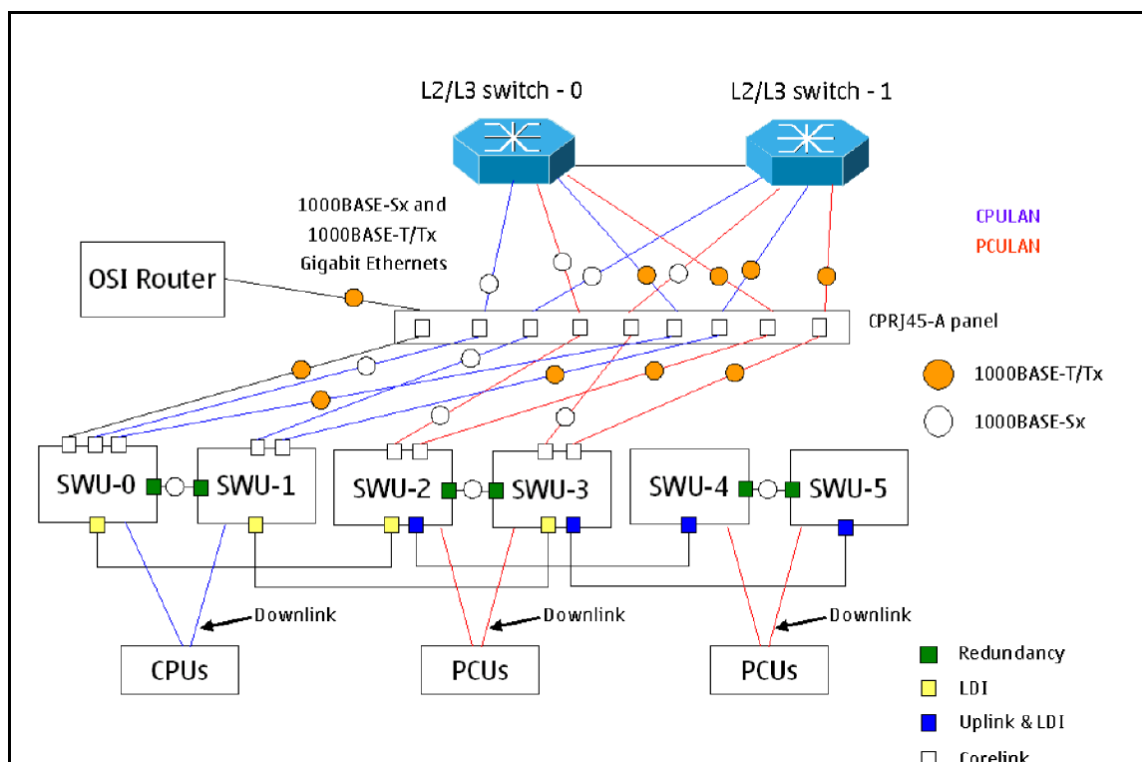


Figura 72. Topologia LAN do Flexi BSC [3]

4.3.6. Funcionalidades gerais da BTS

A BCF (*site*) inclui a BTS representada na Figura 73, compreende a totalidade dos equipamentos de rádio situados numa determinada localização para uma única célula ou para um grupo de células, incluindo as antenas instaladas no exterior nas respetivas torres, Figura 74, cada um dos quais (como a BTS) é caracterizado por um Código de Identificação da Estação Base (BSIC) específica.



Figura 73. BSS – BTS 240 II



Figura 74. BSS –Torre de antenas

Na Figura 75 pode-se observar o diagrama de blocos que constituem a BTS e a descrição dos principais módulos.

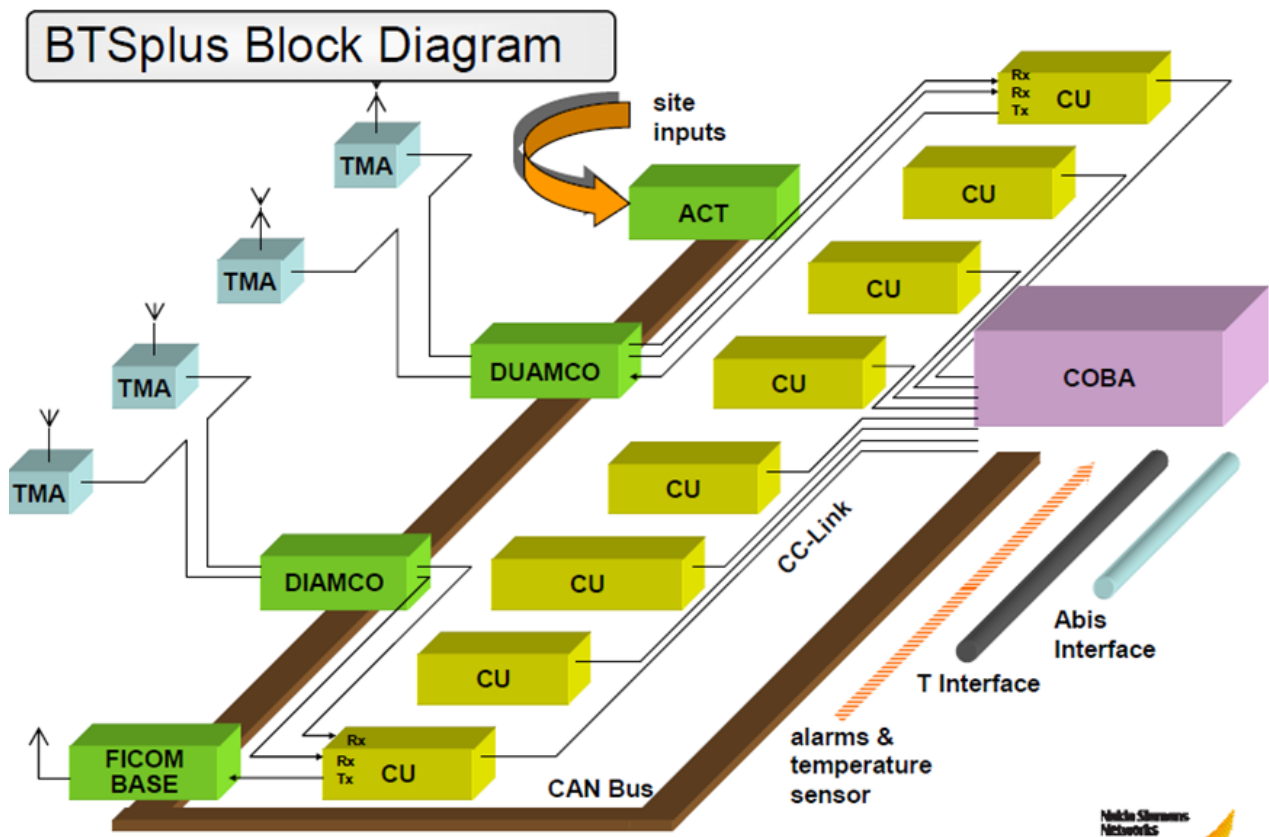


Figura 75. BSS – Diagrama de blocos da BTS 240II e descrição dos módulos [3]

Seguidamente apresenta-se a legenda da Figura 75.

AC/DC	Conversor AC/DC	DCB-CTRL	Controlador da bateria e de DC
ACP	Painel de AC	DCP	Painel de DC
ACTC	Módulo de ligação do terminal de recolha de alarmes	DIAMCO	Multiacoplador do amplificador DI(2)
ACTM	terminal opcional de recolha de alarmes para o bastidor principal	MFDUAMCO	Multiacoplador do amplificador duplex
ACTP	terminal de recolha de alarmes para o bastidor escravo	FICOM	Comutador de filtro
CAN	Rede de acesso do cliente	HPDU	Duplexer de elevada potência
COBA	Controlador Básico	LE	Equipamento de ligação
COSA	Controlador Satélite	TMA	Amplificador instalado em torre
(E)CU	Unidade portadora	FAN	Só tem 4 ventiladores

4.3.7. Sistema de repetidores de fibra ótica

O sistema de repetidores ligados por fibra ótica, é constituído pelo módulo exterior (Figura 76), pelo conjunto de torre e antenas (Figura 77) e unidade principal FBU (Figura 78). Este sistema está destinado a proporcionar cobertura celular radioelétrica em túneis, metros, aeroportos e outros ambientes em que exista dificuldade em assegurar essa cobertura por diferentes motivos.

A arquitetura deste sistema baseia-se na utilização de repetidores padrão ligados através de fibra ótica. O *hardware* básico do respetivo repetidor padrão foi modificado com a introdução de uma unidade de fibra ótica (FON) no repetidor para a transmissão do sinal através de fibra, a qual efetua a conversão elétrica – ótica e vice-versa. O componente no qual se baseiam todas as configurações do sistema de repetidores por fibra ótica é um repetidor padrão que recebe sinal RF de uma estação base e a transmite novamente para as estações móveis e vice-versa.



Figura 76. Repetidor *Powerwave*



Figura 77. Conjunto repetidor e antenas

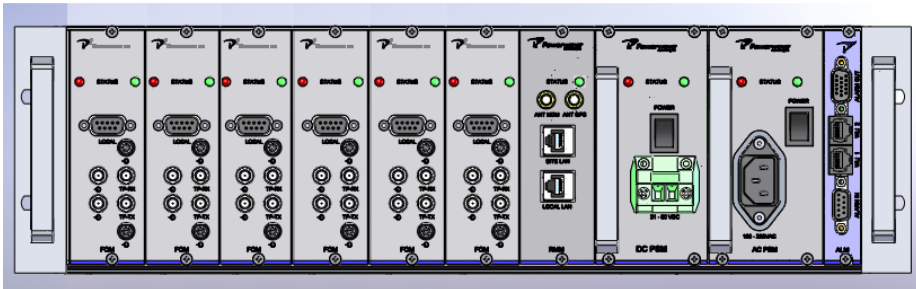


Figura 78. Unidade Principal de Repetidores (FBU, *Fiber Base Unit*) [3]

4.3.8. Sistema *Dispatcher* e Cab radios

Para completar o sistema GSM-R é necessário termos os respetivos equipamentos que fazem o interface homem/máquina, ou seja, os equipamentos que vão ser utilizados pelos Maquinistas, Operadores de comando e outros intervenientes da circulação ferroviária. A Figura 79 mostra o conjunto dos elementos de rádio da cabine da NEC (RC900) que estão instalados nas cabines dos comboios e a Figura 80 mostra o posto de operação (*dispatcher*) do CCO.



Figura 79. Rádio cabine e *Rack* RC900

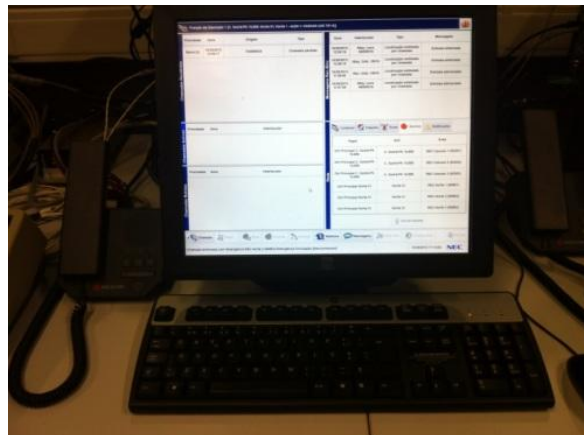


Figura 80. Posto de Operação

Através da utilização destes equipamentos é possível fazer a comunicação entre o posto de operação e as cabines das locomotivas, sendo possível fazer chamadas individuais, chamadas de grupo, chamadas por zona, chamadas de emergência, envio de mensagens, etc. Na Figura 81 podemos observar a realização de uma chamada de grupo para uma determinada área/sector de abrangência do operador do sistema. O sistema aqui apresentado foi desenvolvido pela NEC para a REFER, sendo também já utilizado em outros países.

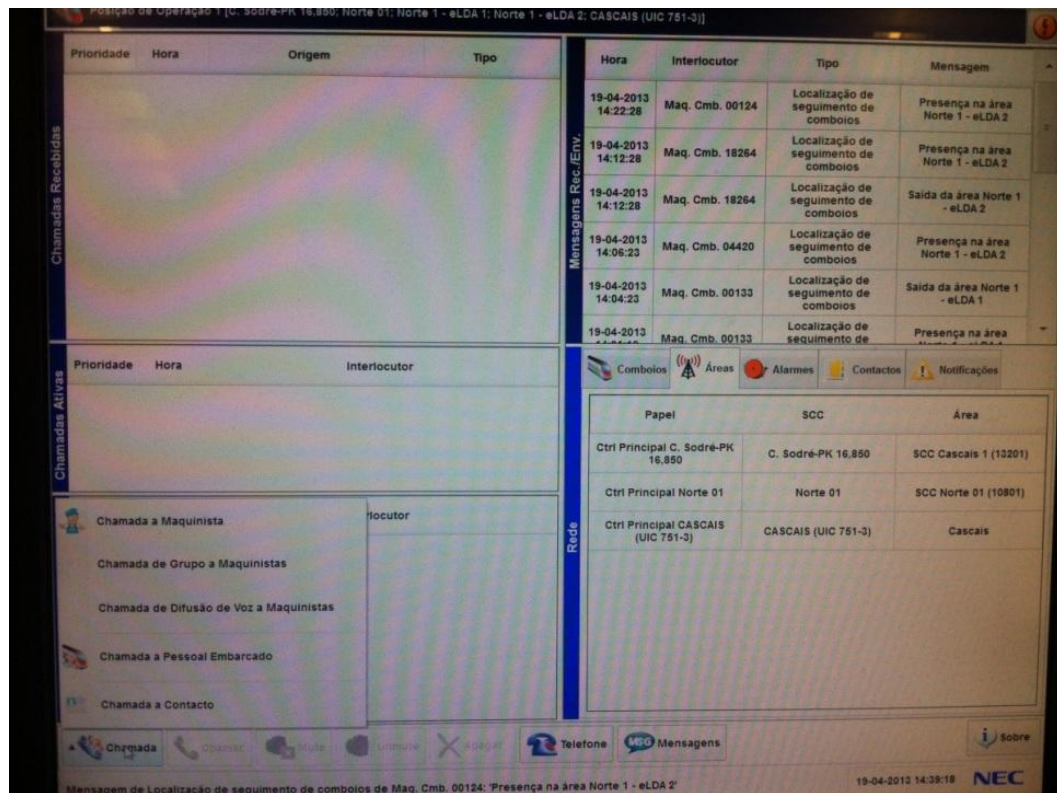


Figura 81. Chamada de grupo para uma área

4.4. Interoperabilidade

O conceito de Interoperabilidade, tem a ver com a circulação e as comunicações sem fronteiras do sistema ferroviário. A interoperabilidade é assim a “capacidade do sistema ferroviário para permitir a circulação segura e sem interrupção de comboios que cumpram os níveis de desempenho exigidos nessas linhas. Essa capacidade baseia-se no conjunto das condições regulamentares, técnicas e operacionais a observar para satisfazer os requisitos essenciais” [10].

Os principais problemas de interoperabilidade entre as redes ferroviárias de diferentes países, referidos no documento da Comissão Europeia, podem ser de vários tipos:

1. Diferenças de bitola (distância entre carris).
2. Diferenças no sistema de alimentação elétrica.
3. Diferenças nos sistemas de sinalização e controlo de velocidade.

Para resolver esta questão e promover o tráfego internacional, de passageiros e mercadorias, a Comissão Europeia emitiu recomendações para a adoção de sistemas técnicos comuns para que as redes ferroviárias europeias sejam interoperáveis. Na Europa central os principais problemas são ao nível da alimentação elétrica e dos sistemas de sinalização e controlo, que variam de país para país, sendo a bitola a mesma. Afetam por isso apenas o material de tração (máquinas que puxam os comboios). Portugal e Espanha têm um problema muito mais difícil

de resolver, que é uma bitola, denominada Bitola Ibérica, diferente de todos os restantes países da UE, denominada Bitola Europeia, *standard* ou UIC. Na maioria dos países europeus utiliza-se a Bitola Europeia, com medidas de distancia entre carris de 1435 mm, enquanto que em Portugal e Espanha utiliza-se a Bitola Ibérica, com 1668mm, conforme representado na Figura 82.

A interoperabilidade permite assim:

- Aumentar a velocidade média de viagem através de pontos de quebra otimizado;
- Aumentar a velocidade máxima com linha de visão de sinais substituídas por rádio;
- Aumentar a capacidade da via através de distância entre comboios minimizado;
- Garantida a alta velocidade (500 km / h) e de linhas de exploração convencional;
- Fronteiras sem emendas.



Figura 82. Domínio de aplicação da interoperabilidade [10]

Legislação:

- Decisão 2007/756/CE – Especificações comuns para o registo nacional do material circulante (ECVVR);
- Diretiva 2009/131/CE – Alteração do anexo VII da Diretiva 2008/57/CE relativo aos parâmetros a verificar para material circulante não conforme as ETIs (especificações de que cada subsistema é objeto para satisfazer os requisitos essenciais e assegurar a interoperabilidade);
- Diretiva 2013/9/UE da Comissão, de 11 de março de 2013, que altera o anexo III da Diretiva 2008/57/CE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa à interoperabilidade do sistema ferroviário na Comunidade;
- Regulamento (EU) n°321/2013.

5. FASES DE IMPLEMENTAÇÃO DA REDE MÓVEL GSM-R

Nos capítulos anteriores procedeu-se à apresentação da arquitetura e dos elementos da rede GSM-R. Neste capítulo descrevem-se mais em concreto as atividades realizadas no âmbito do estágio, nomeadamente no apoio ao planeamento da rede, na implementação das infraestruturas do Projeto-piloto, na elaboração dos cadernos de encargos e notas técnicas, na gestão do projeto e coordenação das atividades dos empreiteiros.

5.1. Faseamento do CORE

A implementação de uma rede GSM-R é um processo complexo, que se divide em diversas fases. Numa primeira fase, e após o respetivo concurso para escolher os fornecedores, procede-se à instalação do sistema base da rede, ou seja, o chamado CORE da rede. Dependendo do pretendido pelo Dono de Obra, a construção da nova rede pode ser efetuada por diversas fases separadas entre si, quer ao nível de fornecedores, quer ao tipo de equipamentos pretendidos. Para este Projeto-piloto foram definidas duas fases de instalação do CORE, uma para a instalação base do Projeto-piloto (até 5000 utilizadores) e outra para a continuidade da implementação da rede a nível nacional. No início do estágio, o processo de planeamento da rede e instalação do CORE já se encontrava concluída (Fase 1), conforme a Figura 83, assim como se encontrava em conclusão a fase de implementação das infraestruturas.

Nessa altura estava já a decorrer a fase de testes e otimização do CORE pelo fornecedor do sistema, a empresa *Nokia Siemens Networks* (NSN). Antes de iniciar o estágio houve oportunidade de participar e acompanhar o processo de instalação das infraestruturas, processo que se considera muito importante para a aquisição dos conhecimentos necessários à participação nas atividades seguintes, motivo pelo qual também será referido neste relatório.

Assim, o estágio coincidiu com a conclusão da fase de instalação das infraestruturas e com a fase de instalação do Subsistema BSS, tendo depois decorrido a fase de realização do comissionamento, dos testes de otimização e testes finais de aceitação da rede. Por último foi realizada a fase, operação (incluindo a formação) e manutenção da rede. A implementação das infraestruturas e do subsistema ocorreu em toda a Linha de Cascais, no Alvito, Braço de Prata, estação do Oriente e S. Apolónia na Linha do Norte, conforme seguidamente se apresentará na descrição do planeamento.

- Tipo de terreno;
- Estatísticas conhecidas de utilização da rede e dos seus serviços.

O planeamento será então efetuado recorrendo a ferramentas de planeamento de cobertura rádio apropriada, após se identificarem os potenciais locais para a instalar as estações base.

Para fazer o planeamento da rede do projeto-piloto, foi identificado pela Refer Telecom a área que se pretendia ter cobertura GSM-R, tendo sido indicado que seria a Linha de Cascais e a zona envolvente do Centro Controlo Operacional de Lisboa, conforme atrás referido. O planeamento da rede GSM-R foi realizado com a ajuda de ferramentas de planeamento de acordo com os objetivos definidos pela Refer Telecom.

5.2.2. Localização das Estações Base

Nesta secção será descrita a informação relativa às localizações das estações base e repetidores. Na Tabela 10 apresenta-se a localização das estações base e repetidores.

Tabela 10. Localização das estações base

Estação Base	Localização
BCF 1	Alcântara
BCF 2	Paço de Arcos
BCF 3	Carcavelos (Pk16850)
BCF 4	São João
BCF 5	Oriente
BCF 6	Braço de Prata
BCF 7	Santa Apolónia
BCF 8	Alvito

5.3. Implementação das infraestruturas para o Projeto-piloto - GSM-R

Nas seções seguintes apresenta-se uma descrição dos trabalhos desenvolvidos durante o Projeto-piloto, nas questões relacionadas com a parte de preparação dos elementos para a consulta e da instalação das infraestruturas.

5.3.1. Elaboração do Caderno de Encargos e Nota Técnica

Para o processo de contratação das infraestruturas para o sistema GSM-R, foi necessário proceder-se a um concurso para aquisição e instalação dessas infraestruturas, nomeadamente as torres, os bastidores de exterior, arranjos exteriores e interiores, entre outros. Para esse efeito procedeu-se à elaboração do caderno de encargos e nota técnica, conforme os procedimentos internos em vigor na empresa. Nesses documentos são definidos todas as

condições e características técnicas que os equipamentos devem ter, assim como as cláusulas jurídicas que fazem parte do processo de contratação.

De um modo geral, o caderno de encargos incluiu todas as cláusulas jurídicas que irão estar na base da elaboração do contrato, a definição de prazos, os prazos de garantia, o modo de faturação, penalidades, seguros a considerar, responsabilidades, direitos e deveres, tendo em conta o normativo existente relacionado com as exigências a que os concorrentes devem dar resposta, assim como as suas responsabilidades, para o tipo de concurso em questão.

Quanto à nota técnica, o objetivo da mesma é apresentar a especificação de requisitos técnicos e funcionais, assim como as condições de execução da obra, relativa ao fornecimento e instalação das infraestruturas nas estações de base – (EB) que alojarão os equipamentos do subsistema rádio da rede móvel GSM-R. Os trabalhos a realizar, contemplam o projeto, fornecimento e instalação de torres, melhoramentos em salas técnicas existentes, rede de terras, derivações de cabos óticos e trabalhos complementares de construção civil.

A nota técnica define assim a constituição das infraestruturas a construir, que neste caso serão:

- a. Torre, incluindo fundação e interfaces mecânicos para fixação das antenas
- b. Pára-raios e Sistema de Terras do *site*
- c. Sala técnica, ou bastidor de exterior equipado com instalações elétricas ar condicionado
- d. Vedação periférica com portão e pavimento
- e. Conduatas de cabos para interligação ao caminho de cabos longitudinal existente na plataforma ferroviária

A Figura 84 representa um exemplo de um elemento da nota técnica, que indica aos concorrentes a localização da torre e como deve ser instalada.



Figura 84. Nota técnica – Site de Santos

A nota técnica deverá ainda definir as condições ambientais de realização dos trabalhos, assim como caracterizar devidamente as infraestruturas pretendidas, para que as propostas sejam elaboradas de acordo com o pretendido, sem permitir grandes variações técnicas entre os diversos concorrentes. Quanto mais pormenorizada for a nota técnica, mais fácil será a elaboração da proposta, e quanto melhor for a proposta dos concorrentes menor será o risco para o dono de obra, no que respeita às variações que possam ser apresentadas pelos concorrentes. Na nota técnica deve ainda ser apresentado o mapa de quantidades a considerar na elaboração da proposta.

5.3.2. Realização do processo de concurso

O processo de realização da consulta ao mercado consta da colocação do concurso na rua, com datas definidas para a entrega da documentação necessária incluído a proposta de preços e quantidades. Dependendo do tipo de concurso, o caderno de encargos pode definir o preço base, que é o preço máximo que o dono de obra está disponível a pagar, e os critérios de avaliação das propostas. Tratando-se de uma empresa pública, a contratação será efetuada de acordo com o Código de Contratação Pública (CCP), Dec. Lei nº18/2008. Após a receção das propostas, o júri do concurso faz a sua análise de acordo com as normas e cláusulas técnicas previamente definidas, escolhendo então o vencedor do concurso que irá proceder à instalação das infraestruturas necessárias à implementação do Projeto-piloto do GSM-R. Após a análise das propostas, o júri elabora o respetivo relatório de análise das propostas, indicando qual a empresa que melhor reúne as condições para a realização dos trabalhos, tendo em consideração os critérios definidos previamente no caderno de encargos e nota técnica do concurso. Após definição da empresa vencedora, competirá à Comissão Executiva/Administração da empresa a adjudicação dos trabalhos.

5.3.3. Obra de instalação das infraestruturas

Após a adjudicação, foram iniciados os trabalhos de instalação das infraestruturas, começando-se por definir o planeamento dos trabalhos. Após a apresentação e aprovação do planeamento ocorre a fase de apresentação e validação do plano de Segurança e Saúde (PSS), que tem de ter em conta a envolvimento ferroviária e os importantes aspetos de segurança que tem de ser considerados e acautelados.

Após a validação do PSS pelos responsáveis de segurança da Refer Telecom, ocorreu a fase de aprovação do projeto de execução, onde o empreiteiro e também responsável pelo projeto de execução, apresentou todos os pormenores da instalação. O projeto é constituído essencialmente pelas peças desenhadas e escritas (memória descritiva), assim como pelos respetivos termos de responsabilidade sempre que o projeto assim o exija. Após aprovação do projeto de execução terão início os trabalhos no terreno, tendo-se dado início aos trabalhos de instalação das infraestruturas na Linha de Cascais.

Resumidamente, as diversas fases da implementação das infraestruturas para o Projeto-piloto do GSM-R, foram:

- Apresentação do planeamento dos trabalhos;
- Entrega do Plano de Segurança e Saúde (PSS) para execução dos trabalhos;
- Elaboração do projeto de execução por local;
- Mobilização de máquinas e meios humanos para cada um dos locais;
- Abertura das fundações para construção do maciço de sustentação das torres;
- Instalação das torres;
- Execução dos caminhos de cabos para a passagem dos cabos;
- Instalação dos sistemas de proteção contra descargas atmosféricas;
- Construção das vedações de proteção às torres
- Acabamentos finais;
- Entrega de telas finais do projeto executado.

Após a aprovação do Plano de Segurança e Saúde (PSS) decorreu a fase de desenvolvimento e aprovação do projeto de execução. O projeto de execução é constituído por diversas peças escritas e desenhadas, onde se apresenta a solução técnica de implementação das infraestruturas. Nesta fase do processo da obra, o Adjudicatário tem de indicar toda a metodologia de execução dos trabalhos, solicitar a aprovação dos materiais e apresentar as peças desenhadas do sistema, sendo que só depois dessa fase se pode dar início ao processo de instalação das infraestruturas nos locais identificados. Na Figura 85 apresenta-se um exemplo do local de implementação de uma das torres.

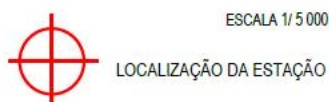
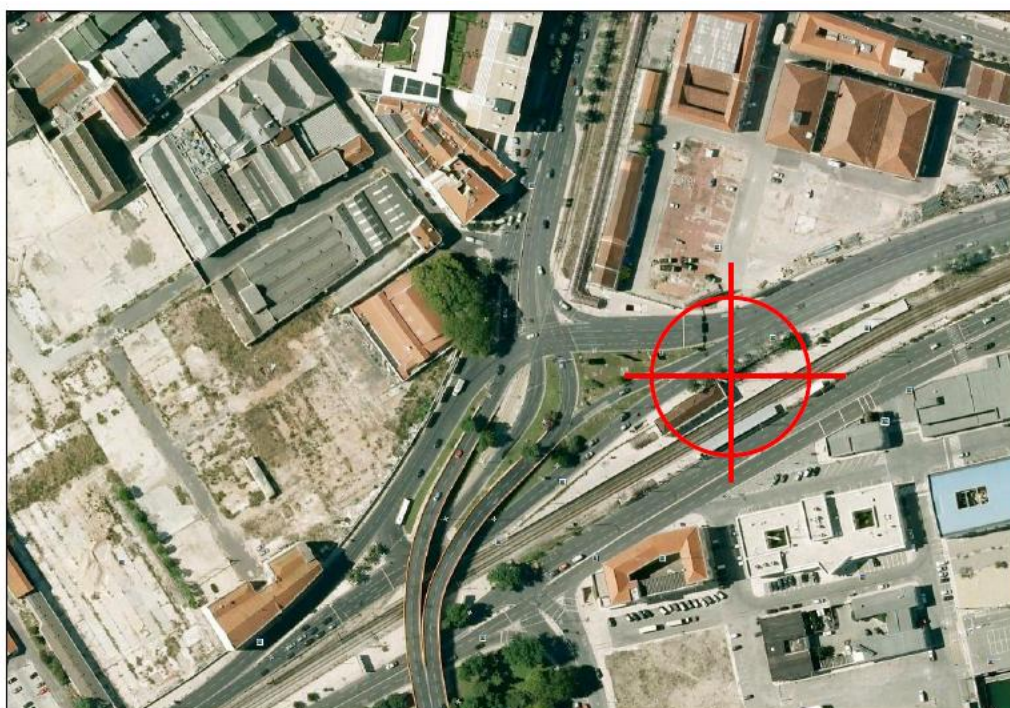


Figura 85. Exemplo de planta de implementação em Alcântara Mar [4]

Em termos de condições de segurança, esta obra teve alguns condicionalismos importantes, devido a decorrer junto à linha ferroviária, onde a circulação de comboios é muito frequente, assim como aos cuidados a ter com a proximidade da catenária (1500 VDC e 25000 VAC) e da circulação de pessoas. Foi assim necessário a realização de diversas reuniões com as várias entidades envolvidas, para se acordarem os diversos procedimentos de segurança para a execução dos trabalhos. De entre outros importantes procedimentos de segurança, destaca-se a realização dos trabalhos de instalação das torres em período noturno, com necessidade da realização do corte de catenária, de forma a evitar riscos electrocução para os trabalhadores.

Na Figura 86 apresenta-se o desenvolvimento dos trabalhos de instalação das infraestruturas, desde a realização das fundações até à instalação da torre. Com a apresentação destas imagens pretende-se mostrar as diversas fases de trabalhos de construção civil, que têm de ser executadas para permitir a instalação das torres para os *sites* do sistema GSM-R, e a complexidade que algumas dessas tarefas exigem, como por exemplo a instalação das torres em horário noturno, tarefas essas que envolvem consideráveis riscos na execução dos trabalhos.

Uma outra parte importante deste tipo de instalações tem a ver com a proteção contra descargas atmosféricas. Foi por isso necessário considerar na elaboração do projeto, diversos critérios de dimensionamento, de cálculo, de materiais e equipamentos, tendo em conta a observação das normas, recomendações e prescrições da legislação aplicável em vigor.

De um modo geral, verificou-se a aplicação das seguintes diretivas em vigor:

- Regra Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT);
- Norma Portuguesa NP 4426.

A rede terras é assim constituída pelo pára-raios tipo *Franklin*, cabos de descarga instalados na torre e anel de terras no solo. Na Figura 87 apresenta-se um exemplo de desenho de projeto da rede de terras na base/fundações da torre. A rede de terras das torres foi depois ligada à rede de terras existente ao longo da ferrovia, para equipotencializar toda a rede de terras das infraestruturas existentes.



a) Betonadora



b) Execução fundação



c) Enchimento fundação



d) Maciço



e) Torre a instalar



f) Grua



g) Levantamento torre



h) Instalação da torre



i) Instalação de antenas

Figura 86. Fases da instalação de torres com grua

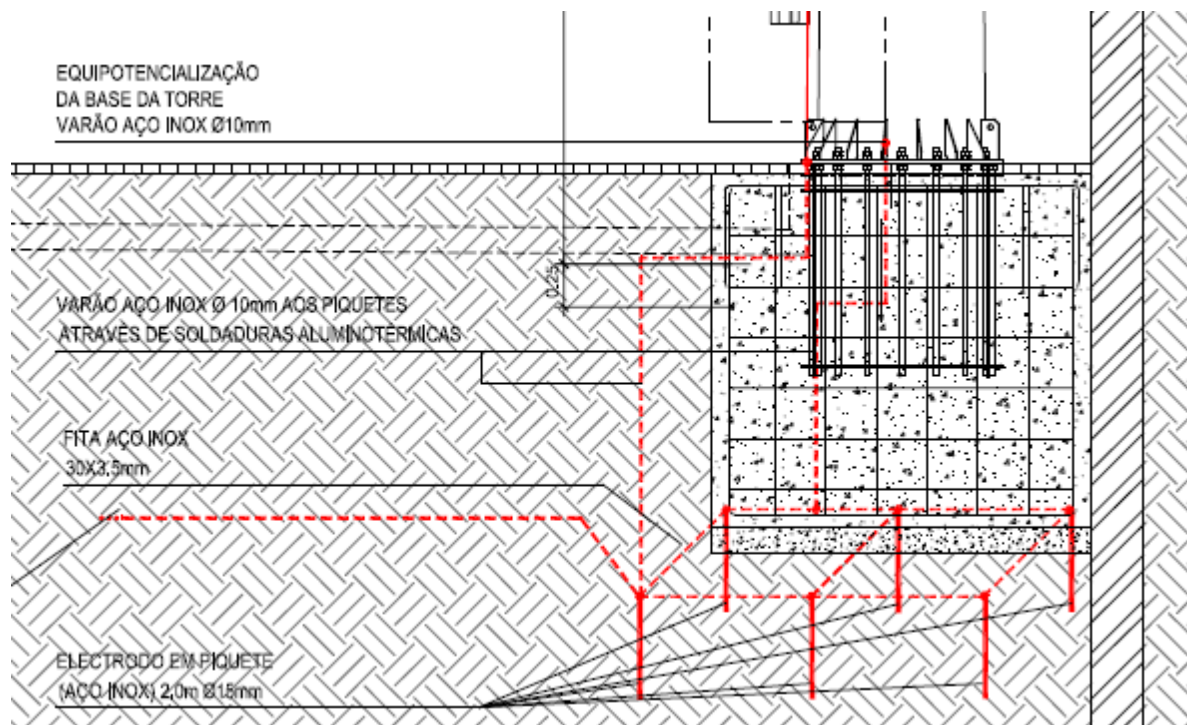


Figura 87. Pormenor da rede de terras [4]

O anel de terras é executado em simultâneo com a abertura das fundações, ficando por baixo da estrutura conforme se pode observar na Figura 88. a). Na Abertura das fundações e instalação dos eletrodos de terra. Figura 88 b) pode-se observar a base de fixação da torre, que ficará dentro do maciço betonado. A Abertura das fundações e instalação dos eletrodos de terra. Figura 88 c) mostra a base inserida dentro das fundações e já preparada para receber o betão e a Abertura das fundações e instalação dos eletrodos de terra. Figura 88 d) mostra a torre já instalada na fundação.



a) Abertura das fundações e instalação dos eletrodos de terra



b) Base de fixação da torre



c) Fundações e base de suporte da torre dentro da fundação



d) Base da torre instalada

Figura 88. Fases de execução do maciço para a base da torre

Na continuidade da expansão do projeto do GSM-R, a Refer Telecom teve necessidade de começar a fazer algumas trocas de torres já existentes do sistema RSC, por novas torres com mais capacidade de carga, de forma a poderem ser instaladas mais antenas, e neste caso, as novas antenas de GSM-R. Neste caso específico, procedeu-se também à substituição da torre da estação da Azambuja, conforme se pode ver nas fotos seguintes. Estes trabalhos são de elevada complexidade por se situarem junto à ferrovia, que necessita de redobrados cuidados de segurança, além de terem de ser realizados em período noturno, de forma a poder ser interdita a circulação ferroviária na zona de queda da torre. Esta nova torre com 35m de altura, substituiu uma outra torre de 24m, com menor capacidade de carga. Esta torre teve também de ser pintada no topo nas cores vermelho/branco/vermelho para cumprir com as normas do Instituto Nacional da Aviação Civil (Figura 89). Na Figura 90 podemos observar o trabalho de instalação da torre em trabalho noturno e na Figura 91 a nova torre já instalada.



Figura 89. Nova torre de 35m a ser preparada para instalar

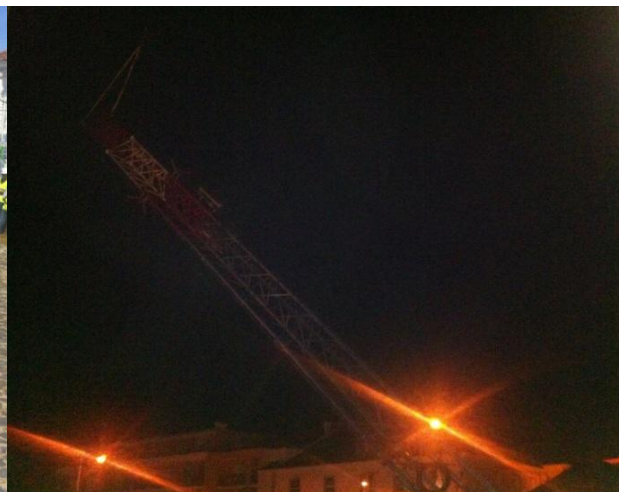


Figura 90. Instalação da torre de 35m em trabalho noturno



Figura 91. Nova torre instalada

Na Figura 92 apresentam-se as novas torres instaladas no âmbito do Projeto-piloto do GSM-R. Estas imagens apresentam a diversidade de locais onde podem ser instaladas as torres, que tanto pode ser em plena via como em estações principais. Existem sempre preocupações que têm de ser equacionadas, como por exemplo o impacto ambiental que essas infraestruturas podem ter em determinados locais.



a) São João



b) Carcavelos



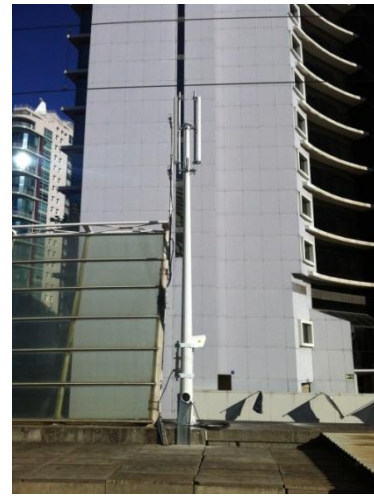
c) Paço de Arcos



d) Alcântara Mar



e) Santos



f) Oriente



g) Pedrouços



h) Braço de Prata



i) Alvito

Figura 92. Instalação de torres nos diversos locais do Projeto-piloto GSM-R

5.4. Implementação do subsistema BSS (*Base Station Subsystem*)

Na seção anterior apresentou-se o processo de instalação das infraestruturas que fazem parte de todo o processo de instalação da rede GSM-R que iriam servir de suporte à instalação do Subsistema BSS. Durante o estágio houve assim a oportunidade de participar e acompanhar todo este processo, que ao nível da instalação dos equipamentos quer ao nível do acompanhamento de alguns dos testes de otimização realizados pelo fornecedor do sistema, a NSN. Nas seções seguintes apresenta-se o processo de instalação do Subsistema BSS, da sua integração no CORE e da parte de *commissioning* e testes de otimização. Esta parte da instalação da rede foi muito interessante para o estágio pois permitiu acompanhar o fornecedor do sistema e os seus técnicos na realização de várias tarefas, tais como por exemplo a instalação das antenas e das BTS no campo, a realização de ensaios nas diversas viagens que tiveram de ser realizadas na linha de Cascais e na parte de otimização da rede.

5.4.1. Elaboração do caderno de encargos e nota técnica

Para o processo de contratação do sistema de comunicações de rádio do GSM-R -Subsistema BSS, foi necessário proceder-se a um concurso para aquisição e instalação desses equipamentos, nomeadamente BSC, TRAU, BTS, repetidores e antenas. Para esse efeito procedeu-se à elaboração do caderno de encargos e nota técnica, conforme os procedimentos internos em vigor na empresa. Nesses documentos são definidas todas as condições e características técnicas que os equipamentos devem ter, assim como as cláusulas jurídicas que fazem parte do processo de contratação.

À semelhança do escrito anteriormente para o processo das infraestruturas, foi elaborado o respetivo caderno de encargos que incluiu todas as cláusulas jurídicas que irão estar na base da elaboração do contrato, a definição de prazos, os prazos de garantia, o modo de faturação, penalidades, seguros a considerar, responsabilidades, direitos e deveres, tendo em conta o normativo existente relacionado com as exigências a que os concorrentes devem dar resposta, assim como as suas responsabilidades, para o tipo de concurso em questão.

Quanto à nota técnica, esta tem como objetivo a especificação de requisitos técnicos e funcionais relativos ao fornecimento e instalação dos equipamentos do subsistema rádio (BSS) da rede móvel GSM-R, para suporte às comunicações de voz, dados (críticos e não críticos) para a rede ferroviária nacional, sendo nesta primeira fase a sua implementação na linha de Cascais e partes da linha do Norte. Os serviços a fornecer compreendem o projeto, instalação, testes de aceitação do subsistema rádio, otimização e formação técnica. No que respeita à interoperabilidade, a nota técnica solicita o cumprimento das disposições aplicáveis constantes das Diretivas Europeias relativas à interoperabilidade ferroviária.

No âmbito deste concurso foram considerados os seguintes fornecimentos:

- BSC – *Base Station Controller*;
- TRAU – *Transcoder and Rate Adaptation Unit*;
- BTS – *Base Transceiver Stations* (incluindo sistemas radiantes);
- PCU/CCU – *Packet Control Unit/ Channel Codec Unit*;

- OMC (relativo à componente do subsistema rádio);
- Repetidores de fibra ótica.

Foi ainda considerada a realização de todos os testes de validação e aceitação do novo sistema.

Tratando-se de um importante documento com a caracterização da rede e das condições particulares da ferrovia, a nota técnica deve ser bastante exaustiva e pormenorizada, de forma a poder proporcionar aos concorrentes o maior detalhe do pretendido, que permita elaborar uma proposta de qualidade e sem se possível sem suscitar dúvidas aos concorrentes.

5.4.2. Realização do processo de concurso

O processo de consulta ao mercado é semelhante ao descrito atrás na secção 5.3.2 e consta da colocação do concurso na rua, da receção das propostas, análise e adjudicação dos trabalhos de instalação do Subsistema BSS necessário à implementação do Projeto-piloto do GSM-R. Após definição da empresa vencedora, competirá à Comissão Executiva/Administração da empresa a adjudicação dos trabalhos. Tratando-se de uma empresa pública, a contratação tem de ser efetuada de acordo com o Código de Contratação Pública (CCP), Dec. Lei nº18/2008.

5.4.3. Obra de execução da instalação do subsistema BSS

Após a adjudicação, foram iniciados os trabalhos de instalação do subsistema BSS, começando-se por definir o planeamento dos trabalhos. Após a apresentação e aprovação do planeamento ocorre a fase de apresentação e validação do Plano de Segurança e Saúde (PSS), que tem de ter em conta a envolvimento ferroviária e os importantes aspetos de segurança que tem de ser considerados e acautelados.

Após a validação do PSS pelos responsáveis de segurança da Refer Telecom, ocorreu a fase de aprovação do projeto de execução, onde o Adjudicatário apresenta todos os pormenores da instalação a efetuar. Após aprovação do projeto de execução terão início os trabalhos no terreno.

Resumidamente, as diversas fases da implementação do subsistema BSS para o GSM-R, foram:

- Apresentação do planeamento dos trabalhos;
- Entrega e aprovação do Plano de Segurança e Saúde (PSS) para execução dos trabalhos;
- Elaboração do projeto de execução global e por local;
- Aprovisionamento dos diferentes equipamentos;
- Instalação dos bastidores, das antenas e cabos;
- Colocação sob tensão, *commissioning* e integração da rede GSM-R;
- Testes de otimização e aceitação;
- Entrega de documentação técnica e realização de ações de formação;
- Entrega de telas finais do projeto executado.

O Adjudicatário deverá assim apresentar o plano de trabalhos o qual terá de estar de acordo com o prazo estipulado no processo de concurso e ter o detalhe da instalação de cada uma das componentes do projeto. Nas figuras Figura 93 e Figura 94 apresentam-se os planos de trabalhos da instalação do Subsistema BSS na Linha de Cascais (Fase 1-Figura 93) e na linha do Norte (Fase 2-Figura 94). As principais tarefas apresentadas nos planos de trabalhos são a instalação das BTS nos locais, a instalação dos cabos e antenas nas torres, a instalação dos repetidores e a realização dos trabalhos de *commissioning* e testes de integração.

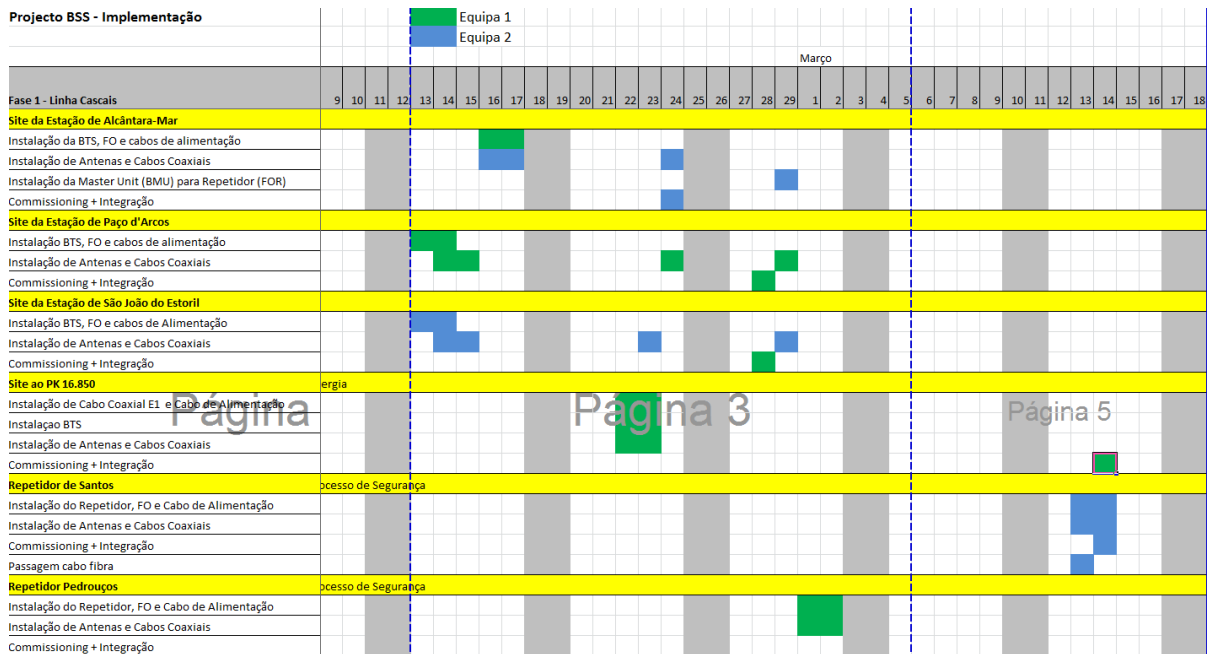


Figura 93. Plano de trabalhos do projeto BSS - Fase 1 [3]

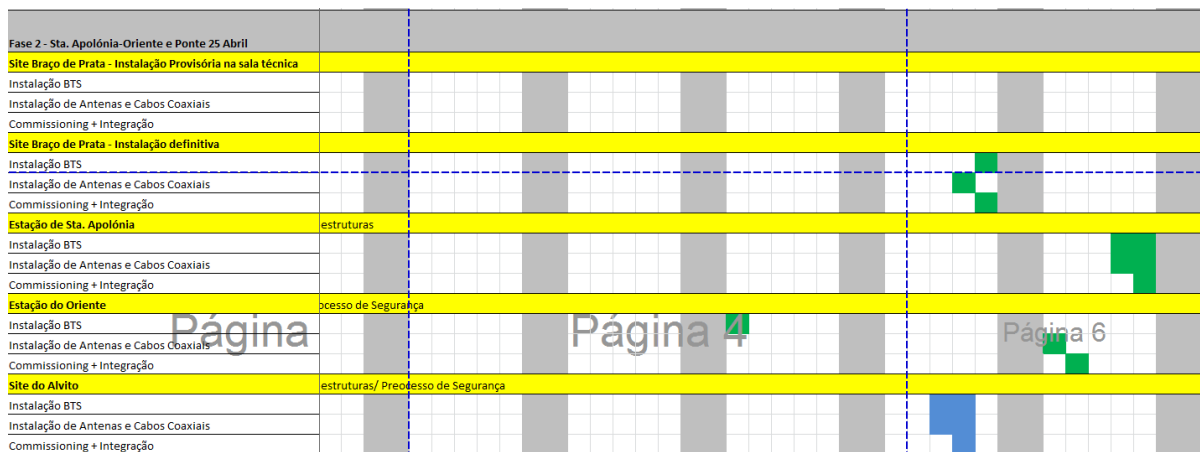


Figura 94. Plano de trabalhos do projeto BSS- Fase 2 [3]

Na Figura 95 apresenta-se um dos elementos de projeto, apresentados pelo Adjudicatário NSN, com a indicação da localização dos *sites* na Linha de Cascais Nessa mesma figura podemos ver a localização das quatro BTS, dos repetidores e o tipo de comunicação estabelecida com a BSC.

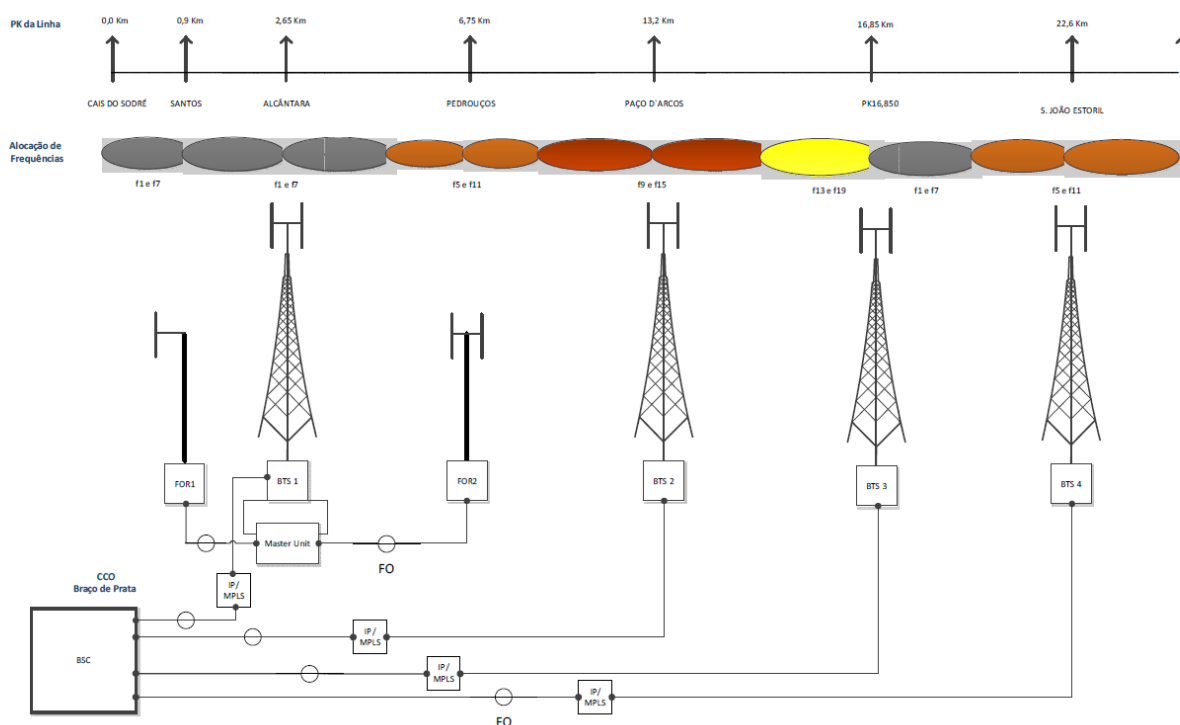


Figura 95. Localização dos *sites* GSM-R na Linha de Cascais [3]

Na Figura 96 podemos observar a fase de realização dos trabalhos de instalação das antenas, onde se podem ver os trabalhadores a subirem às torres para fazer a passagem dos cabos coaxiais e a fixação das antenas. Esta fase dos trabalhos é particularmente interessante no que respeita às questões de segurança, pois os trabalhos decorrem junto à via ferroviária com os comboios a circular. Tem por isso de ser tomadas diversas medidas de segurança que não coloquem em risco nem os trabalhadores nem os passageiros.



a) Trabalhos de instalação das antenas e cabos GSM-R em S. Apolónia.

b) Trabalhos de instalação das antenas e cabos GSM-R na torre de Santos

Figura 96. Trabalhos de instalação das antenas e cabos GSM-R nas torres

Na Figura 97 podemos observar a instalação dos bastidores de GSM-R, que neste caso ficou na mesma casa abrigo do sistema analógico de RSC.



Figura 97. Site de equipamentos com bastidor de RSC e bastidor de GSM-R

5.5. Integração do BSS na rede CORE

Uma vez disponível a rede de acesso e transporte e configurados os circuitos necessários, procede-se depois à integração, testes e entrada em serviço do Subsistema BSS da rede-piloto GSM-R.

Será assim necessário proceder aos trabalhos de integração com o CORE do GSM-R, de forma a dispormos de conectividade entre os *sites*, para passar a ter serviço de rádio nas estações.

A sequência de trabalhos é a seguinte:

- Configuração do CORE/MSC do sistema GSM-R;
- *Commissioning* e integração da BSC e TRAU com a MSC;
- *Commissioning* e integração das BTS e repetidores com a BSC;
- Integração dos elementos de rede com os seus sistemas de gestão.

Os trabalhos de integração incluem:

- Habilitar as interfaces de ligação entre BSC, TRAU e MSC através dos sistemas de gestão correspondentes;
- Configurar os *routers* e *switchs* da rede de transmissão IP/MPLS;
- Verificar os pontos de interligação atribuídos nos DDF a estas ligações;
- Carregar as bases de dados com o conjunto de parâmetros;
- Realização de testes de verificação do correto funcionamento do conjunto.

Por fim, realizam-se os testes de ajuste, que incluem testes de chamadas e testes de otimização da rede.

Na Figura 98 podemos observar o estabelecimento das primeiras chamadas de testes realizadas na estação de Alcântara, durante a fase de testes do sistema. Estes testes foram realizados assim que se acabou de fazer o comissionamento de todas as instalações de rádio e após colocação em serviço das estações base.



Figura 98. Realização das primeiras chamadas de testes no GSM-R em Portugal

5.5.1. Fase de comissionamento e testes de otimização da rede

O objetivo dos testes de otimização da rede são a configuração da rede para o cumprimento dos requisitos de cobertura, assegurar que os *handovers* se realizam corretamente conforme previsto nas normas, minimizar interferências e assegurar o correto funcionamento das chamadas.

Para a execução destas atividades, fizeram-se vários percursos de comboio, com um determinado intervalo de tempo entre si, a fim de analisar os resultados e realizar as alterações mecânicas nos sistemas radiantes e as configurações nas bases de dados.

Nesta secção do relatório pretende-se mostrar a otimização e medições de qualidade de serviço (QoS) realizadas na linha de Cascais (Figura 99), durante a otimização da rede GSM-R. Conforme já referido, esta linha é composta por quatro BTS e dois repetidores de fibra ótica de dois canais.

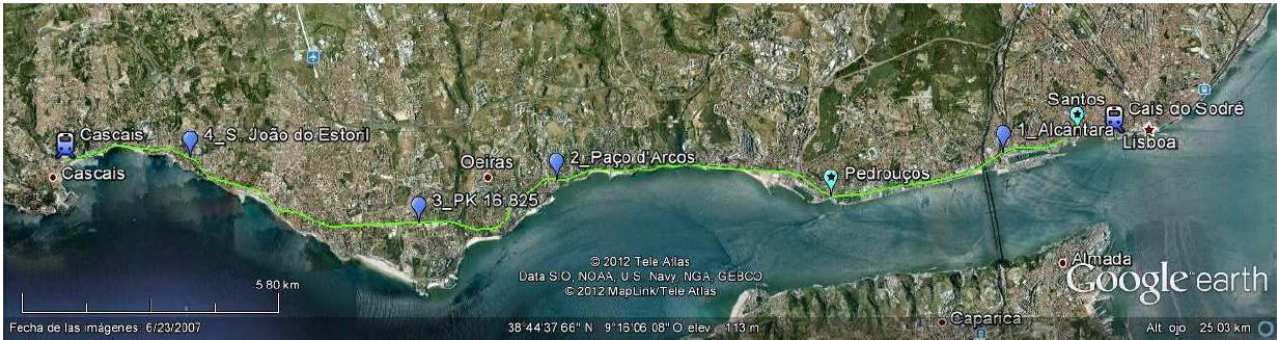


Figura 99. Linha de Cascais [3]

Os testes foram efetuados nas unidades motoras 3100/3200 (Figura 100) usando o equipamento RC900 da NEC instalado na Cabine Condução (Figura 101) e com antena exterior (Figura 102). O equipamento utilizado nos testes foi o CWI (Figura 103) com respetivo SW de proprietário com utilização também de um GPS para a georreferenciação, em diversas viagens realizadas entre as estações do Cais do Sodré e Cascais.



Figura 100. Unidade motora de testes 3100/3200



Figura 101. Equipamento de bordo RC900



Figura 102. Antena exterior



a) Equipamento de testes de SW

b) Equipamento de testes - CWI

Figura 103. Equipamento de testes CWI e PC

As BTS instaladas na linha de Cascais têm diversas configurações distintas, consoante a necessidade pretendida para cada uma, conforme seguidamente se descreve:

- BTS1 (Alcântara): 1+1/1+1;
- BTS2 (Paço de Arcos): 1+1;
- BTS3 (Carcavelos): 1+1/1+1;
- BTS4 (São João): 1+1;
- Repetidores (Santos e Pedrouços): FOR 1 e FOR 2 de 2 canais cada.

Ao primeiro *site* da BTS 1 correspondem 2 sectores:

- Sector 0 para as BTS 1 e repetidor FOR1;
- Sector 1 para repetidor FOR2.

Ao segundo *site* da BTS3 correspondem 2 sectores:

- Sector 0 para o primeiro sector da BTS 3;
- Sector 1 para segundo sector da BTS 3.

Características da BTS Modelo BS240 II B:

- Potência de transmissão da BTS: 42.7 dBm;
- Perdas do Combinador: 3 dB.

As antenas utilizadas são as seguintes:

- 80010643 da *Kathrein* com abertura de 30° e ganho de 20.4 dBi em *uplink* e 20.8 dBi em *downlink*;
- 80010203V02 da *Kathrein* com abertura de 65° e ganho de 16.6 dBi em *uplink* e 16.9 dBi em *downlink*;
- 730 691 da *Kathrein* com abertura 65° e ganho de 16.7 dBi em *uplink* e 17 dBi em *downlink*.

Altura da antena: tipicamente 25 m (estação base).

Perdas dos Cabos: 3 dB; Perdas do *coupler*: 3 dB.

Valor mínimo de sinal em *downlink* (95%, considerando a antena @4 m): -95 dBm.

Tipo de terminal: *Cab radio* e terminal móvel.

Potência de emissão do terminal: 39 dBm (*Cab radio*), 33 dBm (terminal móvel).

Altura da antena do terminal móvel: 4 m (*Cab radio*) e 1.5 m (terminal móvel).

Na Tabela 11 apresenta-se a configuração dos sistemas radiantes instalados na Linha de Cascais. Nesta tabela pode-se observar a altura de cada uma das antenas dos repetidores e BTS, o *tilt*, o azimute e também o tipo de antena instalado em cada local para cada um dos setores. Tratando-se de GSM-R só temos dois setores, pois pretende-se fazer uma cobertura ao longo da linha, o que é diferente da cobertura do GSM público.

Tabela 11. Configuração dos sistemas radiantes [3]

ID	SECTOR EAST				SECTOR WEST			
	Height	Antenna	Tilt	Azimut	Height	Antenna	Tilt	Azimut
FOR1	10	Vpol65°	0	91	-	-	-	-
BTS1	24	Xpol30°	4	75	24	Xpol30°	4	250
FOR2	10	Vpol65°	2	81	10	Vpol65°	2	303
BTS2	27	Xpol30°	3	85	27	Xpol30°	3	230
BTS3	27	Xpol30°	4	95	27	Xpol30°	4	270
BTS4	27	Xpol30°	4	115	27	Xpol30°	4	275

A configuração da BTS de Paço de Arcos é a que se apresenta na Figura 104. Trata-se de uma BTS com um sector com configuração 2+1/0/0 e sem repetidor associado. Neste *site* foram instaladas duas antenas XPol com ângulo de abertura de 30°. Sendo as mesmas instaladas à altura de 27m, sendo utilizado um *splitter* para alimentar as 2 antenas que apontam para cada um dos sentidos da via. As frequências utilizadas serão F9= 963 e F15=969.

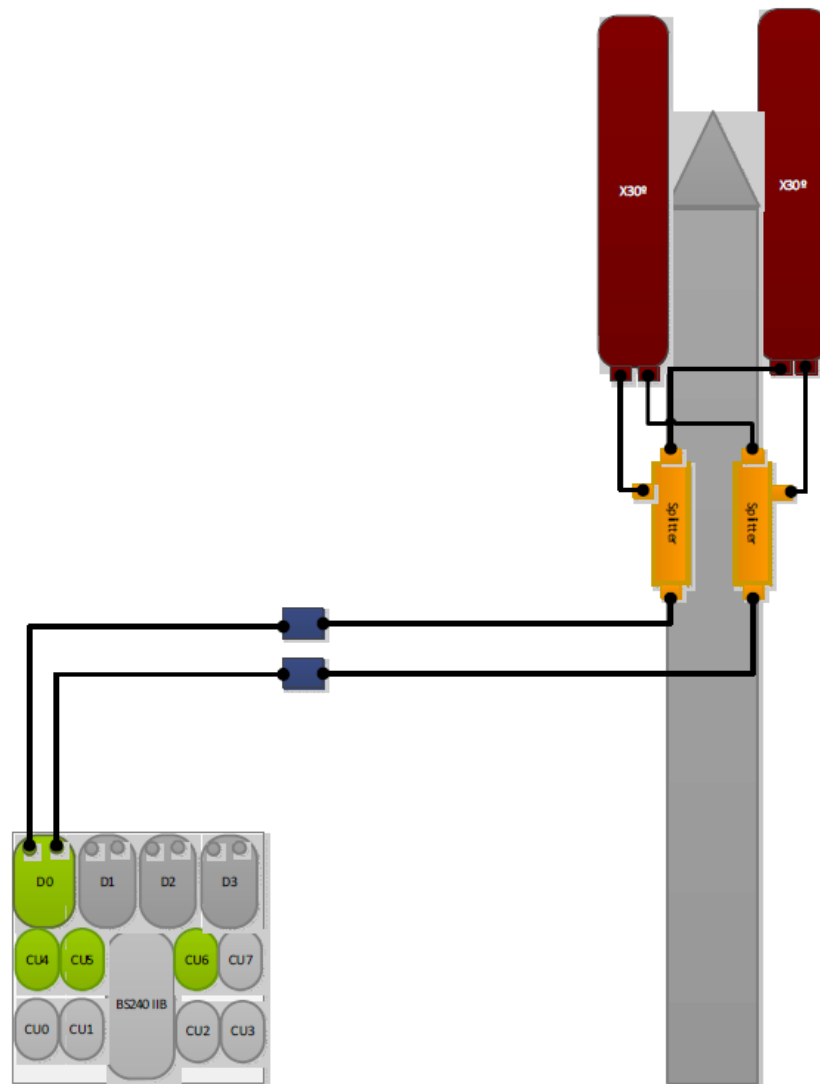


Figura 104. Configuração da BTS 2 de Paço de Arcos [3]

Em Alcântara Mar a configuração da BTS e a instalação do sistema são mais complexas do que nos restantes locais, devido a esta BTS ter comunicação com o sistema de repetidores de Santos e Pedrouços, conforme se pode verificar pelo diagrama apresentado na Figura 105. Trata-se de uma BTS de 2 sectores, cada um com 3 CUs de configuração 2+1/2+1/0. Nesta BTS o sector 1 alimentará as antenas da torre e do repetidor FOR1 de Santos através da BMU. Quanto ao sector 2 serve para alimentar exclusivamente o FOR2 de Pedrouços através da BMU. Neste *site* as antenas na torre estão localizadas a 24m de altura. As antenas da torre têm polarização cruzada e estão equipadas com um *splitter* para alimentar as duas antenas Xpol 30° que apontam para cada um dos sentidos da via. Os *tappers* de 20dB utilizados são CK37D da *Microlab*. Relativamente à configuração adotada, o sector 1 irá ficar a corresponder a D₀ e o sector 2 a D₁. O sector 1 funcionará nas frequências F₁=955 e F₇=961, enquanto que o sector 2 funcionará nas frequências F₅=959 e F₁₁=965, de acordo com a distribuição de CU's.

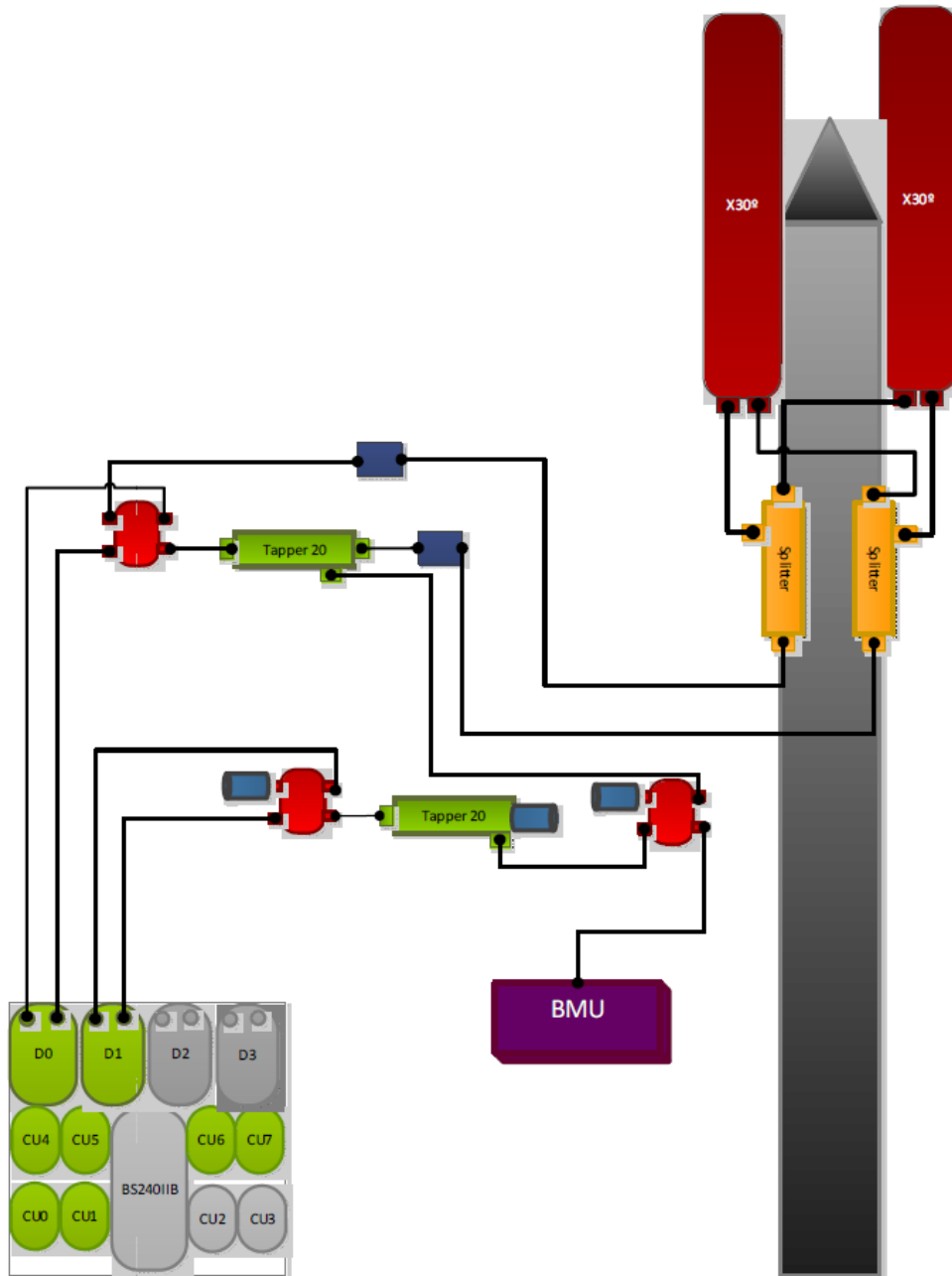


Figura 105. Configuração da BTS 1 de Alcântara [3]

Durante a otimização o plano das frequências inicial teve de ser alterado, devido às interferências verificadas com outras frequências de operadores na zona, tendo sido alterado conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12. Tabela de novas frequências

Site	BCCH - TCH (previous plan)	BCCH - TCH (current plan)
Alcântara	955 - 961	955 - 961
Pedrouços	959 - 965	959 - 965
Paço d'Arcos	963 - 969	969 - 963
Oeiras	967 - 973	967 - 973
Carcavelos	955 - 961	961 - 955
S. Joao	959 - 965	965 - 959

A relação de frequências assinadas a cada célula é a apresentada na Figura 105.

Cais do Sodré - Cascais

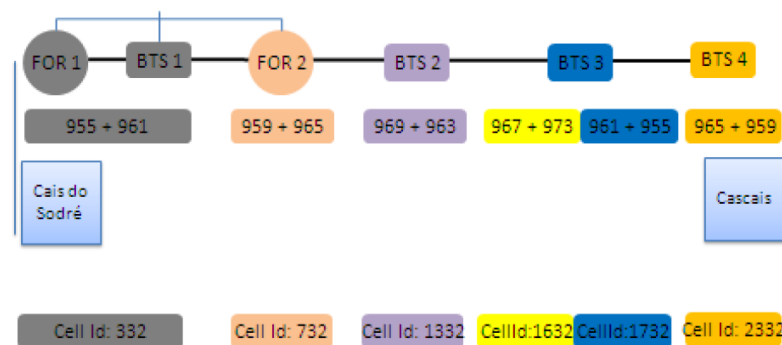


Figura 106. Relação das frequências assinadas a cada célula [3]

Após realizados os trabalhos de otimização, foram efetuados vários registos, tanto no sentido do Cais do Sodré-Cascais, como no sentido Cascais-Cais do Sodré, conforme se pode verificar a título de exemplo nos gráficos das figuras seguintes.

No gráfico da Figura 107 podemos observar o registo das medidas de sinal efetuadas no sentido Cais do Sodré para Cascais, nas diversas frequências que o equipamento consegue detetar. Podemos observar os *handover* entre células, os níveis de sinal e o nível da qualidade de receção (RxQual). Estas medidas são efetuadas com o equipamento CWI da *Comptest*. Esta ferramenta de trabalho serve para análise e verificação dos níveis de sinal das várias frequências existentes e possíveis interferências dentro de espectro do GSM-R. Na mesma ferramenta podemos também verificar e analisar a questão dos *handover*, nomeadamente onde é que estão a ser efetuados os *handover* entre a células e qual o tempo de *handover*. Também podemos verificar e analisar qual é a qualidade do sinal de receção (Rx) que temos ao longo da linha, e se estão aceitáveis e dentro dos parâmetros normais de funcionamento. As frequências representadas no gráfico são as de 955, 959, 969, 967, 961 e 965 MHz.

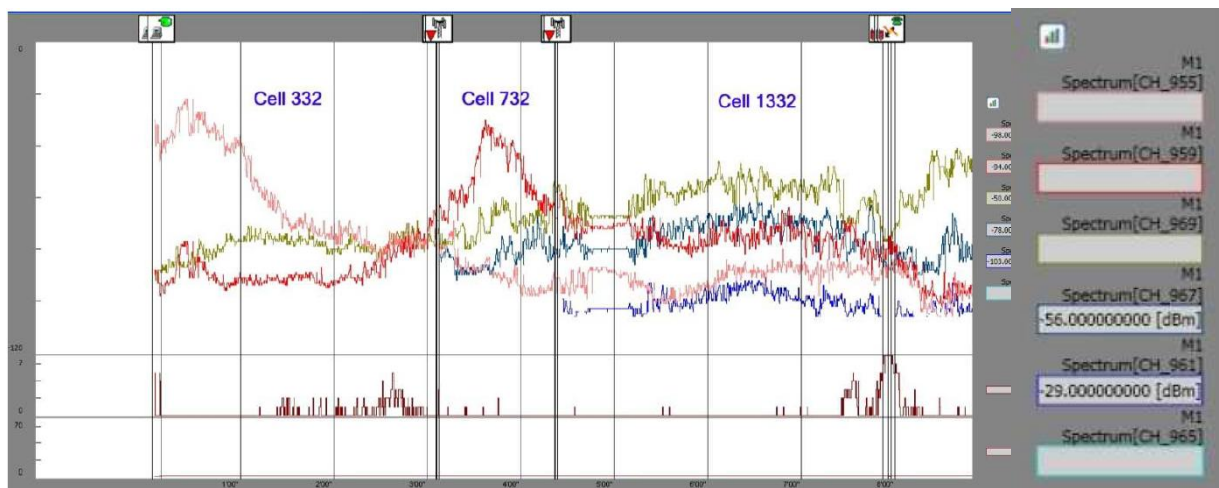


Figura 107. Medidas realizadas com o CWI sentido Cais do Sodré-Cascais [14]

No gráfico da Figura 108 podemos observar o registo das medidas efetuadas no sentido Cascais a Cais do Sodré. A linha a azul escuro representa a medida efetuada na frequência 961 e a azul claro a medida da frequência 965.

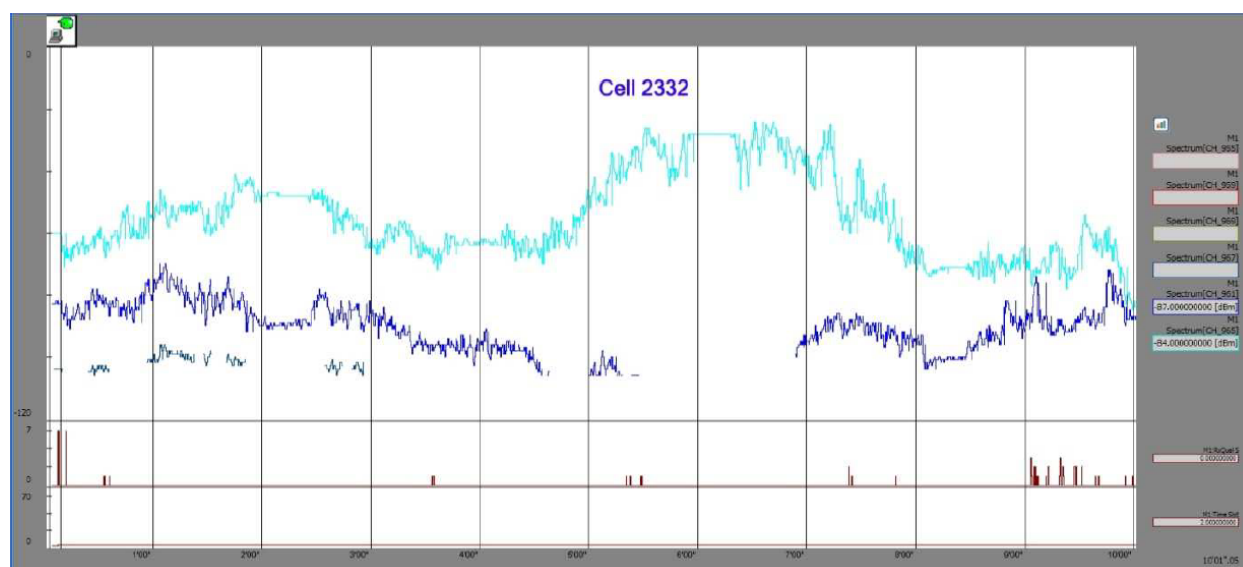


Figura 108. Medidas realizadas com o CWI sentido Cascais - Cais do Sodré [14]

Medidas realizadas com recurso   georreferen a o:

Foram também efetuadas medidas com recurso   georreferen a o, baseadas em níveis de *RxLev Serving* (Figura 109) e *RXQual* (Figura 110), conforme se pode verificar a título de exemplo na Figura 109 e na Figura 110 e na Tabela 13 e na Tabela 14.

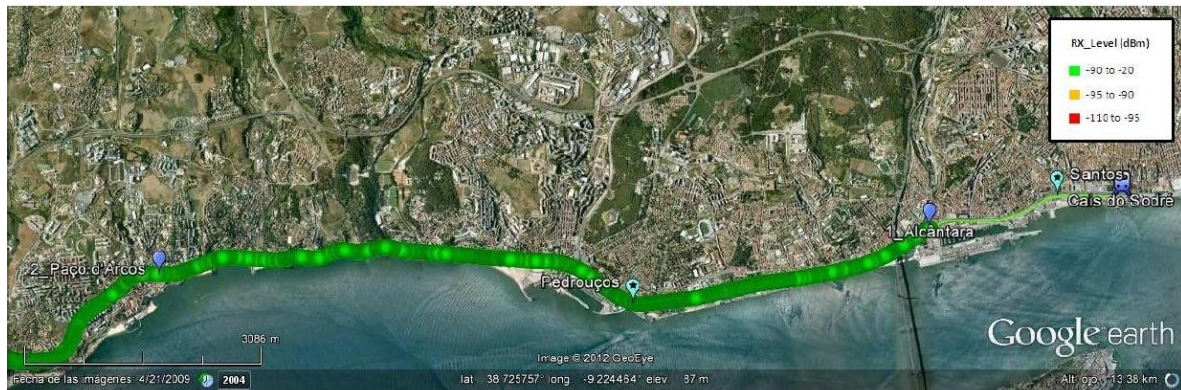


Figura 109. Medidas de nível de sinal [14]



Figura 110. Medidas de qualidade [14]

Na Figura 109 e na Figura 110 podemos verificar os testes que foram realizados e que servem para verificar qual o nível de sinal de Rx ao longo da linha, onde se pode observar uma degradação na qualidade do RX-Qual, a qual foi corrigida durante a otimização.

Na Tabela 13 e na Tabela 14 são apresentados os valores registados com as medidas de tempos de *handover*.

Tabela 13. Medidas de tempos de *handover* 1

Handover	Handover Time (msec)
332->732	203
732->1332	234
1332->1632	219
1632->1732	93
1732->2332	172

Tabela 14. Medidas de tempos de *handover* 2

Handover	Handover Time (msec)
2332->1732	187
1732->1632	219
1632->1332	109
1332->732	234
732->332	94

O procedimento do *handover* tem lugar quando, no decurso de uma chamada, a estação móvel se desloca de uma célula que serve para a célula vizinha. Desde que os comboios estejam constantemente a mover-se ao longo da ferrovia, os *handovers* ocorrem com frequência. Em

GSM-R, o *handover* é uma operação crítica, devido aos elevados níveis requeridos de disponibilidade da rede e às velocidades elevadas de circulação dos comboios. Isto significa que uma sobreposição suficientemente grande entre a *serving cell* e a célula vizinha deve ser prevista. A área de sobreposição deve ser suficientemente grande de modo a que mesmo os comboios que circulam a uma velocidade elevada tenham tempo suficiente para realizar o *handover*.

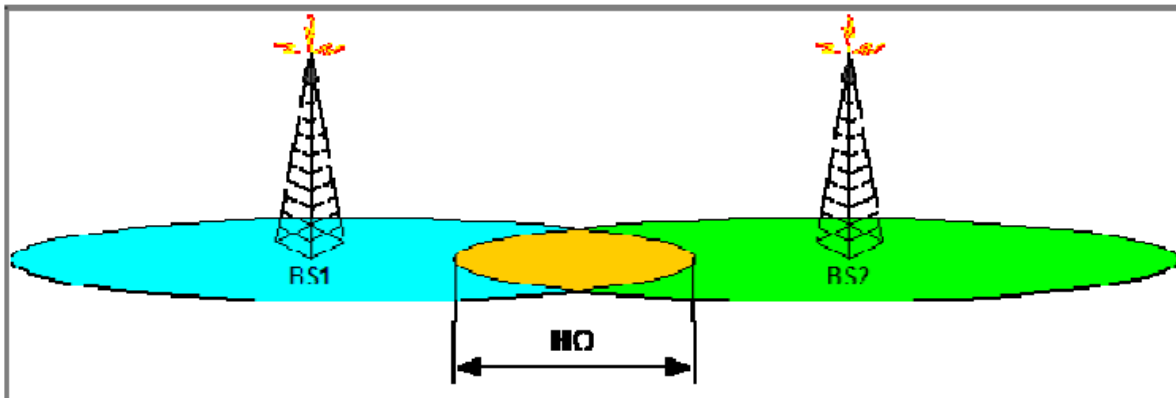


Figura 111. Representação teórica do *Handover* [3]

A rede GSM-R da *Nokia Siemens Networks* define 4 segundos para o tempo máximo de processamento do *handover* (t_{HO}). O tempo total HO ($t_{HO-overall}$) é dado por:

$$t_{HO-overall} = 2 \times t_{HO} = 8s$$

A zona de sobreposição do HO (y), apresentada na Figura 111, é dada por:

$$y = (\text{velocidade máxima do comboio}) \times (t_{HO-overall})$$

$$y = 100 \text{ km/h} \times 8s = 222m \text{ (Distância geral)}$$

$$y = 160 \text{ km/h} \times 8s = 356m \text{ (Distância para a linha do norte)}$$

A máxima distância inter-site pode ser calculada a partir do raio da célula (R) e da zona de sobreposição do HO (y).

Testes de Qualidade do Serviço (QoS):

Os testes QoS foram realizados tendo em conta a arquitetura do sistema apresentado na Figura 112.

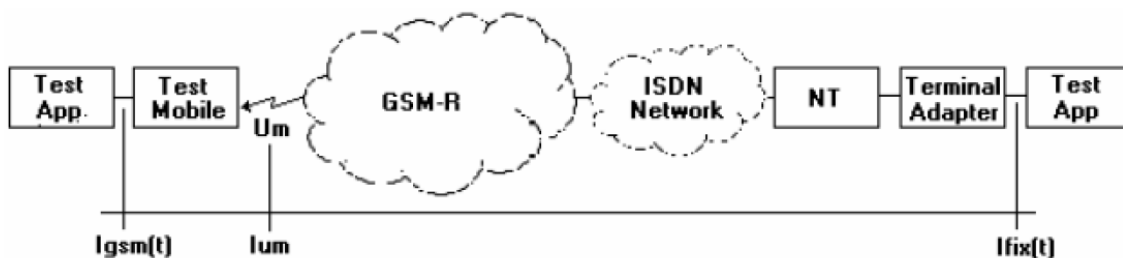


Figura 112. Arquitetura do sistema-Cenário de testes [3]

De acordo com este cenário de testes, foram definidas duas partes diferentes, a parte existente no comboio e a parte fixa.

- **Parte do comboio:** Equipamento de bordo do comboio;
- **Parte fixa:** Trata-se de um simulador de RBC (*Radio Block Centre*) com uma placa ISDN e o primário E1 ligado diretamente ao MSC, para tratamento do SW das chamadas recebidas.

Nesta parte dos testes, foram recolhidas diversas medidas que depois serviram para fazer comparações com os valores teóricos para permitir otimizar a rede.

Resultados dos testes QoS

Nesta parte dos testes, foram realizados os testes de NRD-*Network Registration Delay* (atraso no registo na rede), sendo este o valor do tempo decorrido a partir do pedido de registo até ao registo bem sucedido. O valor do NRD em GSM-R da rede deve ser menor ou igual a 30s (95%) e menor ou igual a 35s (99%). Acima dos 40s de atraso de registo é considerado erro.

Tabela 15. Resultados dos testes NRD [14]

	Results				Results	Test
	Tries	>30 seg	>35 seg	Average (sec)		
Cais do Sodré - Cascais	107	1	1	7.43	<30sec(99.06%); <35sec(99.06%)	Passed
Cascais - Cais do Sodré	107	1	1	7.06	<30sec(99.06%); <35sec(99.06%)	Passed

No gráfico da Figura 113 podemos observar o atraso de registo do *modem* na rede de GSM-R em vários pontos ao longo da via.

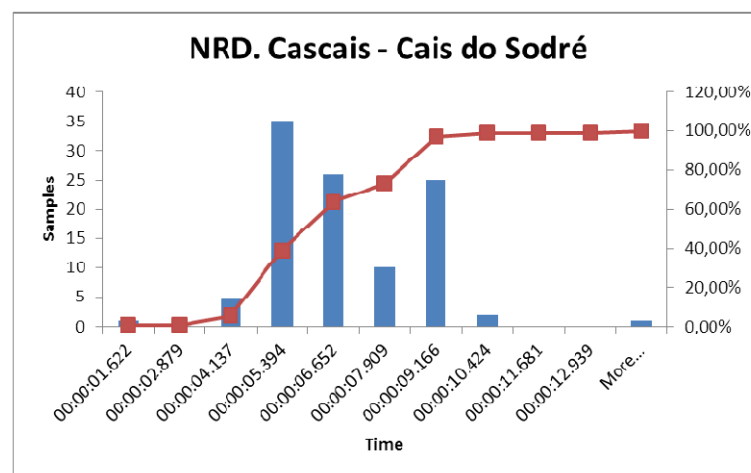


Figura 113. Gráfico de resultados dos testes NRD no sentido Cascais - Cais do Sodré [14]

Foram também realizados os testes de NRD (*Network Registration Delay*) por georreferenciação sendo os seus resultados apresentados na Figura 114 a título de exemplo.

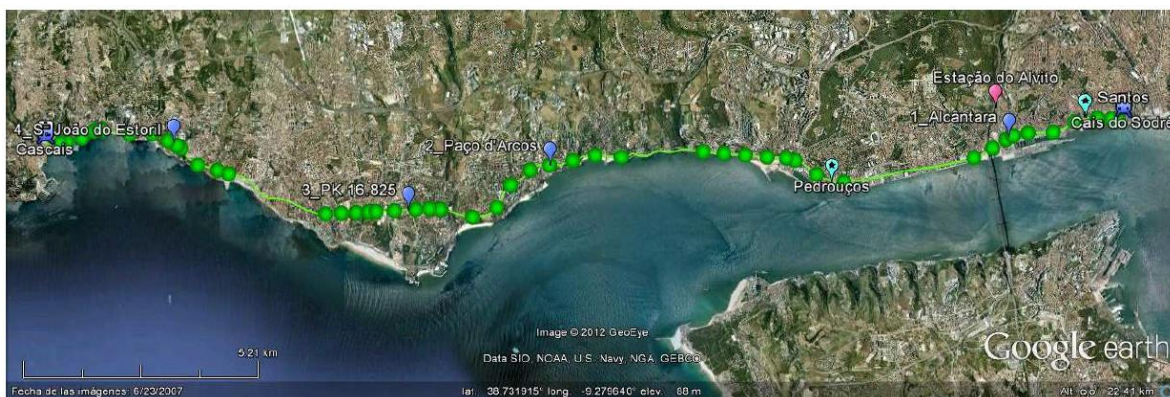


Figura 114. Resultados dos testes NRD por georreferenciação Cais do Sodré-Cascais [14]

Estes testes NRD servem para avaliar o tempo de atraso que o *modem* leva a efetuar o registo na rede de GSM-R.

Testes TD-Transfer Delay

Outros dos testes realizados foi o de TD (Atraso na transmissão) Tabela 16, sendo este o valor do tempo decorrido entre o pedido de transferência de um pacote de dados e a indicação de transferidos com sucesso. O atraso de transferência deve ser menor ou igual a 0.5s (99%).

Tabela 16. Resultados dos testes TD [14]

	Results			
	Tries	>0.5 seg	Average (msec)	Percentage
Cais do Sodré - Cascais	2335	19	445	99.19%
Cascais - Cais do Sodré	1880	21	448	98.88%

Procedeu-se então à otimização das frequências, de forma a que não existissem interferências no sistema GSM-R, tendo depois sido repetidos novamente os testes podendo verificar-se que a anomalia detetada deixou de existir, conforme verificado na Tabela 17.

Tabela 17. Resultados finais dos testes TD [14]

	Results				
	Tries	>0.5 seg	Average (msec)	Percentage	Test
Cais do Sodré - Cascais	2335	19	445	99.19%	Passed
Cascais - Cais do Sodré	1880	10	431	99.47%	Passed

Testes de TI-*Transmission Interference*

Foram também realizados os testes de *Transmission Interference* (TI) na Linha de Cascais. Na Figura 115 podemos observar um exemplo dos registos efetuados.



Figura 115. Testes de transmissão – Perdas de chamadas [14]

Nesta fase foram inicialmente detetados alguns erros que após otimização foram corrigidos conforme se apresenta na Tabela 18, verificando-se assim que os testes estão corretos e também que não existem quaisquer perdas de chamadas (*drop calls*).

Tabela 18. Resultados dos testes TI/CLR sentido Cais do Sodré-Cascais [14]

	Cais do Sodré-Cascais				Requerimentos	Test
	DL Periods	UL Periods	DL (%)	UL (%)		
Error Blocks	5	5			Error Blocks	
< 0,8 sec	5	5	100,00%	100,00%	95%	PASSED
< 1,0 sec	5	5	100,00%	100,00%	99%	PASSED
Error Free Blocks	4	4			Error Free Blocks	
> 7 sec	4	4	100,00%	100,00%	99%	PASSED
> 20 sec	4	4	100,00%	100,00%	95%	PASSED

Testes de GPRS

Foram também realizados diversos testes de dados GPRS (KPI-*Key Performance Indicator*), cujos resultados são apresentados na Tabela 19. Segundo a informação da NSN apresentada no relatório final, os testes de GPRS foram considerados bons, cumprindo com o estabelecido nas normas técnicas.

Tabela 19. Resultados dos testes GPRS no sentido Cais do Sodré-Cascais [14]

Cais do Sodré - Cascais		
KPI group	KPI	Value
GPRS counters	PDP Context Activation request	30
	PDP Context Activation success	30
	GPRS Attach Setup request	31
	GPRS Attach Setup success	30
	RA Update request	1
	RA Update success	1
	Cell reselection	37
GPRS Accessibility	PDP Context Activation success ratio	100%
	GPRS Attach Setup success ratio	96%
GPRS Retainability	RA Update success ratio	100%
GPRS Integrity	PDP Context Activation Avg. delay	666.133 ms
	GPRS Attach Setup Avg. time	2694.57 ms
	RA Update Avg. time	609 ms
	Cell Reselection Avg. time	20864.5 ms
FTP Counters	Upload Success	0
	Upload Fail	0
	Download Success	30
	Download Fail	0

Após a realização dos testes de otimização, a configuração dos repetidores de Pedrouços e Santos ficou conforme indicado na Tabela 20.

Após a realização de todos estes testes de otimização, a NSN considerou que a otimização estava realizada de acordo com os requisitos do caderno de Encargos, tendo assim dado por concluído o processo de otimização da rede GSM-R da Linha de Cascais. A RT procedeu à análise do relatório final da otimização da rede, tendo considerado que a instalação estava em condições de ser colocado em serviço.

Tabela 20. Configuração dos repetidores de Pedrouços e Santos [14]

a) Configuração Pedrouços-Ch1

	Downlink	Uplink	
Gain set to	90	90	dB
Control to	90	90	dB
Used Gain	90	90	dB
Output Power	33	0	dBm
RSSI Max	-55	-108	dBm
RSSI Min	-57	-120	dBm
Time Slots	8	0	

b) Configuração Pedrouços-Ch2

	Downlink	Uplink	
Gain set to	90	90	dB
Control to	90	90	dB
Used Gain	90	90	dB
Output Power	0	0	dBm
RSSI Max	-80	-109	dBm
RSSI Min	-98	-118	dBm
Time Slots	0	0	

c) Configuração do repetidor Santos-Ch1

	Downlink	Uplink	
Gain set to	65	65	dB
Control to	65	65	dB
Used Gain	65	65	dB
Output Power	26	0	dBm
RSSI Max	-38	-92	dBm
RSSI Min	-40	-92	dBm
Time Slots	8	0	

d) Configuração do repetidor Santos-Ch2

	Downlink	Uplink	
Gain set to	65	65	dB
Control to	65	65	dB
Used Gain	65	65	dB
Output Power	0	0	dBm
RSSI Max	-64	-96	dBm
RSSI Min	-88	-96	dBm
Time Slots	2	0	

5.5.2. Otimização realizada após a integração do sistema

Durante a fase de otimização do sistema na Linha de Cascais, foram realizados vários testes pelo Adjudicatário do sistema, a NSN, tendo sido corrigidos os problemas detetados durante os testes e conforme descrito anteriormente nos processos de otimização. Esse trabalho de otimização teve sempre em consideração os testes realizados com recurso à utilização das antenas de exterior instaladas nas unidades motoras. No entanto, verificou-se que ao nível da utilização dos equipamentos móveis portáteis, existiam algumas zonas com deficiência de cobertura o que por vezes implicava na quebra da chamada. Essa situação verifica-se com particular frequência na zona da estação da Parede, onde era frequente a chamada cair. Assim, os técnicos da Refer Telecom procederam à realização de alguns estudos com recurso à ferramenta de simulação de cobertura das antenas e do *Google Earth*, tendo em conta o tipo de antenas que se encontravam instaladas nas torres de S. João e Carcavelos. Foram então realizadas algumas medidas locais para ver o nível do sinal naquela zona na Parede, conforme se pode verificar na Figura 116. Nessa figura pode-se observar que existe uma perda de sinal mesmo na zona da estação da Parede, que pode ser melhorada através da regulação do *tilt* e do azimute das antenas.

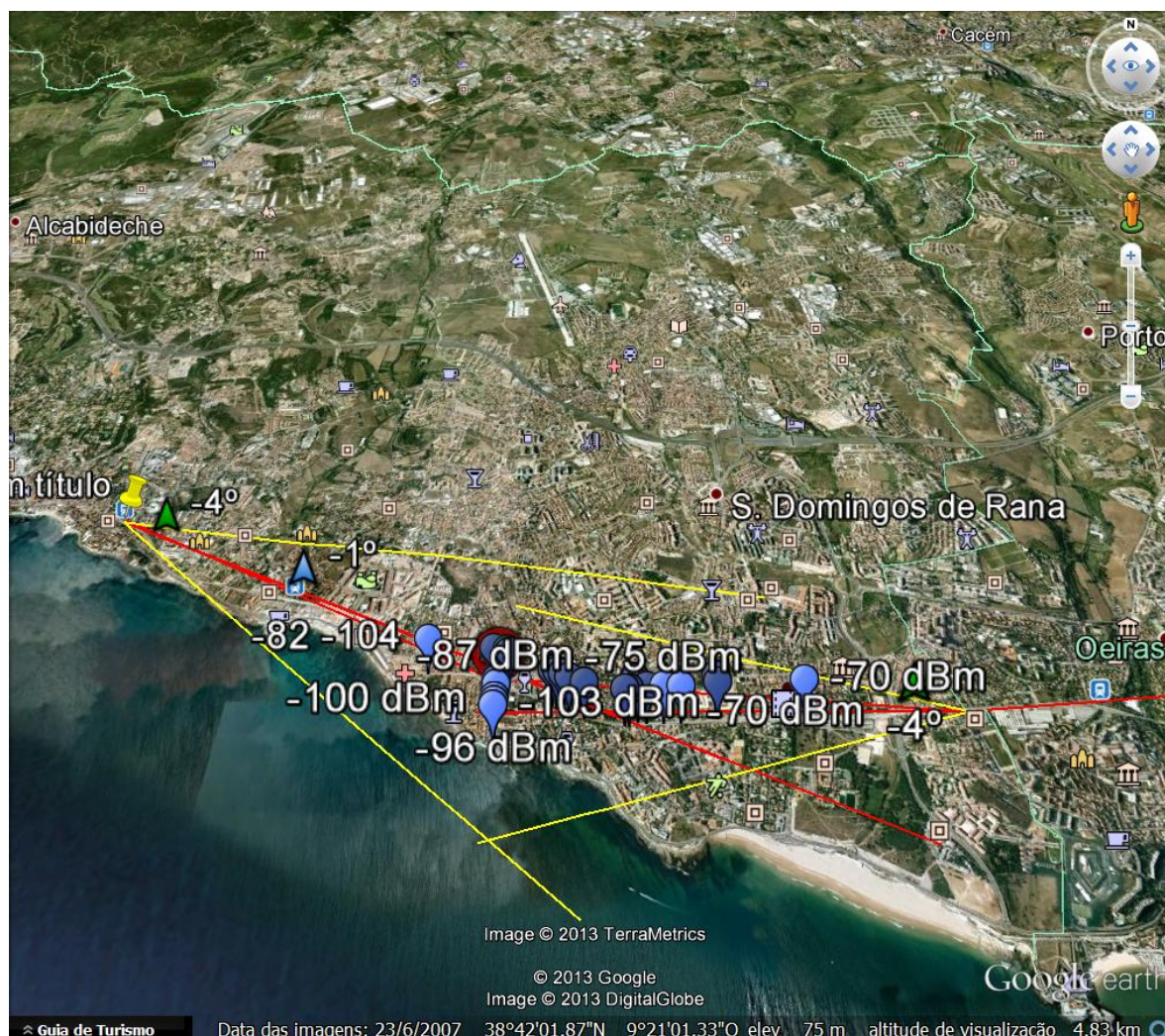


Figura 116. Estudo de otimização dos *tilts* e azimutes entre S. João e Carcavelos

Após a realização dessas leituras, foram então feitas as simulações com recurso à ferramenta de predição de cobertura rádio *Railwave*, que se baseia para os seus cálculos no modelo de propagação de *Okumura-Hata*, a qual utiliza o SW de acordo com a estrutura da Figura 117.

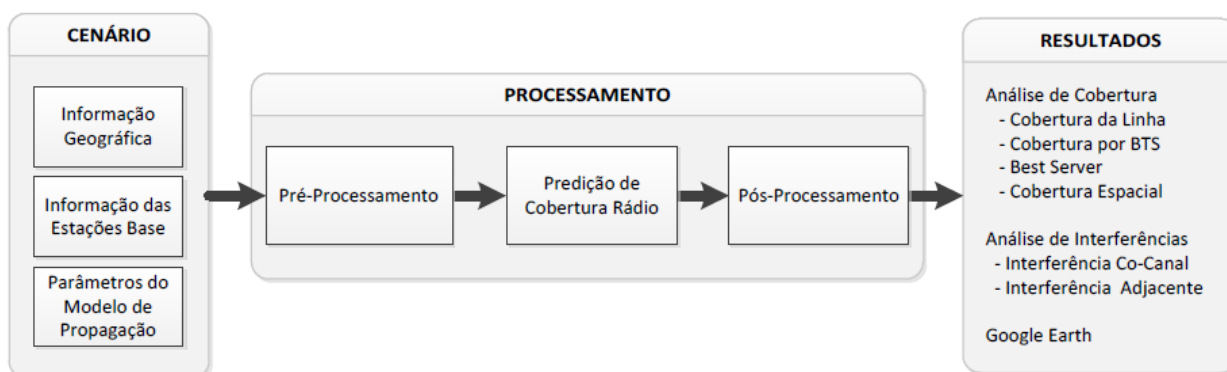


Figura 117. Estrutura da ferramenta de predição de cobertura rádio *Railwave*

Esta ferramenta utiliza para classificação de ambientes, entre outros, os seguintes parâmetros:

- Ondulação do terreno;
- Densidade da vegetação;
- Densidade e altura dos edifícios;
- Existência de áreas abertas;
- Existência de água.

Os dados são então inseridos na ferramenta de simulação, tendo em conta o modelo e as características das antenas, das BTS e repetidores, conforme se pode visualizar na Figura 118.

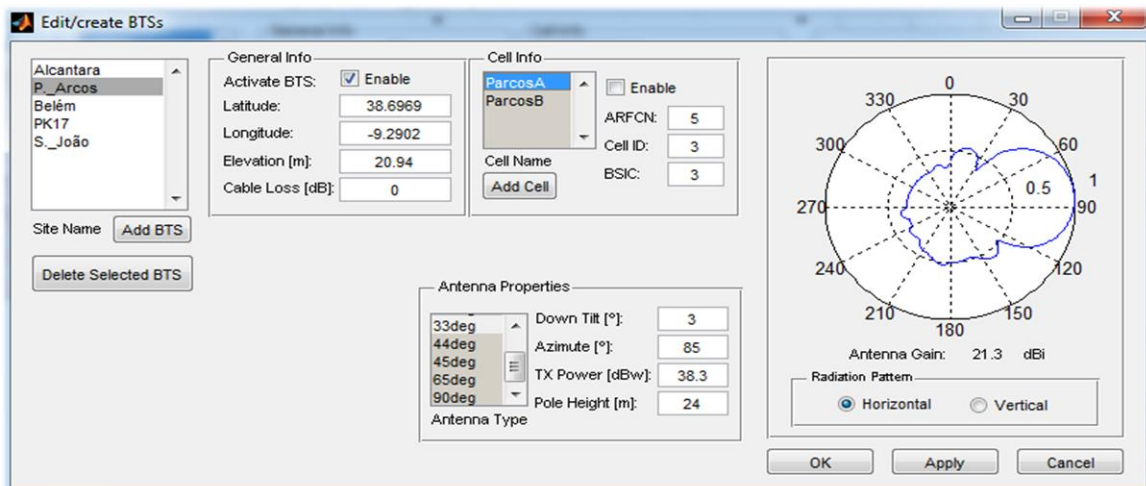


Figura 118. Criação/Edição de dados com a *Railwave*

Após inseridos os dados na ferramenta, podemos obter o valor simulado por local, conforme se pode verificar a título de exemplo na Figura 119

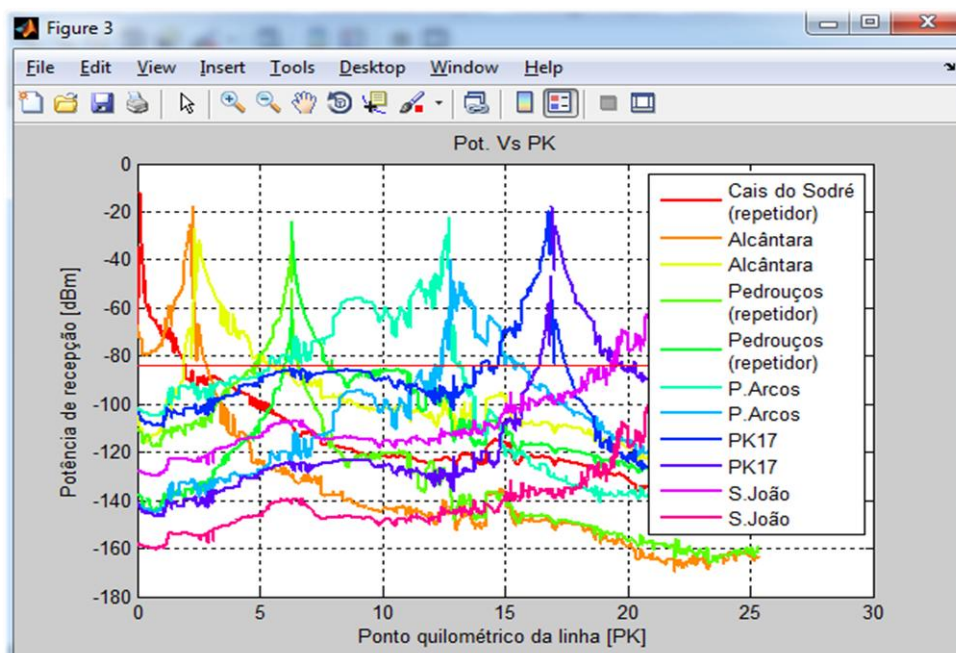


Figura 119. Análise do nível de sinal por BTS (todas as BTS representadas)

Uma vez que o sinal, na zona da Parede (PK19), se encontrava no limite mínimo exigido, procedeu-se então à otimização dos *tilts*.

Após terem sido realizados os cálculos necessários, concluiu-se que o ganho seria máximo se em Carcavelos (PK 16,850) o *tilt* subisse 3°, isto é, passasse de -4° para -1°, e se em S. João subisse 4°, isto é, passasse de -4° para 0°. A Figura 120 representa a solução implementada e a Figura 121 a otimização sugerida.



Figura 120. Solução implementada pela NSN



Figura 121. Otimização sugerida após implementação

Na Figura 122 é apresentado o resultado da simulação dos dois cenários. Nesta figura é possível comparar o nível de sinal obtido em cada um dos casos.

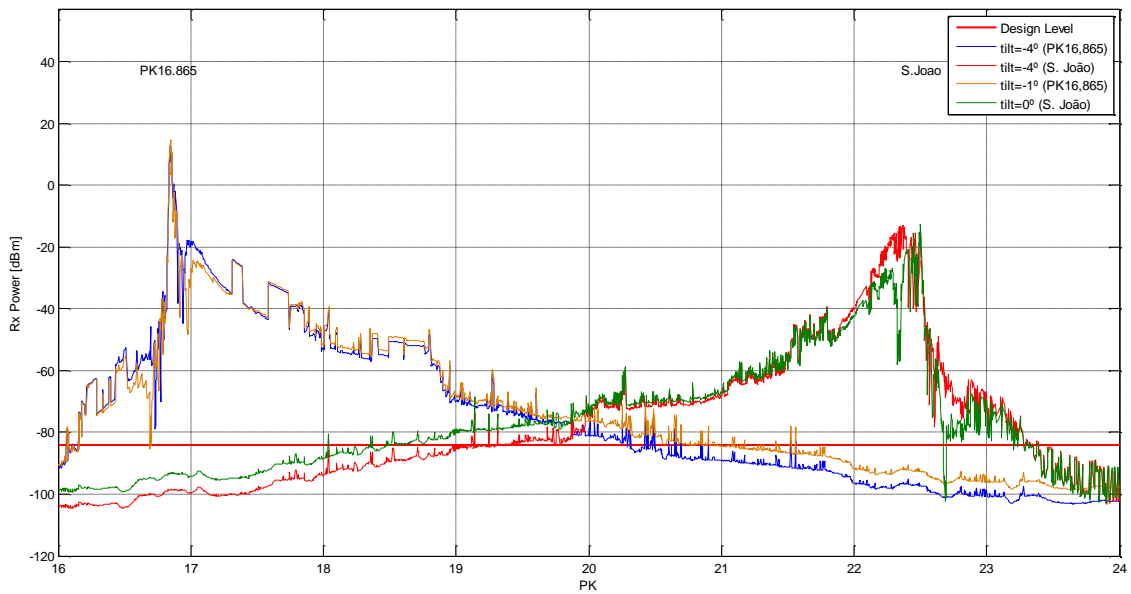


Figura 122. Comparação entre a utilização de *tilts* de -4° e de -1° no PK16,865 e de 0° em S. João

Na Figura 123 é possível comparar os níveis de sinal do *Best Server* dos dois cenários. Desta forma torna-se mais perceptível o ganho resultante da otimização dos *tilts*.

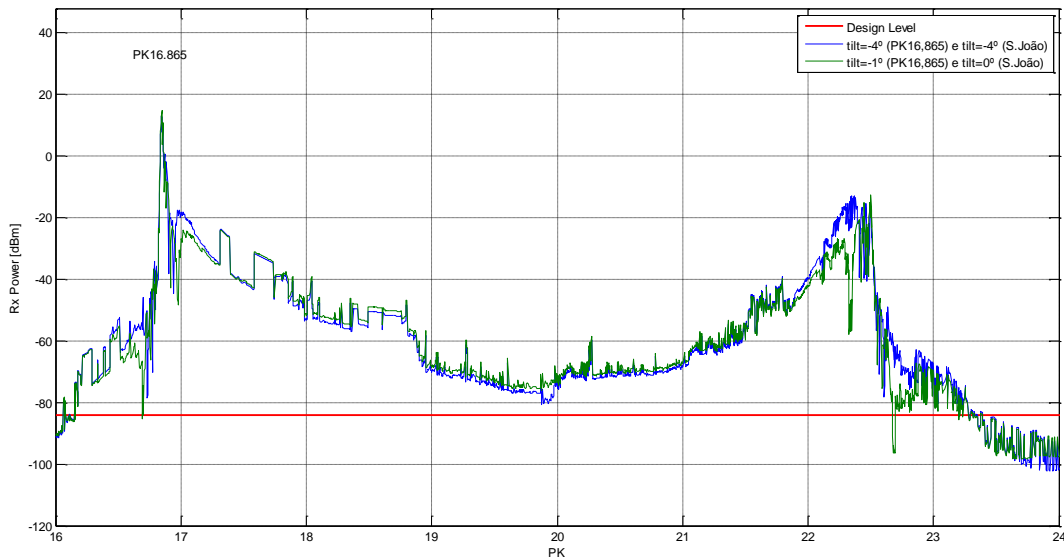


Figura 123. Comparação entre a utilização de *tilts* de -4° e *tilts* de -1° no PK16,865 e de 0° em S. João (*Best Server*)

A Figura 124 é um *zoom* da Figura 123 na zona crítica de cobertura. O ganho é aproximadamente constante em toda a zona crítica, com um valor de aproximadamente 3dB.

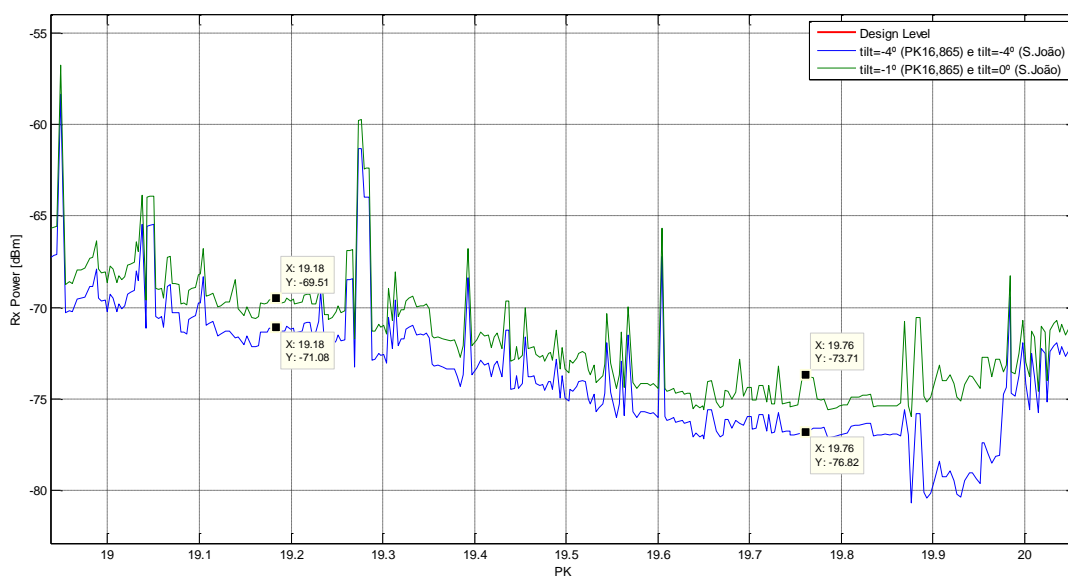


Figura 124. Zoom da Figura 123 no PK19 a PK20

No gráfico da Figura 125 são apresentadas as medidas de *Rx Level* por célula. Estas medidas servem para verificar a cobertura que cada célula e observar onde “cruzam” os níveis de sinal para observar as zonas de *handover*. Também são indicados os locais onde foram efetuados os *handovers* e com que nível de sinal o que ajuda a observar possíveis problemas com os *handovers* (ex: *ping-pongs*, *handovers* não esperados, etc.).

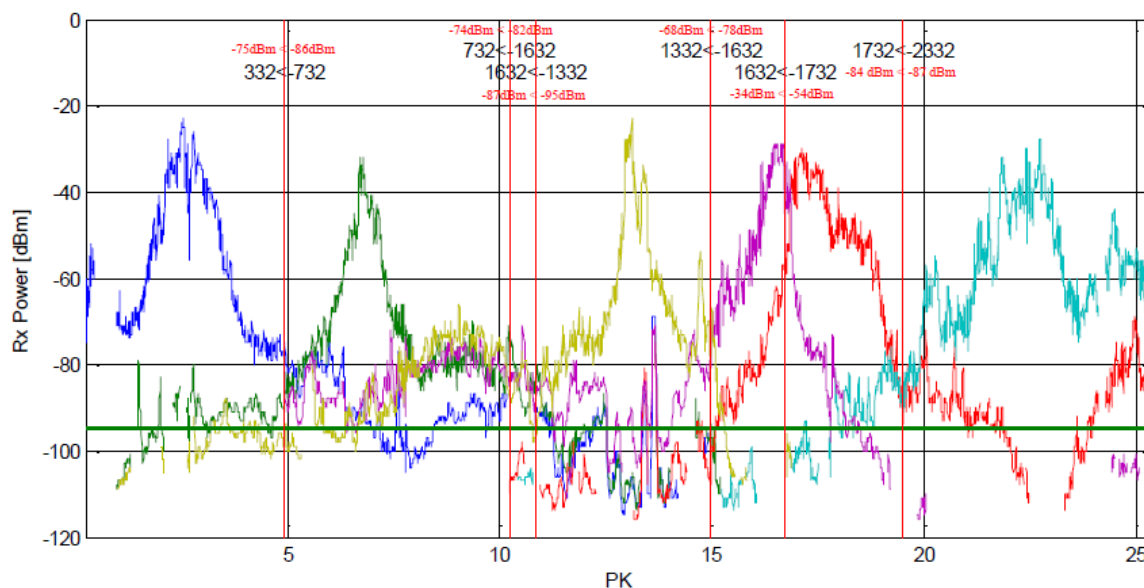


Figura 125. Viagem Cascais – Cais do Sodré (Antena exterior) - Cobertura por frequência.

No gráfico da Figura 126 temos as medidas de *Rx Level* do “*best server*”, ou seja, o melhor nível de sinal existente ao longo da linha. (é o *best off* do gráfico anterior). Serve para ver, por

exemplo, num local onde existam problemas de cobertura para verificar se existe um melhor *RxLevel* e eventuais problemas de *handover* ou não declaração de vizinhança.

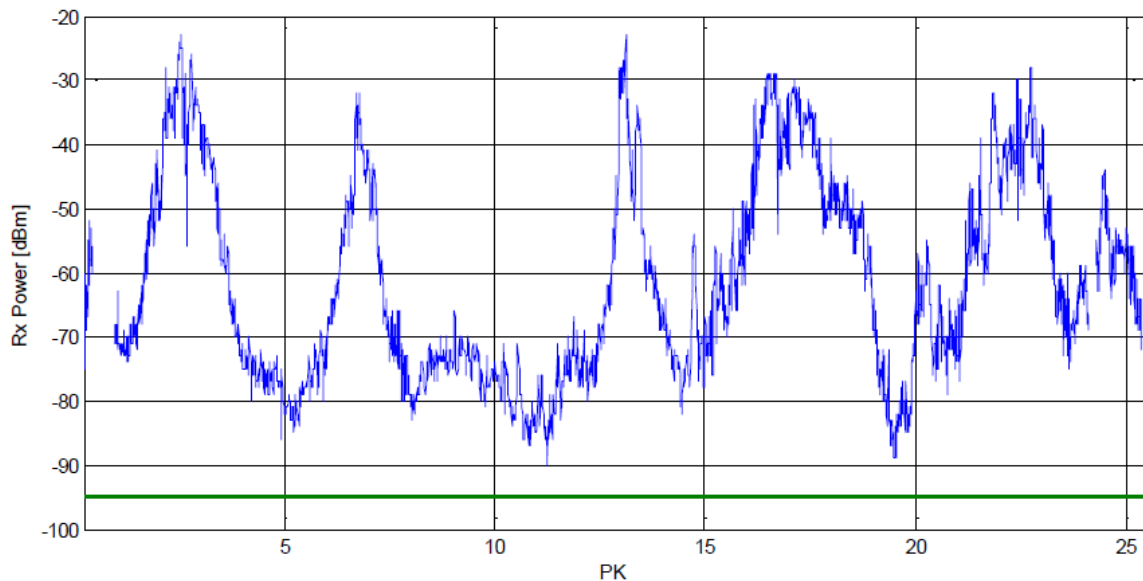


Figura 126. Viagem Cascais – Cais do Sodré (Antena exterior) - *Best Server*

No gráfico da Figura 127 são apresentadas as medidas de *Rx Level* apenas da *-serving cell*, ou seja, o nível de sinal que, na realidade, o móvel teve ao longo da linha. Serve para observar os problemas de cobertura e em conjunto com os outros gráficos possíveis problemas de *handover* ou não declaração de vizinhanças.

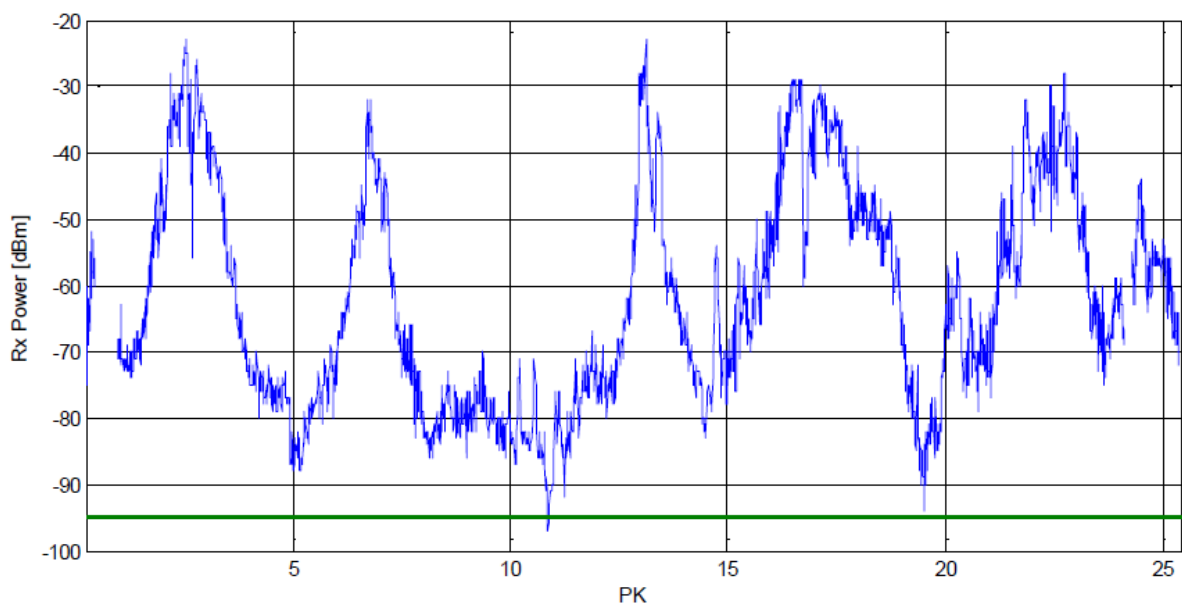


Figura 127. Viagem Cascais – Cais do Sodré (Antena exterior) - *Serving Sell*

O tipo de antena utilizada, em ambos os casos, foi uma antena de 33°, Figura 128, com polarização cruzada e com um ganho de 18,85dBi.

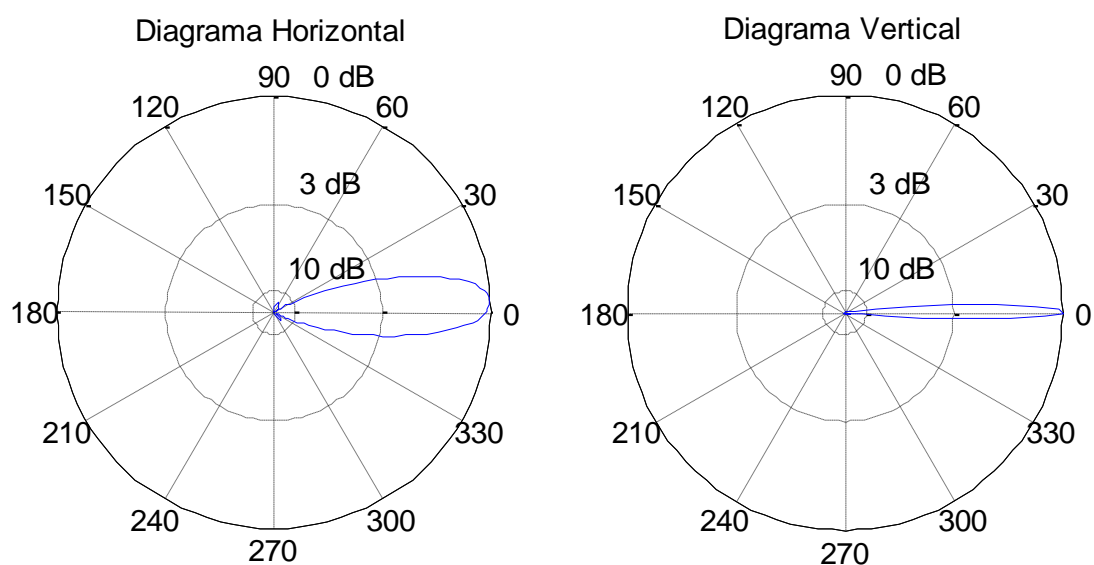


Figura 128. Diagrama de radiação da antena utilizada (representação polar logarítmica) [11]

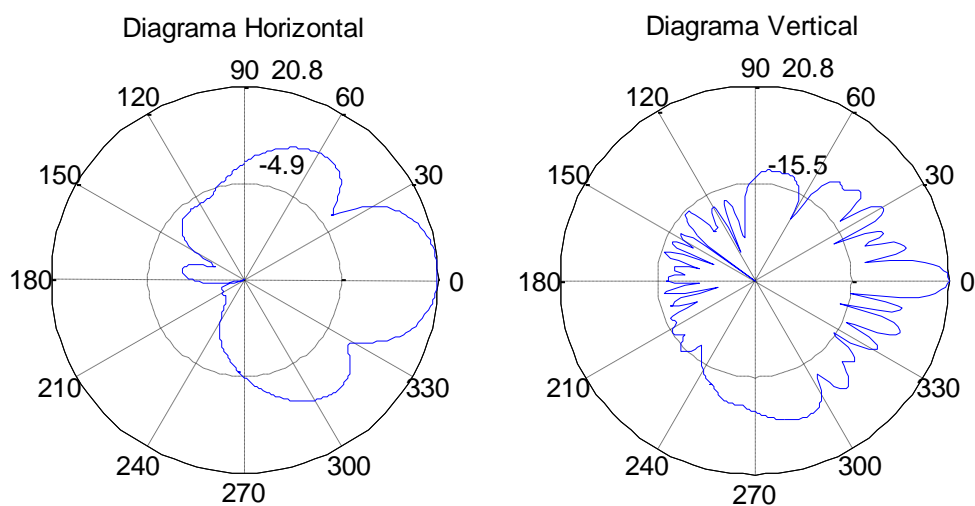


Figura 129. Diagrama de radiação da antena utilizada (representação polar linear) [11]

5.6. Cadastro

Após a conclusão da instalação, os Adjudicatários tem que apresentar as respetivas telas finais/Cadastro da obra executada. Estes elementos são constituídos por diversas peças desenhadas e escritas, assim como elementos técnicos dos fabricantes, que permitem depois ao Dono de Obra dispor dos adequados elementos que permitam conhecer todos os equipamentos instalados, assim como saber da sua localização, para implementar de seguida os respetivos procedimentos de manutenção.

Na Figura 130 e na Figura 131 apresentam-se algumas imagens com exemplos de elementos de cadastro, que fazem parte da documentação apresentada pela NSN.

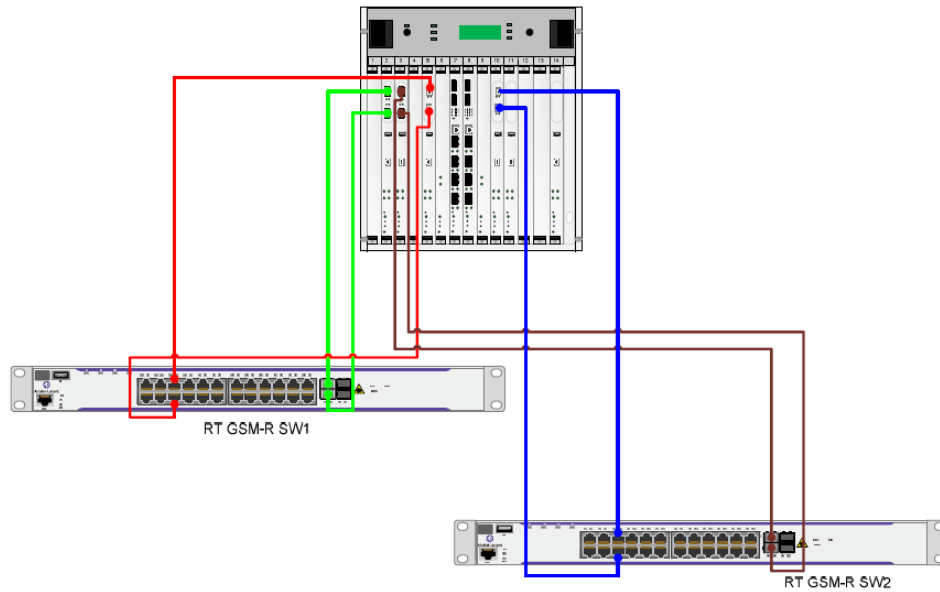


Figura 130. Exemplo de desenho de cadastro de ligações externas do Flexi ISN [3]

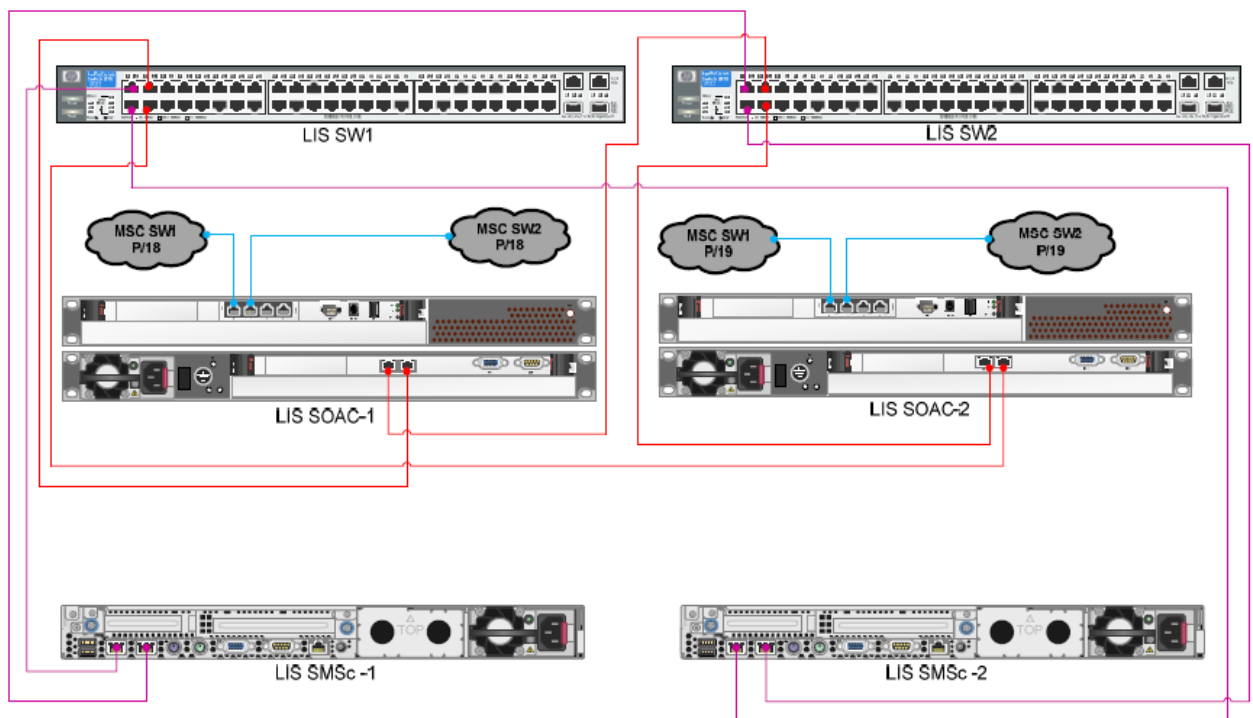


Figura 131. Exemplo de desenho de cadastro de interligações do SMSc [3]

Todo este material de cadastro que é apresentado pelo fornecedor do sistema, é depois verificado para ver se está de acordo com o implementado no terreno, para depois ser distribuído pelas equipas que irão ficar responsáveis pela manutenção destes sistemas, sendo assim uma ferramenta de trabalho muito importante no futuro.

6. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SUBSISTEMA BSS. APLICAÇÃO DO PROGRAMA INFORMÁTICO NETACT OSS 5.3.

Nos capítulos anteriores apresentou-se a parte de instalação da rede GSM-R e da realização dos testes que permitiram otimizar a rede e colocá-la em serviço. Neste capítulo pretende-se descrever as atividades que podem ser realizadas no âmbito da operação e manutenção (O&M) do sistema de rádio com recurso ao programa informático *NetAct*. A ferramenta *NetAct* foi fornecida pela *Nokia Siemens Networks* à Refer Telecom, a qual foi adquirida no âmbito do Projeto-piloto de implementação do sistema GSM-R na Rede Ferroviária Nacional. No âmbito dos trabalhos de estágio, a utilização desta ferramenta ocorreu após a implementação do Subsistema BSS do Projeto-piloto, na sequência das fases de *commissioning* e durante a manutenção *on the job*. Foi uma parte do estágio muito interessante tendo em conta a oportunidade de poder aplicar alguns dos conhecimentos já adquiridos anteriormente, poder assim construir o diagrama da rede atualmente existente e fazer a aplicação das facilidades oferecidas pelo *NetAct* no que respeita à operação e manutenção da rede GSM-R.

6.1. Breve descrição do sistema NetAct

O *NetAct* OSS5.3 é o sistema de gestão de rede da *Nokia Siemens Networks* projetado para fazer a gestão centralizada de múltiplos fornecedores e tecnologias de redes de telecomunicações [3]. As suas funcionalidades incluem, entre outras, as opções:

- i) configuração;
- ii) administração;
- iii) monitorização;
- iv) relatórios.

O *NetAct* foi projetado para melhorar a eficiência operacional dos operadores da rede, através da harmonização e automatização das tarefas de gestão de rede. Essas metas são alcançadas ao conseguir esconder do utilizador a complexidade da rede, fornecendo num único ponto o acesso a todas as tarefas de gestão a todos os elementos da rede. Para além disso, consiste numa interface de gestão simplificada e harmonizada que permite reduzir os custos de integração da administração e manutenção do sistema, aumentar o nível de automação para reduzir os custos operacionais e reduzir o número de erros humanos.

O *NetAct* é uma importante ferramenta de trabalho para a O&M do sistema rádio. O programa, cujo aspeto do ecrã principal se ilustra na Figura 132, possui várias potencialidades para a O&M, entre as quais: i) funcionalidades que permitem o envio de comandos para os diversos equipamentos do sistema de rádio (comandos diretos MML); ii) a visualização de alarmes gerados automaticamente no sistema e iii) a possibilidade de alterar os parâmetros de configuração do sistema.

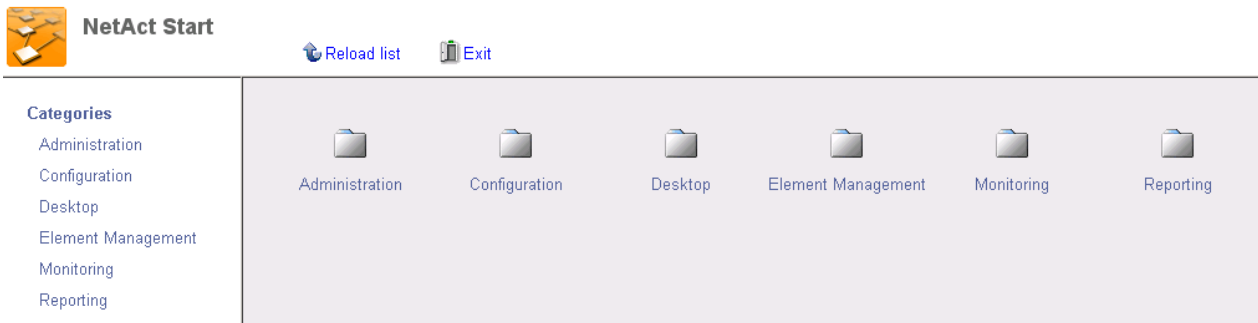


Figura 132. Vista principal da ferramenta de O&M-NetAct

A página inicial do *NetAct* oferece um fácil acesso a todos os seus aplicativos e ferramentas. O utilizador pode navegar nos aplicativos exibidos em forma de lista à esquerda ou na forma de pastas à direita. A pasta de *Administration* fornece acesso a aplicativos para administração do *NetAct*. A pasta de *Configuration* contém aplicações do configurador do *NetAct* e opcionalmente algumas ferramentas de otimização e configuração do *site*. A pasta *Desktop* oferece acesso à documentação eletrónica e algumas aplicações de apoio. A pasta *Element Management* fornece acesso a gestores de elementos para diferentes tipos de elementos de rede. A pasta de *Monitoring* contém os aplicativos de gestão de falhas. A pasta de *Reporting* contém os relatórios, o *Report Builder* e ferramentas de gestão de medição.

As funcionalidades do *NetAct* são desenvolvidas em função das necessidades requeridas pelo sistema e disponibilizadas mediante a aquisição das licenças correspondentes. Os elementos do programa mais utilizados para O&M são os que ficam dentro do *Configuration* e do *Desktop* onde existem vários submenus. Durante esta fase do estágio, utilizaram-se essencialmente os submenus *CM Analyser*, *CM Editor*, *Network Editor* e *Top Level User Interface*, que permitem criar uma rede e visualizar o estado dessa mesma rede.

A Figura 133 ilustra a página inicial, onde se podem observar as categorias disponíveis, sendo que depois dentro de cada uma das categorias existem as várias aplicações.

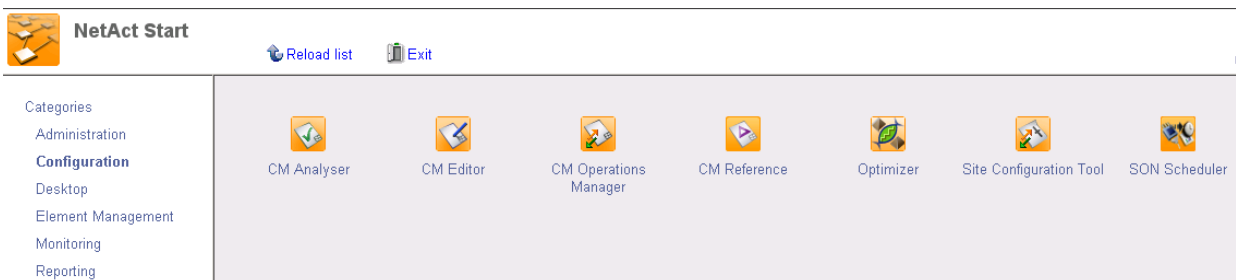


Figura 133. Vista da pasta de *Configuration* da ferramenta NetAct

6.2. Implementação da Rede do Projeto-piloto GSM-R no NectAct

Após uma aprendizagem inicial sobre a operação do *NetAct*, foi possível começar a construir as páginas de visualização da estrutura da rede GSM-R, com recurso à ferramenta *Network*

Editor, a qual permite criar páginas de visualização e monitorização dos diversos equipamentos que fazem parte da rede, conforme se pode visualizar na Figura 134.



Figura 134. Vista da pasta *Desktop* da ferramenta *NetAct*

Recorrendo assim à aplicação *Network Editor* foram introduzidas na rede a BSC do CCO, as quatro BCF's da Linha de Cascais, as três BCF's da Linha do Norte e a BCF da Linha do Sul. Após criar a rede, recorre-se à utilização da aplicação *Top Level User Interface*, onde se pode visualizar a rede criada em permanente atualização, com a informação real e atual do estado da rede, conforme Figura 135.

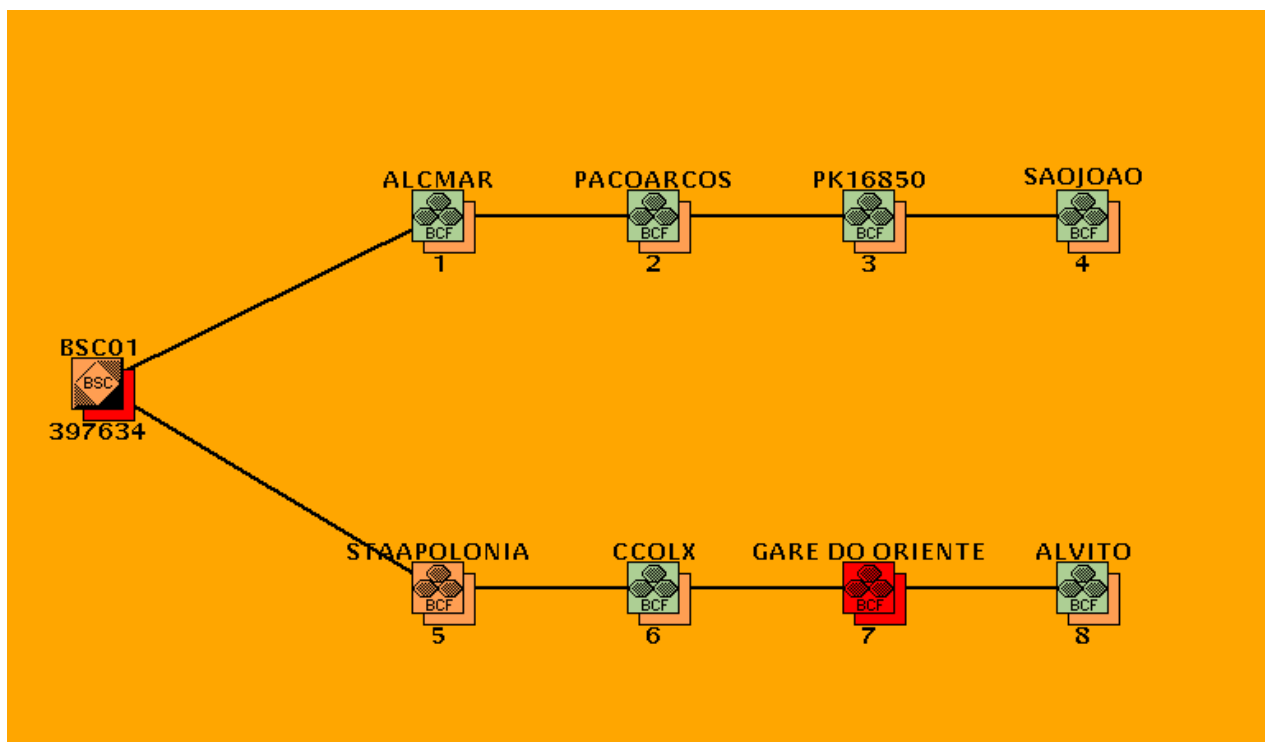


Figura 135. Rede GSM-R – Diagrama de rede com a BSC1 e as BTS

Se as imagens estiverem a verde, significa que não existem problemas na rede, se estiverem a amarelo, laranja ou vermelho, significa que existem problemas na rede, cuja prioridade é identificada pelo código de cores consoante o nível de gravidade do problema.

Após a criação da primeira página onde se podem visualizar todas as BCF/BTS instaladas, foram criadas novas páginas com a estrutura de todos os equipamentos que fazem parte da rede, conforme se pode visualizar nas Figura 136 e Figura 137.

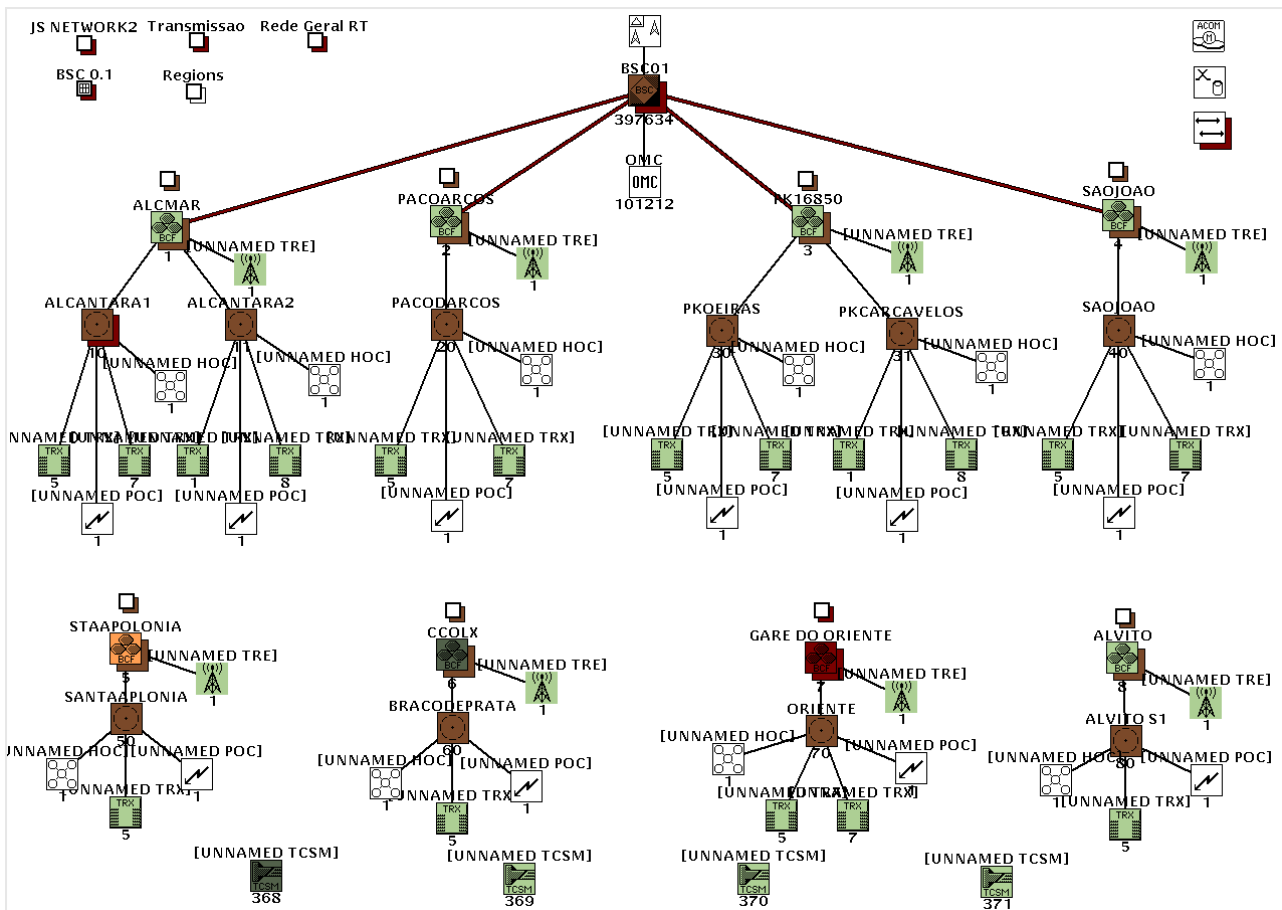


Figura 136. Rede GSM-R – Diagrama geral da rede

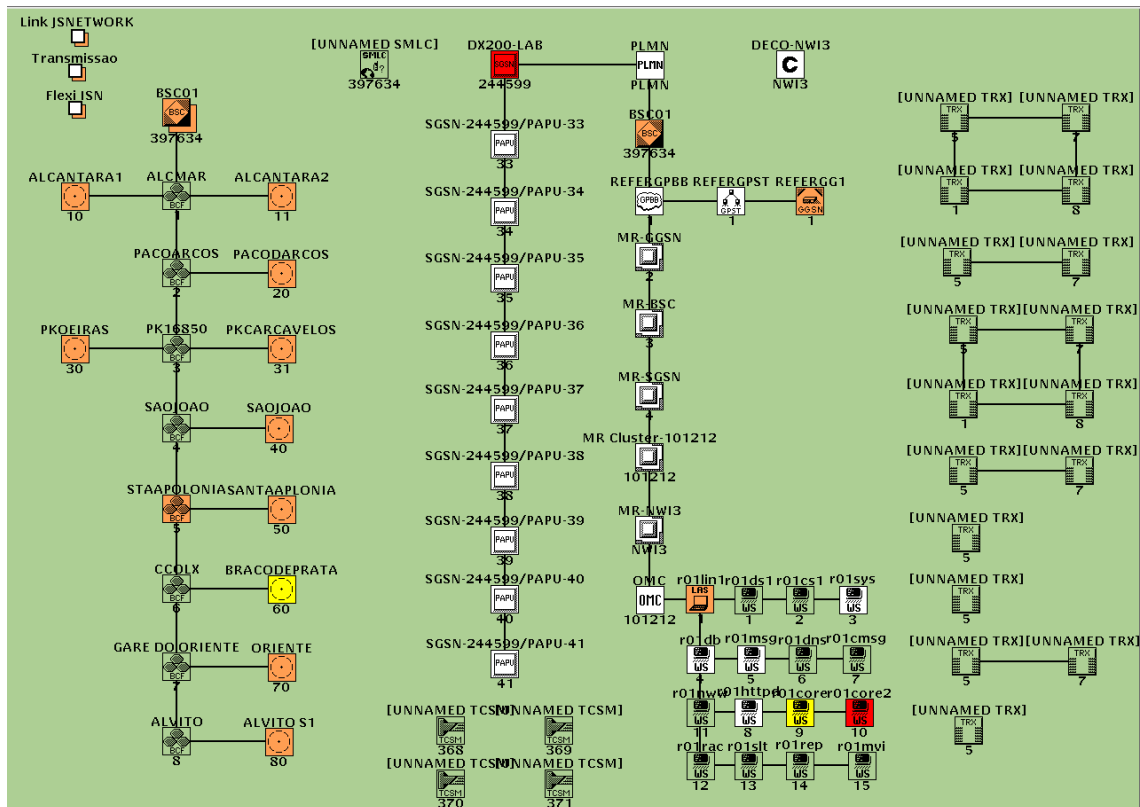


Figura 137. Rede GSM-R – Diagrama de objetos da rede

Estas páginas dão uma informação visual imediata do estado da rede, ou seja, se a mesma está a funcionar corretamente ou se existem problemas (alarmes), que podem depois ser visualizados acedendo diretamente ao próprio equipamento.

A partir da BSC são criadas em topologia em árvore, as ramificações para os restantes elementos e subelementos da rede, tais como por exemplo todos os TRx's, os links de transmissão, os pontos de interface, etc..

6.3. Gestão dos alarmes da rede do GSM-R através do NetAct

A gestão de falhas/alarmes é uma das principais funções da gestão da rede. O objetivo da gestão de falhas é detetar, isolar e corrigir falhas numa rede. A gestão de falhas do NetAct consiste em:

- Recolha do evento;
- Processamento de eventos;
- Monitorização de eventos;
- Evento de pós-processamento;
- Encaminhamento do evento;
- Falha na gestão da administração da rede.

O NetAct OSS 5.3 oferece funcionalidades de gestão de falhas com ferramentas de monitorização versáteis que podem ser encontrados nas categorias de *Desktop* e *Monitoring*

do *NetAct*. Os pontos de vista disponíveis e permissões de edição de regras diferentes dependem dos direitos de utilização pré-definidos. Na Figura 138 pode-se observar um exemplo da página de monitorização de alarmes, através da visualização do estado dos alarmes atuais. Os alarmes podem ser críticos (vermelho), pouco críticos (laranja) ou não críticos (amarelo).

Alarm ID	Location	Severity	Description	Timestamp
397634	BSC01	Critical	MEASUREMENT DATA HAS NOT ARRIVED FROM TH	2013-04-15 11:38:01
60	BRACODEPRATA	Warning	BTS WITH NO TRANSACTIONS	2013-04-15 10:00:02
11	ALCANTARA2	Warning	TRX OPERATION DEGRADED	2013-04-13 06:58:41
70	ORIENTE	Warning	BTS WITH NO TRANSACTIONS	2013-04-12 14:00:02
50	SANTAAPLONIA	Warning	BTS WITH NO TRANSACTIONS	2013-04-11 16:00:02
60	BRACODEPRATA	Warning	WORKING SDCCH CHANNEL RATIO BELOW THRESH	2013-04-12 15:58:43
SWU	BSC01	Warning	LAN DEVICE GENERAL FAILURE	2013-01-25 11:55:52
SWU	BSC01	Warning	LAN DEVICE GENERAL FAILURE	2013-01-24 11:12:10
SWU	BSC01	Warning	LAN DEVICE GENERAL FAILURE	2012-12-19 23:38:48
SWU	BSC01	Warning	LAN DEVICE GENERAL FAILURE	2012-12-19 21:11:17

Active: 31 [*** 0 / ** 25 / * 6] Last Hour: 1 [*** 0 / ** 1 / * 0] Last Day: 2 [*** 0 / ** 2 / * 0]

Ready.

Figura 138. Rede GSM-R – Alarmes ativos na rede

Quando ocorre um alarme na rede, um evento de alarme é criado. O mecanismo de recolha do alarme processa os eventos antes de armazená-los numa base de dados. Quando se utiliza o modo de manutenção, o conjunto de alarmes que são causados pela realização das tarefas de manutenção na rede, pode ser interrompido temporariamente, de forma a reduzir a carga na base de dados do utilizador.

O *Alarm Monitor* oferece uma visão instantânea dos alarmes ativos atuais, e também é uma ferramenta para posterior resolução de problemas. Cada uma das linhas representa um alarme recebido pelo mecanismo de recolha de alarme. A aparência da tabela pode ser ajustada de acordo com as necessidades do utilizador. Desta forma, todas as informações relevantes de uma tarefa contínua são mostradas.

Com o *Alarm Monitor* o utilizador pode, por exemplo:

- Reconhecer ou cancelar alarmes;
- Iniciar o *Element Manager* para controlar o elemento de rede;

- Ver mais detalhes sobre o alarme com a função de *Zoom Alarm* ou exibir instruções mais detalhadas no *Alarm Manual*;
- Separar os alarmes por tempo de alarme ou tempo de inserção;
- Ajustar o intervalo de atualização dos alarmes.

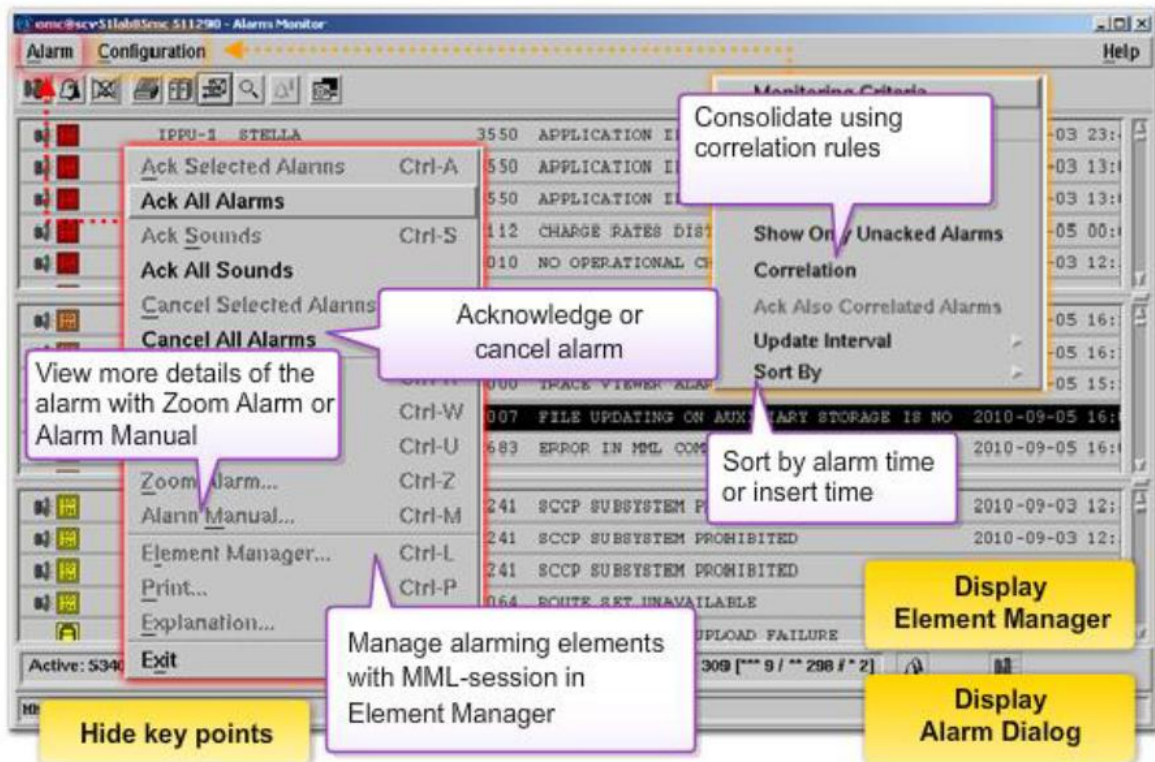


Figura 139. NetAct – Gestão dos alarmes [3]

6.4. Operação e Manutenção com NetAct

O *CM Editor* é uma ferramenta para criar e editar planos de configuração e modelos de plano e ver a configuração da rede atual. Fornece uma interface de utilizador conveniente para a manipulação dos objetos criados e para a adição dos seus parâmetros. Através da utilização do “*CM Editor*”, Figura 140, é possível: *i*) ver a configuração atual da rede; *ii*) visualizar os objetos nos planos; *iii*) gerir os planos da rede; *iv*) criar, modificar e apagar objetos; *v*) criar vistas; *vi*) fazer a operação e manutenção (O&M) dos equipamentos.

Na vista principal do *CM Editor*, são exibidos do lado esquerdo os modelos, planos abertos, a configuração atual, os *sites*, as regiões de manutenção e editor de vista.

Ao abrir o *Actual Configuration*, é possível procurar objetos criados e visualizar os seus parâmetros numa árvore estruturada. Ao selecionar um objeto criado a partir da árvore, é exibida uma lista de parâmetros e os seus valores. A descrição dos parâmetros é mostrada quando um parâmetro é selecionado a partir da lista.

Quando se faz o “modificar”, é possível fazer alterações como se estivéssemos a utilizar diretamente os comandos MML, ou seja, é possível bloquear/desbloquear BTS ou os TRX, aumentar/diminuir a potência associada às antenas, acrescentar BTS ou retirar, etc..

The screenshot displays the NetAct CM Editor interface. On the left, a tree view shows the network hierarchy under 'Actual Configuration' > 'PLMN-PLMN' > 'BSC-397634 BSC01' > 'BCF-3 PK16850'. The right pane, titled 'Parameters by Actual Managed Object', shows a table of parameters for the selected object.

Managed Object DN	Name	Template	Site ID
PLMN-PLMN/BSC-397634/BCF-3	PK16850		PK16850

Modify Actual Value(s)

Parameter	Actual Value
2G Flexi Abis over IP/Ethernet Usage	
2G Flexi Additional 2E1/T1 IF	
2G Flexi TRS Loop Protection Usage	
2G Flexi Abis Trs Grooming Usage	
Address	
Administrative State	1 - Unlocked
Autoconfigure	0 - BCF is not created (N)
Automatic Unlock Allowed	
BCCH TRX Shutdown Timer (min)	0
BTS Battery Backup Procedure	0 - All Alive
BTS Site Subtype	0 - Mainline (M)
Clock Source	
External Alarm Definition	
External Outputs	
External Synchronization Source	
Identification Of Test Equipment	
LAPD Link Name	00003
LAPD Link Number	19
Latitude	N 0° 0' 0.0"
Longitude	E 0° 0' 0.0"
Master Clock BCF Identification	
Master Clock TRX	
Name	PK16850
Notification Origin	
Output Definition	
PCM Port ID 0	377
PCM Port ID 1	65535 - PCM port is not used
PCM Port ID 2	65535 - PCM port is not used
PCM Port ID 3	65535 - PCM port is not used
PCM Port ID 4	65535 - PCM port is not used
PCM Port ID 5	65535 - PCM port is not used
PCM Port ID 6	65535 - PCM port is not used
PCM Port ID 7	65535 - PCM port is not used
RX Difference Limit (dB)	10
Site template description	
Site template name	
Site Type	7 - BTSplus
Slave BCF List	
Sync Mode	
Synch Enabled	
Synch Status	
TRX Shutdown Timer (min)	0
TRX Shutdown Timer 2 (min)	
TRX Shutdown Timer 3 (min)	

Figura 140. Rede GSM-R – CM Editor do NetAct

Por exemplo pode-se recorrer aos comandos MML e verificar o estado da rede, conforme o exemplo da Figura 141, onde fazendo o comando “ZEEI” se verifica o atual estado de funcionamento das BTS. Nesta imagem pode-se observar que todas as BTS e TRX estão em funcionamento, visto que estão em “WO” (*Working*). Podemos também ver a frequência que cada um dos TRX tem associada, o número da ET e outras informações importantes para quem faz O&M da rede rádio.

Após a edição, o plano pode ser analisado com *CM Analyzer* e enviado para a rede através do *CM Operations Manager*. O *CM Analyzer* é uma ferramenta para verificar a consistência de um plano ou de uma determinada configuração, sendo particularmente útil para analisar novos ou atualizados planos antes de os enviar para a rede.

O *CM Operations Manager* é uma ferramenta para a gestão de todas as diferentes operações de gestão e configuração da rede, tais como o provisionamento de plano, *uploads* de configuração, fluxos de trabalho e de importação e exportação de planos e configurações suportadas pela ferramenta *NetAct*.

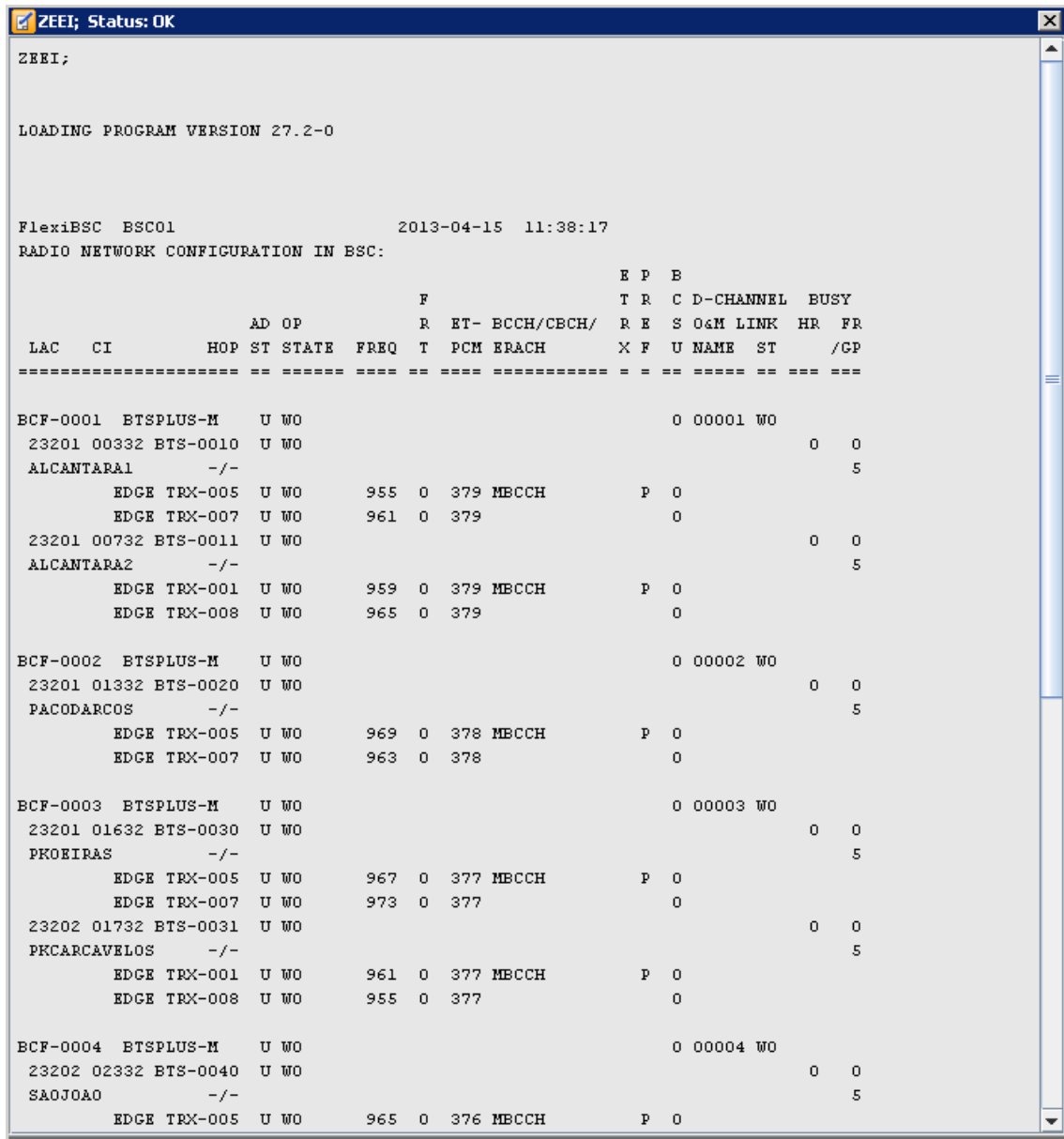


Figura 141. Rede GSM-R – CM Editor – Comando ZEEI

Na Figura 142 podemos observar a fase de operação e manutenção realizada com recurso à ferramenta da NSN, o *NecAct*, durante o estágio. Esta ferramenta tem ainda muitas outras potencialidades, mas que devido ao tempo disponível neste estágio não foi possível continuar a explorar.



Figura 142. Realização de tarefas O&M com a ferramenta *NetAct* durante o estágio

7. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Encontrando-se concluído o estágio realizado na Refer Telecom, que se desenvolveu no acompanhamento e na participação na instalação e otimização do Projeto-piloto do sistema GSM-R, importa agora fazer o balanço final dos conhecimentos e experiência adquiridos durante o estágio, e do quanto foi importante para o desenvolvimento profissional do estagiário, apresentando-se de seguida as considerações finais e algumas sugestões para o futuro.

7.1. Considerações finais

A realização destes oito meses de estágio na Refer Telecom foram um passo muito importante para o entendimento do que se pretende vir a ser o futuro dos sistemas de comunicações ferroviárias em Portugal. A realização deste Projeto-piloto de GSM-R na RFN é um marco histórico na evolução das comunicações móveis ferroviárias, e no modo de exploração da circulação ferroviária. Tecnicamente, este novo sistema GSM-R é um sistema muito evoluído e sólido, com muitas e novas funcionalidades que aplicadas à ferrovia dão garantias de uma evolução natural e de acordo com as atuais exigências do sector ferroviário, em estreito cumprimento das normas europeias deste sector. Trata-se assim de um sistema muito exigente em termos de funcionalidades, com índices de fiabilidade e de qualidade muito elevados, pois devem ser o garante da circulação ferroviária.

Durante o estágio, foi possível participar em diversas fases do projeto, desde a fase de lançamento dos concursos à análise das propostas, até à fase de implementação e finalmente à realização dos testes de aceitação dos sistemas. Foi ainda possível fazer operação e manutenção da rede, com diversas tarefas de otimização da rede e utilização de novas ferramentas de trabalho que estavam disponíveis neste novo sistema.

Durante este estágio, para além do estudo dos aspetos científicos e tecnológicos associados ao GSM-R, à sua implementação, foi possível estudar as características fundamentais dos novos sistemas de sinalização e telecomunicações (ETCS e GSM-R) a instalar na Rede Ferroviária Nacional e na Rede Europeia, tendo em conta os objetivos de melhorar a sustentabilidade dos Caminhos-de-Ferro. Pode-se afirmar que o impacto destas novas tecnologias é muito significativo, uma vez que a sua implementação permite aumentar a segurança da circulação ferroviária, aumentar a capacidade das linhas, reduzir significativamente o consumo de energia, consequência direta da redução da quantidade de equipamentos instalados e da sua eficácia e da utilização de novas tecnologias. A eficácia do funcionamento destes novos sistemas de sinalização e telecomunicações permitirá assim colocar mais comboios a circular, reduzindo o tempo de espera da informação da localização dos comboios, e torna-os interoperáveis, ou seja, de mais fácil circulação entre países e mais seguros. A utilização do GSM-R permitirá também melhorar a qualidade do serviço prestado aos utilizadores da ferrovia, quer ao nível de operadores ferroviários que mesmo ao nível dos serviços prestados aos passageiros.

Considera-se assim que este estágio foi uma mais-valia muito importante pois permitiu trabalhar com profissionais muito experientes na área das comunicações móveis ferroviárias, tendo sido possível por em prática os conhecimentos que foram sendo adquiridos quer na componente teórica quer na prática.

7.2. Sugestões para futuros desenvolvimentos

O sistema GSM-R encontra-se assim na fase inicial da sua implementação em Portugal, prevendo-se que em breve se possa dar início à fase seguinte, de forma a apetrechar a ferrovia portuguesa com novos sistemas de comunicações móveis baseado nas novas tecnologias e também dar resposta às normativas europeias para este sector. Nesta altura a Linha de Cascais está devidamente apetrechada com o sistema GSM-R instalado na totalidade da linha e em condições de ser colocado em exploração. Espera-se assim que num futuro próximo os conhecimentos adquiridos no decorrer deste estágio possam vir a ser aplicados na participação do estagiário no desenvolvimento da nova rede móvel GSM-R durante as próximas fases da sua implementação, que se prevê vir a ser implementada nas principais linhas ferroviárias.

A Rede Ferroviária Nacional é constituída por aproximadamente 2800 km de via, 1117 km constituem a rede principal, 940 km é a rede complementar e 737 km de rede secundária ou regional. Na Figura 143 apresenta-se o mapa ferroviário nacional.

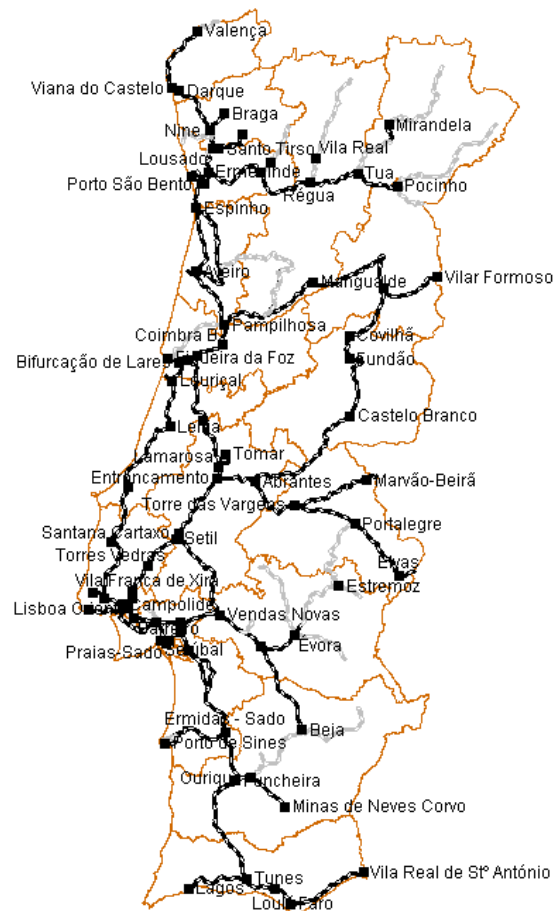


Figura 143. Mapa ferroviário de Portugal

Quanto aos desenvolvimentos internacionais, a UIC está já a desenvolver o conceito de “*Next Generation EIRENE System*”, que substituirá o atual sistema GSM-R. Foi elaborado um primeiro relatório positivo para a utilização de LTE enquanto suporte das futuras comunicações ferroviárias. Por este motivo, dependendo de quando os organismos de normalização concluírem as especificações do LTE, haverá uma coexistência do GSM-R com o LTE, o que determinará a migração de um para o outro, bem como a adoção definitiva deste último [3].

Atualmente, o tema em consideração é a determinação da banda de operação para o LTE em caminhos-de-ferro. Está em discussão se a banda de frequência será a mesma que no GSM-R, partilhada ou dividida para ambas as tecnologias, ou se haverá necessidade de procurar uma nova banda destinada à LTE.

Uma vez que já foram dados os primeiros passos nesta matéria, estima-se que o novo modelo de GSM-R poderá estar operacional por volta de 2025, compromisso este apresentado pelo IG (*Industry Group*) tendo em conta a previsível disponibilidade da tecnologia LTE a partir de 2017/2018. Com base nas exigências das empresas ferroviárias de investir na tecnologia mais atualizada possível, quando estiver disponível a nova tecnologia, dar-se-á início à migração, uma vez que algumas empresas ferroviárias já demonstraram interesse nas novas funcionalidades que esta pode fornecer no funcionamento das redes.

Relativamente a esta nova tecnologia, a abordagem prevista é a de que, dentro de 5 ou 6 anos, sejam fixadas as especificações e se disponha dos equipamentos com os quais realizar os primeiros ensaios no contexto ferroviário.

Até ao momento da implementação definitiva do LTE para caminhos-de-ferro, continuar-se-á a desenvolver o *software* de GSM-R a fim de recolher as novas funcionalidades e exigências das especificações do EIRENE.

Na Figura 144 podemos observar a evolução seguida pelos operadores públicos, bem como a prevista para o setor ferroviário de GSM-R. Note-se, por exemplo, que a 3G (com UMTS, HPA...) não será implementada para a ferrovia. Contudo, é muito provável que o LTE seja adotado enquanto evolução “natural” do atual sistema GSM-R. Foram entretanto já dados os primeiros passos e a UIC elaborou um primeiro relatório sobre este assunto. Além disso, este sistema será adotado, tal como sucedeu anteriormente com o GSM, quando o LTE for considerado uma tecnologia suficientemente desenvolvida para garantir a sua perfeita segurança e adequação neste contexto.

O LTE para empresas públicas está a começar a ser implementado nas primeiras redes, assim como também em contexto ferroviário, uma vez que os organismos de normalização e verificação já começaram a trabalhar nesta matéria, tal como foi referido anteriormente. Depois de as especificações serem fixadas e incorporadas nas normas, dar-se-á início ao desenvolvimento da tecnologia, que será posta em prática em 2018, para que, logo por volta de 2018-2020, se comecem a realizar provas piloto e de interoperabilidade que garantam a melhor operacionalidade possível e uma total interoperabilidade. Este intervalo de tempo é considerado necessário para garantir a maturidade e estabilidade da tecnologia, de modo a que seja posteriormente adotada com todas as garantias no contexto ferroviário.



Figura 144. Rede GSM-R – Próximos desenvolvimentos dos sistemas [3]

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Santos, A.; Soares, A.; Redondo F. e Carvalho, N. (2005). *Tracking Trains via Radio Frequency Systems*. IEEE - Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 6, no. 2, June 2005.
- [2] GSM-R Industry Group (2011). *GSM-R-The only approved world telecom standard for railways*. Apresentação do GSM-R Industry Group. <http://www.gsm-rail.com/drupal/technology> (Acedido em Junho 2013).
- [3] Nokia Siemens Networks (2012). *Manuais de formação e documentação técnica sobre implementação do Projeto-piloto GSM-R*. Refer Telecom, Lisboa.
- [4] CEC (2011). *Documentação de projeto das infraestruturas do GSM-R*. CEC-Comunicações e Computadores, Refer Telecom, Lisboa.
- [5] Neves, J. (2011). *Telecomunicações Ferroviárias. Como, porquê e para quê?*. Edição Leya, SA. Refer Telecom, Lisboa.
- [6] ISEL (2009). *Metodologia para planeamento de rádio em GSM-R*. Departamento de Engenharia Electrónica e Telecomunicações e de Computadores do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Refer Telecom, Lisboa.
- [7] UIC Project EIRENE (2006). *System Requirements Specification*. UIC-União Internacional dos Caminhos de Ferro, Paris. <http://gsm-r.uic.asso.fr/> (Acedido em maio 2013).
- [8] ERTMS (2012). *European Railways Traffic Management System*. UNIFE-The European Rail Industry, Bélgica. <http://www.ertms-online.com/> (Acedido em junho 2013).
- [9] UIC (2007). *Procurement Guide Version 5.0*. UIC-União Internacional dos Caminhos de Ferro, Paris. <http://gsmr.uic.asso.fr/> (Acedido em abril 2013).
- [10] Taveira, P. (2009). *Segurança e Interoperabilidade Ferroviária. Situação atual e perspectivas futuras*. VII seminário sobre certificação, inovação e desenvolvimento tecnológico no domínio ferroviário. IMTT–Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, I.P., Lisboa. http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/BibliotecaeArquivo/RepertorioIMTT/Comunicacoesartigos/Documents/Seg_Interop-Actualidade_Futuro.pdf (Acedido em março 2013).

- [11] KATHREIN-Werke KG (2011). *Antennen XPol Panel 790–960 30° 21dBi 0°T*. Documentação técnica da Nokia Siemens Network. Refer Telecom. Lisboa. <http://www.kathrein.de> (Acedido em junho 2013).
- [12] DRAKA Cableteq Brasil (2006). www.drakacableteq.com.br (Acedido em Junho 2013).
- [13] Santos, A. (2003). *Localização de Comboios via Rádio*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Eletrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro, Aveiro.
- [14] Nokia Siemens Networks (2013). *Optimization and QoS Report GSM-R*. Relatório de otimização do sistema GSM-R, Refer Telecom. Lisboa.

ANEXOS

Anexo I – Antenas *Kathrein*

Anexo II – Cabos coaxiais da *Draka*

Anexo III – Relatórios de testes e otimização da NSN (parcial)

Anexo IV – Especificações GSM-R do EIRENE

Anexo V – ERTMS *Factsheets*

Anexo I – Antenas Kathrein

Anexo II – Cabos coaxiais da *Draka*

Anexo III – Relatórios de testes e otimização da NSN (parcial)

Anexo IV – Especificações GSM-R do EIRENE

Anexo V – ERTMS *Factsheets*