

EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA DE ANTENAS DE ESTAÇÃO BASE DE GSM E UMTS

Carla Oliveira
Gonçalo Carpinteiro
Luís Correia

Instituto de Telecomunicações / Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal

RESUMO

Neste artigo discutem-se os processos existentes que possibilitam a determinação dos níveis de sinal nas bandas de GSM e UMTS para diferentes cenários, com vista à avaliação da conformidade das estações base relativamente aos limites de exposição à radiação. Estabelecem-se também algumas recomendações para a instalação de antenas de estação base que minimizem a exposição a radiações. Consideram-se aspectos básicos de GSM e UMTS, aspectos de implementação de estações base e aspectos de segurança e exposição a radiações electromagnéticas. Abordam-se os modelos de propagação e esclarece-se qual a sua utilidade no âmbito da análise da segurança de uma estação de base. É exemplificada a sua utilização no desenvolvimento de uma ferramenta de *software*. Descreve-se a realização de uma campanha de medidas com o objectivo de recolher dados reais em estações base na região de Lisboa, e de tirar conclusões relativamente à aplicabilidade dos modelos de propagação. Numa campanha de medidas desta natureza é necessário ter em conta aspectos particulares da interacção entre a radiação electromagnética e o corpo humano. É neste sentido que se desenvolveu um protocolo de medidas específico para a concretização da referida campanha. Os níveis de radiação registados em todas as estações base analisadas nunca excedem as referências estabelecidas pelos organismos internacionais. O pior caso encontrado na campanha de medidas está cerca de cinco vezes (em termos de campo eléctrico) abaixo dos limites estabelecidos pelo CENELEC e adoptados pelo Conselho da União Europeia. No entanto, em todos os outros casos medidos registaram-se valores pelo menos treze vezes abaixo dos limites. Os cenários em que se verifica a menor diferença em relação aos limites de segurança são exposição ao nível de terraços de edifícios com estações de base instaladas no topo e em interiores.

ABSTRACT

This paper discusses existing processes for measurement of GSM and UMTS signal strength on different scenarios, regarding base stations compliance evaluation with radiation exposure limits. Recommendations to minimize exposure from base station antennas' radiation are also established. GSM and UMTS basic notions, base stations implementation aspects and safety radiation exposure issues are considered. Propagation models are used and their importance to base stations security evaluation is analysed. An application example of the use of these models in a software tool development is given. A measurement campaign to collect real data from base stations in the Lisbon area is described and propagation models applicability is discussed. A measurement campaign of this nature leads to the necessity of taking in to account some particular aspects of interaction between electromagnetic radiation and human body. So, for concretisation of the mentioned campaign a specific measurement protocol was developed. Radiation reference levels established by international bodies were never exceeded on the analysed base stations. The worst-case detected was about five times (in terms of electric field strength) below security limits established by CENELEC and adopted by the European Union Council. Nevertheless, in general, the measured situations were at least thirteen times below the limits. Scenarios where the difference between measurements and limits is lower are exposure on buildings rooftops with base stations and indoors.

1. INTRODUÇÃO

O mundo das comunicações móveis é talvez um dos melhores exemplos da penetração da Tecnologia na sociedade. A década de 90 foi marcada pela explosão à escala mundial das comunicações celulares, e neste momento aguarda-se com expectativa a implementação da 3ª geração. O terminal móvel é hoje um pilar essencial nas empresas, no comércio, e nas relações entre as pessoas. A chegada da 3ª geração e a concentração de tecnologias num único terminal (Internet, *e-mail*, fax, ...) abrirá portas a mais e mais utilizadores. A expansão dos sistemas motivada pelo crescimento contínuo do número de utilizadores, leva ao aparecimento de novos operadores, de mais estações base (EBs) e terminais móveis. Paralelamente, o desconhecimento agita opiniões e fomenta receios. Surge a questão: Qual o impacto das radiações electromagnéticas provenientes dos sistemas de comunicações móveis no ser humano?

Dada a sua generalidade e a complexidade envolvida, a resposta a esta questão terá de resultar da investigação e coordenação dos mais diversos quadrantes, como a biologia, a medicina, a engenharia, e outros. Muito para além dos domínios da Ciência, vivem opiniões políticas, económicas e pessoais que acabam por incitar à controvérsia e gerar falsas polémicas.

A preocupação em compreender a interacção entre os campos electromagnéticos e o sistema biológico humano remonta aos radares dos sistemas militares da 2ª Guerra Mundial e ao aparecimento das primeiras linhas de alta tensão. Desde então, diversos organismos e entidades competentes desenvolvem e financiam estudos orientados para

o conhecimento dos valores dos campos electromagnéticos a partir dos quais há efeitos adversos ao organismo humano. A partir destes valores, estabelecem-se limites de exposição à radiação. Os primeiros limites foram estabelecidos ainda na década de 60. Actualmente existem diversas normas criadas pelos mais diferentes países e a grande batalha da comunidade científica é a de chegar a um consenso nesta matéria. Há algumas dúvidas acerca da validade de alguns dos limites normalizados, pelo que é preciso reunir esforços no sentido de clarificar o conhecimento dos fenómenos envolvidos. No momento actual há diversos projectos de investigação em curso, no entanto, destaca-se o *International EMF Project* [WoHO02], iniciado pela Organização Mundial de Saúde em 1996 e com fim previsto em 2005. Aguarda-se com expectativa a divulgação de alguns resultados deste projecto já em 2003.

Só muito recentemente, Portugal acordou para estas questões. O desconhecimento dos factos e o alarmismo da comunicação social deram o “empurrão”. Governo, operadores, fabricantes e outras entidades envolvidas consertam agora esforços com vista à regulamentação da instalação de EBs e dos seus níveis de emissão. Por enquanto, adoptam-se os limites aconselhados pela União Europeia e uma equipa interministerial equaciona possíveis linhas de acção.

Perante o panorama actual em Portugal, de falta de legislação e de incerteza em torno dos efeitos da radiação electromagnética na saúde pública, sobressai o papel da Universidade enquanto agente independente de investigação. É neste contexto que surge no Instituto Superior Técnico o projecto “Exposição à radiação electromagnética de antenas de estação de base de GSM e UMTS”, [OICa02], no qual este artigo se baseia. Como já se referiu, o tema em questão envolve as mais diversas áreas do conhecimento. A abordagem aqui adoptada segue a vertente da Engenharia Electrotécnica, pelo que é importante sublinhar que não se pretendem estudar aspectos biológicos inerentes a este tipo de radiação, mas sim verificar o cumprimento dos limites de exposição à radiação. Embora hoje em dia se discuta a validade destes limites, essa questão está fora do âmbito deste trabalho, e não será aqui abordada.

Na análise da exposição humana à radiação electromagnética emitida pelos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS distinguem-se claramente duas situações:

- Exposição à radiação proveniente do terminal móvel.
- Exposição à radiação proveniente da EB.

A abordagem a estas duas situações é necessariamente distinta, pois há diferenças a considerar. Por exemplo:

- As potências envolvidas não são as mesmas. O terminal móvel emite potências muito inferiores às EBs.
- Os modos de transmissão são diferentes. O terminal móvel emite de forma descontínua, enquanto a EB está continuamente em emissão.
- A absorção da radiação emitida pelo terminal móvel localiza-se essencialmente na cabeça. A radiação emitida pela EB é absorvida por todo o corpo.
- Na esmagadora maioria dos casos, a distância à fonte de emissão é muito menor no caso do terminal móvel.
- A exposição à radiação proveniente de uma EB é geralmente involuntária, enquanto que o uso do terminal móvel representa um acto voluntário.

Neste artigo foca-se apenas a situação de exposição à radiação proveniente das EBs. Pretende-se avaliar a conformidade de instalações típicas de antenas de EBs com os limites de referência, desenvolvendo métodos para a determinação dos níveis de radiação no ambiente envolvente a estas fontes de emissão. Pretendem-se também estabelecer recomendações em relação ao acesso e instalação das antenas de GSM e UMTS.

Existem essencialmente dois processos para a obtenção dos níveis de radiação em redor das EBs:

- Processo teórico: Usam-se modelos de propagação para a estimação do sinal proveniente de uma antena de EB. Os modelos devem ser aplicados consoante os diferentes cenários de instalação de antenas e neste contexto devem ser orientados para o cálculo do nível de radiação na pior situação de exposição.
- Processo prático: Realização de campanhas de medidas em cenários reais, segundo regras bem definidas contemplando os vários tipos de instalação de antenas. Ao possibilitarem recolher dados em EBs reais, as campanhas de medidas permitem averiguar a validade dos modelos teóricos usados.

2. EFEITOS BIOLÓGICOS

As ondas radiadas pelas antenas das EBs ou pelos terminais móveis são formas de energia electromagnética em RF. As emissões de RF e respectivos fenómenos associados, discutem-se em termos de energia, radiação ou campos.

O espectro electromagnético, Figura 2.1, inclui todas as formas de energia electromagnética, desde energia de muito baixa frequência (ELF¹), com longos comprimentos de onda até Raios X e Raios Gama, que têm muito altas frequências e muito curtos comprimentos de onda. Entre estes extremos encontram-se as Ondas de Rádio, as Microondas, a Radiação Infravermelha, a Luz Visível e a Radiação Ultravioleta. O espectro de RF ocupa as frequências entre os 3 kHz e os 300 GHz, e está assinalado na Figura 2.1.

Quanto maior for a frequência de uma onda electromagnética, maior será a energia do fóton a ela associado e consequentemente a sua capacidade de interacção com o material biológico. Assim, o processo de interacção entre uma fonte electromagnética e o material biológico, depende da frequência da fonte. As energias dos fótons associadas às diferentes frequências do espectro electromagnético estão representadas na escala inferior da Figura 2.1.

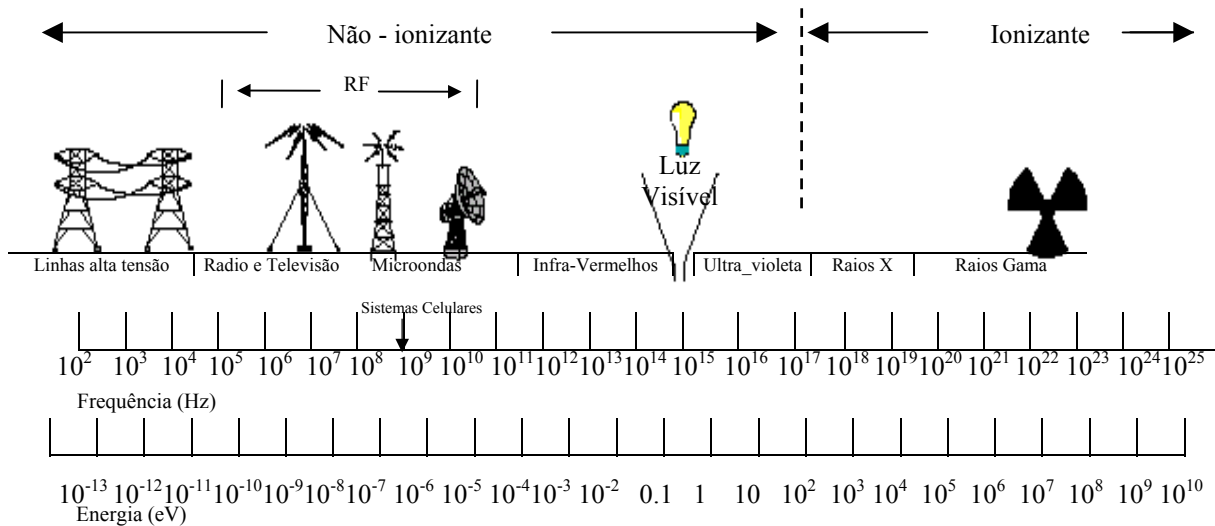


Figura 2.1 – Espectro Electromagnético (adaptado de [CIUI99]).

A muito elevadas frequências, como as que são características dos Raios X, as partículas electromagnéticas têm energia suficiente para quebrar as ligações químicas (ionização). Já na banda do espectro de RF, a energia dos fótons não é suficiente para causar a ionização dos átomos e das moléculas nos tecidos vivos, pelo que a radiação RF é considerada não-ionizante. A maior parte dos efeitos associados a este tipo de radiação, na banda de frequências dos sistemas de comunicação móveis, é devida ao calor. Outros mecanismos que não têm a ver com efeitos térmicos são também possíveis, mas toda a pesquisa nesta área até agora revela que só se verificam a muito elevados níveis de exposição.

Para que se percebam os possíveis efeitos que a radiação RF pode causar no corpo humano, é necessário determinar a amplitude dos campos electromagnéticos nas zonas afectadas pelos mesmos. Desta forma, requer-se o conhecimento das propriedades eléctricas dos diferentes tipos de tecido e, uma vez determinadas estas propriedades, é possível calcular os campos eléctrico (E) e magnético (H) em qualquer parte do corpo, causados por uma fonte particular de radiação. A taxa a que a energia electromagnética é absorvida por uma unidade de massa de tecido é designada por taxa de absorção específica (SAR^2) [AJPR95]:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad [\text{W/kg}] \quad (2.1)$$

onde:

- E - Valor eficaz do campo eléctrico [V/m].
- σ - Condutividade eléctrica do material [S/m].
- ρ - Densidade do tecido [kg/m³].

¹ do inglês *Extremely Low Frequency*

² do inglês *Specific Absorption Rate*.

O necessário estabelecimento de uma relação entre a energia absorvida e o calor induzido (isto é, o aumento da temperatura do tecido devido à absorção) leva à medição da *SAR* durante um certo período de tempo. A maioria das normas recomenda 6 minutos para exposições controladas (exposição em locais onde as pessoas ou trabalhadores estão conscientes da exposição à fonte de radiação).

A *SAR* varia de ponto para ponto no corpo humano devido não só à variação de direcção dos campos electromagnéticos e das características eléctricas dos diferentes tecidos, mas também porque o nível de exposição é diferente para cada zona do corpo. A *SAR* não é facilmente medida em condições normais de exposição à radiação. Os valores são geralmente obtidos por simulação em computador ou em modelos do corpo humano preenchidos com substâncias de características comparáveis às do ser vivo. Isto constitui um problema quando se dispõe de poucos recursos. Desta forma, para efeitos práticos de avaliação da exposição, a fim de determinar a probabilidade das restrições básicas serem ultrapassadas estabelecem-se limites derivados ou de referência. Estes limites obtêm-se a partir das restrições básicas para a situação de um acoplamento máximo do campo com o indivíduo exposto, proporcionando-se, assim, uma protecção máxima.

Os limites derivados ou de referência são definidos em termos de campo eléctrico, campo magnético ou densidade de potência, *S*. Estes parâmetros são fáceis de medir recorrendo à logística adequada e nas bandas de frequências usadas é suficiente medir apenas um deles, pois relacionam-se por (2.2). Na campanha de medidas desenvolvida neste trabalho, e apresentada na secção 5, opta-se pela medida de *E*.

$$\frac{E}{H} = Z_0 = 377\Omega \quad (2.2)$$

$$S = E.H \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2.3)$$

onde:

- *E* - Valor eficaz do campo eléctrico [V/m].
- *H* - Valor eficaz do campo magnético [A/m].
- *Z*₀ – Impedância característica [Ω].
- *S* – Densidade de potência [W/m²].

Há diversos organismos, entre os quais o ANSI/IEEE³ [ANSI92], o CENELEC⁴ [CENE97] e o FCC⁵ [CIUI99], que estabelecem um conjunto de normas com restrições básicas para a *SAR* ou derivadas para outros parâmetros de medida. As diversas normas são especificadas para diferentes situações, correspondentes à exposição em várias zonas do corpo humano, por trabalhadores ou população em geral, e em ambientes controlados ou não controlados. Há diferenças entre os valores numéricos dos limites de segurança estabelecidos pelos organismos referidos, mas que em termos de efeitos biológicos não são minimamente significativos. Organizações como a Organização Mundial de Saúde (WHO⁶) têm também criado grupos de trabalho no sentido de minimizar as diferenças entre as várias normas existentes. Refira-se que se encontra em curso um projecto internacional, iniciado pela WHO em 1996 e com fim previsto em 2005 (*International EMF Project*).

Na Tabela 2.1 apresentam-se os limites de referência (valores médios) para exposição de todo o corpo, pelo público em geral, em ambiente não controlado, com tempo de exposição > 6 minutos. Este representa o pior caso possível de exposição à radiação proveniente das antenas das EBs e é, portanto, o que tem restrições mais limitativas, pelo que será a referência a adoptar. Note-se que os limites apresentados na Tabela 2.1 referem-se a bandas de frequências que compreendem os sistemas GSM e UMTS.

Os resultados obtidos pela campanha de medidas foram analisados e comparados com os limites de segurança estabelecidos pelo CENELEC e adoptados pelo Conselho da União Europeia [CoUE99]. A comparação efectuou-se não só com os limites de referência para valores médios, mas também com os limites para valores de pico. Desta forma, assegura-se que os valores de pico registados são também aferidos. Na Tabela 2.2 apresentam-se os limites de referência (valores de pico) estabelecidos pelo CENELEC.

³ American National Standard Institute / Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA.

⁴ European Committee for Electrotechnical Standardization.

⁵ Federal Communications Commission, USA.

⁶ World Health Organization.

Tabela 2.1 - Limites de segurança para GSM e UMTS (valores médios).

| | <i>f</i> [MHz] | CENELEC [CENE97] | IEEE [ANSI92] | JAPÃO [WoHO98] |
|------------------------------|----------------|---|----------------|---------------------------------|
| S [W/m ²] | 890-1500 | <i>f</i> / 200 | <i>f</i> / 150 | <i>f</i> / 150 |
| | 1500-2000 | | | 10 |
| | 2000-2170 | 10 | | |
| E [V/m] | 890-1500 | 1.37 x <i>f</i> ^{1/2} | --- | 1.585 x <i>f</i> ^{1/2} |
| | 1500-2000 | | | 61.4 |
| | 2000-2170 | 61.4 | | |
| H [A/m] | 890-1500 | 3.64 x 10 ⁻³ x <i>f</i> ^{1/2} | --- | <i>f</i> ^{1/2} / 237.8 |
| | 1500-2000 | | | 0.163 |
| | 2000-2170 | 0.163 | | |

Tabela 2.2 – Limites de segurança para GSM e UMTS (valores de pico).

| <i>f</i> [MHz] | S [W/m ²] | E [V/m] | H [A/m] |
|----------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 400-2000 | 3.97 x <i>f</i> | 39.7 x <i>f</i> ^{1/2} | 0.1 x <i>f</i> ^{1/2} |
| 2000-150 000 | 7934 | 1775 | 4.17 |

Nas situações em que se verifica uma exposição simultânea a campos de diferentes frequências, deve ter-se em conta a possibilidade de haver um somatório dos efeitos destas exposições. Para efeitos de avaliação do cumprimento dos limites de exposição, as normas recomendam que se verifiquem as inequações 2.4 e 2.5. No entanto, nas bandas de frequências de interesse, basta garantir que apenas uma delas é satisfeita. Assim, optou-se pela verificação da inequação 2.4.

$$\sum_{i=100kHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{87/f^{1/2}} \right)^2 + \sum_{i>1MHz} \left(\frac{E_i}{E_{lim_i}} \right)^2 \leq 1 \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=100kHz}^{150kHz} \left(\frac{H_j}{0.73/f} \right)^2 + \sum_{j>150kHz} \left(\frac{H_j}{H_{lim_j}} \right)^2 \leq 1 \quad (2.5)$$

onde:

- *E_i* – Intensidade do campo eléctrico à frequência *i*.
- *E_{lim_i}* – Nível de referência do campo eléctrico para a frequência *i*.
- *H_j* – Intensidade do campo magnético à frequência *j*.
- *H_{lim_j}* – Nível de referência do campo magnético para a frequência *j*.

3. ANTENAS DE ESTAÇÕES BASE

Uma EB, Figura 3.1, é um elemento da rede de um sistema de comunicações móveis, onde se encontram as antenas e os equipamentos de rádio que permitem estabelecer a comunicação entre os diversos utilizadores.

Os sistemas de comunicações celulares são constituídos por um vasto número de EBs que cobrem as diferentes áreas de serviço. A localização das EBs é fundamental para o funcionamento eficaz de qualquer sistema e deve ser alvo de um planeamento adequado.

Há duas necessidades fundamentais a satisfazer que determinam a localização das EBs. Por um lado, a estação deve garantir uma cobertura adequada, isto é, garantir que a intensidade do sinal cobre toda a área de serviço. Por outro lado, deve-se assegurar uma capacidade adequada, ou seja, fornecer um número suficiente de canais para garantir que os utilizadores são servidos com a qualidade de serviço desejada. O crescimento dos sistemas leva à instalação de EBs cada vez mais próximas (para aumentar a capacidade), mas operando a níveis de potência cada vez mais baixos (para evitar interferência entre as diferentes EBs). Assim, nos grandes centros urbanos, em que o número de utilizadores tende a aumentar, as EBs são colocadas muito próximas umas das outras, mas operando com níveis de sinal fracos. Em contrapartida, nas áreas rurais as células tendem a ser maiores, com níveis de potência mais elevados.



Figura 3.1 – Estação Base.

Tipicamente, as antenas das EBs estão instaladas em mastros ou torres, Figura 3.2, topos e fachadas de edifícios, Figuras 3.3 e 3.4, ou tanques de água. Também são possíveis instalações no interior de edifícios (centros comerciais, metro, etc.), Figura 3.5. Para reduzir o impacto estético destes sistemas, e também por motivos económicos, os operadores normalmente preferem instalar as suas antenas em estruturas já existentes e, se possível, implantar diversas antenas na mesma estrutura, isto é, situar antenas de operadores diferentes na mesma estrutura, Figuras 3.6 e 3.7.

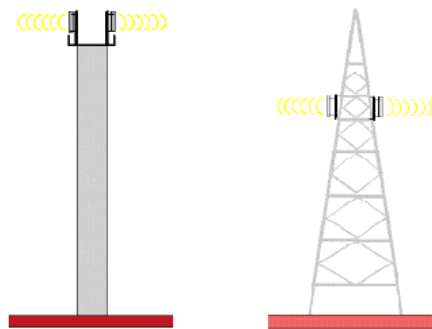


Figura 3.2 – Antena instalada em mastro ou torre.

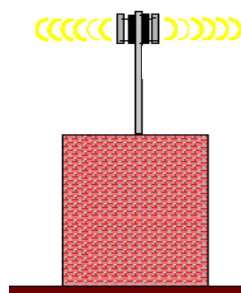


Figura 3.3 – Antena instalada no topo de edifício.

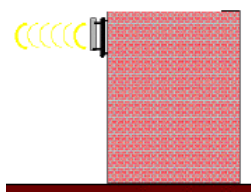


Figura 3.4 – Antena instalada em fachada de edifício.

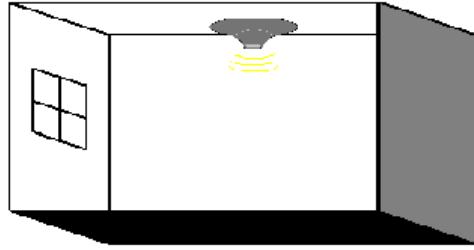


Figura 3.5 – Antena instalada no interior de edifício.

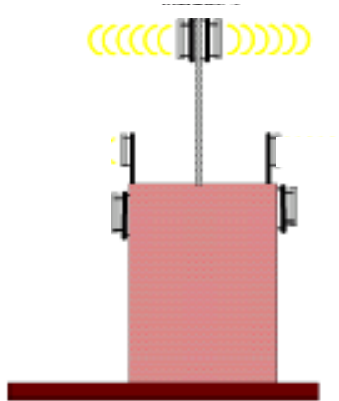


Figura 3.6 – Co-instalação de antenas em edifícios.

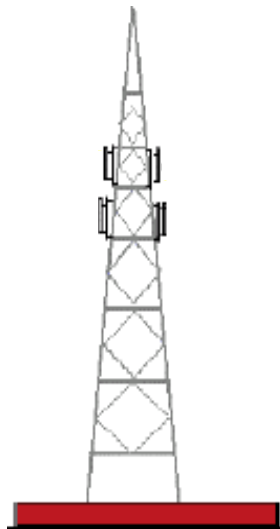


Figura 3.7 – Co-instalação de antenas em torres.

A expansão dos sistemas de comunicações celulares tem sido acompanhada por um debate público sobre os possíveis efeitos adversos da exposição humana às emissões de radiofrequência, provenientes das EBs. O estudo destes efeitos passa necessariamente pela caracterização do tipo de exposição, que por sua vez está intimamente ligado à localização das EBs. A Tabela 3.1 refere a classificação de cenários proposta neste artigo, que conjuga o tipo de exposição à radiação com a localização das antenas das EBs. É preciso notar que existem muitos outros cenários possíveis, no entanto esta classificação é elaborada tendo em mente a pior situação de exposição.

O estudo sobre os possíveis efeitos adversos da exposição humana às emissões de RF, provenientes das EBs está longe de ser um trabalho acabado. Recentemente, assiste-se a um esforço dos operadores e das entidades competentes no sentido de minimizar o impacto deste problema na opinião pública. Neste sentido, há uma preocupação crescente em:

- Evitar a escolha de zonas “sensíveis” para a localização das estações, como escolas, hospitais, zonas residenciais, ou jardins públicos, por exemplo.
- Definir distâncias de segurança e adequadas barreiras físicas, tendo por base as normas internacionais que regulam os limites de exposição.
- Formar adequadamente os trabalhadores expostos a maiores riscos, dando-lhes a conhecer as áreas de risco e quais as precauções que devem ter.

Tabela 3.1 – Classificação de cenários.

| Cenário | Tipo de Exposição |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Rural | Linha de vista |
| Urbano: Topo de Edifício | Linha de vista ao nível da rua |
| | Linha de vista ao nível da antena |
| | Penetração no interior de edifício |
| Urbano: Fachada de Edifício | Linha de vista ao nível da rua |
| | Linha de vista ao nível da antena |
| | Penetração no interior de edifício |
| Urbano: Torre ou Poste | Linha de vista ao nível da rua |
| | Linha de vista ao nível da antena |
| | Penetração no interior de edifício |
| Interior | Linha de vista |

O nível de exposição à radiação de RF proveniente de uma EB é determinado fundamentalmente pela natureza das antenas utilizadas. O princípio que governa a escolha da antena é essencialmente o de garantir que esta radia apenas a potência mínima necessária na direcção desejada.

Invariavelmente, nas EBs opta-se pelo uso de dois tipos de antenas: antenas omnidireccionais, que radiam uniformemente em todas as direcções do plano horizontal, e antenas sectoriais, que radiam essencialmente num sector angular. Nas Figuras 3.8 e 3.9 podemos ver os diagramas de radiação tipicamente associados a cada uma delas, [Mars01].

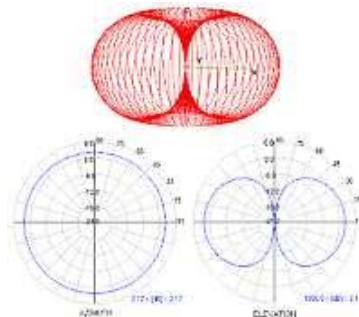


Figura 3.8 – Diagrama de radiação de uma antena omnidireccional.

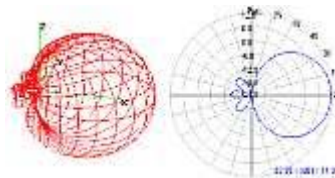


Figura 3.9 – Diagrama de radiação de uma antena sectorial.

4. MODELOS DE PROPAGAÇÃO

O planeamento adequado de um sistema de comunicações celular, com a complexidade dos sistemas actuais, requer o conhecimento de diversos parâmetros de propagação de ondas electromagnéticas. A necessidade de estimação de cada um destes parâmetros, bem como a grande diversidade e complexidade dos cenários reais traduz-se na existência dos mais variados modelos de propagação. Estes modelos procuram fornecer uma estimativa do parâmetro que descrevem o mais aproximada possível da realidade, o que por vezes os torna complexos e difíceis de implementar.

Quando se pretende utilizar modelos de propagação não na perspectiva do planeamento de rede, mas na da avaliação da conformidade de antenas de EB com os limites de exposição à radiação, surgem três aspectos fundamentais:

- O parâmetro de propagação a estimar é a atenuação de propagação, que descreve a atenuação sofrida pelo sinal entre a antena emissora e a antena receptora. Assim, apenas interessam os modelos que estimam este parâmetro.
- O objectivo deixa de ser a obtenção o mais aproximada possível do nível de sinal em torno da EB, passando a pretender-se uma sobrestimação do nível de sinal real. Só desta forma é possível garantir, através dos modelos de propagação, a segurança de uma EB. Assim, a ênfase deixa de estar na descrição o mais detalhada possível dos cenários de propagação, passando para a análise do pior caso em termos de exposição à radiação.
- Distinguem-se dois tipos de exposição à radiação, a situação de linha de vista entre o ponto em análise e a antena emissora, e a situação em que o ponto em análise se situa no interior de um edifício.

Os dois últimos aspectos são preponderantes para a escolha dos modelos a utilizar em cada um dos cenários descritos na secção 3. Na Tabela 4.1 apresenta-se a correspondência entre a classificação de cenários proposta e os modelos de propagação utilizados. Mais informação acerca destes modelos pode ser obtida em [OICa02].

Tabela 4.1 – Correspondência entre cenários e modelos utilizados.

| Cenário | | Modelo | |
|---|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Rural | | Espaço Livre | |
| Urbano: Torre ou Mastro | Exterior | Espaço Livre | |
| | Edifício vizinho | Adição de Constante de Perdas | |
| Urbano: Topo de edifícios | Exterior | Espaço Livre | |
| | Penetração em edifício | Vizinho | Adição de Constante de Perdas |
| | | Instalação | Multi-Paredes |
| Urbano: Fachada de edifícios | Exterior | Espaço Livre | |
| | Penetração em edifício | Vizinho | Adição de Constante de Perdas |
| | | Instalação | Multi-Paredes |
| Interiores | | Multi-Paredes | |

Escolhidos os modelos de propagação, houve a necessidade de os implementar numa ferramenta de *software*. Esta ferramenta, com o nome aplicação *Radiation*, procura analisar se uma dada EB, caracterizada por um conjunto de parâmetros, está em conformidade com os limites de exposição à radiação. Para além de procurar analisar sempre o pior caso, a aplicação procura também ser simples ao nível do utilizador, exigindo um conhecimento mínimo dos parâmetros característicos da EB. Não se pretende aqui fazer uma explicação exaustiva da aplicação *Radiation* (informação mais detalhada pode ser encontrada em [OICa02]), no entanto, a título ilustrativo, reproduz-se uma das saídas da aplicação na Figura 4.1.

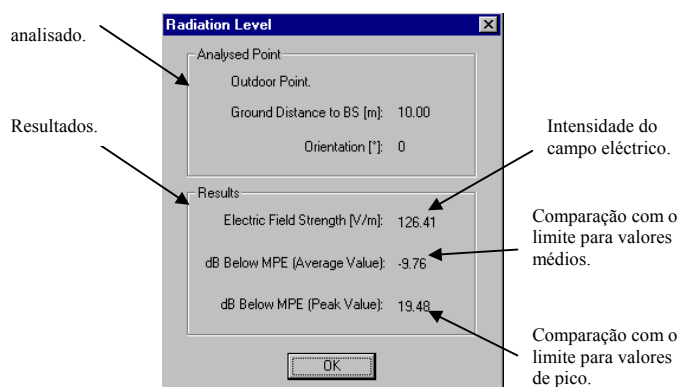


Figura 4.1 – Resultado da opção *Radiation Level – Outdoor – Distance*.

A avaliação da segurança de uma EB usando ferramentas do tipo da aplicação *Radiation* é uma abordagem a ter em conta em duas situações distintas. Primeiro, quando se está ainda na fase de planeamento e é necessário estimar o nível de radiação que a EB irá emitir, por forma a avaliar se, em condições normais de funcionamento, os limites de

radiação irão ser excedidos. A outra situação verifica-se em EBs já instaladas, em que por qualquer motivo não seja prática ou possível a realização de medidas.

5. CAMPANHA DE MEDIDAS

No âmbito do projecto “Exposição à Radiação Electromagnética de Antenas de Estação de Base de GSM e UMTS”, [OICa02], desenvolveu-se uma campanha de medidas. Esta campanha desenrolou-se em 6 etapas, que se passam a discriminar:

- Definição de objectivos.
- Escolha dos locais de medida.
- Definição de um protocolo de medida.
- Escolha e calibração do equipamento de medida.
- Campanha de medidas.
- Tratamento e análise de dados.

O objectivo da campanha de medidas foi o de recolher dados reais que permitissem aferir as condições de segurança de cada uma das EBs analisadas e que permitissem a comparação com os resultados obtidos pela ferramenta de *software Radiation*, por forma a tirar conclusões em relação aos pressupostos teóricos.

O critério preponderante para a escolha dos locais de medida foi o de seleccionar o maior número possível de EBs com as características dos cenários propostos na secção 3.

A necessidade de orientar a campanha de medidas para o estabelecimento de limites físicos de segurança em redor das EBs e a pouca bibliografia disponível sobre o assunto levaram à definição de um conjunto de regras para o processo de medida de campos electromagnéticos. Estas regras orientam-se para a medida de campo eléctrico nas bandas de frequências dos sistemas GSM e UMTS.

A conciliação dos objectivos pretendidos com a disponibilidade logística levou ao uso de dois tipos de equipamento de medida:

- Usou-se uma sonda de medida de banda larga, Figura 5.1, que permite medir a intensidade do campo eléctrico presente no ambiente radioeléctrico em que está inserida a EB.
- Usou-se o TEMS⁷, Figura 5.2, que permite medir a potência do sinal proveniente de uma EB.



Figura 5.1 – Sonda de Banda Larga.



Figura 5.2 – TEMS.

Definido o protocolo de medida e escolhido e calibrado o equipamento a usar, passou-se à fase de medida propriamente dita. O procedimento inicial começa pela caracterização das condições de medida, dos factores envolventes e dos factores radioeléctricos associados à EB. De seguida, procede-se à escolha dos pontos de medida de acordo com o cenário em questão, conforme se descreve no protocolo criado. Em cada um dos pontos de medida, utiliza-se o TEMS e a sonda de banda larga. Os valores instantâneos de ambos os aparelhos devem ser registados

⁷ Test Mobile System.

durante 6 minutos. Durante este período deve-se ter o cuidado de deslocar os aparelhos em torno do ponto de medida, em movimentos com um alcance de aproximadamente 1 m. Desta forma, consegue-se obter uma média espacial e temporal, para cada um dos pontos (filtrando picos de desvanecimento e outros fenómenos que possam afectar o valor do sinal). Em geral, os pontos de medida são escolhidos sobre radiais a uma circunferência imaginária, com centro na EB. Para além da medida em pontos isolados, foram efectuados registos ao longo das radiais.

Note-se que, como foi referido atrás, os valores instantâneos de cada aparelho de medida devem ser registados durante 6 minutos para efeitos de comparação com os limites de exposição. No entanto, tendo em conta uma medida do erro cometido, reduziu-se o tempo de medida para 2 minutos.

Após a recolha dos dados, estes são analisados e comparados automaticamente com os limites de referência adoptados. Para cada EB analisada, foi elaborado um relatório do qual consta a caracterização do local de medida e da EB, o resumo dos resultados e as conclusões obtidas. O relatório de medida de cada EB segue as regras definidas no protocolo.

A análise dos dados obtidos revelou que a exposição à radiação electromagnética é maior para os seguintes cenários:

- Instalação no topo de edifícios: exposição ao nível da antena (*e.g.*, num terraço)
- Instalação em interiores

Para estes cenários, as diferenças mínimas em relação ao limite de exposição à radiação, obtidas com a sonda, para a intensidade do campo eléctrico, foram de -13.58 dB (cerca de cinco vezes abaixo) no caso de exposição em terraços e de -22.36 dB (cerca de treze vezes abaixo) no caso de exposição em interiores. As diferenças obtidas com o TEMS são de -44.51 dB (cerca de cento e sessenta e oito vezes abaixo) e -46.29 dB (cerca de duzentos e seis vezes abaixo), respectivamente para terraços e interiores.

Este resultado justifica-se plenamente, pois é nestes cenários que há uma maior proximidade à antena de EB. Em contrapartida, nos casos em que há maior afastamento em relação à antena de EB, os resultados revelam que a exposição à radiação é menor. Exemplos de cenários em que esta situação se verifica são o caso rural e o de torres em meio urbano.

As Figuras 5.3 e 5.4 mostram graficamente as diferenças máxima e mínima em relação ao limite de exposição, que foram encontradas para cada cenário com a EB operando em GSM. A Figura 5.3 refere-se aos dados obtidos pela sonda, enquanto que a Figura 5.4 se refere aos dados obtidos pelo TEMS.

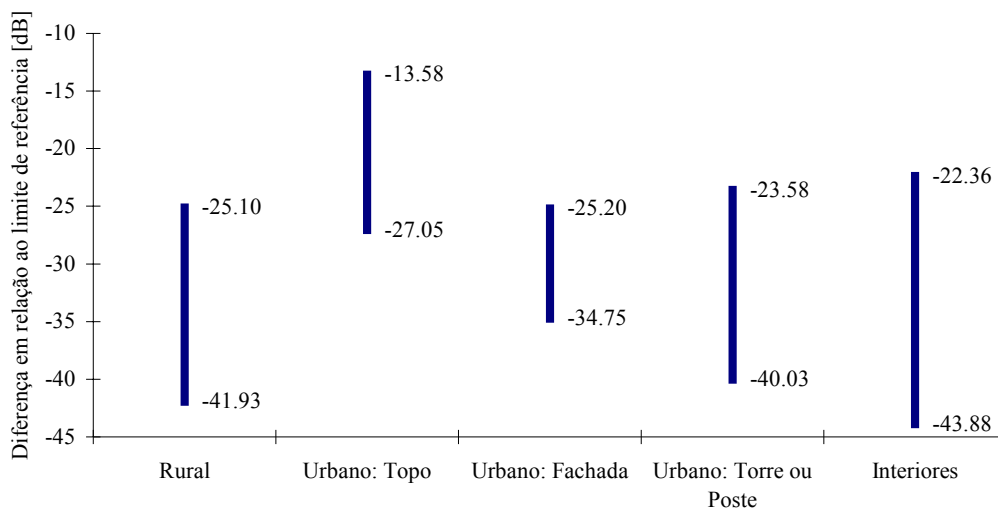


Figura 5.3 – Gama de variação dos resultados em relação ao limite de exposição à radiação (Resultados obtidos com a sonda).

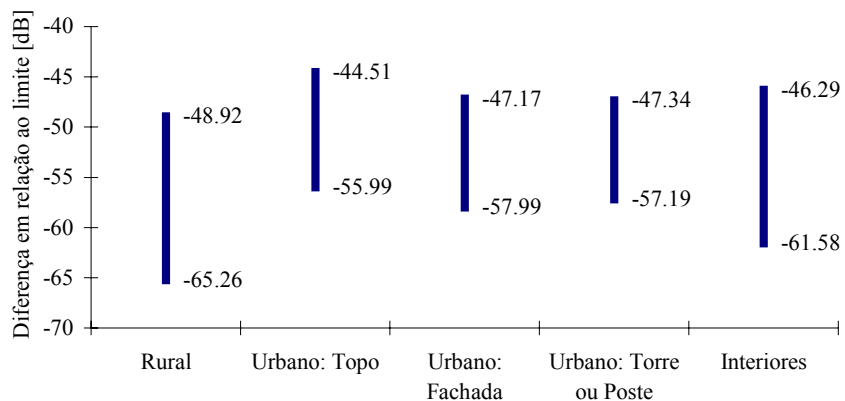


Figura 5.4 – Gama de variação dos resultados em relação ao limite de exposição à radiação (Resultados obtidos com o TEMS).

As Figuras 5.5 e 5.6 apresentam, de forma gráfica, o resumo dos principais resultados obtidos em EBs na região de Lisboa, operando em GSM 900. Apresentam também a comparação com os limites de segurança. A Figura 5.5 refere-se aos resultados obtidos usando a sonda, enquanto que a Figura 5.6 se refere aos dados obtidos com o TEMS.

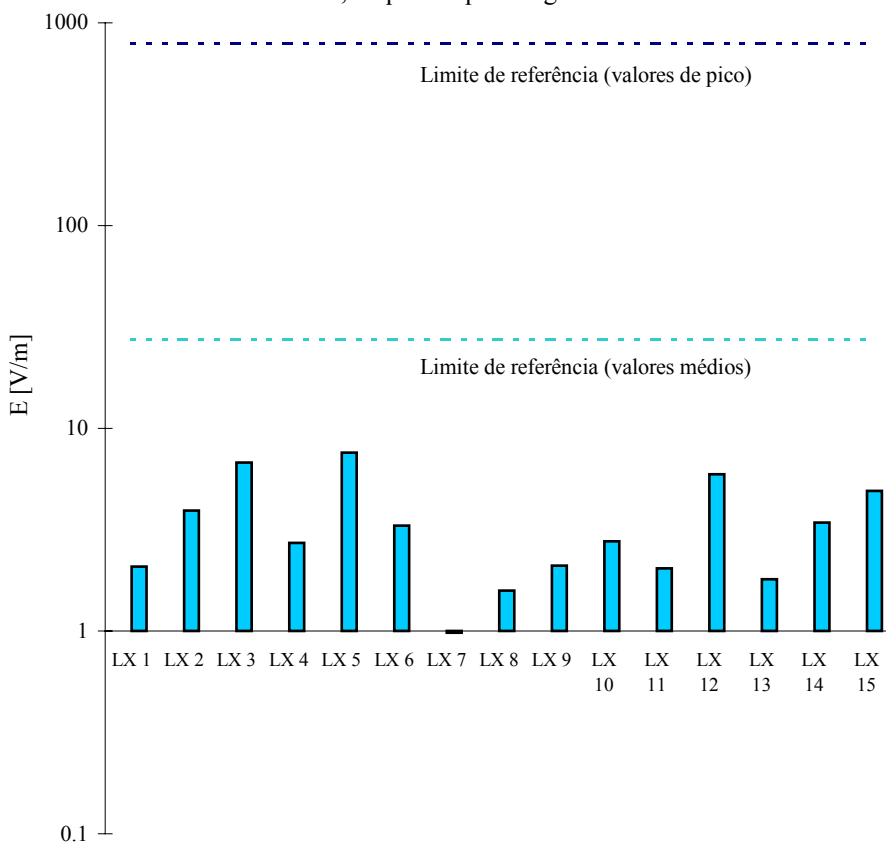


Figura 5.5 – Valores de pico registados em cada EB analisada (Resultados obtidos com a sonda).

Observa-se claramente, em todas as medidas efectuadas, o afastamento em relação aos limites de referência, significando que todas as EBs analisadas estão em plena conformidade com as recomendações de segurança.

Foi apenas analisada uma EB operando em UMTS, dado que este sistema se encontra em fase de implementação e teste. Os resultados obtidos, Figura 5.7, mostram que também neste caso a radiação proveniente desta EB se encontra abaixo dos níveis de referência.

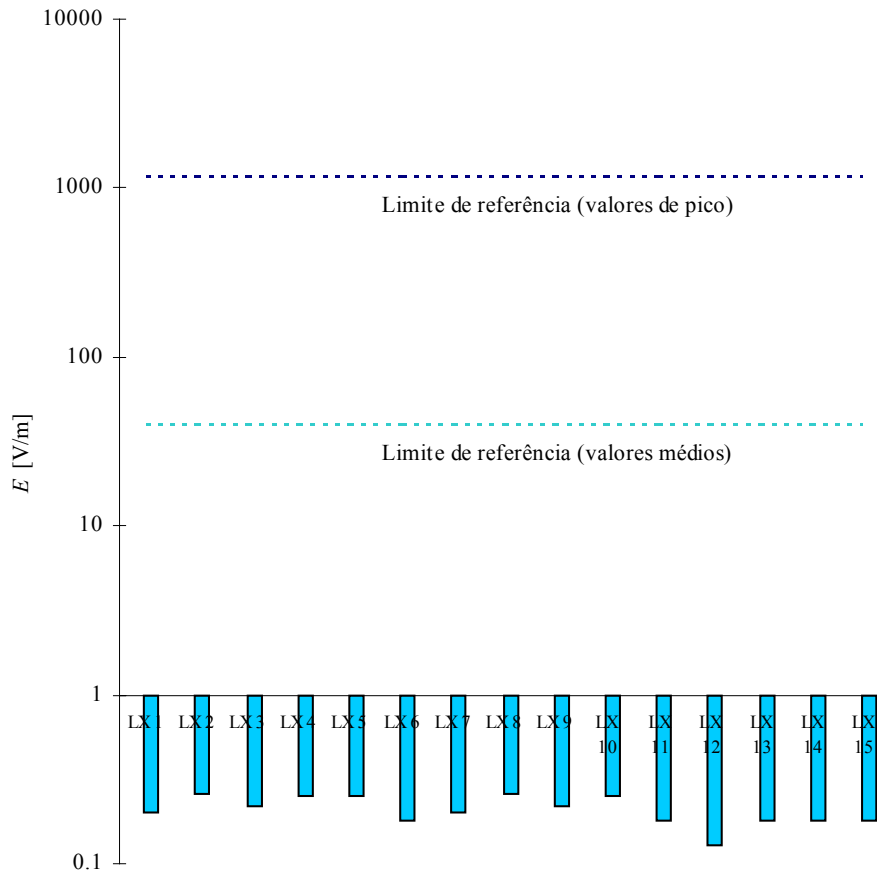


Figura 5.6 – Valores de pico registados em cada EB analisada (Resultados obtidos com o TEMS).

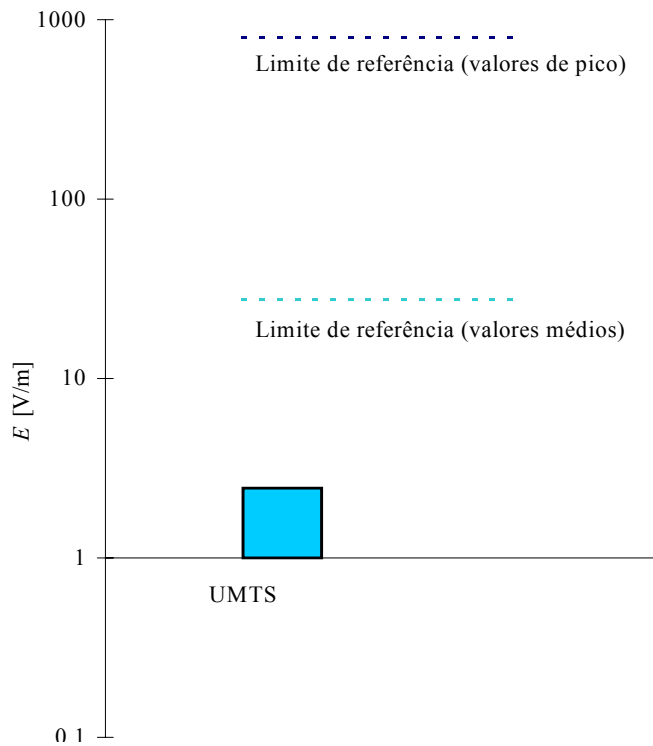


Figura 5.7 – Valor de pico registado para a EB de UMTS .

Importa referir que os resultados da campanha de medidas foram influenciados por factores que há também que ter em conta e que nem sempre são possíveis de controlar. Estes factores são inerentes a qualquer campanha de medidas deste tipo e a sua influência, apesar de importante, não altera significativamente as conclusões. Pela sua importância, destacam-se:

- Saturação do TEMS.
- Contribuição de outras fontes de emissão.
- Condições de medida (*e.g.*, oscilações do suporte do equipamento de medida, influência de pessoas nas proximidades, condições atmosféricas, e outros).
- Complexidade dos cenários (*e.g.*, circulação de veículos).

6. CONCLUSÕES

No dia a dia, a população está exposta à radiação proveniente das antenas de EB dos sistemas celulares. Para se perceber o impacto da instalação destas antenas na exposição da população, identificaram-se os seguintes cenários típicos: meios rurais; meios urbanos com antenas instaladas em postes ou torres, no topo ou em fachadas de edifícios e interiores.

As medidas de campos electromagnéticos mostraram que a população está normalmente exposta a níveis insignificantes de radiação RF nos ambientes envolventes às EBs. Os níveis de exposição em locais acessíveis ao público (*e.g.*, terraços) estão muito abaixo dos limites de segurança. O pior caso encontrado na campanha de medidas encontra-se 13.58 dB (cerca de cinco vezes em termos de campo eléctrico) abaixo dos limites estabelecidos pelo CENELEC e adoptados pelo Conselho da União Europeia. No entanto, em todos os outros casos medidos se verificou uma diferença mínima de 22.4 dB (cerca de treze vezes em termos de campo eléctrico) abaixo dos limites. O nível de exposição apenas se aproxima dos limites de referência imediatamente em frente das antenas, zona que geralmente não é acessível à população. Os cenários onde se verifica uma maior exposição à radiação são em instalações no topo de edifícios ao nível da antena e em instalações em interiores.

Existe a necessidade de desenvolver ferramentas do tipo da aplicação *Radiation*, que se baseiam na aplicação de modelos de propagação em cenários típicos de exposição à radiação. A utilização destas ferramentas deve ser considerada na fase de planeamento e teste de uma EB, introduzindo assim a consideração de aspectos de segurança nos sistemas de planeamento actuais. Para além desta aplicação, também podem ser utilizadas para certificar a segurança de uma EB já instalada, seguindo o procedimento:

- Numa primeira fase, analisa-se a EB em causa usando a ferramenta. Se os valores obtidos se situarem muito abaixo dos limites de referência, conclui-se que a EB está em conformidade. Se os valores forem semelhantes ou superiores aos limites, passa-se à segunda fase.
- A segunda fase consiste numa campanha de medidas seguindo um protocolo específico. Só assim se consegue ter em conta todos os aspectos particulares característicos da EB em análise.

Apesar dos resultados obtidos revelarem que em geral a população está exposta a radiações que representam fracções insignificantes dos limites de segurança, há a necessidade de se estabelecerem regras e procedimentos para garantir que em todo o ambiente envolvente às EBs a exposição é segura. Assim, apresentam-se algumas recomendações relativamente a estas questões:

- Prever a conformidade das EBs com os limites de segurança durante a fase de planeamento e teste.
- Evitar a escolha de locais sensíveis, como escolas ou hospitais, para a instalação de antenas de EBs.
- Informar a população directamente interessada dos níveis de radiação previstos para a EB a instalar.
- Fomentar a co-localização de antenas, mas garantir que o efeito conjunto das múltiplas fontes de emissão respeita os limites de referência.
- Definição e colocação de barreiras de segurança em redor das EBs, consoante as suas características e os factores de segurança adoptados. As barreiras devem ser identificadas com um logotipo padrão para todas as operadoras.
- Restringir a *EIRP* ao mínimo necessário.
- Realizar inspecções periódicas e obrigatórias nas áreas envolventes às EBs para todos os operadores, com divulgação pública de resultados.
- Definição a nível nacional de um protocolo de medida de campos electromagnéticos orientado para diferentes objectivos.
- Elaboração de um registo nacional de EBs, com informação actualizada periodicamente.
- Advertir o pessoal que se encontre em operações de manutenção em redor da EB, para a possibilidade de exposição a radiações electromagnéticas superiores ao limite.

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, Institute of Electronic Systems, Aalborg University, Aalborg, Denmark, Apr. 1995.
- [ANSI92] *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*, IEEE Standards Coordinating Committee 28, Non-Ionizing Radiation Hazards, IEEE C95.1-1991, New York, NY, USA, Apr. 1992.
- [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, Bruxelles, Belgium, Feb. 1997.
- [CIUI99] Cleveland,R.F. (Jr.) and Ulcek,J.L., *OET Bulletin 56 - Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields*, Federal Communications Commission, Washington, DC, USA, Aug. 1999.
- [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, Jul., 1999.
- [Mars01] Marshal,T., *Antennas Enhance WLAN Security*, CA, USA, 2001 (http://www.byte.com/documents/s=1422/byt20010926s0002/1001_marshall.html)
- [OICa02] Oliveira,C. e Carpinteiro,G., *Exposição à Radiação Electromagnética de Antenas de Estação de Base de GSM e UMTS*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, Set. 2002.
- [WoHO98] World Health Organization, *Inaugural Round Table on World EMF Standards Harmonization – Minutes of Meeting*, Zagreb, Croatia, Nov. 1998.
- [WoHO02] World Health Organization, *The International EMF Project*, 2002 (<http://www.who.int/peh-emf/en/>)