Título	Sistemas de Comunicações Móveis: Interferência e Compatibilidade Electromagnética
Editor	Carla Oliveira
Autores	Carla Oliveira, Luís M. Correia
Data	2008-11-11
Versão	04
Distribuição	Optimus/Vodafone/TMN
Documento	monIT_Ext_Tec_0658_04_ReportCEM
Resumo	Neste documento analisa-se a temática da interferência e compatibilidade electromagnética dos sistemas de comunicações móveis com outros dispositivos. A análise efectuada abrange vários cenários, nomeadamente, ambientes hospitalares, ambiente doméstico, aviões e automóveis, entre outros.

Histórico do documento

Data	Versão	Comentário	Editor da versão
2008-10-27	01	Primeira versão	Carla Oliveira
2008-10-31	02	Correcções à versão anterior	Luis M. Correia
2008-11-03	03	Versão final	Carla Oliveira
2008-11-10	04	Correcção à Figura 5	Carla Oliveira

Resumo

A co-existência de toda a panóplia tecnológica que domina a sociedade actual só é possível com uma gestão concertada do espectro radioeléctrico e com o cumprimento de requisitos de compatibilidade electromagnética. Neste relatório, analisa-se o problema específico da interferência e compatibilidade electromagnética dos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS com outros sistemas de comunicação ou dispositivos. Este assunto reveste-se de particular importância em ambientes sensíveis, como é o caso dos ambientes hospitalares. O relatório apresenta uma discussão dos sistemas e mecanismos de interferência envolvidos em vários cenários, assentando numa vasta revisão da literatura disponível à data. Os cenários estudados passam por ambientes tão variados como os meios hospitalares, os meios de transporte, ou os ambientes domésticos, entre outros. Conclui-se que, em condições de funcionamento normal, e desde que sejam respeitados os níveis de imunidade e recomendações para os vários equipamentos e cenários, os sistemas de comunicações móveis funcionarão satisfatoriamente no seu ambiente electromagnético sem introduzir perturbações noutros equipamentos.

Palavras Chave

Compatibilidade Electromagnética. GSM. Imunidade. Interferência. UMTS.

Abstract

Coexistence of the massive technological gadgets that command nowadays society is only possible due to severe spectrum management policies, as well as to strict accomplishment of electromagnetic compatibility requirements. This report analyses electromagnetic compatibility issues of GSM and UMTS systems with other devices. This topic is particularly important in sensitive environments, as health care units. The report discusses the systems and interference mechanisms in various scenarios, being based on up to date available literature. A wide range of scenarios is exploited, *e.g.* health care units, transportation systems, household environments, and so on. It is concluded that, in normal conditions and as far as recommendations and immunity levels are respected, mobile systems will work correctly in their electromagnetic environment without disturbing other devices.

Keywords

Electromagnetic Compatibility. GSM. Immunity. Interference. UMTS.

Índice

Resumo i
Abstract ii
Índice 1
Lista de Figuras 3
Lista de Tabelas 4
Lista de Siglas 5
1 Introdução 7
2 Interferência e Compatibilidade Electromagnéticas 9
3 Características dos Sistemas de Comunicações Sem Fios 11
4 Ambientes Hospitalares 15
4.1 Sistemas Envolvidos 15
4.2 Legislação e Recomendações 15
5 Equipamentos Médicos 19
5.1 *Pacemakers* e Disfibrilhadores Cardíacos 19
5.2 Aparelhos Auditivos / Implantes Cocleares 20
5.3 Outros Equipamentos 23
6 Transportes 25
6.1 Comboios e Metro 25
6.2 Automóveis 27
6.3 Aviões 29
7 Outros Equipamentos 33
7.1 Televisão 33
7.2 Rádio 35
7.3 Bombas de Gasolina 37
8 Conclusão 39
Referências 41

Lista de Figuras

Figura 1 – Aviso de restrição ao uso do TM. 17
Figura 2 – Estratégia de acção numa unidade de saúde (adaptado de [ISOT07]). 18
Figura 3 – *Pacemaker* (extraído de [Merc08]). 19
Figura 4 – Aparelhos auditivos (extraído de [Wide08]). 21
Figura 5 – Bomba infusora (extraído de [[BBra08]]). 24
Figura 6 – Electrónica automóvel (extraído de [Tosh08]). 27

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Bandas de frequência do espectro electromagnético em rádio. 7
Tabela 2 - Potência de transmissão máxima para o GSM. 11
Tabela 3 - EIRP para EBs, em UMTS. 12
Tabela 4 – Especificações europeias para o WiFi [Bing02]. 13
Tabela 5 – Especificações para o Bluetooth [Blue08]. 14
Tabela 6 – Dispositivos sem fios usados em ambiente hospitalar. 16
Tabela 7 – Bandas de frequências usadas pelos sistemas aviónicos [NKSW05]. 30
Tabela 8 – Bandas de frequências dos serviços de radiodifusão televisiva (adaptado de [ANAC08b]). 33
Tabela 9 – Bandas de frequências dos serviços de radiodifusão sonora. 35

Lista de Siglas

AM	*Amplitude Modulation*.
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações.
AP	*Access Point*.
ATCRBS	*Air Traffic Control Radar Beacon System*.
CDMA	*Code Division Multiple Access*.
CEM	Compatibilidade Electromagnética.
CSMA/CA	*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*.
DGS	Direcção Geral da Saúde.
DL	*Downlink*.
DME	*Distance Measuring Equipment*.
DSSS	*Direct Sequence Spread Spectrum*.
EB	Estação Base.
EHF	*Extremely High Frequency*.
EIRP	Potência Efectivamente Radiada.
FDD	*Frequency Division Duplex*.
FDMA	*Frequency Division Multiple Access*.
FM	*Frequency* Modulation.
GPS	*Global Positioning Systems*.
GS	*Glideslop*.
HF	*High Frequency*.
IEC	*International Electrotechnical Commission*.
IEM	Interferência Electromagnética.
ITU	*International Telecommunication Union*.
LF	*Low Frequency*.
LOC	*Localizer*.
MF	*Medium Frequency*.
MLS	*Microwave Landing Systems*.
OFDM	*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*.
PDA	*Personal Digital Assistant*.
PED	*Personal Electronic Device*.
RFID	*RadioFrequency Identification*.
SHF	*Super High Frequency*.
TCAS	*Traffic Collision Avoidance System*.

T-DAB	*Terrestrial Digital Audio Broadcasting*.
TDD	*Time Division Duplex*.
TDMA	*Time Division Multiple Access*.
TM	Terminal Móvel.
UHF	*Ultra High Frequency*.
UL	*Uplink*.
VHF	*Very High Frequency*.
VHF-Com	*Very High Frequency Communication*.
VLF	*Very Low Frequency*.
VOR	*Very High Frequency Omnidirectional Range*.

1 Introdução

A tecnologia, de uma forma generalizada domina a sociedade actual, interligando pessoas e organizações. Os sistemas de comunicação em particular desempenham um papel predominante, neles assentando o trabalho, segurança, bem estar ou qualidade de vida de muitos cidadãos. Os exigentes e constantes requisitos de mobilidade, capacidade de transmissão (largura de banda) ou qualidade de serviço estão na base da proliferação tecnológica a que se assiste diariamente.

A co-existência de toda esta panóplia tecnológica num mesmo ambiente só é possível com uma gestão concertada do espectro radioeléctrico e com o cumprimento de requisitos de Compatibilidade Electromagnética (CEM). Para isso, existem entidades reguladoras do espectro a nível mundial como a União Internacional de Telecomunicações (ITU[1]) [ITUn08], e também a escalas nacionais, como a Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM) [ANAC08a], em Portugal. Na Tabela 1 indicam-se as bandas de frequências do espectro electromagnético. Refira-se ainda que, paralelamente, existem normas às várias escalas referidas que estabelecem os critérios de imunidade electromagnética para vários tipos de equipamento.

Tabela 1 – Bandas de frequência do espectro electromagnético em rádio.

Banda	Frequência
VLF (*Very Low Frequency*)	3 – 30 kHz
LF (*Low Frequency*)	30 – 300 kHz
MF (*Medium Frequency*)	0.3 – 3 MHz
HF (*High Frequency*)	3 – 30 MHz
VHF (*Very High Frequency*)	30 – 300 MHz
UHF (*Ultra High Frequency*)	0.3 – 3 GHz
SHF (*Super High Frequency*)	3 – 30 GHz
EHF (*Extremely High Frequency*)	30 – 300 GHz

Importa referir que, num elevado número de situações, a interferência não resulta de emissões fora de banda, mas sim de outros fenómenos, como distorções não lineares, que podem ocorrer nos sistemas, nomeadamente, nos receptores, transmissores, ou até mesmo em componentes passivos das instalações radioeléctricas [BoCa07].

[1] *International Telecommunications Union*.

Neste relatório analisa-se o problema específico da interferência e CEM dos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS com outros sistemas de comunicação ou dispositivos. A existência de sistemas de comunicações móveis num determinado ambiente não deve condicionar o desempenho de outros dispositivos ou fontes de emissão. Este assunto reveste-se de particular importância em ambientes sensíveis, como é o caso dos ambientes hospitalares, dos transportes ou dos equipamentos médicos. O relatório apresenta uma discussão dos sistemas e mecanismos de interferência envolvidos nos vários casos, assentando numa vasta revisão da literatura disponível à data.

O relatório estrutura-se da forma seguinte: no Capítulo 2 descrevem-se as bases dos vários mecanismos de Interferência Electromagnética (IEM); no Capítulo 3 resumem-se as características dos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS e de outros sistemas comuns a alguns cenários (WiFi, Bluetooth e DECT); o Capítulo 4 aborda o caso do ambiente hospitalar; a compatibilidade com os equipamentos médicos (*pacemakers* e aparelhos auditivos) é referida no Capítulo 5; o Capítulo 6 aborda o cenário dos transportes (metro, comboio, automóveis e aviões); o Capítulo 7 refere a questão da compatibilidade noutros cenários ou equipamentos (televisão, rádio e bombas de gasolina); o Capítulo 8 apresenta as principais conclusões do relatório.

2 Interferência e Compatibilidade Electromagnéticas

O estudo da IEM e CEM que os sistemas GSM e UMTS poderão provocar noutros sistemas de comunicação começa pela identificação dos conceitos em questão. A interferência ou perturbação electromagnética está definida em [JOUE04] como "qualquer fenómeno electromagnético que possa degradar o desempenho do equipamento. Uma perturbação electromagnética pode ser um ruído electromagnético, um sinal indesejável ou uma alteração no próprio meio de propagação". Um equipamento será imune às perturbações electromagnéticas se tiver capacidade para "funcionar de acordo com o previsto, sem sofrer degradação" na presença destas perturbações. A CEM é "a capacidade do equipamento para funcionar satisfatoriamente no seu ambiente electromagnético sem introduzir perturbações electromagnéticas intoleráveis a outro equipamento nesse ambiente".

A existência de interferências prende-se sobretudo com o facto de ser impossível realizar filtros perfeitos que impeçam um dado sistema de emitir fora da sua banda de frequências. Os vários mecanismos passíveis de provocar interferências entre sistemas são:

- emissões espúrias;
- produtos de intermodulação;
- emissões devido a regimes transitórios;
- emissões fora-de-banda/desempenho de interferência do receptor;
- bloqueio do receptor.

As emissões espúrias aparecem em frequências específicas, impossíveis de determinar previamente, não sendo assim consideradas como uma fonte de interferências contínua. Além disso, em casos normais, as interferências provocadas pelas emissões espúrias não são significativas. Outro factor que torna as emissões espúrias pouco relevantes, é o facto de os próprios sistemas de comunicação normalmente terem mecanismos de escolha dinâmica de canal em função da interferência detectada, que ajudam a evitar os efeitos das emissões espúrias.

A importância dos produtos de intermodulação é tanto maior quanto mais próximas forem as bandas de frequência dos sistemas, visto que, em condições normais, os produtos de intermodulação mais importantes são os de 2ª ordem. No entanto, a intermodulação não constitui um mecanismo dominante de interferência.

As emissões devido a regimes transitórios, provocam também emissões fora-de-banda, ainda que, em condições normais, não sejam um mecanismo dominante de interferências entre sistemas. Em [ERCR00], foram feitas medidas em instalações típicas de GSM e

verificou-se que as emissões fora-de-banda devido a regimes transitórios são inferiores às restantes emissões fora-de-banda, pelo que não são a causa dominante de interferências.

As emissões fora-de-banda são um dos mecanismos mais influentes de interferências entre sistemas de comunicações móveis. Estas devem-se à impossibilidade de criar filtros ideais nos emissores, pelo que um dado sistema irá sempre ter emissões fora da banda que lhe é destinada.

O bloqueio do receptor é outro mecanismo influente na interferência entre sistemas de comunicações sem fios. Um receptor diz-se resistente ao bloqueio se conseguir manter as suas características de recepção quando está presente um dado sinal de potência elevada numa gama de frequências próxima. O mecanismo de bloqueio será tanto mais importante quanto mais próximas forem as bandas de frequências dos sistemas em análise.

Com base nas características dos diferentes mecanismos de interferência atrás referidos, conclui-se que os mecanismos mais importantes são as emissões fora-de-banda e o bloqueio do receptor.

3 Características dos Sistemas de Comunicações Sem Fios

A avaliação da compatibilidade entre sistemas passa pelo conhecimento das suas características de emissão e recepção. Pretendendo-se analisar a interferência provocada pelos sistemas GSM e UMTS em vários cenários, é necessário saber as suas características de emissão.

O GSM, [ETSI92], tem uma interface rádio digital que utiliza acesso múltiplo por divisão no tempo, TDMA[2], e acesso múltiplo por divisão na frequência, FDMA[3]. Este sistema usa diferentes bandas de frequência, com largura de banda por canal rádio de 200 kHz, e 8 *time slots* por portadora com duração de 0.577 ms cada, resultando num ritmo de acesso de 217 Hz por portadora. As bandas de frequência definidas para o GSM são:

- GSM900: [890, 915] MHz (sentido ascendente (UL[4])) e [935, 960] MHz (sentido descendente (DL[5]));
- GSM1800: [1 710, 1 785] MHz (UL) e [1 805, 1 880] MHz (DL).

Em Portugal, cada um dos três operadores de comunicações móveis tem 40 portadoras atribuídas na banda de 900 MHz (excepto um deles, que tem 39 portadoras) e outras 40 na banda de 1 800 MHz. Em áreas de grande densidade populacional e em que os três operadores estão presentes, isto resulta tipicamente num máximo de 20 portadoras por célula. Os valores máximos de potência de transmissão para as Estações Base (EBs) e Terminais Móveis (TMs) do GSM são apresentados na Tabela 2. No caso das EBs, os valores estão discriminados por tipo de célula.

Tabela 2 - Potência de transmissão máxima para o GSM.

Potências Máximas em GSM [dBm]					
EB				**TM**	
900 MHz		**1 800 MHz**		**900 MHz**	**1 800 MHz**
Macro-célula	**Micro-célula**	**Macro-célula**	**Micro-célula**		
[34, 58]	]9, 24]	[34, 46]	]17, 32]	[29, 39]	[30, 36]

[2] Do inglês, *Time Division Multiple Access*.
[3] Do inglês, *Frequency Division Multiple Access*.
[4] Do inglês, *Uplink*.
[5] Do inglês, D*ownlink*.

O UMTS, [HoTo00], funciona em dois modos, FDD[6] e TDD[7], com acesso múltiplo por divisão no código, CDMA[8], e largura de banda por canal de 5 MHz. Os dois modos têm características diferentes, sendo usados de acordo com o tipo de tráfego a ser transportado e de acordo com o ambiente de cobertura. Em Portugal, bem como em muitos outros países, apenas o modo FDD está em funcionamento. As bandas de frequência atribuídas para o sistema UMTS são:

- Modo FDD: [1 920, 1 980] MHz (UL) e [2 110, 2 170] MHz (DL);
- Modo TDD: [1 900, 1 920] MHz e [2 010, 2 025] MHz (UL/DL).

A norma para o UMTS define valores típicos para a potência efectivamente radiada (EIRP) pelas EBs e TMs, Tabela 3. No caso das EBs, os valores estão discriminados por tipo de célula.

Tabela 3 - EIRP para EBs, em UMTS.

Potências Máximas em UMTS [dBm]			
EB			**TM**
Macro-célula	**Micro-célula**	**Pico-célula**	
[40,43]	[30,33]	[20,23]	[10,33]

Tanto o GSM como o UMTS têm mecanismos de controlo da potência emitida quer pelos TMs, quer pelas EBs, que permitem ajustar o sinal emitido. No GSM, o controlo de potência é efectuado a 2 Hz, enquanto no UMTS é efectuado a 1 500 Hz, para o modo FDD. Estes mecanismos estão quase sempre implementados nas EBs, significando que os valores apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3 não são atingidos muitas vezes. Nas grandes áreas urbanas, em que há co-localização de antenas de EB, as potências de transmissão são normalmente reduzidas e ajustadas para diminuir a interferência. No caso dos TMs, à medida que um utilizador se movimenta na rede, ou até dentro de um edifício, a potência transmitida pelo dispositivo vai sendo alterada por sucessivas reflexões devidas à presença de obstáculos (paredes, janelas, veículos, etc.). O TM ajusta permanentemente a sua potência de emissão por forma a emitir no nível mínimo necessário para manter a qualidade da ligação, conseguindo assim poupar bateria e diminuir o risco de interferência com outros TMs. Em situações de cobertura mais deficiente, como pode ser o caso do interior de edifícios, o TM estará permanentemente a emitir no seu nível de potência máximo.

[6] Do inglês, *Frequency Division Duplex*.
[7] Do inglês, *Time Division Duplex*.
[8] Do inglês, *Code Division Multiple Access*.

Importa referir que, no caso do GSM, em que os sinais TDMA não são emitidos de forma contínua, mas antes por rajada, a sua potência média é inferior à potência de pico (*i.e.*, como há 8 *time slots* disponíveis por portadora, 1 W emitido durante um *time slot* resulta numa potência média de 125 mW). Para os sinais CDMA, de UMTS, a potência é emitida de modo contínuo.

Há ainda alguns sistemas de comunicações sem fios, como o WiFi (*Wireless Fidelity*), o DECT ou o Bluetooth, que são comuns a vários cenários. Desta forma, é importante apresentar aqui também as suas características de emissão.

O sistema WiFi, [Bing02], baseia-se nas técnicas OFDM[9] e DSSS[10], usando acesso CSMA/CA[11]. Actualmente, existem três normas WiFi principais: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g. A norma WiFi mais usada em Portugal é a 802.11b, com um canal por ponto de acesso (AP[12]). Na Tabela 4 apresentam-se as especificações de interesse do WiFi.

Tabela 4 – Especificações europeias para o WiFi [Bing02].

	802.11a	802.11b	802.11g
Banda de Frequência [GHz]	5.150 – 5.350	2.4 – 2.4835	2.4 – 2.4835
Largura de Banda [MHz]	300	83.5	83.5
Largura de Banda do Canal [MHz]	20	22	22
Número de canais rádio não adjacentes	12	3	3
Modulação / Acesso	OFDM	DSSS	OFDM
EIRP [mW]* *APs e TMs	100	100	100

O DECT, [DeFo04], usa TDMA e TDD, permitindo várias comunicações na mesma frequência. Opera na banda de frequências de [1 880, 1 900] MHz, com 1 MHz de largura de banda de canal. Durante uma comunicação (modo activo), o TM e a EB transmitem durante 0.38 ms por cada trama de 10 ms. No modo *stand*-by, o TM não transmite e a EB transmite apenas durante 0.08 ms por *time slot*. A potência máxima de transmissão do DECT é de 250 mW,

[9] Do inglês, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*.
[10] Do inglês, *Direct Sequence Spread Spectrum*.
[11] Do inglês, *Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance*.
[12] Do inglês, *Access Point*.

sendo que o TM apenas transmite durante 0.38 ms do modo activo, resultando numa potência média de cerca de 10 mW. Note-se que isto é válido quando o TM usa apenas um *time slot*, sendo que, se necessitar de mais *time slots* (para aplicações de alto débito), a potência média aumentará proporcionalmente ao número de *time slots* usados. No modo activo, a EB transmite 10 mW (em média) se tiver um utilizador, aumentando até 60 mW, no caso de estarem 6 utilizadores activos (valor máximo de utilizadores permitido no modo activo). No modo *stand-by*, a EB transmite durante 0.08 ms durante cada *time slot*, resultando numa potência média de 2 mW, independentemente do número de utilizadores.

O Bluetooth, [Blue08], usa TDD e opera na banda de frequências de [2 400, 2 483.5] MHz, com 1 MHz de largura de banda de canal. São especificadas três classes de potência para os terminais, como se observa na Tabela 5. À semelhança de outros sistemas, também o Bluetooth usa mecanismos de controlo de potência.

Tabela 5 – Especificações para o Bluetooth [Blue08].

Classe de Potência	Potência de Saída Máxima [mW]	Potência de Saída Nominal [mW]	Potência de Saída Mínima [mW]
1	100	-	1
2	2.5	1	0.25
3	1	-	-

4 Ambientes Hospitalares

Nesta secção aborda-se a questão da CEM em ambiente hospitalar, descrevendo-se os sistemas envolvidos neste cenário e referindo-se a legislação e recomendações em vigor.

4.1 Sistemas Envolvidos

Na caracterização da interferência e CEM em ambientes hospitalares, importa começar por referir que as fontes de perturbação electromagnética neste cenário são essencialmente internas ao hospital [DGSa06]. Incluem os próprios equipamentos médicos, como monitores, equipamentos de diatermia e as unidades de electrocirurgia. Para além destas fontes, recentemente tem-se assistido a uma utilização cada vez mais generalizada dos sistemas de comunicação sem fios em ambientes hospitalares. Estes equipamentos tornaram-se uma ferramenta de trabalho indispensável entre as equipas médicas, funcionários e pacientes, sendo reconhecido o seu valor na redução de erros clínicos e na qualidade dos serviços prestados. Estes sistemas incluem telefones móveis, transmissores portáteis (normalmente, DECT) que podem ser usados de forma regular entre o corpo médico, ou serviços portáteis de rádio de emergência, usados pontualmente para comunicações com ambulâncias, polícia e bombeiros. Assiste-se ainda à instalação de diversos sistemas de comunicação no interior das unidades de saúde, como DECT, WiFi e sistemas de comunicações móveis (GSM e UMTS).

Para além das fontes de radiação internas ao hospital, surgem também as fontes "transportadas" pelos pacientes e visitantes, normalmente telefones móveis, especialmente em horas de crise. Estas fontes incluem ainda agendas pessoais (PDAs[13]), computadores portáteis com *modems* sem fios, e dispositivos Bluetooth, entre outros.

Na Tabela 6, resumem-se as características dos vários sistemas de comunicações sem fios passíveis de serem usados em ambiente hospitalar.

4.2 Legislação e Recomendações

Em 2001, a Comissão Electrotécnica Internacional (IEC[14]) [IECo08], publicou a norma IEC 60601-1-2 [IECo03], que complementa a norma geral para os dispositivos médicos IEC 60601-1 [IECo08], estabelecendo limites de imunidade electromagnética para os

[13] Do inglês, *Personal Digital Assistant*.
[14] *International Electrotechnical Commission*.

dispositivos médicos. Nomeadamente, recomenda que os equipamentos de suporte à vida sejam imunes a campos eléctricos de 10 V/m, e que os restantes equipamentos sejam imunes a campos de 3 V/m, na gama de frequências de 80 MHz a 2.5 GHz. Adicionalmente, apresenta fórmulas para o cálculo das distâncias de separação mínimas entre as fontes de radiação e os dispositivos médicos, para as quais se garante que os valores de campo produzidos por essas fontes estarão abaixo dos valores de imunidade dos dispositivos médicos em questão.

Tabela 6 – Dispositivos sem fios usados em ambiente hospitalar.

Dispositivo		**Aplicação**	**Frequência de Transmissão**	**Potência de Transmissão Máxima [dBm]**
WiFi	**802.11a**	Rede Local	5.150 – 5.350 GHz	20
	802.11b		2.4 – 2.4835 GHz	
	802.11g		2.4 – 2.4835 GHz	
Móveis	**GSM900**	Dados e Voz	890 – 915 MHz (UL) 935 – 960 MHz (DL)	24 (EB) 39 (TM)
	GSM1 800		1 710 – 1 785 MHz (UL) 1 805 – 1 880 MHz (DL)	32 (EB) 36 (TM)
	UMTS (FDD)		1 920 – 1 980 MHz (UL) 2 110 – 2 170 MHz (DL)	23 (EB) 33 (TM)
DECT		Voz	1 880 – 1 900 MHz	18 (EB) 24 (TM)
Bluetooth		Dados	2 400 – 2 483.5 MHz	20

Em 2006, a Direcção Geral da Saúde (DGS) [DGSa08] emitiu a Circular Informativa Nº26/DAS [DGSa06], que apresenta um conjunto de recomendações complementares à norma IEC 60601-1-2. Estas recomendações aplicam-se aos serviços portáteis de rádio de emergência, aos equipamentos portáteis de segurança via rádio, aos telefones móveis, sistemas TETRA, PDAs e a telefones portáteis e sistemas de computador via rádio. Com base na norma IEC 60601-1-2, são recomendadas distâncias mínimas de separação de 2 m para os telefones móveis, de 6 m para outros transmissores, e de 15 m para equipamentos para os quais não seja possível garantir o cumprimento do valor de imunidade. No caso particular dos telefones móveis, a DGS recomenda ainda que:

- os telefones móveis sejam desligados em blocos operatórios e outras áreas de tratamento onde estejam em utilização alguns equipamentos mais sensíveis, perto

de um doente ligado a um equipamento médico electrónico, ou outras áreas onde seja perceptível a existência de risco;

- os telefones móveis não sejam deixados no modo *stand-by* nas áreas indicadas;
- as unidades de saúde limitem o uso do telefone móvel a zonas "não-clínicas", proibindo o seu uso em salas de cuidados intensivos, unidades coronárias, blocos operatórios e salas de emergência;
- os funcionários das unidades de saúde reconheçam os sinais de interferência produzida nos diversos equipamentos médicos;
- as unidades de saúde analisem devidamente a possibilidade de instalação de pico-células, que reforcem a cobertura móvel, evitando que os telefones móveis necessitem de transmitir maiores valores de potência;
- as unidades de saúde sinalizem as áreas onde é restringido o uso do telefone móvel, e informem devidamente os utentes, Figura 1.

Figura 1 – Aviso de restrição ao uso do TM.

Em 2007, surge o relatório técnico ISO/TR 21730 [ISOT07] que apresenta uma série de linhas de acção para o uso e manutenção de equipamentos sem fios em unidades hospitalares, de forma a garantir a CEM entre estes equipamentos e os dispositivos médicos. Este guia apresenta recomendações muito semelhantes às da DGS, distinguindo claramente toda a tecnologia que é interna ao ambiente hospitalar, daquela que é introduzida de forma não controlada pelos pacientes e visitantes, Figura 2.

Ainda em [ISOT07], é apresentado o seguinte conjunto de medidas:

- A unidade de saúde deve ter uma equipa técnica qualificada para lidar com o problema da CEM/IEM.
- A unidade de saúde deve manter um inventário actualizado de todo o material médico existente, bem como de todos os dispositivos com ou sem fios passíveis de provocar interferências. Os equipamentos a adquirir devem estar conforme a norma

IEC 60601-1-2 [IECo03], e os já existentes devem ser adaptados ou re-localizados por forma a cumprir as especificações de CEM/IEM.

- A localização das antenas dos sistemas de comunicação internos deve garantir distâncias mínimas de separação aos dispositivos médicos. Deve-se garantir que os níveis de radiação produzidos por antenas localizadas no topo do edifício ou noutro local no exterior não excedem os níveis de imunidade no interior do edifício.
- A localização dos dispositivos médicos na unidade de saúde, nomeadamente aqueles passíveis de provocar campos electromagnéticos (*e.g.*, equipamento de ultrasons), deve ser cuidadosamente escolhida, por forma a não provocar interferências com outros dispositivos mais sensíveis.
- A localização dos dispositivos de segurança, como RFID[15], deve ser cuidadosamente escolhida, por forma a não provocar interferências nos dispositivos médicos.
- Os pacientes utilizadores de equipamentos médicos domiciliários, como equipamentos de hemodiálise, devem manter uma distância superior a 1 m entre estes e quaisquer outros dispositivos sem fios.

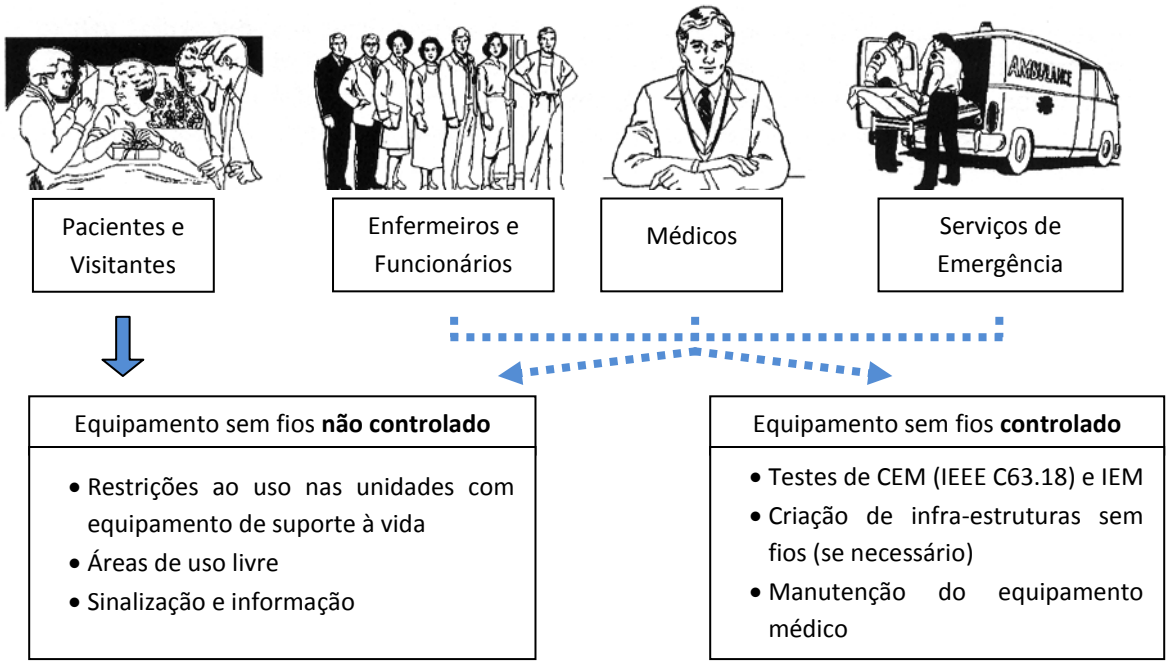

Figura 2 – Estratégia de acção numa unidade de saúde (adaptado de [ISOT07]).

[15] Do inglês, *Radio Frequency IDentification*.

5 Equipamentos Médicos

Esta secção analisa o problema da CEM entre os sistemas GSM/UMTS e vários dispositivos médicos transportados pelos pacientes, como *pacemakers* ou aparelhos auditivos.

5.1 *Pacemakers* e Disfibrilhadores Cardíacos

O *pacemaker* é um dispositivo electrónico cuja função básica é a de fornecer estímulos eléctricos ao coração, induzindo o batimento cardíaco [Merc08]. Estes estímulos são impulsos eléctricos originados por eléctrodos colocados em contacto com os músculos do coração, que monitorizam continuamente a actividade cardíaca. Os eléctrodos funcionam como sensores que amplificam e filtram os sinais vindos do coração, submetendo-os posteriormente a um processo de classificação. Consoante o tipo de sinal obtido, assim se determinará a terapia a aplicar. Quando o sinal obtido corresponde a um batimento cardíaco que não ocorreu de forma natural, o *pacemaker* fornece um estímulo artificial. Se o batimento cardíaco natural for demasiado lento, o *pacemaker* induz uma sequência de estímulos que regularizam a actividade cardíaca. Os *pacemakers* actuais são programados externamente e permitem a definição de programas adequados a cada utilizador. Na Figura 3 exemplifica-se a disposição de um *pacemaker* no corpo humano.

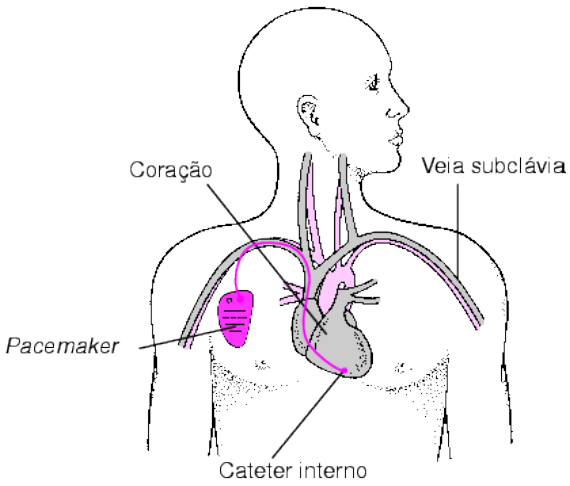

Figura 3 – *Pacemaker* (extraído de [Merc08]).

Enquanto dispositivo electrónico, o *pacemaker* está sujeito à ocorrência de interferências electromagnéticas que podem resultar na aplicação de estímulos cardíacos indevidos, ou, pelo contrário, na inibição de estímulos necessários para a regulação do batimento cardíaco. Muito raramente, pode ainda ocorrer a desprogramação do equipamento. As consequências de uma IEM podem passar despercebidas ao utilizador do *pacemaker*,

dependendo da alteração verificada e se a interferência for transitória. Se por um lado, a aplicação indevida ou a inibição de um impulso cardíaco normalmente não são sentidas, por outro, se a programação do *pacemaker* for alterada, podem resultar danos para o utilizador.

Os mecanismos conhecidos de interferência com os telefones móveis resultam do acoplamento eléctrico entre estes e os eléctrodos do *pacemaker*, que passam a funcionar como antena e a conduzir sinais indesejáveis para os circuitos electrónicos do *pacemaker* (que funcionam como carga aos terminais do eléctrodo) [CCTM07]. A modulação digital das portadoras associadas aos telefones móveis pode originar produtos de desmodulação de baixa frequência, muito próxima da dos sinais eléctricos cardíacos, levando a que o *pacemaker* possa interpretar erradamente estes sinais de radiofrequência. Este mecanismo é mais restritivo no GSM900, tendendo a desaparecer para frequências superiores (GSM1800 e UMTS), [KBGG04]. Note-se que a interferência apenas dura enquanto o *pacemaker* for exposto ao campo electromagnético gerado pelo telefone móvel, extinguindo-se quando este é desligado ou afastado. A questão da IEM com as radiações emitidas por uma EB não se coloca, na medida em que os campos provenientes destas são normalmente insignificantes.

Por forma a combater os mecanismos de interferência, os *pacemakers* actuais contêm filtros colocados entre o circuito electrónico do *pacemaker* e os eléctrodos, [Stev97]. Estes filtros atenuam a entrada de sinais de radiofrequência em mais de 40 dB, numa banda larga de frequências (30 MHz a 10 GHz), de uma forma contínua (evitando picos de exposição), minimizando assim a IEM. Ainda assim, os utilizadores de *pacemakers* são aconselhados a usar o telefone móvel a mais de 15 cm de distância do peito, colocando-o, durante uma chamada, sobre a orelha oposta ao lado do *pacemaker*, [Stev97] e [DGSa04].

Os desfibrilhadores cardíacos implantados são usados para desacelerar o ritmo cardíaco, quando este é superior ao tolerado pelo paciente (taquicardia, fibrilhação). O mecanismo de funcionamento do desfibrilhador assenta em algoritmos ajustados a cada paciente e programáveis externamente, podendo inclusivamente conter as funções de *pacemaker*. Os mecanismos de interferência entre os telefones móveis e os desfibrilhadores são idênticos aos do *pacemaker*, usando-se igualmente filtros de passagem nestes dispositivos e recomendando-se distâncias de segurança, que neste caso devem ser superiores a 20 cm [DGSa04].

5.2 Aparelhos Auditivos / Implantes Cocleares

Os aparelhos auditivos actuais são pequenos dispositivos que usam tecnologia digital para processar os sinais sonoros, estimulando acusticamente o ouvido. De uma forma muito

sumária, os aparelhos podem-se classificar em retroauriculares ou intra-canal, consoante estejam localizados atrás do ouvido ou inseridos no canal auditivo, Figura 4. Normalmente comportam dois modos de funcionamento:

- Modo microfone: O som chega ao aparelho através de um microfone, sendo posteriormente amplificado de forma selectiva na frequência (normalmente com programas adaptados às necessidades de cada utilizador) e reproduzido para o interior do ouvido.
- Modo T-Coil: O microfone é desactivado e o som chega ao aparelho através de acoplamento magnético com um transmissor externo. O transmissor pode estar instalado em locais como uma televisão, um telefone móvel ou no cinema, permitindo ao utilizador receber o som directamente da sua fonte. O posterior processamento do sinal auditivo é idêntico ao do modo microfone.

Figura 4 – Aparelhos auditivos (extraído de [Wide08]).

O módulo de processamento de sinal dos aparelhos auditivos está sujeito à ocorrência de interferências electromagnéticas, que tipicamente resultam num incomodativo zumbido ou aparecimento de ruído de fundo. Estes efeitos são transitórios e cessam com o afastamento da fonte interferente. As principais fontes de interferência com aparelhos auditivos são normalmente dispositivos de baixas frequências, como lâmpadas fluorescentes, motores eléctricos, computadores ou detectores de metais [Moto06]. Em casos raros, pode existir interferência com telefones móveis.

O mecanismo básico de interferência com os sistemas de comunicações móveis resulta dos sinais de baixa frequência produzidos por estes sistemas que, estando dentro da banda audível do ouvido humano (20 Hz a 20 kHz), são erradamente amplificados e reproduzidos pelo aparelho na forma de zumbidos ou ruído de fundo, [Skop98]. A interferência com o GSM produz um zumbido audível de 217 Hz, que resulta do esquema de acesso TDMA (217 Hz é o ritmo de acesso de cada portadora GSM). A interferência com os sistemas UMTS resulta essencialmente dos mecanismos de controlo de potência, que geram sinais na banda audível (1 500 Hz para o modo FDD, e 100 Hz para o modo TDD). Em [Skop98], a análise espectral do sinal UMTS revela a existência de ruído branco numa banda larga de frequências, resultando em ruído de fundo no aparelho auditivo, ao contrário do zumbido

produzido pelo GSM. Este estudo detectou ainda uma redução do ganho de amplificação do aparelho auditivo, resultante da IEM com os sistemas GSM e UMTS.

Actualmente, os aparelhos auditivos passam por uma série de testes de imunidade, que garantem a CEM com os dispositivos móveis, [Berg97]. Estes testes não descuram aspectos como as diferentes tecnologias envolvidas (GSM, UMTS), o facto do aparelho se encontrar na zona próxima da antena do dispositivo móvel e por isso os campos serem altamente variáveis, ou a influência que a proximidade do corpo humano pode ter nos campos radiados. Os testes de imunidade têm ainda em atenção o modo T-Coil, em que se podem produzir campos a frequências diferentes daquela que se pretende isolar e por isso gerar interferências. Na Europa, os aparelhos auditivos disponíveis no mercado obedecem à norma IEC 60118-13:2004 [IECo04], que regula a CEM com os dispositivos móveis. Esta norma define dois cenários de utilização do aparelho auditivo: modo *bystander test*, em que o utilizador do aparelho auditivo está exposto à radiação de um telefone móvel a menos de 2 m de distância, e o modo em que o utilizador do aparelho auditivo é simultaneamente utilizador do telefone móvel. São especificados métodos de medida e níveis de imunidade para cada uma das situações. Para o caso de utilização simultânea do aparelho auditivo e do telefone móvel, a norma especifica níveis de imunidade electromagnética de 75 V/m para a banda do GSM e de 50 V/m para a banda do UMTS. A norma ANSI C63.19-2007 [ANSI07] é concorrente a esta para o mercado americano, apresentando níveis de imunidade e teste de compatibilidade ligeiramente diferentes.

Contrariamente à estimulação acústica dos aparelhos auditivos, os implantes cocleares são dispositivos electrónicos que estimulam directamente o nervo auditivo, substituindo as células ciliadas do ouvido interno. Estes implantes são colocados no ouvido interno e usam um processador de som que promove a audição através de condução óssea directa, ou seja, o som é transmitido directamente pelo osso do crânio, através de um implante de titânio. O processador de som é fixo por um pilar, que está directamente ligado ao implante que, por sua vez está “ancorado” no osso da mastóide, pelo processo de osteointegração, [Wide08].

Existem várias fontes de IEM com implantes cocleares [TPSP07], como equipamentos de ressonância magnética e outros equipamentos médicos de diagnóstico ou terapêuticos, equipamentos de vigilância electrónica, detectores de metais, ou telefones móveis. O mecanismo de interferência resulta essencialmente das componentes de baixa frequência dos campos produzidos por estes dispositivos, que interferem com o processador de som do implante causando distorções.

Na literatura, encontram-se algumas referências a episódios de interferência com telefones móveis. Num estudo sobre a utilização de telefones móveis por portadores de implantes cocleares foram registados 9 casos de problemas frequentes de IEM (em 27 utilizadores), [SHVK01]. Em [CASH04], são também mencionados episódios de interferência com telefones móveis, resultando em perturbações na qualidade do som. As soluções apresentadas para este problema passam pelo uso de adaptadores sem fios (*e.g.*, usando Bluetooth ou uma tecnologia semelhantes ao T-coil dos aparelhos auditivos), que permitam ao processador de som do implante receber directamente o sinal do telefone móvel, [SPHJ06].

As normas de CEM acima referidas, aplicáveis aos aparelhos auditivos, não contemplam os implantes cocleares. Desta forma, estes estão sujeitos à legislação que regulamenta os dispositivos médicos implantáveis, nomeadamente à Directiva 90/385/EEC [EECo90] e à norma harmonizada [CENE98]. Na ausência de regulamentação específica, a maior parte dos dispositivos comercializados obedece à norma IEC 60601-1-2 [IECo03]. Refira-se que se encontra em preparação uma norma específica para os implantes cocleares, prEN 45502-2-3 [CENE07a].

5.3 Outros Equipamentos

Ainda que na literatura exista uma predominância de estudos sobre equipamentos como os *pacemakers*, os desfibrilhadores ou os aparelhos auditivos, o fenómeno da IEM não se restringe a estes equipamentos Como tal, refere-se nesta secção a compatibilidade com outros equipamentos, como os neuroestimuladores e as bombas infusoras, sobre os quais também existem alguns estudos.

Os neuroestimuladores são implantes utilizados para aliviar as pessoas atingidas pelos tremores da doença de *Parkinson*. Os estudos de CEM não têm registado episódios de perturbação dos neuroestimuladores derivados da utilização de telefones móveis. Segundo se adianta em [DGSa04], isto acontece porque estes implantes não estão concebidos para reagir a sinais fisiológicos, contrariamente aos *pacemakers*. No estudo apresentado em [KACh03], em que se testa a compatibilidade de um neuroestimulador com telefones GSM900 e GSM1800, os impulsos gerados pelo implante não foram suprimidos ou alterados. Foi também testada a compatibilidade com um sinal contínuo de radiofrequência (500 MHz a 2 400 MHz), verificando-se alguma influência no implante, especialmente para frequências mais elevadas. Desta forma, assumindo uma perspectiva preventiva, recomenda-se usar o telefone móvel do lado oposto ao do implante, não o aproximando a menos de 15 cm do neuroestimulador.

As bombas infusoras, Figura 5, são dispositivos electrónicos que injectam, de forma controlada, fluidos, medicamentos ou nutrientes no sistema circulatório dos pacientes. Estes equipamentos existem tanto em unidades hospitalares, com em ambiente doméstico (*e.g.*, bombas portáteis de insulina). Nalguns casos, existem em áreas de suporte à vida, pelo que as consequências de uma IEM no seu funcionamento não devem ser ignoradas. Na literatura encontram-se alguns casos de interferência entre o GSM e as bombas infusoras, [MDAD97] ou [HSHN05], para distâncias normalmente inferiores a 0.5 m. Os efeitos frequentemente indicados são a inibição do mecanismo de infusão, resultando normalmente na exibição de mensagens de erro, que só cessam após intervenção manual. Em [CBFT04], sugere-se que estes equipamentos serão mais susceptíveis aos campos gerados pelo GSM1800, do que pelo GSM900, devido ao facto de a frequências mais elevadas, o comprimento de onda se aproximar das dimensões dos circuitos internos das bombas. O mesmo estudo sugere que a imunidade electromagnética das bombas infusoras será total se os campos gerados pelo GSM900 forem limitados a 50 mW, e a 2.5 mW para o GSM1800. À semelhança do recomendado neste estudo, também em [CCTM07] se sugere que a instalação de EBs no interior de unidades de saúde reduzirá os problemas de interferência, na medida em que os TMs podem operar em classes de potência mais baixas. Refira-se que a norma IEC 60601-1-2 [IECo03], que regula também estes equipamentos, recomenda que os mesmos sejam imunes a campos eléctricos de 10 V/m, na gama de frequências de 80 MHz a 2.5 GHz.

Figura 5 – Bomba infusora (extraído de [BBra08]).

6 Transportes

Nesta secção analisa-se a questão da IEM e CEM entre os sistemas GSM e UMTS e os sistemas existentes em vários meios de transporte, como o metro, o comboio, os automóveis ou os aviões. A análise passa pela identificação dos sistemas passíveis de sofrer IEM e pela apresentação de estratégias/recomendações para a sua mitigação.

6.1 Comboios e Metro

Devido à complexidade da estrutura envolvida numa rede de comboios, a análise do problema da CEM não é um assunto de resolução trivial. Importa começar por identificar os vários sistemas passíveis de sofrer interferências electromagnéticas. De acordo com [MiTh07], alguns dos sistemas normalmente afectados pela IEM numa rede de comboios são:

- equipamentos de sinalização e comunicação, incluindo os cabos de energia e comunicação;
- sistemas de radiocomunicações;
- rede de tracção de energia;
- sistemas de controlo automático.

De entre estes sistemas, destacam-se os equipamentos de sinalização e de comunicação, relevantes pelo seu papel fundamental na segurança do comboio. Os sistemas de sinalização são responsáveis por proteger o comboio da colisão com outros comboios, por manter a sua velocidade ou por evitar o seu descarrilamento. No pior cenário, uma falha deste sistema pode originar sinalizações erradas e provocar colisões e acidentes. Os sistemas de comunicação desempenham também um papel crucial, garantindo as comunicações internas ao comboio, as comunicações com as várias estações da linha e também com entidades externas, como forças de segurança. As comunicações num comboio são normalmente asseguradas por uma rede de telecomunicações própria, prevendo-se a generalização do uso de fibras ópticas e sistemas de transmissão digitais.

As fontes de interferência numa linha de comboios podem ser várias [MiTh07], partindo das emissões que são geradas pelo próprio comboio (*e.g.*, correntes induzidas no sistema de tracção) até outras emissões externas geradas pelo ambiente envolvente (*e.g.*, radares de aeroportos nas proximidades das linhas). Os terminais dos sistemas de comunicações móveis são também apontados como uma possível fonte de interferência externa ao comboio. Na revisão da literatura efectuada não foram identificados estudos relacionados com este assunto. Foi encontrado um relatório sobre o uso de métodos de análise numérica

para a estimação dos campos electromagnéticos produzidos pelos TMs nas carruagens de comboios, [HAHW05]. Este estudo sugere que o uso de ferramentas de simulação é uma forma económica e eficiente de analisar a questão da CEM. O mesmo estudo conclui que a presença de passageiros no interior das carruagens diminui os níveis de radiação, dado que ocorre absorção de energia pelo corpo dos mesmos. No relatório apresentado em [EMCS02], e dedicado às emissões produzidas pelas linhas de comboio, perspectiva-se como trabalho futuro a realização de estudos sobre a compatibilidade dos sistemas de comunicações móveis com os sistemas internos ao comboio. É sugerido o desenvolvimento de uma ferramenta de planeamento rádio, validada posteriormente por medidas no terreno.

A CEM nas linhas de comboio é regulada pela norma EN 50121-1:2006 [CENE06], que define limites para os campos produzidos pelos equipamentos a bordo, e especifica os níveis e testes de imunidade electromagnética, na banda de 0 Hz a 400 GHz. Estes limites não garantem contudo imunidade em todos os cenários, dado que existe uma vasta gama de configurações possíveis. Ainda assim, os testes apresentados são suficientes para garantir níveis de imunidade satisfatórios.

No caso do metro, a utilização segura dos sistemas de comunicações móveis pressupõe que estes sejam compatíveis com os sistemas de comunicação e de sinalização ferroviária. Por exemplo, no caso do Metro de Lisboa estão presentes os seguintes sistemas:

- Sistemas de Comunicação: DECT, WiFi e Radiocomunicações.
- Sinalização Ferroviária: Sistema de sinalização e controlo de tráfego Westrace, da Westinghouse Rail Systems [WRSy08].

O DECT assegura a comunicação entre os funcionários. As antenas de EB DECT estão instaladas nas galerias e átrios das estações, enquanto que os TMs são usados tanto nas estações, como nas carruagens. O WiFi garante a ligação local e sem fios dos sistemas de informação. Os pontos de acesso WiFi estão instalados nas galerias e átrios das estações. Os sistemas de radiocomunicações são usados para assegurar a comunicação entre funcionários (dentro e fora das composições) e também entre as forças de segurança (polícia). Estes sistemas são constituídos por um cabo radiante instalado ao longo dos túneis, funcionando na gama de frequências dos 450 MHz, com uma largura de banda do canal de 25 kHz.

Num estudo sobre compatibilidade entre sistemas de comunicações efectuado para o Metro de Lisboa [SCFC06], conclui-se que o único sistema que implica restrições é o DECT, devido à sua banda de frequências ser adjacente à banda do GSM1800. Estas restrições resumem-se a garantir um espaçamento mínimo entre antenas de cerca de 0.4 m. Dos três sistemas

vítima analisados (DECT, WiFi e radiocomunicações), o único que não possui mecanismos para evitar interferências é o sistema de radiocomunicações. Neste estudo foram efectuados alguns ensaios de compatibilidade para confirmar os resultados obtidos através do modelo *Minimum Coupling Loss* [ERCR00] para as radiocomunicações e para o DECT. Em todos os ensaios, verificou-se a não ocorrência de interferências de EBs/TMs dos sistemas GSM 900/UMTS em EBs/TMs dos sistemas de Radiocomunicações e do DECT.

Os sistemas de sinalização ferroviária controlam o tráfego na rede do metro de uma forma centralizada, respeitando critérios rígidos de segurança. A existência de interferências electromagnéticas poderá levar à ocorrência de falhas, levando a restrições na circulação das carruagens e, possivelmente, à sua suspensão. Assim, para o bom funcionamento destes sistemas, nas bandas de GSM/UMTS, têm que se garantir níveis de imunidade de 10 V/m junto ao equipamento de sinalização [MeLi06]. No estudo acima referido, [SCFC06], os ensaios de compatibilidade realizados na análise do sistema de sinalização ferroviária, mostram que a instalação de EBs de GSM/UMTS não tem qualquer impacto no funcionamento do sistema.

6.2 Automóveis

Os automóveis actuais estão cada vez mais dotados de dispositivos electrónicos para controlo e gestão do funcionamento do motor, dos sistemas de segurança, ou dos sistemas de conforto, Figura 6. Alguns exemplos de dispositivos electrónicos existentes num automóvel são os sistemas electrónicos de injecção de combustível, sistemas de travagem anti-bloqueio, sistemas de navegação, sistemas de gás líquido de controlo electrónico de velocidade, *airbags*, controlo remoto do fecho das portas, ou os sistemas áudio.

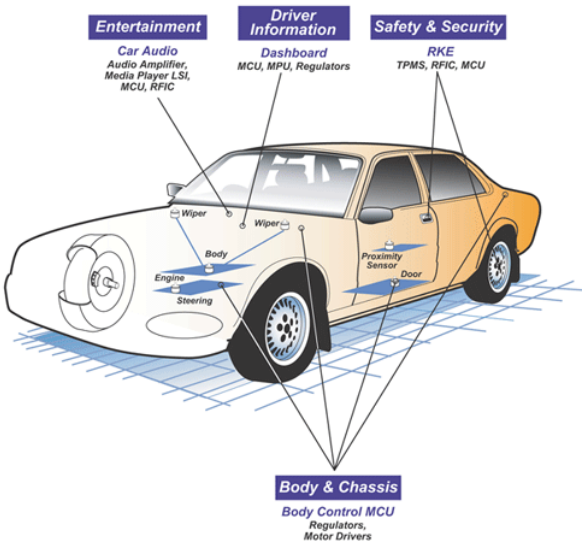

Figura 6 – Electrónica automóvel (extraído de [Tosh08]).

Dada a sua natureza electromagnética, os sinais de radiofrequência emitidos pelos telefones móveis, podem eventualmente afectar os sistemas electrónicos do automóvel. A incidência destes fenómenos é maior no caso de sistemas indevidamente instalados ou protegidos, ou sistemas posteriormente transformados pelos proprietários dos veículos (*e.g., car tuning*). Nos estudos referidos em [Moto06] ou [GSMA06], conduzidos em parceria pela indústria automóvel e pelos fabricantes de telefones móveis, não se detectaram casos de IEM com dispositivos críticos, como os sistemas de travagem, *airbags* ou *cruise control*. Estes dispositivos, dado o seu papel fundamental para a segurança do automóvel e passageiros, são instalados com níveis de imunidade aos campos emitidos pelos telefones móveis muito superiores em relação a outros equipamentos. Os mesmos estudos referem a possibilidade de ocorrência de interferências com os sistemas áudio e de controlo remoto do fecho das portas, quando o telefone móvel se encontra a muito curta distância destes. Em [Rodm08] é referido que 9 em cada 10 vezes se pode prever uma chamada a chegar pelo zumbido que se ouve no rádio do automóvel. Em [Fann07], estudou-se o impacto dos telefones móveis nos rádios, nos altifalantes e num módulo electrónico de apoio à navegação. Concluiu-se que, na presença de valores de potência gerados pelo telefone móvel iguais ou superiores a 0.7 W, todos os dispositivos mostraram alguma susceptibilidade electromagnética (*e.g.*, zumbido nos altifalantes). Este estudo recomenda níveis de imunidade de 100 V/m, quando o telefone móvel está a 2 cm de algum dispositivo do automóvel. Para distâncias de 5 cm, o nível de imunidade desce para 70 V/m.

A instalação de equipamentos electrónicos num automóvel, quer aquando da sua fabricação, quer numa fase posterior, obedece às especificações de CEM expressas na directiva europeia 2004/104/EC [CECo04]. Esta directiva está em funções desde Janeiro de 2006 e define limites para os campos produzidos pelos equipamentos a bordo (na gama de frequências de 30 MHz a 1 GHz), bem como níveis de imunidade electromagnética (na gama de frequências de 30 MHz a 2 GHz), e métodos de medida. Assim, no que respeita à utilização de telefones móveis no interior de automóveis, os níveis de imunidade definidos por esta directiva cobrem o sistema GSM, mas deixam em aberto o UMTS. Contudo, o processo de certificação do veículo exige que o fabricante expresse os requisitos necessários para a instalação/utilização de transmissores de radiofrequência, como telefones móveis, no seu interior. Normalmente, os requisitos para a instalação ou utilização de telefones móveis no interior da viatura estão estabelecidos no manual de utilização do veículo. A título de exemplo, considere-se o manual do utilizador dos veículos Volkswagen, que é citado em [NFMc01], por estabelecer recomendações específicas para a minimização dos níveis de radiação no interior da viatura, sugerindo, *e.g.*, a instalação de uma antena no exterior do automóvel.

6.3 Aviões

A análise da interferência e CEM em aviões não é uma tarefa trivial, dada a quantidade e complexidade dos sistemas existentes. Neste relatório abordam-se apenas as questões fundamentais relacionadas com os sistemas mais vulneráveis a interferências, que normalmente são os sistemas de navegação e comunicação que envolvem receptores de radiofrequência. Estes sistemas, muitas vezes desempenhando papéis críticos e essenciais para a segurança do avião, devem ser imunes a fontes electromagnéticas de forte intensidade, tendo por isso níveis de imunidade várias ordens de grandeza superiores a essas fontes [Wale08]. Os sistemas cujo mau funcionamento ou falha poderão originar consequências desastrosas têm níveis de imunidade superiores a 100 V/m, enquanto que outros sistemas menos críticos têm níveis de imunidade entre 5 e 20 V/m.

A análise da compatibilidade dos sistemas de comunicações móveis com os sistemas aviónicos é um assunto relativamente recente, encontrando-se alguns estudos sobre o assunto na literatura, como [ENKS02], [NKEW04] ou [NKSW05]. Na maior parte destes estudos, a análise da compatibilidade passa pela realização de medidas dos níveis de radiação electromagnética em vários cenários e posterior comparação com os níveis de imunidade para os diferentes sistemas aviónicos. São efectuadas medidas de compatibilidade nas cinco bandas de frequências indicadas na Tabela 7, que compreendem os seguintes sistemas de navegação e comunicação:

- *Localizer* (LOC): Sistema de apoio à aterragem, fornecendo informação sobre a posição do avião no plano horizontal.
- *Very High Frequency Omnidirectional Range* (VOR): Sistema de radionavegação.
- *Very High Frequency Communication* (VHF-Com): Sistema de comunicação VHF.
- *Glideslope* (GS): Sistema de apoio à aterragem, fornecendo informação sobre a posição do avião no plano vertical.
- *Distance Measuring Equipment* (DME): Sistema de apoio à aterragem, fornecendo informação sobre a distância do avião à pista.
- *Global Positioning System* (GPS): Sistema universal de navegação, fornecendo informação sobre a posição global do avião.
- *Traffic Collision Avoidance System* (TCAS): Sistema de detecção de intrusos, para evitar colisões com outros aviões.
- *Air Traffic Control Radar Beacon System* (ATCRBS): Sistema de radar, para o controlo de tráfego aéreo.
- *Microwave Landing Systems* (MLS): Sistema de precisão de apoio à aterragem.

Tabela 7 – Bandas de frequências usadas pelos sistemas aviónicos [NKSW05].

Banda	Banda de Frequências [MHz]	Sistema	Espectro [MHz]
1	105 - 140	LOC	108.10 - 111.95
		VOR	108 - 117.95
		VHF-Com	118 - 138
2	325 - 340	GS	328.60 - 335.40
3	960 - 1250	TCAS	1090
		ATCRBS	1030
		DME	962 - 1213
		GPS L2	1227.60
		GPS L5	1176.45
4	1565 – 1585	GPS L1	1575.42 ± 2
5	5020 - 5100	MLS	5031 - 5090.70

A utilização de dispositivos electrónicos portáteis (PEDs[16]) a bordo, como computadores pessoais, PDAs, ou telefones móveis, pode perturbar o normal funcionamento dos sistemas aviónicos. As emissões electromagnéticas produzidas pelos PEDs podem ser do tipo intencional, quando o PED é um dispositivo emissor como um telefone móvel, ou espúrias (não-intencionais), quando são geradas inadvertidamente por algum oscilador interno ou resultando, por exemplo, de produtos de intermodulação, no caso dos telefones móveis. As emissões espúrias, por ocorrerem aleatoriamente, são as mais difíceis de controlar e podem ser indevidamente recebidas pelas antenas dos sistemas aviónicos, afectando o seu desempenho. Este fenómeno é particularmente importante quando a distância entre os sistemas interferente e vítima é curta, como é o caso de sistemas que têm as suas antenas instaladas na cabine do avião. Adicionalmente, as condições de propagação electromagnética no interior de um avião são complexas, podendo ocorrer atenuação ou reforço dos campos, resultantes de fenómenos ressonantes (devido ao tipo de estrutura), reflexões na fuselagem e revestimentos, etc. No caso particular dos sistemas de comunicações móveis, apesar de pouco frequentes, existem registos de interferências com os sistemas GPS e DME, resultantes de produtos de intermodulação [ENKS02] e [SMAS06].

A utilização dos PEDs a bordo é regulada por algumas normas como [EuCA06], embora cada companhia aérea possa adoptar regulamentos próprios, que têm de ser devidamente aprovados pelas autoridades aeronáuticas nacionais. Geralmente, é proibido o uso destes equipamentos durante as fases críticas, como a descolagem ou aterragem, sendo que, após

[16] Do inglês, *Portable Electronic Device*.

estas fases se podem utilizar normalmente os dispositivos não transmissores (por exemplo, computadores portáteis). A abordagem seguida por algumas entidades normativas, por exemplo [RTCA08], é a de controlar a atenuação de propagação entre os PEDs e os sistemas aviónicos, por forma a que se consigam obter os níveis de imunidade desejados.

Neste momento, algumas companhias aéreas estão a realizar testes comerciais para avaliar a utilização dos sistemas de comunicações móveis no interior do avião. Os TMs, que podem ser utilizados excepto em fases críticas, como a descolagem ou aterragem, comunicam com pico-células existentes no interior do avião, ao invés de se ligarem às EBs terrestres. As comunicações entre o avião e as estações terrestres são asseguradas por ligações via satélite, através de um operador aéreo específico (*e.g.*, *OnAir* [OnAi08]). O sistema instalado no avião inclui também uma unidade de controlo da rede (*Onboard Channel Selector*), que assegura a conectividade e controlo das comunicações efectuadas. A instalação das pico-células a bordo passa por um rigoroso processo de compatibilização electromagnética com os restantes sistemas do avião e também com os sistemas terrestres. As pico-células actualmente instaladas a bordo dos aviões europeus usam a norma GSM1800, garantem o controlo da potência de transmissão dos TMs para o nível de potência mínimo (0 dBm), só sendo permitida a utilização do sistema acima de 3 000 m de altitude. Refira-se que o operador aéreo português TAP é uma das companhias pioneiras nesta área, disponibilizando este serviço desde Julho de 2008, num avião Airbus A319, que opera nas rotas de médio curso.

7 Outros Equipamentos

7.1 Televisão

A televisão é um dispositivo de telecomunicações que permite transmitir ou receber sinais de vídeo e de som. Tipicamente, o sinal de vídeo é policromático, resultando da soma de um sinal monocromático com o resultado da modulação da subportadora de crominância pelas componentes de cromatismo. Existem três sistemas de cor: o sistema NTSC, usado nos Estados Unidos, Canadá e Japão; o sistema PAL, usado na Europa Ocidental e Austrália; o sistema SECAM, usado na Europa de Leste, França e Médio Oriente. A largura de banda nominal do sinal de vídeo varia usualmente entre 5 e 6 MHz. Para além do sinal de vídeo, são transmitidos um ou mais canais de som, com cerca de 10 kHz de largura de banda. Normalmente, o sinal de som é transmitido numa subportadora colocada de 5.5 a 6.5 MHz acima da portadora de imagem. As bandas de frequências atribuídas aos serviços de radiodifusão televisiva em Portugal estão especificadas na Tabela 8.

Tabela 8 – Bandas de frequências dos serviços de radiodifusão televisiva (adaptado de [ANAC08b]).

Frequência [MHz]	Serviço	Faixas
47 – 68	Radiodifusão televisiva analógica	I (47 – 68 MHz): canais 2 a 4
174 – 223	Radiodifusão televisiva analógica	III (174-216 MHz): canais 5 a 10
470 – 790	Radiodifusão televisiva analógica	IV (470-582 MHz) e V (582-22 MHz): canais 21 a 64
	DVB-T – Radiodifusão televisiva digital (470-582 MHz e 582-862MHz)	V: alguns canais entre 47 e 69
790 – 862	Radiodifusão televisiva analógica	V (582-822 MHz): canais 35 a 64
	DVB-T – Radiodifusão televisiva digital (470-582 MHz e 582-862MHz)	V: alguns canais entre 47 e 69

O problema da IEM que os sistemas de comunicações móveis podem causar na recepção de televisão é um assunto pouco documentado. Em [ITMR05], reportam-se os resultados de vários testes de imunidade electromagnética efectuados numa televisão a cores de 40 cm (sistema PAL), usando sinais GSM900/1800 e UMTS. Os resultados mostram que, em

determinadas condições, é possível a ocorrência de interferências electromagnéticas. Para sinais inferiores a 1 V/m não foram registados quaisquer problemas de interferência. O mesmo estudo refere que a interferência se manifesta especialmente no sinal de vídeo, sendo praticamente imperceptível no sinal de áudio. No caso do GSM900/1800, a interferência visual é caracterizada pelo aparecimento de bandas horizontais na imagem, bem definidas e estacionárias, sendo o seu espaçamento proporcional ao espaçamento entre *time slots*. No caso do UMTS, a interferência é também visual, mas resulta em pequenas distorções nas linhas verticais. O mesmo estudo mostra que os mecanismos de controlo de potência contribuem para o mecanismo de interferência, sugerindo ainda que o UMTS apresenta menor potencial de interferência, especialmente devido às menores potências de transmissão.

Em [Fish84], é estudado o problema da IEM entre uma televisão UHF e um sistema de comunicações móveis operando a 850 MHz. O estudo refere que a questão da interferência entre estes dois sistemas tem duas vertentes: por um lado, a interferência entre os TMs e o ecrã da televisão; por outro lado, a interferência entre os sinais emitidos pelas EBs e a antena de recepção do sinal de televisão. O estudo incide apenas sobre este último caso, ignorando contudo factores importantes, como o diagrama de radiação da antena de recepção de televisão. Conclui que a existência de interferências se prende com o facto de alguns canais de televisão estarem na banda de transmissão dos sistemas de comunicações móveis, nomeadamente na banda [870, 890] MHz. Por forma a combater este problema, sugere-se um aumento de 20 dB no factor de rejeição do receptor de televisão.

As televisões disponíveis no mercado europeu obedecem à norma EN 55020:2007 [CENE07b], que descreve os métodos de medida e especifica os limites aplicáveis aos receptores de rádio e televisão e ao equipamento associado, relativamente às suas características de imunidade electromagnética a sinais interferentes. Os requisitos de imunidade especificados nesta norma cobrem a banda de frequências de 0 Hz a 400 GHz. A norma refere que, nos casos especiais em que um dispositivo nas proximidades da televisão (*e.g.*, um TM), excede os limites recomendados, é preciso adoptar medidas especiais de mitigação.

Em Portugal, à semelhança de outros países, o cidadão comum pode apresentar uma reclamação à entidade reguladora do espectro electromagnético, no caso de uma incorrecta recepção das imagens e dos sons nos aparelhos de televisão. Para tal deve preencher o formulário indicado em [ANAC08c], competindo posteriormente à ANACOM pesquisar, localizar e eliminar as perturbações verificadas.

7.2 Rádio

Em Portugal, existem três serviços de radiodifusão sonora: AM[17] (Modulação na Amplitude), FM[18] (Modulação na Frequência), e T-DAB[19] (Radiodifusão Sonora Digital Terrestre). As faixas de frequências atribuídas a cada um destes serviços estão especificadas na Tabela 9. As emissões em AM são geralmente monofónicas, com resposta em frequência do áudio aproximadamente de 40 Hz a 5 kHz, embora também existam estações de radiodifusão AM estéreo (muito comuns na América). Apesar de terem caído em desuso, as emissões em AM têm atenuações mais baixas, que permite, com um emissor de potência relativamente baixa, atingir longas distâncias, devido à reflectividade das ondas electromagnéticas na ionosfera e pela superfície da terra. Nas emissões FM, a reprodução áudio é substancialmente melhor, com resposta em frequência entre os 30 Hz e os 15 kHz, e as emissões são, por norma, estereofónicas. A desvantagem do FM é o curto alcance das emissões, mesmo com transmissores potentes, já que as ondas electromagnéticas acima de 30 MHz não são reflectidas pela ionosfera. O T-DAB é um sistema de rádio digital que possui capacidade de difusão de programas radiofónicos com qualidade equiparável à de CDs, bem como capacidade para a prestação de outros tipos de serviços, como a transmissão de dados.

Tabela 9 – Bandas de frequências dos serviços de radiodifusão sonora.

Frequência [MHz]	Serviço
0.526.5 - 1.6065	AM
87.5 - 108	FM
219 - 230 1452 - 1479.5	T-DAB

À semelhança do que acontece com a televisão, o problema da interferência dos sistemas de comunicações móveis com os serviços rádio pode-se pôr a dois níveis: por um lado, a interferência entre os TMs e o receptor de rádio; por outro lado, a interferência entre os sinais emitidos pelas EBs e as antenas de transmissão do sinal rádio.

Normalmente a interferência entre os TMs e o receptor de rádio resulta do facto dos sinais de baixa frequência produzidos pelos telefones móveis se introduzirem nos sistemas de amplificação e serem erradamente reproduzidos pelo aparelho na forma de zumbidos ou ruído de fundo [Rodm08]. Em [ITMR05], reportam-se os resultados de vários testes de

[17] Do inglês, *Amplitude Modulation*.
[18] Do inglês, *Frequency Modulation*.
[19] Do inglês, *Terrestrial Digital Audio Broadcasting*.

imunidade electromagnética efectuados a um leitor AM/FM/CD e a um rádio AM/FM/SW[20], usando sinais GSM 900/1800 e UMTS. Os resultados mostram que a ocorrência de interferências é possível, verificando-se perturbações a partir de campos gerados pelos TMs de 1 V/m. O mesmo estudo conclui que as características da interferência são independentes da banda seleccionada, dado que a desmodulação do sinal interferente ocorre primariamente com o sinal áudio, e não com o sinal de radiofrequência. As maiores perturbações registaram-se quando ambos os rádios estão sintonizados na banda de FM. O sinal de UMTS produz um zumbido audível na frequência de 100 Hz, enquanto que o sinal de GSM900 produz um pequeno apito a 1 kHz.

Relativamente à questão da interferência entre os sinais provenientes das EBs e os sinais das estações transmissoras de rádio, o estudo apresentado em [LlTi04] conclui que a proximidade destes dois tipos de estações pode resultar em interferência. O mesmo estudo recomenda uma distância de segurança, d_{seg}, entre a EB e a estação transmissora de rádio, definida de acordo com:

$$d_{seg\,[m]} = \frac{\sqrt{30P}_{[W]}}{E_{imun\,[V/m]}} \qquad (1)$$

onde:

- P – é a potência máxima transmitida pela EB;
- E_{imun} - é o nível de imunidade requerido pela estação transmissora de rádio.

À semelhança das televisões, os sistemas de rádio disponíveis no mercado europeu obedecem à norma EN 55020:2007 [CENE07b]. Esta norma descreve os métodos de medida e especifica os limites aplicáveis aos receptores de rádio e televisão e ao equipamento associado, relativamente às suas características de imunidade electromagnética a sinais interferentes, na banda de frequências de 0 Hz a 400 GHz. Nos casos especiais em que um dispositivo nas proximidades do rádio (*e.g.*, um TM), excede os limites recomendados, é preciso adoptar medidas especiais de mitigação. Em [Pool05], são exploradas algumas destas medidas, que podem passar por melhorar o isolamento entre os circuitos de áudio e de radiofrequência, por exemplo, colocando-os em localizações diferentes.

Refira-se ainda que o cidadão comum pode apresentar uma reclamação à entidade reguladora do espectro electromagnético, no caso de uma incorrecta recepção dos sons nos aparelhos de rádio. Para tal deve preencher o formulário indicado em [ANAC08c], competindo posteriormente à ANACOM pesquisar, localizar e eliminar as perturbações verificadas.

[20] Do inglês, *Short Wave*.

7.3 Bombas de Gasolina

Alargando um pouco o âmbito deste relatório, aborda-se aqui a questão da utilização de telefones móveis em bombas de gasolina. Este assunto tem sido alvo de larga especulação, alegando-se que o uso de telefones móveis em bombas de gasolina poderá provocar incêndios ou até mesmo explosões. A alimentar a polémica está, em parte, a campanha "*Stop Static*" [PEIn08], do *Petroleum Equipment Institute*, que alerta para o facto de as descargas de electricidade estática poderem provocar a combustão de vapores de gasolina, estando na origem de vários acidentes. Esta campanha demarca-se contudo da questão dos telefones móveis, referindo que nunca documentou qualquer incidente relacionado com o uso de telefones móveis em bombas de gasolina. O acidente ocorrido em 2002, numa plataforma petrolífera no Golfo do México, que inicialmente foi relacionado com o uso de um telefone móvel durante uma inspecção de rotina, também contribuiu para aumentar a especulação em torno deste assunto. Estudos realizados posteriormente permitiram concluir que o acidente não teve qualquer ligação com o uso do telefone móvel, [CJKo04]. Os avisos de proibição de utilização do telefone móvel, muitas vezes colocados nos postos de abastecimento, ou referidos nos próprios manuais dos fabricantes, contribuem para o não esclarecimento acerca deste assunto.

A teoria de que o uso de telefones móveis em bombas de gasolina pode despoletar incêndios ou explosões é fundamentada por dois mecanismos:

- A bateria do telefone móvel pode provocar faíscas e originar a combustão dos gases presentes na bomba de gasolina.
- Os campos de radiofrequência emitidos pela antena do telefone móvel podem despoletar a combustão dos gases presentes na bomba de gasolina.

Vários estudos têm mostrado que nenhum dos mecanismos referidos tem suporte científico. Em [CJKo04], indicam-se as três condições necessárias, e que devem co-existir, para que a combustão dos vapores de gasolina ocorra:

- Existência de uma mistura inflamável de combustível e ar, na proximidade de um arco eléctrico produzido por uma fonte de radiofrequência. Em condições normais, esta atmosfera inflamável não existe, dado que, durante o processo de abastecimento, as correntes de ar circulantes diluem e dispersam os vapores do combustível.
- O espaçamento mínimo entre o arco eléctrico e a mistura inflamável necessário para que a ignição ocorra deve ser de 0.5 mm.
- O arco eléctrico deve conter energia suficiente para causar a ignição, sendo que alguns estudos referem potências superiores a 50 W. A energia criada pela antena do telefone móvel é muito inferior a este valor, radiando no máximo 2 W.

O estudo conclui que é extremamente improvável que estas condições ocorram simultaneamente. Também as conclusões do estudo referido em [WEMC01] excluem a possibilidade das emissões de radiofrequência poderem originar a ignição dos vapores de combustível. Vários comunicados de fabricantes, como a *GSM Association* [GSMA06] ou a *Motorola* [Moto04], referem que este assunto é mais dos muitos mitos urbanos associados aos telefones móveis, sem qualquer evidência científica.

Conclui-se, portanto, que não há qualquer fundamento para a não utilização do telefone móvel em bombas de gasolina. Ainda assim, a Portaria Portuguesa 131/2002 [PDRe02], que regula a construção e exploração de postos de abastecimento de combustíveis, adverte que deve ser afixado, nas instalações do posto de abastecimento, o aviso da proibição de utilização de telefones móveis.

8 Conclusão

Os sistemas de comunicações móveis desempenham um papel fundamental na sociedade actual, cada vez mais dominada e "invadida" por diferentes meios tecnológicos. A CEM entre estes sistemas e os dispositivos que os rodeiam é por isso de larga importância. Neste relatório analisa-se o problema específico da IEM e CEM dos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS com outros sistemas de comunicação ou dispositivos.

O relatório apresenta uma discussão dos sistemas e mecanismos de interferência envolvidos em vários cenários, assentando numa vasta revisão da literatura disponível à data. Apresenta ainda, sempre que possível, uma descrição dos efeitos causados pelas interferências, as suas formas de mitigação e legislação ou recomendações aplicáveis. Os cenários estudados incluem ambientes particularmente sensíveis, como as unidades de saúde, e outros, como os meios de transporte (aviões, automóveis, comboios), ou ambientes domésticos. Constatou-se que a temática da CEM entre os sistemas GSM/UMTS e outros dispositivos é um assunto que está largamente explorado na literatura técnica e científica, embora maioritariamente focado nas aplicações médicas (ambientes hospitalares e equipamentos médicos).

Conclui-se que, em condições normais de funcionamento e desde que sejam respeitados os níveis de imunidade e recomendações para os vários equipamentos e cenários, os sistemas de comunicações móveis funcionarão satisfatoriamente no seu ambiente electromagnético, sem introduzir perturbações intoleráveis noutros equipamentos.

Referências

[ANAC08a] Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM), www.anacom.pt

[ANAC08b] *Quadro Nacional de Atribuição de Frequências*, ANACOM, Fev. 2008.

[ANAC08c] *Formulário 033: Protecção à Recepção de Radiodifusão – Questionário*, ANACOM, 2008 (https://www.anacom.pt/bvirtual/txt/form_033.jsp).

[ANSI07] *Methods of Measurement of Compatibility between Wireless Communications Devices and Hearing Aids*, American National Standards Institute, ANSI C63.19-2007, New York, NY, USA, Jun. 2007.

[BBra08] http://www.bbraun.com, Nov. 2008.

[Berg97] Berger,H.S., "Hearing Aid Compatibility with Wireless Communications Devices", in *Proc. of IEEE Int. Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Austin, TX, USA, Aug. 1997.

[Bing02] Bing,B., *Wireless Local Area Networks – The New Wireless Revolution*, John Wiley & Sons, New York, NY, USA, 2002.

[Blue08] http://www.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Works/Architecture__Radio.htm, Set. 2008.

[BoCa07] Borrego,J.P. e Carvalho,N.B., "A Distorção Não Linear como Causa de Interferências Radioeléctricas", in *Actas do 1º Seminário Comité Português da URSI*, Lisboa, Portugal, Nov. 2007.

[CASH04] Cray,J.W., Allen,R.L., Stuart,A., Hudson,S., Layman,E. and Givens,G.D., "An investigation of telephone use among cochlear implant recipients", *Amer J. Audiol.*, Vol. 13, No. 2, Dec. 2004, pp. 200-212.

[CBFT04] Calcagnini,G., Bartolini,P., Floris,M., Triventi,M., Cianfanelli,P., Scavino,G., Proietti,L. and Barbaro,V., "Electromagnetic Interference to Infusion Pumps from GSM Mobile Phones", in *Proc. of 26th Annual International Conference of IEEE EMBS*, San Francisco, CA, USA, Sep. 2004.

[CCTM07] Censi,F., Calcagnini,G., Triventi,M., Mattei,E. and Bartolini,P., "Interference Between Mobile Phones and Pacemakers: A Look Inside", *Annali dell'Instituto Superiore di Sanitá*, Vol. 43, No. 3, 2007, pp. 254-259.

[CCTM07] Calcagnini,G., Censi,F., Triventi,M., Mattei,E. and Bartolini,P., "Electromagnetic immunity of infusion pumps to GSM mobile phones: a systematic review", *Annali dell'Instituto Superiore di Sanitá*, Vol. 43, No. 3, 2007, pp. 225-228.

[CECo04] *Adapting to technical progress Council Directive 72/245/EEC relating to the radio interference (electromagnetic compatibility) of vehicles and amending Directive 70/156/EEC on the approximation of the laws of the Member States relating to the type-approval of motor vehicles and their trailers*, Commission of the European Communities, Council Directive 2004/104/EC, Oct. 2004.

[CENE06] *Railway applications. Electromagnetic compatibility. General*, Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), EN 50121-1:2006, Aug. 2006.

[CENE07a] *Active implantable medical devices - Part 2-3: Particular requirements for cochlear implant systems*, Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), prEN 45502-2-3, Feb. 2007.

[CENE07b] *Sound and television broadcast receivers and associated equipment: Immunity characteristics/Limits and methods of measurement*, Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), EN 55020:2007, Sep. 2007.

[CENE98] *Active implantable medical devices - Part 1: General requirements for safety, marking and information to be provided by the manufacturer*, Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), EN 45502-1:1998, Feb. 1998.

[CJKo04] Colville,F., Joyner,K.H. and Koban,G.A., "Cellphones Pose no Gas Station Hazard", *IEEE Spectrum Online*, Apr. 2004 (http://www.spectrum.ieee.org/apr04/3812).

[DeFo04] *DECT and Health – Facts and Figures*, DECT Forum, DF PUB(2004)002.2, Aug. 2004 (http://www.dect.org/userfiles/file/General/Low%20Radio%20Power/DECT_Health_Brochure.pdf).

[DGSa04] *Circular Informativa "Sistemas de Comunicações Móveis: Efeitos na Saúde Humana"*, Direcção Geral da Saúde, Nº 68/DAS, Lisboa, Portugal, Dez. 2004.

[DGSa06] *Circular Informativa "Sistemas de Comunicações Móveis: Interferência com Dispositivos Médicos em Unidades de Saúde"*, Direcção Geral da Saúde, *Nº 26/DAS*, Lisboa, Portugal, Jun. 2006.

[DGSa08] Direcção Geral da Saúde, www.dgs.pt.

[EECo90] *Active Implantable Medical Devices*, Council of the European Communities, Council Directive 90/385/EEC, June 1990.

[EMCS02] Konefal,T., Pearce,D., Marshman,C. and McCormack,L., *Potential Electromagnetic Interference to Radio Services from Railways*, Report AY4110, York EMC Services, York, UK, 2002.

[ENKS02] Ely,J.J., Nguyen,T.X., Koppen,S.V. and Salud,M.T., "Electromagnetic Interference Assessment of CDMA and GSM Wireless Phones to Aircraft Navigation Radios", in *Proc. of 21st Digital Avionics Systems Conference*, Irvine, CA, USA, Oct. 2002.

[ERCo00] *A Comparison of the Minimum Coupling Loss Method, Enhanced Minimum Coupling Loss Method and the Monte-Carlo Simulation*, ERC Report 101, Conference of Postal and Telecommunications Administrations – European Radiocommunications Committee, Menton, France, Feb. 2000.

[ERCR00] *Compatibility between Certain Radiocommunications Systems Operating in Adjacent Bands, Evaluation of DECT / GSM 1800 Compatibility*, ERC Report 100, Conference of Postal and Telecommunications Administrations – European Radiocommunications Committee, Naples, Italy, Feb. 2000.

[ETSI92] *European digital cellular telecommunication system (phase 2) – Radio Network Planning Aspects*, European Telecommunications Standard Institute, ETSI/TC-GSM GSM 05.05, Sophia-Antipolis, France, Oct. 1992.

[EuCA06] "*Guidance for the Use of Portable Electronic Devices (PEDs) on Board Aircraft*", European Organization for Civil Aviation Equipment (EurOCAE), ED-130, Dec. 2006.

[Fann07] Fanning,C.W., "Evaluating Cell Phone and Personal Communications Equipment and their EMC Effects on Automotive Audio and In-Cabin Modules", in *Proc. of IEEE Intl. Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Honolulu, Hawaii, July 2007.

[Fish84] Fisher,R.E., "UHF Television Interference Associated with Cellular Mobile Telephone Systems", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 33, No. 3, Aug. 1984, pp. 244-249.

[GSMA06] *Information Brief on Potential for Interference to Electronics*, GSM Association, Jan. 2006 (http://www.gsmworld.com/documents/health/200601_interference.pdf).

[HAHW05] Hikage,T., Abiko,Y., Hirono,M., Watanabe,S. and Shinozuka,T., "Estimation of the EMF Excitation by Cellular Radios in Actual Train Carriages", in *Proc. of Intl. Symp. on Electromagnetic Compatibility*, Chicago, IL, USA, Aug. 2005.

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

[HSHN05] Hahn,I.H., Schnadower,D., Dakin,R.J. and Nelson,L.S., "Cellular phone interference as a cause of epinephrine poisoning", *Ann. Emerg. Med.*, Vol. 46, No. 3, Sep. 2005, pp. 298-299.

[IECo03] *Medical electrical equipment - Part 1-2: General requirements for basic safety and essential performance - Collateral standard: Electromagnetic phenomena - Requirements and tests*, International Electrotechnical Commission, IEC 60601-1-2 Ed. 3.0, Geneva, Switzerland, Mar. 2003.

[IECo04] *Electroacoustics – Hearing aids – Part 13: Electromagnetic compatibility (EMC)*, International Electrotechnical Commission, IEC 60118-13:2004, Geneva, Switzerland, Nov. 2004.

[IECo05] *Medical electrical equipment - Part 1: General requirements for basic safety and essential performance*, International Electrotechnical Commission, IEC 60601-1 Ed. 3.0, Geneva, Switzerland, Dec. 2005.

[IECo08] *International Electrotechnical Commission*, www.iec.ch.

[ISOT07] *Health informatics-- Use of mobile wireless communication and computing technology in healthcare facilities -- Recommendations for the management of unintentional electromagnetic interference with medical devices*, International Organization for Standardization (ISO), ISO/TR 21730:2007, Geneva, Switzerland, Feb. 2007.

[ITMR05] Iskra,S., Thomas,B.W., McKenzie,R. and Rowley,J., "Evaluation of Potential GPRS 900/1800-MHz and WCDMA 1900-MHz Interference to Consumer Electronics", *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, Vol. 47, No. 4, Nov. 2005, pp. 951-962.

[ITUn08] *International Telecommunication Union* (ITU), www.itu.int

[JOUE04] "Directiva 2004/108/CE", Jornal Oficial da União Europeia L390, Estrasburgo, França, Dez. 2004.

[KACh03] Kainz,W., Alesch,F. and Chan,D.D., "Electromagnetic interference of GSM mobile phones with the implantable deep brain stimulator ITREL-III", *Biomed Eng Online*, May 2003 (http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=156641).

[KBGG04] Köther,D., Bahr,A., Gollor,U. and Gustrau,F., "Influence of Mobile Communication Signals on Pacemaker Operation", in *Proc. of IEEE International Microwave Symposium Digest*, Fort Worth, TX, USA, June 2004.

[LITi04] Lloyd,M. and Tianlin,D., "Mobile phone base stations built near residential buildings a threat to radio amateur", in *Proc. of Asia-Pacific Radio Science Conference*, Qingdao, China, Aug. 2004.

[MDAD97] *Electromagnetic compatibility of medical devices with mobile communications*, London Medical Device Agency, MDA Device Bulletin DB9702, Mar. 1997.

[MeLi06] Metro de Lisboa, Comunicação privada, 2006.

[Merc08] http://www.manualmerck.net/, Set. 2008.

[MiTh07] Midya,S. and Thottappillil,R., "An overview of electromagnetic compatibility challenges in European Rail Traffic Management System", *Elsevier Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 16, No. 5, Oct. 2008, pp. 515-534.

[Moto04] *Use of Mobile Phones and Portable Radios in Gasoline Stations: A Motorola Background Paper*, Motorola, May 2004 (http://www.motorola.com/mot/doc/0/203_MotDoc.pdf).

[Moto06] *Electromagnetic Compatibility: A Motorola Report on the Interactive Effects of Electromagnetic Energy*, Motorola, Jun. 2006.

[NFMc01] Noble,I.E., Flintoft,I.D. and McCormack,L.M., *Study for the application of Directive 95/54/EC relative to the EMC of road vehicles for the European Commission DGIII*, York EMC Services, York, UK, April 2001.

[NKEW04] Nguyen,T.X., Koppen,S.V, Ely,J.J., Williams,R.A., Smith,L.J. and Salud,M.T., "Portable Wireless Device Threat Assessment for Aircraft Navigation Radios", in *Proc. of EMC2004 - International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Silicon Valley, CA, USA, Aug. 2004.

[NKSW05] Nguyen,T.X., Koppen,S.V, Smith,L.J., Williams,R.A., and Salud,M.T., "Wireless Phone Threat Assessment for Aircraft Communication and Navigation Radios", in *Proc. of EMC2005 - International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Chicago, IL, USA, Aug. 2005.

[OnAi08] OnAir, www.onair.aero, Out. 2008.

[PDRe02] "Portaria 131/2002", Diário da República No. 34/2002, Lisboa, Portugal, Fev. 2002.

[PEIn08] http://www.pei.org/index.aspx?p=stop_static, Out. 2008.

[Pool05] Poole,B., "Reducing audio buzz in GSM cell phones", *EDN*, Feb. 2005 (http://www.edn.com/article/CA498768.html).

[Rodm08] Rodman,J., "Audio Electronics and the Mobile Phone Buzz", *Polycom White Paper*, Pleasanton, CA, USA, Jan. 2008.

[RTCA08] RTCA, www.rtca.org, Out. 2008.

[SCFC06] Sebastião,D., Carpinteiro,G., Ferreira,L. and Correia,L., *Compatibilidade entre Sistemas de Comunicações e Sinalização no Metro de Lisboa*, Instituto de Telecomunicações, IT_Metro_2005_01_001_v1.6, Metro de Lisboa, Lisboa, Portugal, Fev. 2006.

[SHVK01] Sorri,M., Huttunen,K.H., Välimaa,T., Karinen,P: and Löppönen,H., "Cochlear Implants and GSM Phones", *Scandinavian Audiology. Supplement*, Vol. 30, No. 52, 2001, pp. 54-56.

[Skop98] Skopec,M., "Hearing Aid Electromagnetic Interference from Digital Wireless Telephones", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol. 6, No. 2, Jun. 1998, pp. 235-239.

[SMAS06] Strauss,B., Morgan,M.G., Apt,J. and Stancil,D.D., "Unsafe at any airspeed? Cellphones and other electronics are more a risk than you think", *IEEE Spectrum*, Mar. 2006, pp. 44-49.

[SPHJ06] Sorri,M., Piiparinen,P., Huttunen,K.H., and Jaho,M.J., "Solutions to Electromagnetic Interference Problems Between Cochlear Implants and GSM Phones", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, Vol. 14, No. 1, Mar. 2006, pp. 101-108.

[Stev97] Stevenson,R., "Design and Application of Broadband Ceramic Feedthrough Capacitor EMI Filters to Cardiac Pacemakers and Implantable Defibrillators", in *Proc. of IEEE EMBS – 19th Int. Conf.*, Nov. 1997, Chicago, IL, USA.

[Tosh08] Toshiba, www.toshiba.com, Out. 2008.

[TPSP07] Tognola,G., Parazzini,M., Sibella,F., Paglialonga,A. and Ravazzani,P., "Electromagnetic Interference and Cochlear Implants", *Annali dell'Instituto Superiore di Sanitá*, Vol. 43, No. 3, 2007, pp. 241-247.

[Wale08] Walen,D., *Aircraft and Portable Electronics Devices – A New Approach*, Federal Aviation Administration (FAA), USA, Mar. 2008.

[WEMC01] *Investigation of the Potential for Wireless Phones to Cause Explosions at Gas Stations*, Wireless EMC Center, University of Oklahoma, Norman, OK, USA, Aug. 2001.

[Wide08] Widex, http://www.widex.pt, Set. 2008.

[WRSy08] Westinghouse Rail Systems, http://www.westsig.co.uk.