

ABC das Ondas ElectroMagnéticas

Projecto ITEM

Carla Oliveira, Carlos Fernandes, Gonçalo Carpinteiro, Luís Correia

Instituto de Telecomunicações / Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa,
Av. Rovisco Pais
1049-001 Lisboa, Portugal.
Telf.: 21 841 8164, Fax: 21 841 8472, Mail: item@lx.it.pt
www.lx.it.pt/item

Resumo

Apresentam-se conceitos básicos relacionados com a exposição à radiação electromagnética, abordando-se noções fundamentais sobre ondas electromagnéticas e sobre aspectos gerais comuns às diferentes áreas de aplicação da radiação. Focam-se também aspectos particulares da exposição à radiação de radiofrequência, nomeadamente a proveniente dos sistemas de comunicações móveis.

1. Noções Básicas

Nesta secção introduzem-se noções básicas sobre a temática da radiação electromagnética, tais como as fontes que a produzem, as ondas electromagnéticas, as diferentes áreas de aplicação, etc.

A radiação electromagnética: fontes naturais e fontes artificiais

A radiação electromagnética ocorre naturalmente no Universo e, como tal, sempre esteve presente na Terra. O nosso Sol, por exemplo, é a fonte (natural) de radiação electromagnética mais intensa a que estamos expostos. Por outro lado, o crescimento tecnológico, as mudanças no comportamento social e nos hábitos de trabalho - próprios de uma sociedade em evolução - criaram um ambiente crescentemente exposto a outras fontes de radiação electromagnética. Estas fontes foram criadas artificialmente pelo homem e são, por exemplo, as antenas dos sistemas de telecomunicações, as linhas de alta tensão, os aparelhos eléctricos, etc.

Assim, a luz visível, os raios X, as vulgarmente chamadas “ondas de rádio” e as microondas são formas possíveis de radiação electromagnética, correspondendo à propagação de energia pelo espaço a velocidades da ordem de 300 000 km/s, sem necessidade de suporte físico.

As ondas electromagnéticas

A propagação da energia electromagnética faz-se através de ondas electromagnéticas. Estas são constituídas por duas entidades interdependentes entre si: o campo eléctrico, E , e o campo magnético, H . Não é possível observar directamente o campo eléctrico e o campo magnético, a não ser através de uma representação artificial, como a indicada na Figura 1: o campo eléctrico está representado com cor azul, e o campo magnético com cor vermelha. Estes campos evoluem no espaço como uma onda, daí a designação de “onda electromagnética”. O produto destes dois campos resulta na densidade de potência, S . Uma onda electromagnética pode ser criada por uma corrente eléctrica variável no tempo.

Características das ondas electromagnéticas

Existem características particulares das ondas electromagnéticas que determinam as suas propriedades e aplicações. As características essenciais são:

- Comprimento de onda, λ , e frequência, f ;
- Amplitude;
- Direcção e velocidade de propagação;
- Polarização.

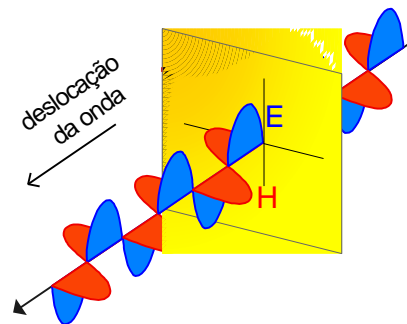


Figura 1 - A onda electromagnética.

Como se pode ver na Figura 1, a onda electromagnética apresenta um padrão que se repete enquanto se propaga. O comprimento desse padrão de repetição no espaço designa-se por comprimento de onda, medindo-se em metros [m]. A frequência representa o número de ciclos da onda num ponto do espaço em cada segundo, medindo-se em Hertz [Hz]. O comprimento de onda e a frequência estão interligados entre si, através da velocidade de propagação da luz, c : $\lambda f = c$. Este conceito está ilustrado na Figura 2.

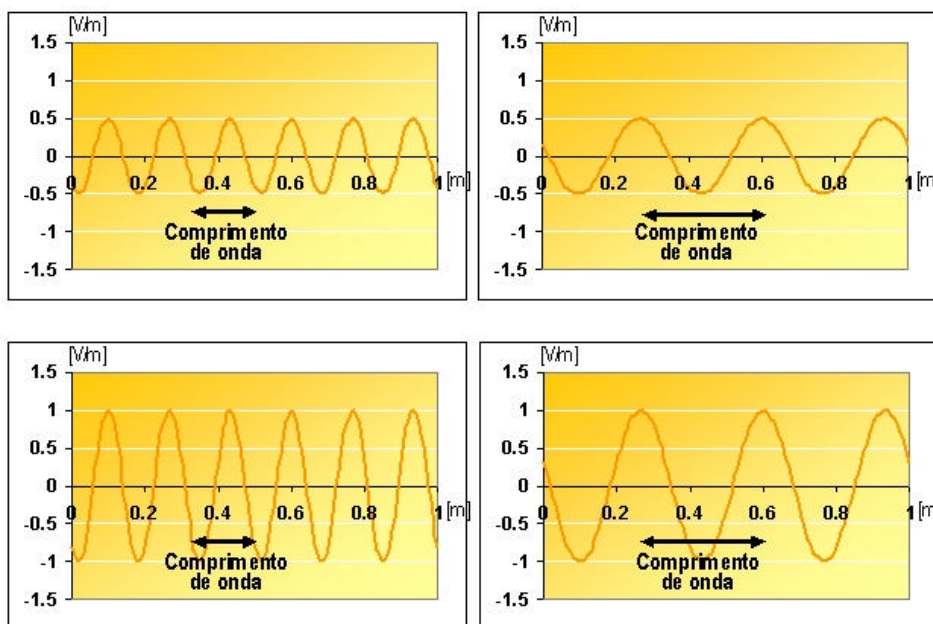


Figura 2 – Relação entre comprimento de onda e frequência.
(a frequência diminui da figura esquerda para a figura direita e o comprimento de onda aumenta da figura esquerda para a figura direita)

A amplitude dá uma medida da intensidade dos campos, medindo-se no caso do campo eléctrico em Volt por metro [V/m], e do campo magnético em Ampère por metro [A/m]. A ilustração desta característica está também contemplada na Figura 2. A densidade de potência vem expressa em Watt por metro quadrado [W/m^2], medindo a potência transportada pela onda por unidade de área.

Em espaço aberto, as ondas electromagnéticas [HaBa89] propagam-se em linha recta com velocidade c próxima de 300 000 km/s. Na vizinhança de obstáculos, como o relevo do terreno, espelhos de água, construções, etc., a direcção de propagação pode ser alterada por reflexão, ou por difracção. A reflexão ou a difracção sofridas por uma onda electromagnética, em geral modificam também a sua amplitude, mas não alteram a frequência. Modificam ainda a polarização da onda (assunto que é tratado a seguir). A Figura 3 retrata os fenómenos da reflexão e da difracção de uma onda electromagnética.

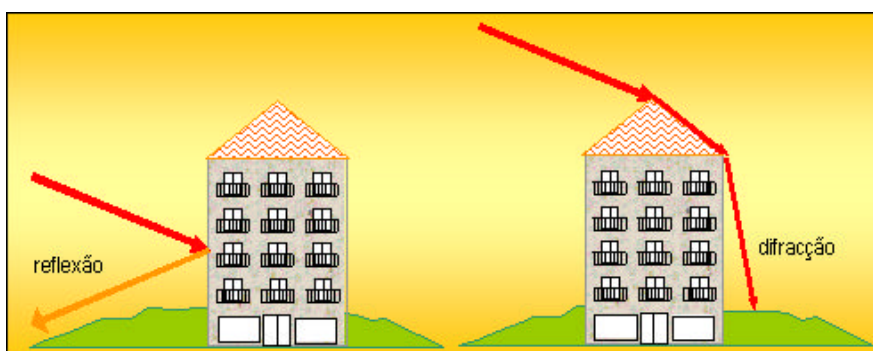
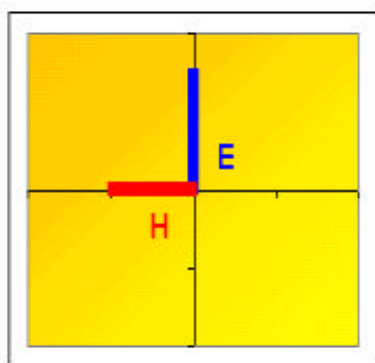
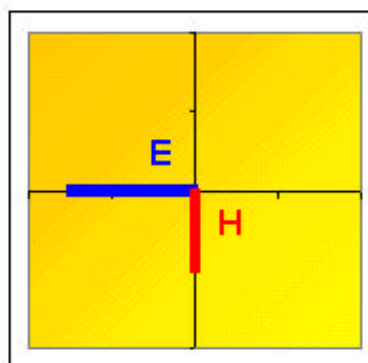


Figura 3 – Reflexão e difracção de uma onda por um obstáculo à propagação.

Rodando a Figura 1, por forma a que a direcção de propagação da onda fique perpendicular à folha (onda a sair da folha na direcção do observador), obtemos a Figura 4.a. Nela, o campo eléctrico oscila sobre uma direcção vertical, designada por polarização vertical (PV); em alternativa, é possível escolher convenientemente a orientação da fonte de forma a ter o campo eléctrico a oscilar sobre uma direcção horizontal, Figura 4.b, designada por polarização horizontal (PH). A esta orientação espacial dos campos electromagnéticos dá-se o nome de polarização.



a) Polarização vertical



b) Polarização horizontal

Figura 4 - Ilustração da polarização do campo electromagnético.

O espectro electromagnético

A Figura 5 representa uma larga gama de frequências e comprimentos de onda da radiação electromagnética: é o espectro electromagnético. Cada parte do espectro electromagnético tem aplicações que lhe estão associadas, que vão desde as linhas de alta tensão operando em 50 Hz, até aos raios X e raios gama que têm frequências muito altas, e comprimentos de onda muito curtos. Entre estes extremos de frequências, encontram-se as ondas de rádio, as microondas, a radiação infravermelha, a luz visível e a radiação ultravioleta.

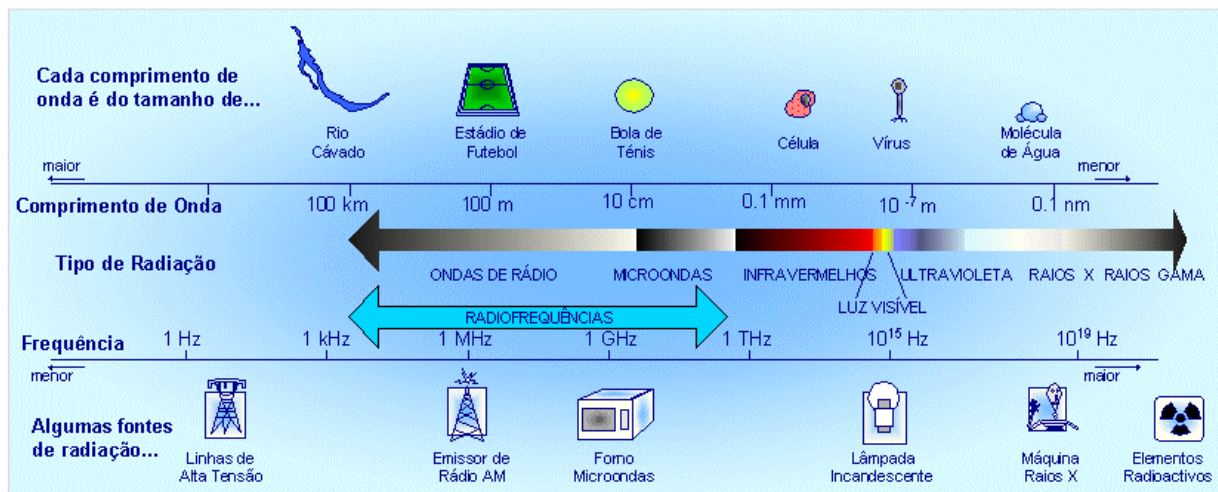


Figura 5 – Espectro electromagnético.

As radiofrequências

A parte de radiofrequência do espectro electromagnético ocupa as frequências entre os 3 kHz e os 300 GHz. As aplicações principais da gama de radiofrequência do espectro electromagnético centram-se na área das telecomunicações: são exemplos a difusão de rádio e televisão, os sistemas de comunicações móveis, os sistemas de comunicação das forças militares e de segurança, e as comunicações por satélite. As radiofrequências são utilizadas também em radares, nos fornos microondas, em sistemas de aquecimento industrial, ou na medicina, entre outros.

2. Efeitos Biológicos da Radiação

Nesta secção apresentam-se os conceitos básicos relacionados com os efeitos biológicos resultantes da exposição à radiação electromagnética. Não se aprofundam os conceitos, na medida em que esta é uma abordagem na óptica da engenharia.

Radiação electromagnética: onda ou partícula?

A Ciência encontra a explicação para muitos dos fenómenos electromagnéticos considerando a radiação como um conjunto de ondas que viajam no espaço. Porém, existem outros fenómenos que são mais facilmente compreendidos considerando a radiação como um fluxo de partículas ou fótons. Chama-se a esta propriedade da radiação electromagnética dualidade "onda-partícula".

A energia de um fóton - unidade elementar de uma onda electromagnética - depende da sua frequência. Quanto maior a frequência de uma onda electromagnética, maior a energia do fóton a ela associado, e conseqüentemente maior a sua capacidade de interacção com o material biológico.

Radiações ionizantes ou não-ionizantes?

A matéria é formada por átomos, e por combinações de átomos chamadas moléculas. O processo pelo qual um átomo ou uma molécula perde um electrão designa-se por ionização. A ionização não ocorre de uma forma espontânea, isto é, para que ela ocorra é necessária a interacção da molécula ou do átomo com radiação caracterizada por fótons com níveis de energia altos. Os raios X e os raios gama são exemplos de radiação ionizante (capaz de causar ionização). Este tipo de radiação pode produzir alterações moleculares, que por sua vez podem causar danos no tecido biológico, incluindo efeitos a nível genético.

Os fótons associados à radiação de radiofrequência não têm energia suficiente para causar a ionização de átomos ou moléculas, pelo que a radiação de radiofrequência se diz não-ionizante, tal como acontece com a luz visível, infravermelhos e outras formas de radiação electromagnética com frequência relativamente baixa.

É muito importante não confundir os termos ionizante e não-ionizante, uma vez que os mecanismos de interacção com o corpo humano são bastante diferentes.

Efeitos biológicos da exposição à radiação de radiofrequência

Chama-se efeito biológico à resposta mensurável do organismo a um estímulo ou a uma alteração no meio envolvente. Os efeitos biológicos ocorrem nas mais variadas situações, desencadeando diversos mecanismos de compensação do corpo humano, mas não sendo necessariamente prejudiciais para a saúde. Um efeito biológico é prejudicial à saúde quando causa alguma alteração detectável no bem-estar ou integridade dos indivíduos expostos [WoHO98].

Para um tipo de radiação não-ionizante, como é a radiação electromagnética de radiofrequência, os efeitos biológicos conhecidos estão razoavelmente bem quantificados: traduzem-se essencialmente no aquecimento do tecido biológico e são por isso designados como “efeitos térmicos”. Quando o nível de aquecimento dos tecidos biológicos excede a capacidade natural de termo-regulação do organismo humano, podem ocorrer danos nesses mesmos tecidos. No entanto, como é conhecida de forma objectiva a relação entre a quantidade de energia de radiofrequência que é absorvida pelos diversos órgãos do corpo humano e a correspondente elevação de temperatura, foi possível estabelecer por organizações internacionais de saúde os valores limites para exposição segura à radiofrequência.

Para além dos efeitos térmicos resultantes da exposição à radiação electromagnética de radiofrequência, há ainda a possibilidade de ocorrência de efeitos biológicos não-térmicos. O conhecimento científico sobre este tipo de efeitos é ainda muito pouco, não existindo sequer uma definição clara sobre o termo “efeito não-térmico” ou estudos em condições de serem replicados. Algumas das dificuldades residem na quantificação de efeitos que são de avaliação subjectiva, e também no facto do intervalo de tempo de observação ser insuficiente para estabelecer relações de causalidade. Existe neste momento um grande esforço da comunidade

científica, no sentido de tentar clarificar esta questão. Refira-se ainda que a ocorrência de efeitos biológicos a longo prazo é outra questão em aberto, a que se tenta rapidamente dar resposta.

3. Limites de segurança

Nesta secção descrevem-se de forma sucinta os princípios básicos que estão por detrás do estabelecimento dos limites de segurança na exposição à radiação. Apresentam-se os limites de referência adoptados em Portugal.

O que são os limites de segurança?

Os limites de segurança surgem para responder à pergunta: quando é que os efeitos biológicos provocados pela absorção de radiação se tornam prejudiciais à saúde? Desta forma, pode-se dizer que os limites de segurança estabelecem valores máximos permissíveis para os níveis de radiação absorvidos pelo corpo humano.

Os limites de segurança são estabelecidos por vários organismos internacionais (como por exemplo, ICNIRP - International Commission on Non-Ionising Radiation Protection, IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, CENELEC - European Committee for Electrotechnical Standardisation, FCC - Federal Communications Commission, etc.) baseados nos mais diversos estudos. Estes limites são adoptados pelos diversos países, e são as autoridades competentes de cada país que têm a obrigação de fiscalizar o seu cumprimento.

Acompanhando o conhecimento científico actual, o estabelecimento dos limites de segurança baseia-se na procura dos valores mínimos a partir dos quais começam a surgir efeitos biológicos adversos à saúde, independentemente do mecanismo que os gera. Actualmente, o único mecanismo confirmado como potencial gerador de efeitos prejudiciais à saúde resultantes da exposição à radiação de radiofrequência é o aquecimento dos tecidos biológicos. É portanto com base nesse mecanismo que são estabelecidos os limites de segurança na banda das radiofrequências. No entanto, discute-se actualmente se esta é a abordagem adequada, uma vez que existe a possibilidade da ocorrência de efeitos não-térmicos e efeitos a longo prazo que podem ser adversos para a saúde.

Como se caracteriza a radiação absorvida pelo corpo?

Para caracterizar a radiação absorvida pelo corpo, é necessário encontrar um parâmetro de medida adequado. Para a radiação de radiofrequência, o parâmetro utilizado é a taxa de absorção específica (SAR^1 [AJPR95], em inglês) que representa a taxa a que a energia electromagnética é absorvida por uma unidade de massa de tecido. A unidade da SAR é Watt por quilograma de tecido exposto [W/kg].

Assim, para a radiação de radiofrequência, os limites de segurança são estabelecidos para o parâmetro SAR .

Os limites de referência

Uma vez que a radiação de radiofrequência penetra no organismo, o parâmetro SAR tem de

¹ *Specific Absorption Rate.*

ser medido no seu interior, o que torna esta medição bastante difícil de efectuar na prática. Assim, estabelecem-se também limites para algumas grandezas electromagnéticas, como a densidade de potência e intensidades de campos eléctrico e magnético, facilmente mensuráveis no exterior do organismo. Estes limites designam-se por limites de referência.

Os limites de referência representados na Figura 6 são os adoptados pelo CENELEC [CENE97] para os casos de exposição em áreas públicas e em ambiente de trabalho. É de referir que os limites para as áreas públicas correspondem a valores que estão 50 vezes abaixo dos limiares para os quais começaram a ser detectados efeitos; por outro lado, os limites para ambientes de trabalho pressupõem que os trabalhadores tomam as necessárias medidas de precaução, daí os seus valores serem mais elevados.

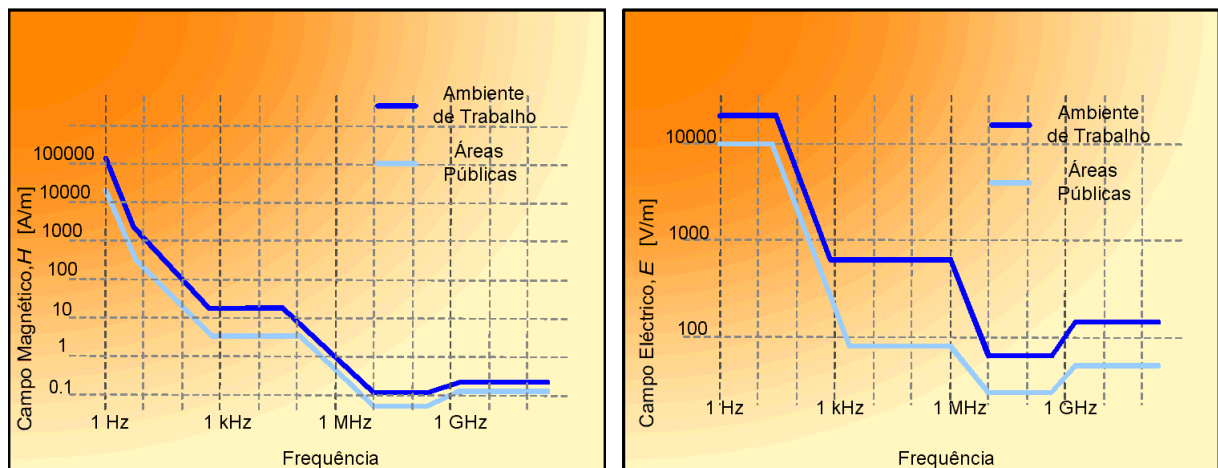


Figura 6 – Limites de referência (CENELEC).

E em Portugal?

Em Portugal, o ICP-ANACOM² é o responsável por verificar se os limites de segurança são respeitados por todas as infraestruturas de telecomunicações. Para a protecção do público em geral, foi adoptada a recomendação do Conselho de Ministros da União Europeia [CoUE99] sobre esta matéria, na qual se consideram como adequados os limites estabelecidos pelo CENELEC para as áreas públicas (Figura 6), que por sua vez correspondem aos limites do ICNIRP [ICNI98]. Note-se que estes limites não se aplicam ao público portador de dispositivos médicos (próteses auditivas, *pacemakers*, desfibriladores cardíacos, e outros), pois podem ocorrer problemas de interferência electromagnética quando expostos à radiação (que são diferentes dos que são tratados neste artigo), ainda que abaixo dos limites de referência. Para este tipo de público existem recomendações específicas [IECo01] tratadas no quadro da legislação referente à compatibilidade electromagnética e aos dispositivos médicos.

4. Medidas de Radiação

Existem procedimentos aceites a nível internacional para avaliar os níveis de radiação electromagnética num determinado local, com recurso a sondas preparadas para medir os valores de campo eléctrico, campo magnético ou densidade de potência. Na Figura 7, representa-se uma sonda tipicamente usada nas medidas de radiação.

² Instituto das Comunicações de Portugal / Autoridade Nacional de Comunicações – É a entidade reguladora do sector das comunicações em Portugal.

De acordo com os procedimentos referidos, começam-se por medir os níveis de radiação no local em análise usando uma sonda sensível à radiofrequência, numa gama muito larga de frequências (tipicamente de 100 kHz a 3 000 MHz). Se os níveis de radiação medidos estiverem abaixo dos limites de referência, então conclui-se que no local analisado não há perigo de exposição à radiação. Se pelo contrário os valores medidos estiverem acima dos limites de referência, então é necessário proceder a uma investigação detalhada em frequência para averiguar qual a contribuição de cada fonte de emissão para o nível de campo total.



Figura 7 – Sonda usada para medir os níveis de radiação.

5. Sistemas de Comunicações Móveis

Nesta secção descreve-se de forma geral a arquitectura de funcionamento dos sistemas de comunicações móveis, apresentam-se aspectos fundamentais sobre as antenas das estações base e sobre a cobertura electromagnética, e referem-se os procedimentos envolvidos na instalação de uma estação base.

Descrição Geral

Os sistemas de comunicações móveis celulares [Corr02] são uma das aplicações das radiofrequências com mais impacto na nossa sociedade (basta pensarmos no número de pessoas que usam o telefone móvel no seu dia a dia...). O objectivo destes sistemas é o de proporcionar um canal de comunicação entre utilizadores cuja posição é desconhecida e que possam estar em movimento, sem qualquer restrição de localização. Para tal, é necessária uma infraestrutura de telecomunicações complexa, cujos elementos visíveis para o público são os terminais móveis (vulgarmente designados por “telemóveis”) e as antenas das estações base, que fazem a interface entre o utilizador e o sistema.

As estações base não são mais que um conjunto de diversos equipamentos que trocam informação com os terminais móveis. De entre os equipamentos que constituem uma estação base, os mais visíveis são as antenas (apenas uma ou várias) e o mastro de suporte. É muito importante diferenciar estes dois elementos (Figura 8), uma vez que só as antenas emitem radiação activamente.

As estações base distribuem-se geograficamente segundo uma rede de forma mais ou menos regular, ao contrário do que acontece por exemplo com a distribuição das antenas de difusão de rádio e televisão. Isto acontece porque os sistemas de comunicações móveis são bidireccionais, ou seja, o terminal móvel para além de receber informação da estação base também transmite sinais no sentido inverso. Assim, e como a capacidade de alcance do terminal móvel é limitada, as estações base têm de estar distribuídas regularmente para garantir que em qualquer local seja possível comunicar; por outras palavras, para garantir aquilo que em linguagem técnica se designa por “cobertura” de um dado local. Esta situação é semelhante ao sistema de iluminação pública, em que os postes de iluminação estão distribuídos de uma forma regular de modo a garantir que cada local seja devidamente iluminado.



Figura 8 – Antena e mastro de suporte.

Cada estação base é capaz de estabelecer ligação com um número limitado de terminais móveis, dizendo-se portanto que a sua capacidade é finita. Dependendo do número de chamadas a efectuar num dado local, assim haverá mais ou menos estações base nesse local. É por este motivo que nos centros urbanos, caracterizados por um maior número de utilizadores, existem mais estações base do que nos meios rurais.

As antenas

As antenas das estações base estão tipicamente montadas em torres e mastros, ou no topo e nas fachadas de edifícios. Não é raro encontrar também instalações em postes de iluminação pública, em depósitos de água, no interior de edifícios, etc.

As antenas não emitem radiação de igual forma em todas as direcções do espaço, o que significa que o nível de radiação não é o mesmo em toda a área circundante à antena. Esta propriedade é designada por direcionalidade da antena.

Nos sistemas de comunicações móveis celulares usam-se geralmente dois tipos de antenas: as antenas omnidireccionais, e as antenas directivas. A grande diferença entre estes dois tipos de antena é a forma como distribuem a radiação no espaço. À representação espacial dos níveis

de radiação de uma antena chama-se diagrama de radiação. Pode-se observar exemplos de diagramas de radiação na Figura 9 e na Figura 10.

Na Figura 9 representa-se o nível de radiação emitido por uma antena omnidireccional. As zonas a sombreado concentram a radiação emitida. Pode-se observar que, no plano horizontal, a radiação é distribuída da mesma forma por todo o espaço. Já na Figura 10, em que se representa a radiação proveniente de uma antena directiva, se observa que a radiação é essencialmente distribuída numa direcção bem definida do espaço.

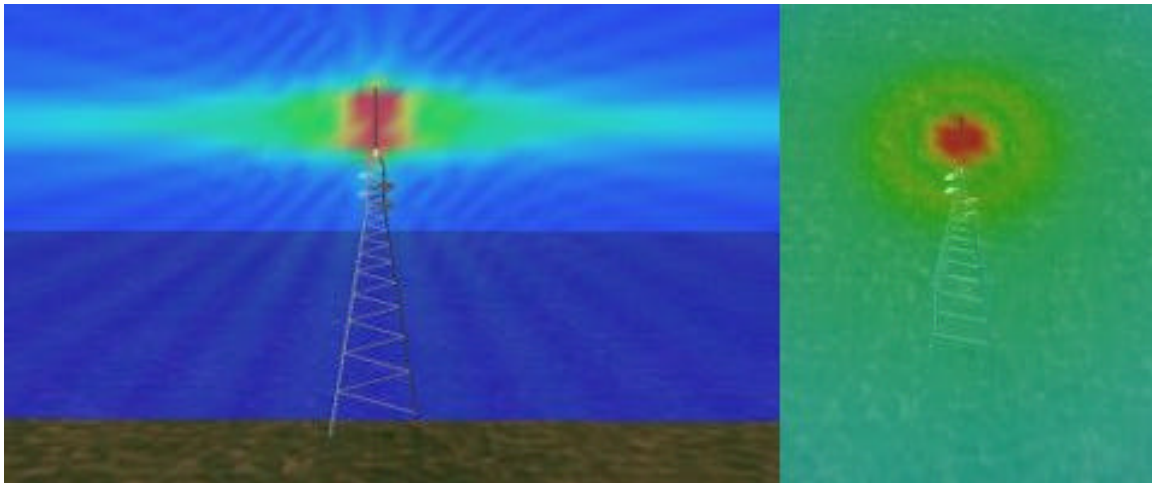


Figura 9 – Representação da radiação emitida por uma antena omnidireccional (imagens obtidas através do programa *EMF Visual, Antenessa*).

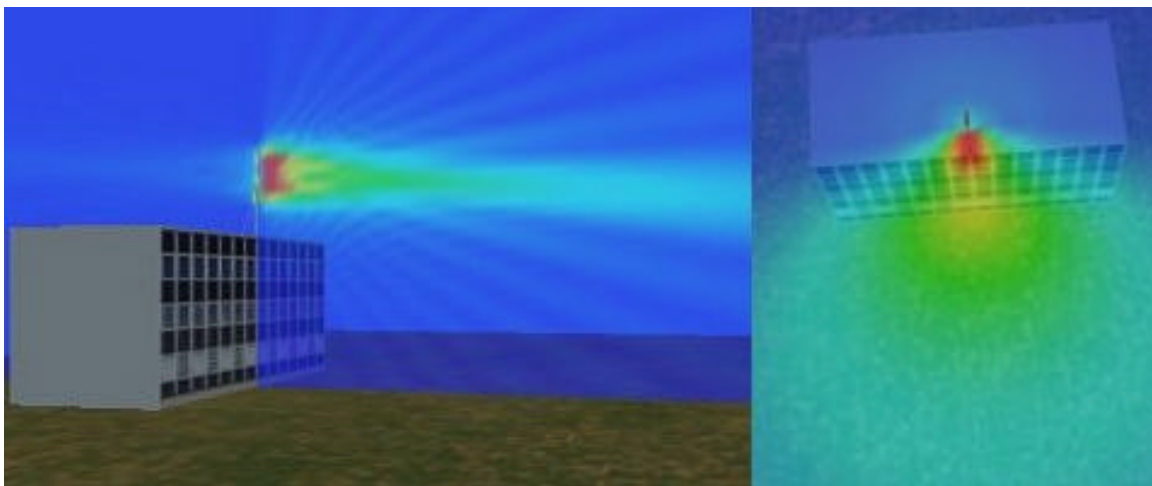


Figura 10 – Representação da radiação emitida por uma antena directiva. (imagens obtidas através do programa *EMF Visual, Antenessa*).

Uma característica comum a estes dois tipos de antena, e que se pode constatar quer na Figura 9 quer na Figura 10, é que a radiação é geralmente inclinada para o solo. A inclinação dos diagramas de radiação pode ser feita mecânica ou electricamente.

Tipicamente, distinguem-se duas zonas de radiação dos campos electromagnéticos provenientes de uma antena, Figura 11: as zonas próxima e distante. A zona próxima vai desde a antena até à distância de cerca de um comprimento de onda, e caracteriza-se por

apresentar uma relação bastante complexa entre os campos eléctrico e magnético. A zona distante estende-se desde a distância de cerca de um comprimento de onda até ao infinito e caracteriza-se por os campos eléctrico e magnético apresentarem uma relação bem conhecida e serem perpendiculares entre si.

Cobertura electromagnética

O nível de radiação proveniente de uma antena de estação base num determinado local depende essencialmente de três factores: potência radiada pela antena, direccionalidade da antena e distância em relação à antena.

A forma como é feita a distribuição das estações base faz com que a potência por elas radiada seja baixa, de modo a evitar interferências. Este é outro factor que diferencia as estações base das estações de difusão de rádio e de televisão, caracterizadas por potências radiadas bem mais elevadas (Tabela 1).

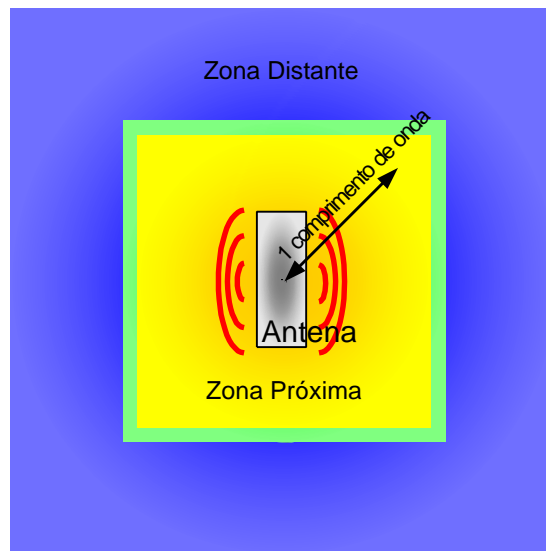


Figura 11 – Zona distante e zona próxima de uma antena.

Tabela 1 – Potências radiadas por diversas fontes de emissão.

Fonte	Potência radiada típica – [W] (Potência Aparente Radiada)
Estação base GSM ³	200
Estação de difusão rádio	100 000
Estação de difusão de televisão	500 000

Tal como se pode visualizar na Figura 12, a intensidade do campo electromagnético radiado por uma antena diminui rapidamente com a distância, tipicamente com o inverso desta. Isto significa que a densidade de potência associada ao campo electromagnético se reduz de um factor de 4 sempre que se duplica a distância em relação à antena da estação base. A

³ *Global System for Mobile Communications* – É o sistema de comunicações móveis em uso em Portugal, operando nas bandas de frequências de 900 MHz e 1800 MHz.

densidade de potência num local dá uma medida da energia que pode ser absorvida por um tecido biológico exposto à radiação de uma fonte electromagnética.

Instalação de estações base

A instalação de uma estação base tem de obedecer a vários requisitos de ordem técnica, sendo necessária a utilização de ferramentas de planeamento complexas. Para além destes requisitos, há ainda várias autorizações que os operadores precisam de obter, tais como a licença para usar um determinado conjunto de frequências [MiES00] (atribuída pela ANACOM) e a licença de instalação atribuída pelos órgãos municipais [MiEc03] de acordo com diversos critérios (p.e., autorizações dos proprietários dos edifícios de instalação, cumprimento dos níveis de referência para efeitos de avaliação da exposição da população a campos electromagnéticos, e cumprimento das restrições previstas no plano municipal de ordenamento do território).

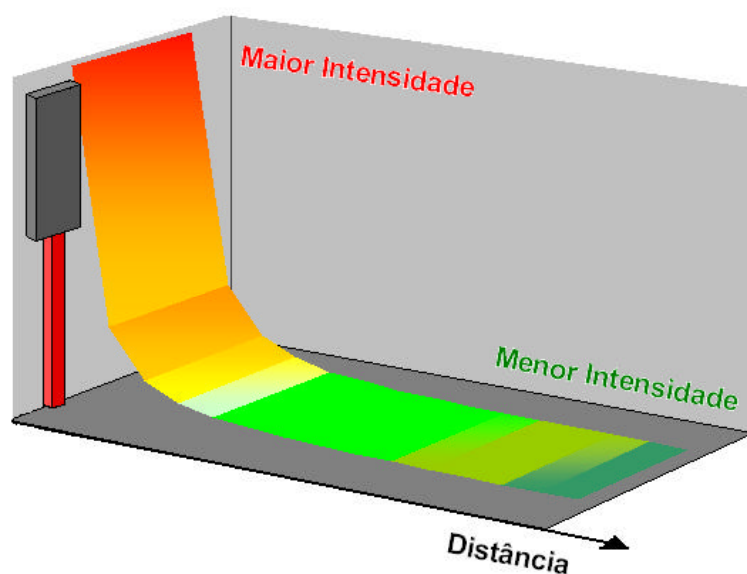


Figura 12 – Diminuição da intensidade de emissão com a distância em relação à antena.

6. Referências

- [AJPR95] Andersen,J., Johansen,C., Pedersen,G. and Raskmark,P., *On the Possible Health Effects Related to GSM and DECT Transmissions – A Tutorial Study*, Center of Personkommunikation, Aalborg University, Aalborg, Denmark, Apr. 1995.
- [CENE97] *Considerations for Human Exposure to EMFs from Mobile Telecommunication Equipment (MTE) in the Frequency Range 30 MHz - 6 GHz*, CENELEC - European Committee for Electrotechnical Standardisation, Secretariat SC 211/B, Brussels, Belgium, Feb. 1997.
- [Corr02] Correia,L.M., *Sistemas de Comunicações Celulares-2*, Apontamentos de Sistemas de Comunicações Móveis e Pessoais, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2002.

- [CoUE99] Conselho da União Europeia, "Recomendação do Conselho de 12 de Julho de 1999, relativa à limitação da exposição da população aos campos electromagnéticos (0 Hz - 300 GHz)", *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L 199/59, Bruxelas, Bélgica, Jul. 1999.
- [HaBa89] Hall, M.P.M. and Barclay, L.W., *Radiowave Propagation*, Peter Peregrinus, London, UK, 1989.
- [ICNI98] *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*, ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Report 0017-9078/98, Germany, 1998.
- [IECo01] *Medical electrical equipment; Part 1: General requirements for safety; 2. Collateral standard: Electromagnetic compatibility; Requirements and tests*, IEC - International Electromagnetic Commission, Report 60601-1-2 - Ed. 2.0, Switzerland, Sep. 2001.
- [MiEc03] Ministérios da Economia e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Decreto-Lei nº 11/2003, *Diário da República – I Série-A*, Nº 15, Lisboa, 18 Jan. 2003, pp. 260 – 264.
- [MiES00] Ministério do Equipamento Social, Decreto-Lei nº 151-A/2000, *Diário da República – I Série-A*, Nº 166, Lisboa, 20 Jul. 2000, pp. 3476-(4) – 3476-(10).
- [WoHO98] World Health Organization, *Electromagnetic Fields and Public Health - Physical Properties and Effects on Biological Systems*, Fact Sheet Nº 182, Reviewed May 1998 (<http://www.who.int/inf-fs/en/fact182.html>)