UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

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



Carla Oliveira Gonçalo Carpinteiro

Sob a orientação de

Prof. Luís M. Correia

Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Instituto Superior Técnico



AGRADECIMENTOS

Ao Professor Luís M. Correia, pela oportunidade que nos ofereceu. Por ter sempre um espaço para nós no seu *PDA*. Pelas críticas e sugestões, ao longo das muitas e muitas reuniões. Pelas reuniões gastronómicas que ajudaram a "temperar" o trabalho. Por ter proporcionado a nossa participação no *GROW* e, acima de tudo, pelo exemplo de organização e de capacidade de trabalho. Será sempre o nosso Professor.

Às Engenheiras Ana Claro e Clara Lourenço pelo apoio logístico e disponibilidade com que sempre nos receberam. Ao Engenheiro David Antunes por toda a colaboração prestada, pela paciência e por ter sobrevivido às longas campanhas de medidas pelos terraços de Lisboa.

Ao pessoal do RFII, Allen, Patrícia, David e Jorge, que tantas horas partilharam connosco no "submundo" do Técnico. Ao pessoal do 12°, Manilha e Cruz, pelas visitas constantes e pelas muitas vezes que nos deixaram "chegar mais perto do céu". Ao pessoal do SDEEC, Martinho e Toni, pelo convívio nos jantares da Floresta. Ao pessoal do Laboratório João Figanier, Jorge Silva, Rui, Gandi e Tiago. A todos os outros nossos colegas de curso.

À Vânia, ao Filipe, à Ana, ao Samuel e ao Gonçalo. Sem vocês não tínhamos chegado aqui.

À minha irmã Raquel e ao Tó, pela paciência com que sempre ouviram as minhas lamúrias e pelas palavras de conforto e motivação que me ajudaram a ultrapassar os momentos mais difíceis. Ao Sérgio, companheiro desde o primeiro momento. Ao pessoal da "Baco", pelo convívio e boa-disposição. Ao pessoal de Portalegre, sem qualquer ordem de preferência: Nuno, Ludgero, Victor, Susana, Adelaide, Miguel, Cláudia, Zé, Marco, Bruno e Coelho. À Ana Bela, pela ajuda ao longo de todos estes anos.

À minha avó e ao meu irmão por terem aturado as minhas más disposições. À Mónica, pela cumplicidade e amizade. À Inês e à Susana, pelos bons momentos de convívio. A todas as minhas amigas da RUF. À Cristina, pela amizade sempre presente. À Sofia, pelos seus conselhos e apoio. A todos os meus amigos de Portalegre. Ao Jaime, por estar sempre comigo.

A toda a nossa família pela força que nos deu. E claro... Aos nossos pais. Os grandes responsáveis por esta obra.

RESUMO

O objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de processos que possibilitem determinar os níveis de sinal nas bandas de GSM e UMTS para diferentes cenários, com vista à avaliação da conformidade das estações de base relativamente aos limites de exposição à radiação. Pretendem-se também definir algumas recomendações para a instalação de antenas de estação de base que minimizem a exposição a radiações. Consideram-se aspectos básicos de GSM e UMTS, aspectos de implementação de estações de base e aspectos de segurança e exposição a radiações electromagnéticas.

Desenvolveu-se uma ferramenta de *software* que permite avaliar se uma dada estação de base, caracterizada por alguns parâmetros, cumpre os limites de exposição à radiação. No desenvolvimento desta ferramenta, utilizaram-se modelos de propagação adequados a cada um dos cenários típicos de instalação de estações de base.

Desenvolveu-se um protocolo específico para a realização de medidas com o objectivo de certificar a segurança de estações de base. Tiveram-se em conta aspectos particulares que é necessário considerar na obtenção do nível de sinal com vista à avaliação referida.

Realizou-se uma campanha de medidas com o objectivo de recolher dados reais em estações de base na região de Lisboa e de tirar conclusões em relação aos modelos teóricos usados na aplicação de *software* desenvolvida. Para a análise estatística dos dados recolhidos, criou-se uma ferramenta de *software* específica para o equipamento de medida usado.

Os níveis de radiação registados em todas estações de base analisadas, nunca excedem as referências estabelecidas pelos organismos internacionais. O pior caso encontrado na campanha de medidas está cerca de cinco vezes (13.58 dB) abaixo dos limites estabelecidos pelo CENELEC e adoptados pelo Conselho da União Europeia. 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 exposição em interiores.

Os resultados obtidos revelam que a utilização da ferramenta desenvolvida é adequada numa primeira fase de avaliação de uma estação de base. A realização de medidas é necessária quando, na primeira fase, se verificam níveis de radiação superiores ou semelhantes aos limites.

Estabelecem-se algumas recomendações para a instalação e regulamentação de estações de base.

PALAVRAS CHAVE

GSM. UMTS. Radiação electromagnética. Estações de base. Modelos de propagação.

ÍNDICE

	Agra	adecimentos	V
	Resu	imo e Palavras Chave	vii
	Índi	ce	ix
	Lista	a de Figuras	xiii
	Lista	a de Tabelas	xv
	Lista	a de Siglas	xvi
	Lista	a de Símbolos	xvii
1	Intro	odução	1
2	Aspe	ectos Teóricos	5
	2.1	Noções Gerais	5
	2.2	Interface Rádio	6
	2.3	Estações de Base	7
		2.3.1 Localização	8
		2.3.2 Antenas	11
	2.4	Modelos de Propagação	14
		2.4.1 Propagação em Espaço Livre	14
		2.4.2 Modelo de 2 Raios	15
		2.4.3 Modelos de Penetração em Edifícios	15
		2.4.4 Modelos de Propagação em Ambientes Interiores	17
	2.5	Efeitos Biológicos	19
		2.5.1 Campos e Frequências	19
		2.5.2 Limites de Exposição à Radiação	22
		2.5.3 Resultados da Investigação Biomédica	23

3 N	Aodelos para Avaliação de Instalações	25
3	.1 Modelos Teóricos	25
3	.2 Descrição do Programa Radiation	28
3	.3 Limitações do Programa <i>Radiation</i>	33
3	.4 Exemplo de Aplicação	34
4 (Campanha de Medidas	37
4	.1 Metodologia	37
4	.2 Tratamento de Dados	40
4	.3 Realização de Medidas	42
4	.4 Resumo de Resultados	45
4	.5 Comparação de Resultados	49
5 (Conclusões	53
ANEX	XO A – Formato do Ficheiro dos Diagramas de Radiação	A-1
ANEX	XO B - Protocolo de Medidas	B-1
F	3.1 Protocolo de Medidas	B-1
F	3.2 Anexo 1: Registo de Medida – Características do Equipamento	B-7
F	3.3 Anexo 2: Registo de Medida – Identificação da EB	B-8
F	3.4 Anexo 3: Registo de Medida – Resumo dos Resultados	B-11
F	3.5 Anexo 4: Registo de Medida – Conclusões	B-12
ANEX	XO C – Características da Sonda de Banda Larga	C-1
ANEX	XO D – Características do TEMS	D-1
ANEX	XO E – Relatório do Cálculo do Factor F do TEMS	E-1
ANEX	KO F – Análise da Média Temporal	F-1
ANEX	KO G – Relatórios de Medida	G-1
(G.1 Relatório da Estação de Base LX 1	G-1

	G.10	Relatório da Estação de Base LX 10	G-67
	G.11	Relatório da Estação de Base LX 11	G-75
	G.12	Relatório da Estação de Base LX 12	G-85
	G.13	Relatório da Estação de Base LX 13	G-93
	G.14	Relatório da Estação de Base LX 14	G-101
	G.15	Relatório da Estação de Base LX 15	G-107
	G.16	Relatório da Estação de Base LX 16	G-121
REF	FERÊN	NCIAS	R-1

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Antena instalada em mastro ou torre.	9
Figura 2.2	Antena instalada no topo de edifício.	9
Figura 2.3	Antena instalada em fachada de edifício.	9
Figura 2.4	Antena instalada no interior de edifício.	10
Figura 2.5	Co-instalação de antenas em edifícios.	10
Figura 2.6	Co-instalação de antenas em torres.	10
Figura 2.7	Diagrama de radiação de uma antena omnidireccional (adaptado de [Moul01]).	12
Figura 2.8	Diagrama de radiação de uma antena sectorial (adaptado de [Moul01]).	12
Figura 2.9	Esquema para aplicação do método de extrapolação do diagrama 3D (extraído de [GCFP01]).	13
Figura 2.10	Exposição com linha de vista.	14
Figura 2.11	Definição dos parâmetros do modelo de penetração em edifícios.	16
Figura 2.12	Espectro Electromagnético (adaptado de [ClUl99]).	20
Figura 3.1	Aspecto do menu da janela principal da aplicação Radiation.	28
Figura 3.2	Conjunto de dados <i>Geral</i> .	29
Figura 3.3	Estrutura simplificada do programa Radiation.	30
Figura 3.4	Conjunto de dados Neighbouring Building.	31
Figura 3.5	Definição da posição relativa do edifício na proximidade da EB.	31
Figura 3.6	Conjunto de dados Installation Building.	32
Figura 3.7	Representação do edifício de instalação.	32
Figura 3.8	Conjunto de dados Installation Room.	33
Figura 3.9	Representação da divisão de instalação.	33
Figura 3.10	Resultado da opção Radiation Level – Outdoor – Distance.	35
Figura 3.11	Resultado da opção <i>Radiation Level – Outdoor – Max. Distance</i> .	36

Figura 3.12	Resultado da opção Radiation Level – Safety Distance.	36
Figura 4.1	Grelha de medida.	39
Figura 4.2	Fluxograma de funcionamento da ferramenta de análise dados.	41
Figura 4.3	Esboço do local de medida da EB LX6.	42
Figura 4.4	Registo fotográfico da EB LX6.	43
Figura 4.5	Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1, para a EB LX 6.	44
Figura 4.6	Conclusões da campanha de medidas efectuada na EB LX 6.	45
Figura 4.7	Gama de variação dos resultados em relação ao limite de exposição à radiação (Resultados obtidos com a sonda).	46
Figura 4.8	Gama de variação dos resultados em relação ao limite de exposição à radiação (Resultados obtidos com o TEMS).	47
Figura 4.9	Valores de pico registados em cada EB analisada (Resultados obtidos com a sonda).	47
Figura 4.10	Valores de pico registados em cada EB analisada (Resultados obtidos com a TEMS).	48
Figura 4.11	Valor de pico registado para a EB de UMTS.	48
Figura 4.12	Definição de d_{min} e d_{solo} .	50
Figura 4.13	Comparação dos resultados para LX 13.	50
Figura 4.14	Comparação dos resultados para LX 1.	51
Figura 4.15	Comparação dos resultados para LX 3.	51
Figura 4.16	Comparação dos resultados para LX 6.	52
Figura 4.17	Comparação dos resultados para LX 12.	52
Figura B.1	Campo eléctrico resultante.	B-2
Figura B.2	Grelha para fazer a média espacial.	B-3

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classes de potência para EBs, em GSM [ETSI92].	7
Tabela 2.2	EIRP para EBs, em UMTS [Corr02].	7
Tabela 2.3	Classificação de células.	8
Tabela 2.4	Classificação de cenários.	11
Tabela 2.5	Valores típicos das perdas por penetração numa parede externa.	17
Tabela 2.6	Classificação dos diferentes tipos de paredes para o modelo multi- paredes, [COST99].	19
Tabela 2.7	Classificação de edifícios proposta em [COST99].	19
Tabela 2.8	Limites de segurança para GSM e UMTS (valores médios).	22
Tabela 2.9	Limites de segurança para GSM e UMTS (valores de pico).	23
Tabela 3.1	Correspondência entre cenários e expressões utilizadas.	27
Tabela 3.2	Descrição dos campos constituintes do conjunto de dados Geral.	30
Tabela 3.3	Características da EB analisada no exemplo.	35
Tabela 4.1	Estações de base medidas.	37
Tabela 4.2	Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite, para a EB LX 6.	44
Tabela 4.3	EBs utilizadas na comparação dos resultados teóricos com os resultados das medidas.	50

LISTA DE SIGLAS

ANSI American National Standard Institute.

CDMA Code Division Multiple Acess.

CENELEC European Committee for Electrotechnical Standardization.

EB Estação de Base.

EIRP Effective Isotropic Radiated Power.

ELF Extremely Low Frequency.

FCC Federal Communications Commission.

FDD Frequency Division Duplex.

GSM Global System for Mobile Communications.

ICNIRP International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers.

RF Radiofrequência.

SAR Specific Absorption Rate.

TDD Time Division Duplex.

TDMA Time Division Multiple Acess.

TEMS Test Mobile System.

UMTS Universal Mobile Telecommunications System.

WHO World Health Organization.

LISTA DE SÍMBOLOS

F

Factor correctivo.

Constante do modelo de penetração em edifícios. a Coeficiente de atenuação. \mathbf{a}_{a} Comprimento de onda. 1 Condutividade eléctrica do material. S Densidade do tecido. r Ângulo de incidência. q A_r Perdas no receptor. b Parâmetro empírico. d Distância em relação à EB. DDistância perpendicular. Maior dimensão da antena. d_a Distância de zona distante. d_{min} d_p Distância perpendicular. E Intensidade do campo eléctrico. Campo recebido no analisador de espectros. $E_{analisador}$ E_i Intensidade do campo eléctrico à frequência *i*. Limite de referência (valor de pico). E_{l_max} E_{l_med} Limite de referência (valor médio). E_{lim_i} Nível de referência do campo eléctrico para a frequência i. E_{max} Valor máximo de campo eléctrico medido. E_{med} Valor médio de campo eléctrico medido. $E_{x,y,z}$ Campo eléctrico nas direcções x, y, z. fFrequência.

 G_e Ganho da antena da EB.

 $G_e(\mathbf{q}, \mathbf{f})$ Ganho direccional da antena de EB.

 $G_H(\mathbf{f})$ Diagrama de radiação horizontal.

 G_r Ganho do receptor.

 $G_V(\mathbf{q})$ Diagrama de radiação vertical.

H Intensidade de campo magnético.

 h_e Altura da antena emissora.

 H_i Intensidade do campo magnético à frequência j.

 H_{lim} Nível de referência do campo magnético para a frequência j.

 h_r Altura da antena receptora.

I Número de tipos de paredes.

 k_f Número de pisos atravessados.

 k_{wi} Número de paredes atravessadas, do tipo *i*.

L Atenuação de propagação.

 L_0 Atenuação de espaço livre a 1 m de distância.

 $L_{adicional}$ Constante de perdas devido às perdas na parede exterior do edifício.

 L_C Constante de perdas.

 L_f Perdas entre dois pisos adjacentes.

 L_{FS} Atenuação de espaço livre.

 L_{We} Perdas na parede exterior para penetração perpendicular ($\mathbf{q} = 90^{\circ}$).

 L_{WGe} Perdas adicionais na parede externa quando $\mathbf{q} = 0^{\circ}$.

 L_{Wi} Perdas na parede do tipo *i*.

 L_{Wint} Perdas nas paredes internas.

n Índice de decaimento de potência.

 n_p Número de portadoras da estação de base.

p Número de paredes internas atravessadas.

 $P(\boldsymbol{q}, \boldsymbol{f})$ Direcção.

 P_e Potência de emissão da EB.

 P_{max} Potência máxima no receptor.

 P_r Potência recebida.

 $P_{rx,y,z}$ Potência recebida no dipolo nas direcções x, y, z.

S Distância entre a antena externa e a parede externa no piso em questão.

Z₀ Impedância característica.

1. INTRODUÇÃO

2002. Século XXI. Assistimos aos primeiros frutos daquela que tem sido a proliferação de uma verdadeira cultura científico-tecnológica. Cada vez mais, a Tecnologia evolui a par e passo com a Ciência. Ao inevitável impacto económico, alia-se o impacto político, a revolução no comportamento das pessoas. A Tecnologia infiltra-se rapidamente no dia a dia e os seus princípios de funcionamento são geralmente desconhecidos da massa consumidora. Surge o receio, instala-se a desconfiança.

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 e no comércio, 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 de 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*, 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". 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.

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 estação de base.

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.
- Tipicamente, 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 trabalho 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.

Os processos a desenvolver para a obtenção dos níveis de radiação em redor das EBs orientam-se sob duas vertentes:

- Desenvolvimento de uma ferramenta de software que analise, sob o ponto de vista do
 pior caso em termos de exposição à radiação, uma dada EB caracterizada por vários
 parâmetros. Esta ferramenta contempla a utilização de modelos de propagação para
 estimação do sinal.
- 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.

Passa-se a descrever a estrutura do projecto. No capítulo 2, referem-se os aspectos teóricos nos quais se baseiam os processos a desenvolver. Assim, é necessário abordar temas de âmbito geral em sistemas de comunicações móveis e estudar aspectos básicos de GSM e UMTS. É também essencial referir os vários limites de exposição à radiação existentes, explicitando aqueles que vão ser utilizados. Como se referiu, a avaliação da conformidade das EBs relativamente aos limites de exposição, passa pelo desenvolvimento de processos de

cálculo dos níveis de radiação nos cenários típicos. Assim, no capítulo 3, particularizam-se os modelos de propagação utilizados para os casos de interesse e descreve-se a ferramenta de *software Radiation*, desenvolvida para a aplicação destes modelos. No capítulo 4 resume-se a campanha de medidas realizada em diferentes ambientes, especialmente em cenários urbanos na região de Lisboa. Apresenta-se a metodologia seguida e as ferramentas desenvolvidas para o tratamento dos dados obtidos. Apresentam-se também os principais resultados recolhidos e comparam-se com as estimativas efectuadas pelo programa de cálculo de níveis de radiação. Tiram-se conclusões em relação aos modelos teóricos e sugere-se uma abordagem possível para a avaliação da conformidade de uma EB com os limites de segurança. Finalmente, no capítulo 5 resumem-se os resultados mais importantes, retiram-se conclusões, definem-se algumas recomendações de instalação de antenas de EBs que minimizem a exposição a radiações e esboçam-se ideias para o trabalho futuro a desenvolver nesta área.

É importante salientar o carácter pioneiro deste trabalho em Portugal e a sua contribuição para a definição de métodos para a avaliação da conformidade de EBs com os limites de referência. Por um lado, a necessidade de realizar medidas sistemáticas que tenham em conta aspectos particulares da exposição à radiação electromagnética e a ausência de procedimentos bem definidos, conduziram à elaboração de um protocolo de medidas específico e ao desenvolvimento de uma ferramenta para tratamento automático de dados. Por outro lado, a necessidade de contemplar aspectos de segurança durante a fase de planeamento de uma EB e a escassez de aplicações deste género, levaram ao desenvolvimento de uma ferramenta de software que cumpra estes objectivos. O conjunto dos métodos desenvolvidos e as recomendações propostas constituem uma referência a considerar na abordagem a estes assuntos.

2. ASPECTOS TEÓRICOS

Neste capítulo abordam-se os aspectos essenciais a ter em conta no desenvolvimento de processos que estimem o nível de radiação em torno de uma dada EB. A exposição é orientada no sentido do cálculo do campo eléctrico, pois, como se justificará, é esta a grandeza indicada para a comparação com os limites de radiação.

2.1 NOÇÕES GERAIS

A natureza da radiação electromagnética proveniente de uma antena, varia consideravelmente dependendo da zona considerada. Há que fazer a distinção entre:

- Zona distante.
- Zona próxima.

A zona distante é caracterizada pelo carácter de onda plana apresentado pelo campo electromagnético, *i.e.*, a distribuição da intensidade do campo eléctrico e magnético é uniforme em planos transversais à direcção de propagação. O limite desta região é dado pela distância de zona distante [Corr02], d_{min} :

$$d_{min} = \frac{2 \cdot d_a^2}{I} \tag{2.1}$$

onde:

- d_a Maior dimensão da antena.
- *I* Comprimento de onda.

Na zona próxima, localizada junto da antena, os campos eléctrico e magnético não têm características de onda plana, variando consideravelmente de ponto para ponto. A dimensão desta zona varia consideravelmente consoante a antena usada, tendo um significado diferente para antenas grandes e pequenas. A zona próxima subdivide-se na zona de radiação e na zona reactiva, que está mais próxima da antena e que contém grande parte da energia associada ao campo da antena.

A teoria existente para o cálculo do campo eléctrico na zona próxima, [Brin00], necessita do conhecimento da distribuição de correntes na antena, difícil de obter em aplicações reais. Assim, sendo inviável a utilização da formulação referida, opta-se por extrapolar as expressões características da zona distante para a zona próxima.

Usando a definição de atenuação de propagação [Corr02], L:

$$L_{[dB]} = P_{e[dBm]} + G_{e[dBi]} - P_{r[dBm]} + G_{r[dBi]}$$
(2.2)

onde:

- P_e Potência de emissão da EB.
- G_e Ganho da antena da EB.
- *P_r* Potência recebida.
- G_r Ganho do receptor.

e a relação entre potência recebida e intensidade de campo eléctrico, *E*:

$$P_{r[dBm]} = -77.21 + E_{[dBmV/m]} + G_{r[dBi]} - 20 \cdot \log(f_{[MHz]})$$
(2.3)

onde:

• f – Frequência.

Obtém-se a expressão que permite estimar o campo eléctrico:

$$E_{[dBV/m]} = -42.79 + P_{e[dBm]} + G_{e[dBi]} + 20 \cdot \log(f_{[MHz]}) - L_{[dB]}$$
(2.4)

O segundo termo de (2.4) está directamente relacionado com a interface radio do sistema em causa. Assim, na secção 2.2, faz-se referência aos aspectos essenciais desta interface nos sistemas de comunicações celulares GSM e UMTS, nomeadamente, no que diz respeito às bandas de frequências utilizadas e potências emitidas pelas estações de base.

O processo de cálculo do ganho da antena de estação de base, G_e , é apresentado na secção 2.3. Nesta secção faz-se também referência aos tipos de estação de base existentes, no que diz respeito à localização, bem como aos critérios usados actualmente para a escolha do local de instalação.

Na secção 2.4 faz-se uma revisão dos modelos de propagação existentes que permitem o cálculo da atenuação de percurso, *L*, nos casos particulares dos cenários propostos na secção 2.3.

Para o estabelecimento de distâncias de segurança no acesso às estações de base, interessa perceber quais os fenómenos envolvidos na interacção entre as emissões das antenas da estação e o ser humano. Na secção 2.5 clarificam-se alguns dos conceitos que estão por detrás deste problema, apresentam-se os limites de segurança para exposição a radiações electromagnéticas definidos nalgumas das normas internacionais mais importantes e refere-se sucintamente a leitura que a comunidade científica faz do assunto.

2.2 INTERFACE RÁDIO

Nesta secção, em detrimento de uma exposição exaustiva sobre a interface rádio de cada um dos sistemas GSM e UMTS, apresentam-se apenas as características relevantes no âmbito deste trabalho.

De entre todas as normas para sistemas de comunicações móveis da actualidade, aquela que ocupa o lugar de destaque ao nível da implementação é o GSM [MoPa92]. Este sistema tem uma interface rádio digital que utiliza acesso múltiplo por divisão no tempo, TDMA¹, com oito *time-slots* por portadora. O sistema GSM começou por operar na banda de 890-915 MHz para transmissão no sentido ascendente e na banda de 935-960 MHz no sentido descendente, com um espaçamento entre portadoras de 200 kHz, [ETSI92]. Posteriormente, o sistema foi estendido às bandas de 1710-1785 MHz (sentido ascendente) e de 1805-1880 MHz (sentido descendente). Actualmente, o sistema opera nos dois conjuntos de bandas de frequências, com as designações GSM900 e GSM1800. A norma GSM define oito classes para os emissores das EBs, Tabela 2.1.

_

¹ do inglês *Time Division Multiple Access*.

Tabela 2.1 – Classes de potência para EBs, em GSM [ETSI92].

Classe	Po	tência de emissão para EBs, [dBm]			
Classe	900	1800	900 (micro ²)	1800 (micro)	
1	[55,58]	[43,46]]19,24]]27,32]	
2	[52,55[[40,43[]14,19]]22,27]	
3	[49,52[[37,40[]9,14]]17,22]	
4	[46,49[[34,37[
5	[43,46[_		
6	[40,43[
7	[37,40[
8	[34,37[

Encontrando-se ainda em fase de teste e implementação, o sistema UMTS [HoTo00] funciona em dois modos, FDD³ e TDD⁴, com acesso múltiplo por divisão no código, CDMA⁵, e largura de banda por canal de 5 MHz. Para o modo FDD existe um par de portadoras, uma para transportar tráfego no sentido ascendente e outra para o sentido descendente. No modo TDD, é usada apenas uma portadora que transporta tráfego em ambos os sentidos, usando técnicas de multiplexagem por divisão no tempo. Os dois modos têm características diferentes, sendo usados de acordo com o tipo de tráfego a ser transportado (*e.g.*, o modo TDD é mais adequado para tráfego assimétrico) e de acordo com o ambiente de cobertura. Para o modo FDD, as bandas de frequências ocupadas são 1920-1980 MHz (sentido ascendente) e 2110 - 2170 MHz (sentido descendente). Para o modo TDD, usa-se a reunião das bandas 1900-1920 MHZ e 2010-2025 MHz (sentido ascendente / descendente). A norma UMTS define valores típicos para *EIRP*⁶ consoante a classificação de células⁷, Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – EIRP para EBs, em UMTS [Corr02].

EIRP para EBs, [dBm]			
Macro	Micro	Pico	
[40,43]	[30,43]	[20,43]	

2.3 ESTAÇÕES DE BASE

Nesta secção introduzem-se conceitos gerais relacionados com as estações de base, nomeadamente a sua localização e quais as antenas que tipicamente se usam. Identificam-se os tipos mais comuns de instalações e os cenários a estudar neste trabalho, reportados ao pior caso do ponto de vista da exposição humana à radiação. Apresenta-se um método simples de estimação do diagrama de radiação 3D das antenas de estação de base.

² relativo a micro célula (Ver classificação de células na secção 2.3).

³ do inglês *Frequency Division Duplex*.

⁴ do inglês *Time Division Duplex*.

⁵ do inglês *Code Division Multiple Access*.

⁶ do inglês *Effective Isotropic Radiated Power*.

⁷ Ver classificação de células na secção 2.3.

2.3.1 Localização

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

Há duas necessidades fundamentais dos algoritmos que determinam a localização das estações de base. 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 estações de base cada vez mais próximas (para aumentar a capacidade), mas operando a níveis de potência cada vez mais baixos (para evitar interferência entre as diferentes estações). Assim, nos grandes centros urbanos, em que o número de utilizadores tende a aumentar, as estações 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.

Como já se referiu, as características de uma estação de base variam consoante o ambiente em que esta está inserida e, portanto, consoante o planeamento celular característico desse ambiente. É habitual classificar as células de acordo com a sua dimensão, e posição das antenas da estação de base relativamente aos edifícios circundantes. Como a classificação dos tipos de células não é única na literatura, apresenta-se na Tabela 2.3 a classificação adoptada neste trabalho, [DaCo99].

Célula		Raio da célula (valor típico)	Localização típica das antenas da estação de base
Macro	Grande	1 km a 30 km	Exterior; acima do nível médio dos telhados; mais altas que todos os edifícios vizinhos.
Macio	Pequena	0.5 km a 3 km	Exterior; acima do nível médio dos telhados; alguns edifícios vizinhos podem estar acima da antena.
Micro		Até 1 km	Exterior; abaixo do nível médio dos telhados.
Pico		Até 500 m	Interior e raramente exterior (abaixo do nível médio dos telhados).

Tabela 2.3 – Classificação de células.

A escolha da localização das estações de base deve constituir um compromisso entre as duas necessidades fundamentais já analisadas (cobertura e capacidade) e entre considerações técnicas e constantes económicas ou de planeamento. Muito sumariamente, as etapas que levam à determinação do local adequado para a instalação, são:

- Análise das necessidades dos utilizadores, área de serviço, frequências, limites de potência licenciados, modos de operação;
- Inspecção da área de serviço para identificar os locais preferidos;
- Análise da adequação dos locais às necessidades e da possibilidade de partilha do local;
- Formulação de propostas para novos sítios onde for necessário.

Sai fora do âmbito deste trabalho a identificação exaustiva dos critérios de selecção do local onde deve ficar instalada a estação de base. Para uma consulta mais detalhada, ver [ETSI96].

Tipicamente, as antenas das estações de base estão instaladas em mastros ou torres, Figura 2.1, topos e fachadas de edifícios, Figuras 2.2 e 2.3, ou tanques de água. Também são possíveis instalações no interior de edifícios (centros comerciais, metro, etc.), Figura 2.4. 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 2.5 e 2.6.

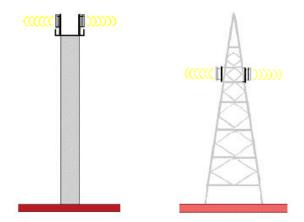


Figura 2.1 – Antena instalada em mastro ou torre.

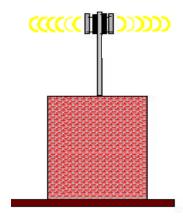


Figura 2.2 – Antena instalada no topo de edifício.



Figura 2.3 – Antena instalada em fachada de edifício.

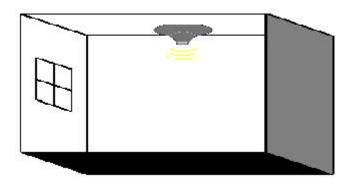


Figura 2.4 – Antena instalada no interior de edifício.

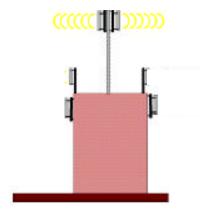


Figura 2.5 – Co-instalação de antenas em edifícios.

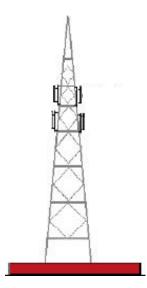


Figura 2.6 – Co-instalação de antenas em torres.

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 2.4 refere a classificação de cenários proposta neste trabalho, que conjuga o tipo de exposição à radiação com a localização das antenas das estações de base. Note-se que existem muitos outros cenários possíveis, no entanto esta classificação é elaborada tendo em mente a pior situação de exposição.

Tabela 2.4 – Classificação de cenários.

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

O estudo sobre os possíveis efeitos adversos da exposição humana às emissões de radiofrequência (RF), provenientes das estações de base 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 severas 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.

2.3.2 Antenas

O nível de exposição à radiação de RF proveniente de uma estação de base 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 estações de base 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 2.7 e 2.8 podemos ver os diagramas de radiação nos planos vertical e horizontal, tipicamente associados a cada uma delas.

O uso de antenas omnidireccionais deve-se restringir a situações em que os requisitos do sistema o exijam. Geralmente estão instaladas no centro da área de serviço para que se consiga cobertura uniforme em toda a área, sendo frequente o seu uso em ambientes rurais.

Apresentam ganhos com valores típicos entre 2.15 e 11.4 dBi. Exemplos simples desta classe de antenas são dipolos, monopolos e agregados colineares.

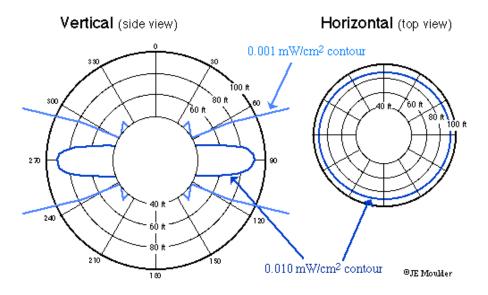


Figura 2.7 – Diagrama de radiação de uma antena omnidireccional (adaptado de [Moul01]).

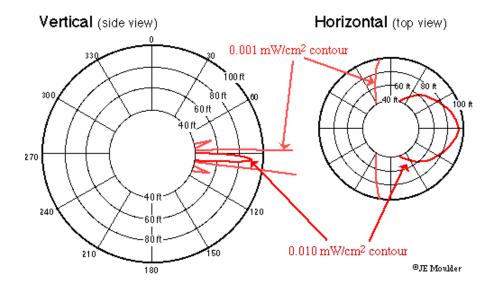


Figura 2.8 – Diagrama de radiação de uma antena sectorial (adaptado de [Moul01]).

As antenas sectoriais são a solução encontrada nas estações de base mais recentes para limitar a radiação a áreas bem definidas do espaço. Geralmente são combinadas em arranjos de três grupos, com um espaçamento de 120° entre si, apontadas para o horizonte. As antenas sectoriais apresentam ganhos mais elevados que as antenas omnidireccionais, com valores típicos entre 6.65 e 18.65 dBi. Antenas de painel são exemplos deste tipo de antenas. A sua aplicação típica é geralmente nas áreas urbanas e suburbanas.

Muitas antenas de uso comum encontram-se entre os tipos omnidireccional e sectorial. Incluem dipolos simples montados na parte lateral das estruturas de suporte e têm diagramas de radiação mal definidos. São usadas para compensar a distorção introduzida nos diagramas

de radiação pelas estruturas onde as antenas estão montadas. O seu uso não é recomendado para operações multi-frequência.

O desenvolvimento de uma ferramenta de simulação que estime adequadamente o sinal proveniente de uma estação de base e determine a distância de segurança em redor da mesma, passa necessariamente pelo conhecimento dos diagramas de radiação tridimensionais das antenas da EB. Geralmente, este requisito não é fornecido pelos fabricantes da antena. A informação disponível nos catálogos restringe-se aos diagramas de radiação nos planos horizontal e vertical, ou apenas à largura de feixe de "meia-potência" para o plano vertical. Desta forma, torna-se necessário o desenvolvimento de métodos que permitam estimar o diagrama de radiação tridimensional.

Neste trabalho é usado um método simples de interpolação 3D [GCFP01], que se passa a descrever. As definições necessárias para a aplicação do método encontram-se na Figura 2.9.

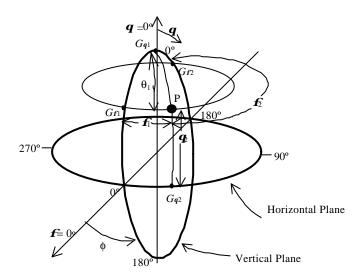


Figura 2.9 – Esquema para aplicação do método de extrapolação do diagrama 3D (extraído de [GCFP01]).

Assume-se que são conhecidos os diagramas de radiação horizontal e vertical, $G_H(\mathbf{f})$ e $G_V(\grave{e})$. O diagrama de radiação horizontal, $G_H(\mathbf{f})$, é conhecido para $\mathbf{f} \in [0, 2\pi[$, e o diagrama e radiação vertical, $G_V(\grave{e})$, para $\grave{e} \in [0, \pi]$ com $\mathbf{f} = 0$, π . O ganho direccional da antena de estação de base, $G_e(\grave{e}, \mathbf{f})$, em qualquer direcção $P(\grave{e}, \mathbf{f})$ é dado por:

$$G_{e} = \frac{\left[\mathbf{f}_{1}G_{f2} + \mathbf{f}_{2}G_{f1}\right] \frac{\mathbf{q}_{1}\mathbf{q}_{2}}{\left(\mathbf{q}_{1} + \mathbf{q}_{2}\right)^{2}} + \left[\mathbf{q}_{1}G_{q2} + \mathbf{q}_{2}G_{q1}\right] \frac{\mathbf{f}_{1}\mathbf{f}_{2}}{\left(\mathbf{f}_{1} + \mathbf{f}_{2}\right)^{2}}}{\left[\mathbf{f}_{1} + \mathbf{f}_{2}\right] \frac{\mathbf{q}_{1}\mathbf{q}_{2}}{\left(\mathbf{q}_{1} + \mathbf{q}_{2}\right)^{2}} + \left[\mathbf{q}_{1} + \mathbf{q}_{2}\right] \frac{\mathbf{f}_{1}\mathbf{f}_{2}}{\left(\mathbf{f}_{1} + \mathbf{f}_{2}\right)^{2}}}$$
(2.5)

onde:

- \dot{e}_1 , \dot{e}_2 , f_1 , f_2 estão definidos na Figura 2.9
- $G_{\grave{e}1} = G_V(\grave{e}=0) \text{ e } G_{\grave{e}1} = G_V(\grave{e}=\pi).$
- $G_{\dot{e}2} = G_H(\mathbf{f})$.
- $G_{\mathbf{f}} = G_{V}(\grave{e}, \mathbf{f}=0).$
- $G_{\mathbf{f}} = G_{\mathbf{V}}(\hat{e}, \mathbf{f} = \pi).$

Note-se que o caso representado na Figura 2.9 reporta-se a extrapolação no hemisfério superior. Para o hemisfério inferior, o ganho é obtido da mesma forma, mas considerando um valor apropriado para $G_{\tilde{e}I}$ (ângulo de π em vez de 0).

2.4 MODELOS DE PROPAGAÇÃO

O planeamento de um sistema de comunicações celular implica a caracterização de diversos parâmetros do canal rádio. A grande diversidade destes parâmetros e a existência de vários tipos de instalações obrigam à utilização de diferentes modelos de propagação. Reconhecendo que o parâmetro de interesse é a atenuação de propagação e que não existe um modelo de propagação genérico válido para todas as situações, na presente secção faz-se uma revisão dos modelos que permitem estimar a atenuação de propagação para os cenários propostos na secção 2.3.

2.4.1 Propagação em Espaço Livre

Muitos dos modelos para a estimação da atenuação de propagação são utilizados para a análise da cobertura de uma dada EB, considerando como caso geral a situação em que não existe linha de vista. No entanto, quando se pretende avaliar a conformidade de uma EB com os limites de exposição à radiação o caso geral passa a ser o de linha de vista, Figura 2.10. É neste contexto que surge o modelo de espaço livre, útil para estimar a atenuação de propagação num ambiente em que existe um raio dominante.

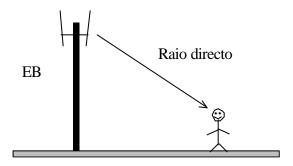


Figura 2.10 – Exposição com linha de vista.

Para além da situação esquematizada na Figura 2.10, em que o tipo de instalação é um mastro ou torre, o modelo de espaço livre encontra aplicação também para as situações:

- Instalação no topo de edifícios, ao nível da rua e da antena.
- Instalação em fachada de edifícios, ao nível da rua.
- Instalação em interiores, na divisão onde se encontra a EB.

A atenuação de propagação é dada por, [Pars92]:

$$L_{[dB]} = 32.4 + 20 \cdot \log(f_{[MHz]}) + 20 \cdot \log(d_{[km]})$$
(2.6)

onde:

- *f* Frequência.
- d Distância em relação à EB.

A aplicação deste modelo deve ser encarada de uma forma bastante cuidadosa. Para além de só ser aplicável na zona distante $(d > d_{min})$, o modelo de espaço livre apresenta uma descrição muito simplista dos mecanismos de propagação. Apenas se tem em conta o raio directo, não considerando outros mecanismos importantes (e.g., reflexões) na situação em que existe linha de vista.

2.4.2 Modelo de 2 Raios

Como se referiu, o modelo de espaço livre considera apenas o raio directo, Figura 2.10. No entanto, mesmo na situação em que se tem linha de vista, esta simplificação pode ser excessiva.

O modelo de 2 raios, cuja aplicação é também bastante simples, considera que para além do raio dominante, chega ao receptor uma outra componente do sinal: o raio reflectido no solo. A atenuação de propagação é dada por, [Pars92]:

$$L_{\text{[dB]}} = 120 - 20 \cdot \log(h_{e[m]}) - 20 \cdot \log(h_{r[m]}) + 40 \cdot \log(d_{\text{[km]}})$$
(2.7)

onde:

- h_e Altura da antena emissora.
- h_r Altura da antena receptora.

A expressão 2.7 só é válida quando a distância em relação à EB, d, é muito maior que as alturas da antena emissora, h_e , e receptora, h_r ($d >> h_e$, h_r). Assim, neste aspecto, o modelo de 2 raios não apresenta qualquer vantagem em relação ao modelo de espaço livre.

2.4.3 Modelos de Penetração em Edifícios

Os tipos de exposição à radiação electromagnética proveniente de uma EB, não se esgotam considerando apenas os casos em que existe linha de vista. Estando a EB num ambiente urbano é necessário considerar os casos de edifícios nas proximidades e também, tratando-se de instalações em fachada ou topo de edifícios, do próprio edifício onde a EB se encontra instalada. Nestes casos, uma estimação adequada do sinal implica o recurso a modelos de penetração em edifícios.

Uma abordagem generalizada em várias ferramentas de planeamento para a estimação da atenuação dentro de um edifício consiste na previsão da atenuação de propagação na proximidade do edifício e posterior adição de uma constante de perdas, [HoWL99] e [ToTP98]. No entanto, tal como se vai mostrar nesta secção, existem situações em que é possível usar outras metodologias mais simples.

As perdas por penetração na parede externa podem variar consideravelmente entre as situações em que existe linha de vista e entre as situações sem linha de vista. É por este motivo que se consideram modelos diferentes consoante a situação. Como o caso de interesse é o de linha de vista, foca-se apenas esta situação.

Mostra-se que, [DaCo99], uma abordagem válida para o caso de existência de linha de vista consiste em assumir atenuação de propagação em espaço livre entre a antena externa e a parede iluminada sem ser necessário considerar um nível exterior de referência. Assim, no modelo proposto, a determinação da atenuação de propagação faz-se através da expressão:

$$L_{[dB]} = 32.4 + 20 \cdot log(\ f_{[GHz]}) + 20 \cdot log(\ S_{[m]} + d_{p_{[m]}}) + L_{W_{e}[dB]} + L_{WG_{e}[dB]} \cdot \left(1 - \frac{D}{S}\right)^{2} + max(\mathbf{G}_{1}, \mathbf{G}_{2})$$
(2.8)

$$\Gamma_{1} = L_{W_{\text{int}}[dB]} \cdot p \tag{2.9}$$

$$\Gamma_2 = \mathbf{a}_{[dB/m]} \cdot \left(d_{p_{[m]}} - 2 \right) \cdot \left(1 - \frac{D}{S} \right)^2 \tag{2.10}$$

onde:

- D, d_p Distâncias perpendiculares.
- S Distância entre a antena externa e a parede externa no piso em questão.
- **q** Ângulo de incidência.
- L_{We} Perdas na parede exterior para penetração perpendicular ($\mathbf{q} = 90^{\circ}$).
- L_{WGe} Perdas adicionais na parede externa quando $\mathbf{q} = 0^{\circ}$.
- L_{Wint} Perdas nas paredes internas.
- p Número de paredes internas atravessadas (p = 0,1,2....).
- **a** Constante do modelo.

O ângulo de incidência, \mathbf{q} , calcula-se através da expressão $\sin(\mathbf{q}) = D/S$. A penetração perpendicular ($\mathbf{q} = 90^{\circ}$) ocorre quando a altura da antena externa e a altura do piso actual são idênticas e quando a distância da EB à parede externa é perpendicular, i.e., quando D = S. Os parâmetros do modelo estão definidos na Figura 2.11.

São recomendados os seguintes valores para os parâmetros do modelo:

- $L_{We}: 4-10 \text{ dB}$
- L_{Wint} : 4 10 dB
- L_{WGe} : cerca de 20 dB
- **a** cerca de 0.6 dB/m

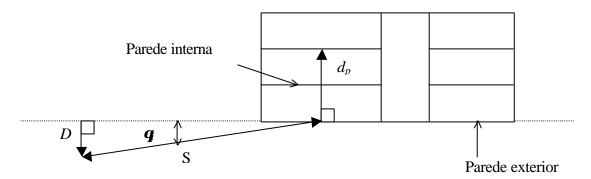


Figura 2.11 – Definição dos parâmetros do modelo de penetração em edifícios.

Este modelo baseia-se em medidas na banda dos 900-1800 MHz e para distâncias a partir dos 500 m. Deste modo, é posta em causa a validade do modelo quando se consideram frequências fora da banda referida (caso do UMTS) e distâncias pequenas (que, no âmbito deste trabalho, são aquelas com mais interesse). Esta última limitação do modelo condiciona a sua utilização para o caso de edifícios onde estão instaladas EBs, seja na fachada ou no topo

do edifício. Para estes casos é mais adequada a utilização de modelos de propagação em ambientes interiores, referidos na subsecção 2.4.4.

Existe uma abordagem ainda mais simples para a estimação da atenuação de propagação quando se considera a penetração em edifícios nas proximidades da EB. Esta abordagem assenta no mesmo pressuposto do modelo anterior, ou seja, considera também atenuação de espaço livre entre a EB e a parede externa do edifício, calculada através da expressão (2.6). No entanto, as perdas por penetração no edifício são contabilizadas simplesmente pela adição de uma constante de perdas que varia consoante o tipo de parede externa do edifício em causa. Na Tabela 2.5 apresentam-se alguns valores típicos.

Tabela 2.5 – Valores típicos das perdas por penetração numa parede externa.

Tipo de	Perdas
Paredes	[dB]
Vidro	1
Tijolo	10

2.4.4 Modelos de Propagação em Ambientes Interiores

O cenário de propagação em ambientes interiores é particularmente importante no que diz respeito ao impacto da localização das antenas de EB na exposição humana à radiação electromagnética, uma vez que a este tipo de exposição está inerente uma grande proximidade em relação à EB. Nestes casos, uma estimação adequada da atenuação de propagação implica a utilização de modelos de propagação em interiores.

Sendo a atenuação de propagação o parâmetro em foco, têm-se em conta apenas os modelos empíricos de banda estreita.

Uma das primeiras abordagens a este tipo de modelos de propagação em interiores foi feita por Alexander [Alex82], que concluiu que a atenuação de percurso dentro de edifícios à frequência de 900 MHz pode ser estimada usando simplesmente a lei distância/potência. Mais tarde, com base em medidas para as frequências de 900 e 1700 MHz, Motley e Keenan [MoKe88] mostraram que é possível obter melhores resultados adicionando ao modelo de Alexander um factor correctivo que representa a atenuação do sinal por piso.

É neste contexto que surgem muitos dos modelos encontrados na literatura (*e.g.*, [ToTP98], [SeRA92] e [MuSC95]), que são um refinamento de outros modelos mais simples através da consideração de novos parâmetros.

Nesta subsecção apresentam-se três tipos de modelos empíricos para propagação em interiores: o modelo de um declive, o modelo linear e o modelo multi-paredes. Da comparação do desempenho destes com a campanha de medidas conduzida em [DaCo99], é possível concluir que o modelo que conduz a melhores resultados é o multi-paredes, principalmente nas situações em que o transmissor e o receptor estão em pisos diferentes. Deste modo é-lhe dada especial atenção.

A expressão que descreve a atenuação de propagação no modelo de um declive é [DaCo99]:

$$L_{[dB]} = L_{0[dB]} + 10n \cdot \log(d_{[m]})$$
(2.11)

onde:

- L_0 Atenuação de espaço livre a 1 m de distância.
- n Índice de decaimento de potência.
- d Distância entre o transmissor e o receptor.

Neste modelo, as características de propagação reflectem-se apenas no índice de decaimento de potência. Note-se que tomando n=2, a expressão (2.11) traduz a atenuação de espaço livre.

No que diz respeito ao modelo linear, assume-se que a atenuação de percurso depende linearmente da distância [DaCo99]:

$$L_{[dB]} = L_{FS[dB]} + \mathbf{a}_{a[dB/m]} \cdot d_{[m]}$$
(2.12)

onde:

- L_{FS} Atenuação de espaço livre.
- \mathbf{a}_a Coeficiente de atenuação.

No modelo multi-paredes, a atenuação de propagação é dada pela atenuação de espaço livre somada com as perdas introduzidas pelas paredes e pisos atravessados pelo raio directo entre o transmissor e o receptor. A expressão que traduz o modelo multi-paredes pode ser expressa na forma [DaCo99]:

$$L_{[dB]} = L_{FS[dB]} + L_C + \sum_{i=1}^{I} k_{wi} L_{wi[dB]} + k_f \left[\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b \right] L_{f[dB]}$$
(2.13)

onde:

- L_C Constante de perdas.
- k_{wi} Número de paredes atravessadas, do tipo *i*.
- k_f Número de pisos atravessados.
- L_{wi} Perdas na parede do tipo *i*.
- L_f Perdas entre dois pisos adjacentes.
- *b* Parâmetro empírico.
- *I* Número de tipos de paredes.

O quarto termo de (2.13) evidencia a não linearidade da relação entre as perdas devidas ao atravessamento de pisos e o número de pisos atravessados. O terceiro termo traduz as perdas devidas ao atravessamento de paredes através de uma soma das paredes entre o transmissor e o receptor, tendo em conta a possibilidade da existência de diferentes tipos de paredes. Na Tabela 2.6 encontra-se a classificação recomendada.

Convém mencionar que os factores de (2.13) não têm significado físico, ou seja, não são atenuações mas sim coeficientes do modelo que, como tal, são determinados por ajuste de curvas aos resultados experimentais. Com base em medidas efectuadas, na banda dos 900-1800 MHz e nos ambientes descritos em [DaCo99], os valores propostos para os coeficientes

deste modelo são: $L_{wI} = 3.4$ dB, $L_{w2} = 6.9$ dB, $L_f = 18.3$ dB e b = 0.46. Estes valores são independentes do tipo de ambiente considerado, Tabela 2.7.

Tabela 2.6 – Classificação dos diferentes tipos de paredes para o modelo multi-paredes, [DaCo99].

Tipo de paredes	Descrição
"Leve" (Lw1)	Paredes com espessura inferior a 10 cm; e.g. gesso cartonado.
"Pesada" (Lw2)	Paredes com espessura superior a 10 cm; e.g. cimento e tijolo.

Tabela 2.7 – Classificação de edifícios proposta em [DaCo99].

Ambiente	Descrição
Denso	Ambientes com salas pequenas
Aberto	Ambientes com salas grandes
Largo	Ambientes com salas muito grandes (e.g. centro comercial, aeroportos, etc.)
Corredor	Emissor e receptor ao longo do mesmo corredor

À semelhança do que acontece com a atenuação por pisos, em [Corr01] é proposto um modelo em que a atenuação por paredes exibe um comportamento não linear com o número de paredes atravessadas pelo raio directo. No entanto, como as divisões que interessa ter em conta são as adjacentes àquela em que se encontra instalada a EB, não se coloca a hipótese da utilização deste modelo.

2.5 EFEITOS BIOLÓGICOS

Esta secção aborda os conceitos básicos que estão por detrás da interacção entre os campos electromagnéticos gerados pelos sistemas de comunicações celulares e o ser humano. Referem-se os parâmetros quantitativos usados para estabelecer limites de segurança na exposição à radiação electromagnética, apresentam-se estes limites, a sua motivação e aplicação neste trabalho. Tratam-se finalmente, de uma forma sumária, aspectos relacionados com os efeitos biológicos da radiação e com a postura da comunidade científica perante esta questão.

2.5.1 Campos e Frequências

As ondas radiadas pelas antenas das estações de base 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 2.12, inclui todas as formas de energia electromagnética, desde energia de muito baixa frequência (ELF⁸), com longos comprimentos de onda até Raios X e Raios Gama, que têm muito altas frequências e muito curtos comprimentos de onda.

¹ do inglês Extremely Low Frequency

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 2.12.

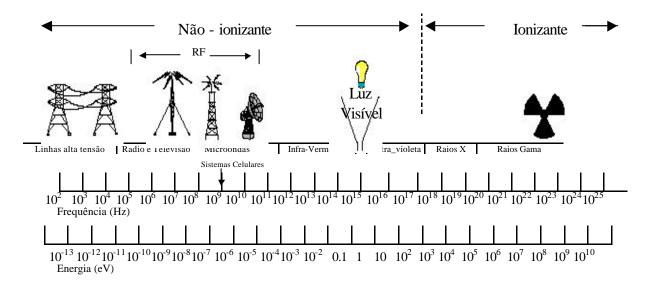


Figura 2.12 – Espectro Electromagnético (adaptado de [ClUl99]).

Quanto maior for a frequência de uma onda electromagnética, maior será a energia do fotão 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 fotões associadas às diferentes frequências do espectro electromagnético estão representadas na escala inferior da Figura 2.12.

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 fotões não é suficiente para causar a ionização dos átomos e das moléculas nos tecidos vivos, pelo que a radiação RF é considerada nãoionizante. 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 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^9) [AJPR95], mede-se em W/kg, e é dada por:

$$SAR = \frac{\mathbf{s}|E|^2}{\mathbf{r}} [W/kg]$$
 (2.14)

⁹ do inglês *Specific Absorption Rate*.

onde:

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

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.

Nos sistemas de comunicação móveis, o tipo de exposição à radiação RF é diferente conforme a fonte de emissão. Assim:

- Terminal móvel: exposição de curta duração, de intensidade moderada e muito localizada
- Estação de base: exposição contínua, de baixa intensidade e por todo o corpo.

Refira-se ainda que também os riscos associados a estes dois tipos de exposição são "politicamente" diferentes. Se por um lado a exposição associada a um terminal móvel é um risco pessoal, por outro, a exposição à radiação electromagnética proveniente de um EB é involuntária.

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. 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 (2.15). Na campanha de medidas deste trabalho opta-se pela medida de E.

$$\frac{E}{H} = Z_0 = 377 \,\mathbf{W} \tag{2.15}$$

onde:

- *E* Valor eficaz do campo eléctrico [V/m].
- *H* Valor eficaz do campo magnético [A/m].
- Z_0 Impedância característica [Ù].

2.5.2 Limites de Exposição à Radiação

Hoje em dia assiste-se cada vez mais à promoção de uma política global de prevenção. Neste sentido, uma das medidas adoptadas pela comunidade internacional para a gestão do risco associado às emissões de RF é a adopção e legislação dos limites de segurança por todos os países à escala mundial.

Há diversos organismos, entre os quais o ANSI/IEEE¹⁰ [ANSI92], o CENELEC¹¹ [CENE97] e o FCC¹² [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 (WHO¹³) 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 2.8 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 estações de base e é, portanto, o que tem restrições mais limitativas, pelo que será a referência a adoptar neste trabalho. Note-se que os limites apresentados na Tabela 2.8 referem-se a bandas de frequências que compreendem os sistemas GSM e UMTS.

	f [MHz]	CENELEC	IEEE	JAPÃO	
	890-1500	f / 200		f / 150	
$S [W/m^2]$	1500-2000	J / 200	f / 150	10	
	2000-2170	10			
	890-1500	- 1.37 $\mathbf{x} f^{1/2}$		$1.585 \text{ x} f^{1/2}$	
<i>E</i> [V/m]	1500-2000			61.4	
	2000-2170	61.4		01.4	
H [A/m]	890-1500	$3.64 \times 10^{-3} \times f^{1/2}$		$f^{1/2} / 237.8$	
	1500-2000	3.04 x 10 x j		0.163	
	2000-2170	0.163		0.105	

Tabela 2.8 - Limites de segurança para GSM e UMTS (valores médios).

No âmbito deste trabalho, os resultados obtidos pela campanha de medidas serão analisados e comparados com os limites de segurança estabelecidos pelo CENELEC e adoptados pelo Conselho da União Europeia [CoUE99]. A comparação efectuar-se-á 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 2.9 apresentam-se os limites de referência (valores de pico) estabelecidos pelo CENELEC.

_

 $^{^{10}}$ American National Standard Institute / Institute of Electrical and Electronics Engineers.

¹¹ European Committee for Electrotechnical Standardization.

¹² Federal Communications Commission.

¹³ World Health Organization.

Tabela 2.9 – Limites de segurança para GSM e UMTS (valores de pico).

f[MHz]	$S [W/m^2]$	<i>E</i> [V/m]	<i>H</i> [A/m]
400-2000	3.97 x <i>f</i>	$39.7 \text{ x} f^{1/2}$	$0.1 \text{ x} f^{1/2}$
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 2.15 e 2.16. No entanto, sendo os valores limites de referência para o campo eléctrico os mais restritivos, se a inequação 2.15 se verificar, então a inequação 2.16 ambém se verificará. Assim, basta garantir que a inequação 2.15 seja satisfeita.

$$\sum_{i=100kJz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{87/f^{1/2}} \right)^2 + \sum_{i>1MJz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{\lim_i}} \right)^2 \le 1$$
 (2.15)

$$\sum_{j=100kJz}^{150kHz} \left(\frac{H_j}{0.73/f} \right)^2 + \sum_{j>150kHz}^{300GHz} \left(\frac{H_j}{H_{\lim_j}} \right)^2 \le 1$$
 (2.16)

onde:

- E_i Intensidade do campo eléctrico à frequência i.
- E_{limi} Nível de referência do campo eléctrico para a frequência i.
- H_i Intensidade do campo magnético à frequência j.
- H_{lim_j} Nível de referência do campo magnético para a frequência j.

2.5.3 Resultados da Investigação Biomédica

A médicos, biólogos e a outros cientistas compete investigar os efeitos biológicos e possíveis riscos para o ser humano, resultantes da exposição à radiação electromagnética. Não sendo este assunto um problema específico da engenharia de telecomunicações, sai fora do alcance e competência deste trabalho a tentativa de o explicar. Assim, faz-se apenas um breve resumo acerca da investigação feita nesta área.

Desde a 2ª Guerra Mundial que governos, universidades e laboratórios industriais por todo o mundo, investigam exaustivamente os efeitos biológicos da energia RF. A maior parte desta pesquisa começou por envolver campos entre os 915 e os 2450 MHz, muito perto das frequências utilizadas pelos sistemas de comunicações celulares, mas com uma motivação orientada para os sistemas de comunicações militares. No princípio dos anos 60, após intensa pesquisa, começaram a estabelecer-se os primeiros limites de segurança para exposição às RF (ICNIRP¹⁴, ANSI/IEEE, ...).

Esta sempre foi uma área de grande controvérsia no meio científico, mas que só chegou à opinião pública em meados de 1992, quando David Reynard [Fost01] lançou a suspeita de existir uma ligação entre o cancro e o uso do terminal móvel. O problema estendeu-se também às emissões das estações de base e desde então têm-se efectuado inúmeros estudos

-

 $^{^{14}\} International\ Commission\ on\ Non-Ionizing\ Radiation\ Protection.$

específicos neste tema. No momento actual, os resultados da pesquisa podem-se resumir nos seguintes pontos [WoHO00]:

- Cancro: A evidência científica indica que a exposição aos campos de RF, como os que são emitidos pelas antenas das estações de base ou pelos terminais móveis, não provoca o cancro. Diversos estudos em animais expostos a campos de RF não indicaram qualquer relação entre radiação RF e cancro. Um estudo, em 1997 [Fost01], revelou que os campos de radiofrequência aumentam a velocidade com que um rato geneticamente manipulado desenvolve linfomas. Muitos estudos tentam compreender este resultado e a sua relevância para o caso humano. Três recentes estudos epidemiológicos, [Fost01], não encontraram qualquer evidência convincente de aumento do risco de cancro ou de qualquer outra doença.
- Outros riscos para a saúde: Foram constatados outros efeitos relacionados com os sistemas de comunicação móveis e que se prendem com mudanças na actividade cerebral, nos tempos de reacção e nos padrões de sono. Estes efeitos são pequenos e não têm aparente significado para a saúde, contudo continuam a ser investigados.
- Interferência electromagnética: Há a possibilidade de interacção entre a radiação RF e alguns dispositivos médicos (incluindo *pacemakers*, desfibriladores implantados e alguns dispositivos auditivos). Não é aconselhado o seu uso perto de fontes de radiação.

O consenso geral das organizações científicas e grupos de trabalho independentes é o de que [IEGM00] a exposição à energia RF abaixo dos limites internacionalmente estabelecidos não constitui um perigo para a saúde pública. Contudo, ainda não é possível dizer que a exposição às emissões de RF não apresenta riscos para a saúde. É também da opinião geral da comunidade científica, a necessidade de implementação de uma série de medidas preventivas, bem como a continuação da pesquisa nesta área.

3. MODELOS PARA AVALIAÇÃO DE INSTALAÇÕES

O desenvolvimento de qualquer sistema de comunicações celular implica o recurso a ferramentas de planeamento, úteis nas fases de desenho e teste do sistema. Estas ferramentas, usando técnicas de simulação por computador, procuram caracterizar diversos parâmetros do canal rádio, tendo como único objectivo a análise do desempenho do sistema. Apesar de serem contabilizados os mais diversos factores nas técnicas de simulação usadas, é também necessário ter em conta aspectos de segurança no planeamento da localização das EBs. É neste sentido que se desenvolveu a ferramenta *Radiation* que entra em conta com os limites de exposição a radiações electromagnéticas.

3.1 MODELOS TEÓRICOS

A aplicação *Radiation* procura analisar se uma dada EB, caracterizada por um conjunto de parâmetros, está em conformidade com os limites de exposição à radiação apresentados na secção 2.5. No desenvolvimento desta aplicação procuraram-se satisfazer dois requisitos fundamentais:

- Garantir simplicidade quer ao nível dos modelos utilizados, quer ao nível dos dados pedidos ao utilizador. Ou seja, procura-se fornecer conclusões acerca da segurança da EB em análise exigindo apenas um conhecimento mínimo dos seus parâmetros.
- Dado um cenário, procura-se sempre analisar o pior caso possível, em termos de exposição à radiação. Ou seja, dada uma situação, procura-se sempre analisar o caso que conduz a uma menor atenuação de propagação.

Dada a grande diversidade de tipos de instalação de EBs, analisam-se apenas os cenários típicos apresentados na secção 2.3. Em cada um destes cenários a grandeza a estimar é a intensidade de campo eléctrico, *E*, para posterior comparação com os valores limite estabelecidos para esta grandeza. De seguida, apresentam-se as expressões e modelos usados na aplicação *Radiation*, bem como as justificações para as opções tomadas.

A estimação da intensidade do campo eléctrico é feita através de (2.4), que aqui se reproduz:

$$E_{[dBV/m]} = -42.79 + P_{e[dBm]} + G_{e[dBi]} + 20 \cdot \log(f_{[MHz]}) - L_{[dB]}$$
(3.1)

onde:

- P_e Potência aos terminais da antena da EB.
- G_e Ganho da antena da EB.
- *f* Frequência.
- *L* Atenuação de propagação.

A expressão (3.1) é geral para todos os cenários, sendo a parcela que diz respeito à atenuação de propagação a única a variar com o cenário. A estimação da atenuação de propagação é feita usando o modelo mais adequado ao tipo de exposição em causa, escolhido de entre aqueles que foram apresentados na secção 2.4.

Nas situações em que a exposição é exterior, ou seja, quando existe linha de vista entre a antena da EB e o local onde se pretende estimar a intensidade de campo eléctrico, a atenuação de propagação pode ser calculada usando o modelo de espaço livre, (2.6), ou o modelo de 2 raios, (2.7). Tratando-se do modelo de espaço livre, obtém-se:

$$E_{[dBV/m]} = -75.23 + P_{e[dBm]} + G_{e[dBi]} - 20 \cdot \log(d_{[km]})$$
(3.2)

onde:

• *d* – Distância em relação à EB.

No que diz respeito ao modelo de 2 raios:

$$\begin{split} E_{\text{[dBV/m]}} &= -162.79 + P_{e_{\text{[dBm]}}} + G_{e_{\text{[dBi]}}} + 20 \cdot log\left(f_{\text{[MHz]}}\right) + 20 \cdot log\left(h_{e_{\text{[dB]}}}\right) \\ &\quad + 20 \cdot log\left(h_{r_{\text{[dB]}}}\right) - 40 \cdot log\left(d_{\text{[km]}}\right) \end{split} \tag{3.3}$$

onde:

- h_e Altura da antena da EB, em relação ao solo.
- h_r Altura do local onde se pretende estimar a intensidade do campo, em relação ao solo.

Das expressões (3.2) e (3.3), aquela que melhor cumpre o critério de simplicidade é a (3.2), fundamentalmente pelo facto de ser independente da frequência. Assim, e apesar do modelo de 2 raios fornecer uma melhor descrição dos mecanismos de propagação, optou-se pela utilização do modelo de espaço livre. Deste modo, não se obriga o utilizador a ter um conhecimento detalhado das frequências em jogo. Outro factor que fez recair a escolha no modelo de espaço livre, entra em consideração com o critério do pior caso. Estando na zona de validade dos dois modelos, aquele que fornece uma menor atenuação de propagação é o do espaço livre.

Nos casos em que têm de ser consideradas perdas por penetração em edifícios podem-se distinguir duas situações distintas:

- Penetração em edifícios na proximidade da EB.
- Penetração no edifício onde se encontra instalada a EB, em instalações na fachada e no topo do edifício.

No primeiro caso, a estimação da atenuação de propagação pode ser feita através do modelo apresentado na subsecção 2.4.3. No entanto, pelo critério do pior caso, a situação de interesse é aquela em que apenas é atravessada a parede externa do edifício. Assim, usa-se a abordagem referida no fim da subsecção 2.4.3 em detrimento do modelo inicial. A atenuação de propagação é então dada pela soma de uma constante de perdas, Tabela 2.5, à atenuação de espaço livre entre a EB e a parede externa do edifício, vindo:

$$E_{[dBV/m]} = -75.23 + P_{e[dBm]} + G_{e[dBi]} - 20 \cdot \log(d_{[km]}) - L_{adicional[dB]}$$
(3.4)

onde:

• Ladicional – Constante de perdas devido às perdas na parede exterior do edifício.

No segundo caso, penetração no edifício onde se encontra instalada a EB, a distância entre a EB e o edifício de instalação é necessariamente pequena. Como se viu na subsecção 2.4.3, o modelo de penetração em edifícios não é válido, sendo conveniente a utilização de modelos de propagação em ambientes interiores, nomeadamente do modelo multi-paredes, subsecção 2.4.4. Tem-se, portanto, que particularizar este modelo para o caso de instalações em fachada e no topo de edifícios, tendo sempre em mente o critério do pior caso.

No caso do cenário de instalação em fachada, o pior caso é aquele em que a parede externa é contabilizada como a única parede interior atravessada (k_{wi} =1). A expressão (3.1) fica:

$$E_{[dBV/m]} = -75.23 + P_{e[dBm]} + G_{e[dBi]} - 20 \cdot \log(d_{[km]}) - L_{wl} - k_f^{\left[\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b\right]} L_{f[dB]}$$
(3.5)

onde:

- k_f Número de pisos atravessados.
- L_f Perdas entre dois pisos adjacentes.
- *b* Parâmetro empírico.

Na particularização do modelo multi-paredes considerou-se a constante de perdas nula (L_C =0) e que a parede externa é do tipo "Leve" (L_{wi} = L_{wl}). Estas opções conduzem à menor atenuação de propagação possível em cada situação, ou seja, conduzem ao pior caso.

Para instalações em topo de edifícios, considera-se que não são atravessadas paredes interiores:

$$E_{[\text{dBV/m}]} = -75.23 + P_{e[\text{dBm}]} + G_{e[\text{dBi}]} - 20 \cdot \log(d_{[\text{km}]}) - k_f^{\left[\frac{k_f + 2}{k_f + 1} - b\right]} L_{f[\text{dB}]}$$
(3.6)

Quando o cenário em causa é o de propagação em ambientes interiores utiliza-se, de entre os modelos apresentados na subsecção 2.4.4, o modelo multi-paredes por ser este o que conduz a melhores resultados.

Em jeito de resumo, na Tabela 3.1, encontram-se as expressões utilizadas para a estimação do campo eléctrico consoante o cenário em análise.

TD 1 1 0 1	A 14 '	, , , ,	~ , 11 1
Tabela 3 I —	Correspondencia	entre cenarios e	expressões utilizadas.
i abbia 5.1	Correspondencia	chuc centarios e	expressees unitadas.

	Expressão utilizada		
Rural			(3.2)
Urbano:	Exterior		(3.2)
Torre ou Mastro	Edifício vizinho	(3.4)	
Urbano:	Exterior	(3.2)	
Topo de edifícios	Danatusaão am adifício	Vizinho	(3.4)
Topo de cumeios	Penetração em edifício	Instalação	(3.6)
Urbano:	Exterior	(3.2)	
Fachada de edifícios	Panatração am adifício	Vizinho	(3.4)
rachada de cullicios	Penetração em edifício Instalac		(3.5)
Interiores			(3.1) & (2.13)

Verifica-se que em todas as expressões presentes na Tabela 3.1 há a necessidade do conhecimento do ganho da antena para a direcção pretendida. Este cálculo é efectuado usando os diagramas de radiação vertical e horizontal, fornecidos em formato electrónico pelo

fabricante, e o método de extrapolação descrito na subsecção 2.3.2. O formato utilizado para os ficheiros que contêm os diagramas de radiação encontra-se no Anexo A.

Convém sublinhar que, dada a sua simplicidade, não se tem a pretensão de considerar a aplicação *Radiation* como um simulador capaz de auxiliar o desenho de um sistema de comunicações celular. Como se referiu, a ênfase foi colocada na avaliação da conformidade de EBs com os limites de exposição à radiação electromagnética, não sendo adequada a utilização do programa em aplicações fora deste âmbito.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA RADIATION

Para o desenvolvimento da aplicação *Radiation* optou-se pelo Microsoft Visual C++ 6.0 em detrimento de outras linguagens. Esta opção foi tomada fundamentalmente por dois motivos:

- Fornece ao utilizador uma interface simples e de fácil compreensão.
- É gerado um ficheiro executável capaz de correr em qualquer computador que tenha instalado o Microsoft Excel 9.0.

Nesta secção a aplicação é descrita, na óptica do utilizador, explicando quais os dados de entrada necessários. É também esclarecido como se deve escolher um dos três tipos de análise possíveis: estimação da intensidade de campo eléctrico num ponto previamente escolhido, representação da intensidade do campo eléctrico até uma determinada distância e representação da distância de segurança, ao nível do solo, em torno da EB.

O menu da janela principal do programa pode ser visualizado na Figura 3.1.

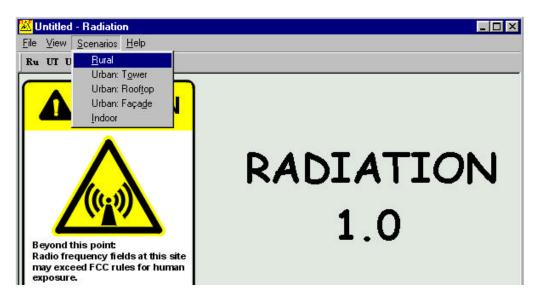


Figura 3.1 – Aspecto do menu da janela principal da aplicação *Radiation*.

Nesta janela é possível escolher um cenário de entre os cinco que foram apresentados na secção 2.3. A escolha de um cenário activa uma janela que possibilita ao utilizador a introdução dos vários conjuntos de dados necessários para a avaliação da conformidade da EB com os limites de exposição à radiação electromagnética. Usa-se como exemplo o cenário urbano: topo de edifícios.

O conjunto de dados *Geral*, Figura 3.2, diz respeito aos parâmetros que caracterizam a EB em questão. É também aqui que o utilizador pode escolher o tipo de análise pretendido. A descrição de cada um dos campos é feita na Tabela 3.2.

A importância do campo Opções justifica uma explicação mais detalhada acerca das suas possibilidades. Na Figura 3.3 mostram-se as opções possíveis consoante o cenário em análise e indica-se o tipo de resultados fornecido em cada opção.

Como já se referiu, nos cenários urbanos há que ter em conta os edifícios na proximidade da EB. Neste programa apenas se considera a existência de um edifício vizinho, o que não constitui uma limitação importante, pois podem ser analisados separadamente vários edifícios. Para estimar a intensidade do campo eléctrico no interior do edifício têm de ser definidas algumas das suas características. O conjunto de dados *Neighbouring Building*, Figura 3.4, especifica as características do edifício vizinho.

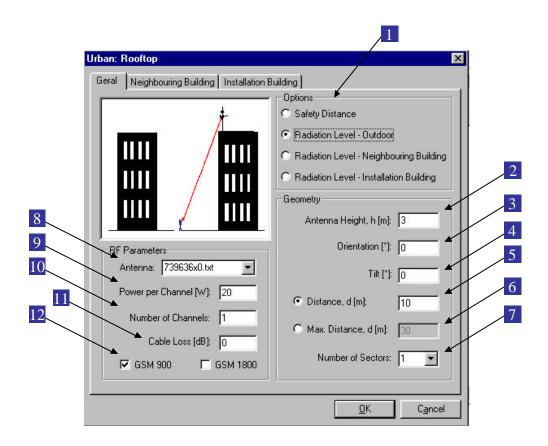


Figura 3.2 – Conjunto de dados *Geral*.

Dada a complexidade dos cenários reais, é difícil caracterizar de uma forma simples a posição relativa do edifício em relação à EB. A forma escolhida para definir esta posição, Figura 3.5, procura ser a mais simples possível de modo a facilitar a introdução dos dados necessários pelo utilizador.

Como se viu, os cenários em que a estrutura da EB assenta sobre um edifício, nomeadamente nas instalações em fachada ou no topo de edifícios, tornam interessante a estimação da intensidade do campo eléctrico no seu interior. É então necessária a existência de um conjunto de dados que caracterize o edifício de instalação, Figura 3.6. Os campos de dados que constituem o conjunto representado na Figura 3.6, encontram-se definidos na Figura 3.7.

Tabela 3.2 – Descrição dos campos constituintes do conjunto de dados Geral.

N.º	Nome	Descrição				
1	Opções	Escolha do tipo de análise pretendido.				
2	Altura da antena	Altura da antena no suporte. No caso de instalações no topo de edifícios será a altura em relação ao terraço. Nos outros cenários é a altura em relação ao solo.				
3	Orientação	Ângulo entre a direcção principal da antena da EB e o segmento de recta definido pela antena e o ponto em análise.				
4	Inclinação	Ângulo entre a horizontal e a direcção principal da antena.				
5	Distância	Distância, ao nível do solo, entre a EB e o ponto em análise.				
6	Distância Máxima	Distância, ao nível do solo, até onde se pretende fazer o traçado do andamento do campo eléctrico.				
7	N.º de sectores	N.º de sectores que constituem a EB em análise.				
8	Antena	Nome do ficheiro que contém os diagramas de radiação horizontal e vertical da antena.				
9	Potência por canal	Potência de emissão por canal.				
10	N.º de canais	N.º de canais rádio presente no sector da EB em análise.				
11	Perdas no cabo	Atenuação introduzida pelos cabos entre o emissor e a antena da EB.				
12	Tipo do sistema	Escolha do tipo de sistema em causa, possibilitando a selecção do limite de exposição adequado.				

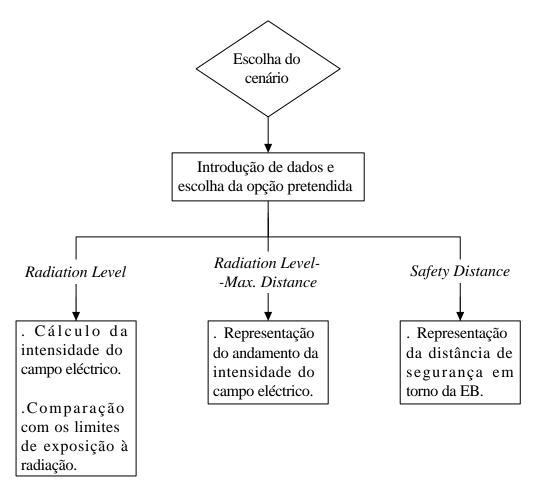


Figura 3.3 – Estrutura simplificada do programa *Radiation*.

Nos cenários de propagação em ambientes interiores, os locais onde se registam níveis de radiação mais elevados situam-se na divisão de instalação da EB. Desta forma, tem-se especial atenção na caracterização desta divisão, passando as divisões adjacentes para segundo plano. A divisão onde se encontra instalada a EB é caracterizada através do conjunto de dados *Installation Room*, Figura 3.8, sendo cada um dos campo definido na Figura 3.9.

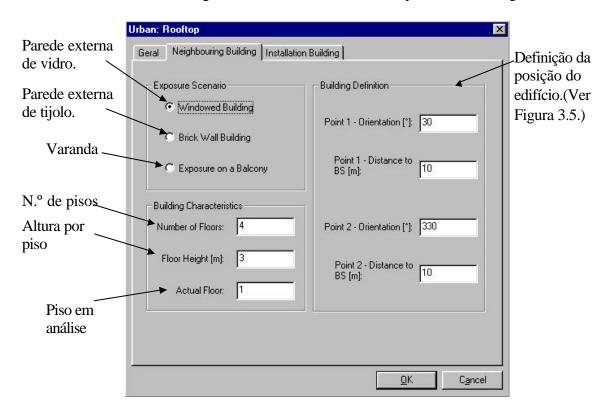


Figura 3.4 – Conjunto de dados *Neighbouring Building*.

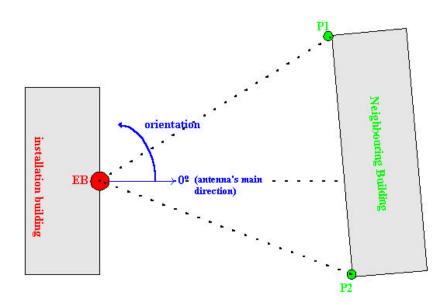


Figura 3.5 – Definição da posição relativa do edifício na proximidade da EB.

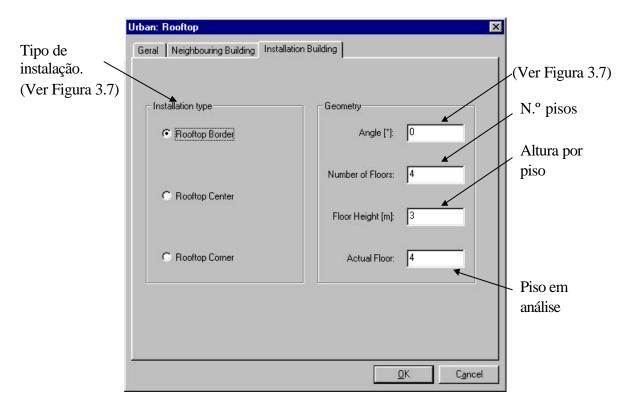


Figura 3.6 – Conjunto de dados *Installation Building*.

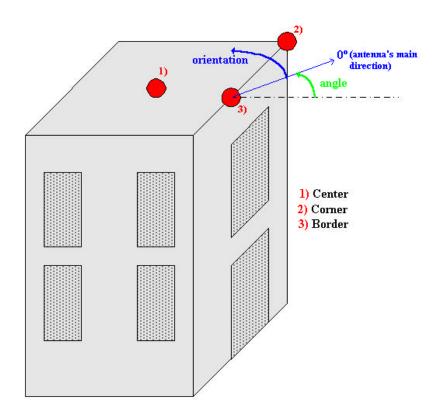


Figura 3.7 – Representação do edifício de instalação.

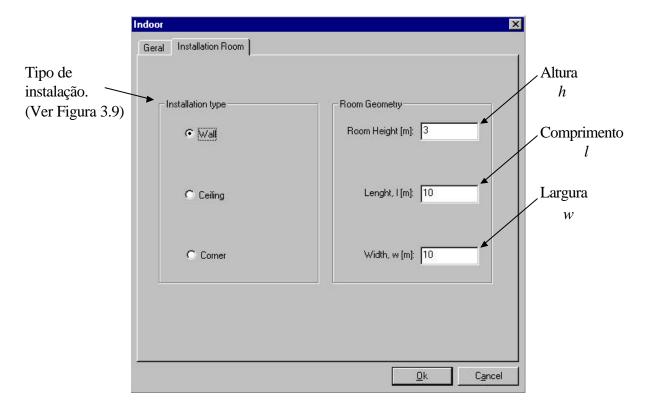


Figura 3.8 – Conjunto de dados *Installation Room*.

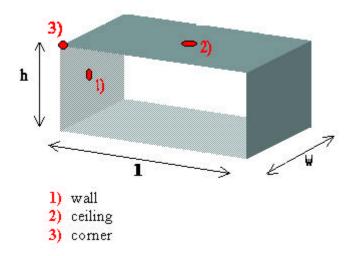


Figura 3.9 – Representação da divisão de instalação.

3.3 LIMITAÇÕES DO PROGRAMA RADIATION

A utilização correcta de qualquer ferramenta de *software* implica o conhecimento das suas limitações. É neste sentido que, nesta secção, se faz um resumo das principais limitações da aplicação *Radiation*.

Podem ser identificados dois tipos distintos de limitações:

- Limitações ao nível dos modelos teóricos usados.
- Limitações devidas às simplificações usadas para facilitar a introdução de dados.

De uma forma geral, os locais de interesse para a avaliação da conformidade de uma EB com os limites de exposição à radiação situam-se nas proximidades da antena da EB. Deste modo, podem existir situações em que os modelos teóricos são usados fora das zonas de validade. Quando tal acontece, são produzidas mensagens de aviso que põem o utilizador ao corrente da situação. O impacto da utilização dos modelos fora da suas zonas de validade é analisado no capítulo 5.

A simplicidade com que é feita a introdução dos dados necessários implica a existência de algumas limitações ao nível da definição das EBs e dos edifícios, bem como dos locais onde é possível estimar a intensidade do campo eléctrico. De seguida, referem-se estas limitações:

- Quando uma EB funciona em *dual-band* (GSM 900 e 1800), não é possível avaliar, de uma forma imediata, a conformidade com os limites de exposição à radiação. Nestas situações, é necessário considerar separadamente cada um dos sistemas e analisar se a expressão (2.15) é satisfeita.
- Pouca flexibilidade na definição dos sectores. Os ângulos entre sectores são prédefinidos, com o valor de 120°.
- Quando o tipo de exposição é exterior, o cálculo da intensidade de campo eléctrico é feito apenas para a altura típica de 1.8 m.
- Nos edifícios próximos da EB a intensidade de campo é estimada a meio da altura do andar em análise e imediatamente a seguir à parede externa.
- Nos edifícios com EBs instaladas no topo, o nível de radiação é calculada a meio do andar em análise e em pontos por baixo da antena da EB.
- Nos edifícios com EBs instaladas na fachada, o cálculo da intensidade do campo eléctrico é feito por trás da antena da EB e imediatamente a seguir há parede externa do andar em análise.
- Em interiores, os pontos onde é possível estimar a intensidade de campo eléctrico, nas divisões próximas da divisão de instalação, são limitados. Nas divisões adjacentes, acima e abaixo da divisão de instalação, os pontos localizam-se, respectivamente, imediatamente atrás, por cima e por baixo da antena.

3.3 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Para exemplificar algumas das potencialidades do programa *Radiation*, nesta secção apresenta-se um exemplo de resultados fornecidos para uma EB caracterizada pelos parâmetros definidos na secção 3.2.

É importante salientar que a situação analisada não retrata um caso típico de instalações de EBs. Os parâmetros escolhidos excedem os valores típicos e são usados apenas para realçar os resultados. Nomeadamente, a potência de emissão por canal utilizada (61 dBm), não tem qualquer sentido no âmbito das comunicações móveis. Recorrendo à Tabela 2.1, da secção 2.2, observa-se claramente que a referida potência está acima dos valores usuais.

Na Tabela 3.3, indicam-se os parâmetros utilizados neste exemplo. Escolhendo a opção Radiation Level — Outdoor — Distance, obtêm-se os resultados representados na Figura 3.10. A opção Radiation Level — Outdoor — Max. Distance produz os resultados representados na Figura 3.11, onde se pode observar o andamento do campo eléctrico, ao nível do solo, segundo a orientação dada e até à distância máxima escolhida. Finalmente, na Figura 3.12 estão representados os resultados produzidos pela opção Radiation Level — Safety Distance. A parcela a sombreado do gráfico produzido por esta opção representa a região, ao nível do solo, onde são excedidos os limites de exposição à radiação.

No caso particular do cenário urbano com instalação em topo de edifícios, há ainda a possibilidade de escolher as opções *Radiation Level — Neighbouring Building* e *Radiation Level — Installation Building*. Estas opções permitem, respectivamente, o cálculo da intensidade do campo eléctrico no piso actual de um edifício vizinho e do edifício de instalação.

Tabela 3.3 – Características da EB analisada no exemplo.

Cenário		Topo de edifício	
Antena	Ficheiro	dluis12.txt	
Amena	Tipo	AT42-684T0	
Potência por	canal [dBm]	61	
Potência por canal [W]		1260	
N.º de canais		3	
Perdas nos cabos [dB]		0	
Altura da antena [m]		2.75	
Inclinação [°]		0	
N.º de sectores		1	

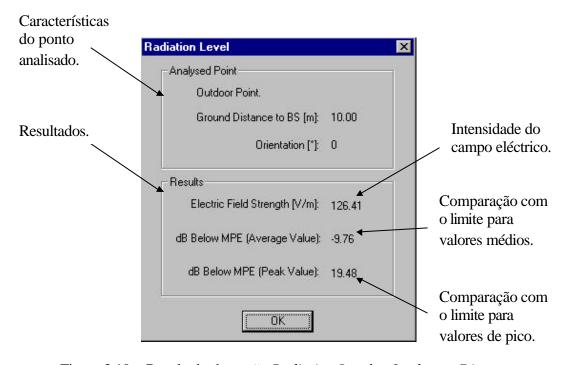


Figura 3.10 – Resultado da opção *Radiation Level – Outdoor – Distance*.

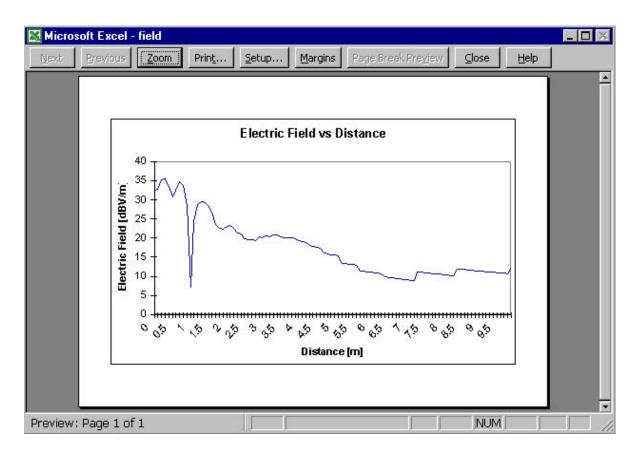


Figura 3.11 – Resultado da opção *Radiation Level – Outdoor – Max. Distance*.

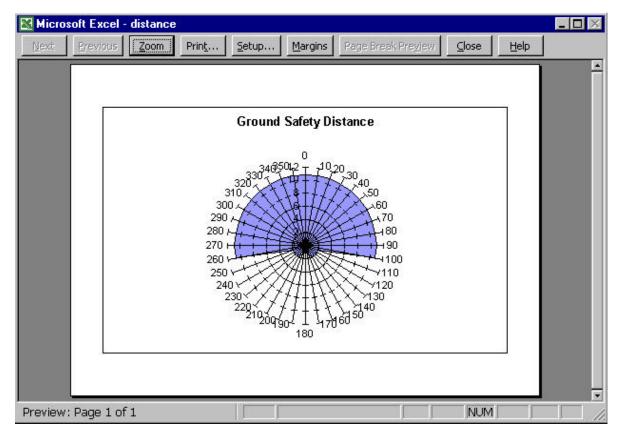


Figura 3.12 – Resultado da opção *Radiation Level – Safety Distance*.

4. CAMPANHA DE MEDIDAS

Neste capítulo descreve-se a metodologia utilizada para desenvolver a campanha de medidas do trabalho, bem como o tratamento aplicado aos dados de medida. Apresenta-se um resumo dos resultados obtidos em diversos cenários na região de Lisboa. Comparam-se também os resultados estimados pela aplicação *Radiation* com os valores medidos.

4.1 METODOLOGIA

A campanha de medidas deste trabalho 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 estações de base analisadas e que permitissem a comparação com os resultados obtidos pela aplicação *Radiation*, por forma a tirar conclusões em relação aos modelos teóricos usados.

O critério preponderante para a escolha dos locais de medida foi o de seleccionar o maior número possível de estações de base com as características dos cenários propostos na subsecção 2.3.1. Todos os locais escolhidos encontram-se na região de Lisboa e a sua correspondência com os cenários em questão é indicada na Tabela 4.1. Por questões sigilosas, não é revelada a localização de nenhuma das EBs analisadas, pelo que se usam nomes de código para as identificar.

Tabela 4.1 – Estações de base medidas.

Cenário	Tipo de Exposição	EBs medidas
Rural	Linha de vista	LX 11, LX 12
Urbano: Topo de	Linha de vista ao nível da rua	LX 15
Edifício	Linha de vista ao nível da antena	LX 2, LX 3, LX 4, LX 5, LX 15
Lameio	Penetração no interior de edifício	LX 15
Urbano: Fachada	Linha de vista ao nível da rua	LX 1, LX 13
de Edifício	Linha de vista ao nível da antena	
de Lameio	Penetração no interior de edifício	LX 1
Urbano: Torre ou	Linha de vista ao nível da rua	LX 6, LX7, LX 14
Poste	Linha de vista ao nível da antena	LX 6
Toste	Penetração no interior de edifício	LX 6
Interior	Linha de vista	LX 8, LX 9, LX 10

Note-se que devido ao facto de se estar em pleno período de implementação e teste do UMTS, para este caso só foi possível recolher dados numa EB. Todos as outras estações de base analisadas operam em GSM 900 ou 1800.

A necessidade de orientar a campanha de medidas para o estabelecimento de limites físicos de segurança em redor das estações de base e a pouca bibliografia disponível sobre o assunto levaram à definição de um protocolo de medida, Anexo B. O protocolo define regras gerais para o processo de medida de campos electromagnéticos, nomeadamente de campo eléctrico, nas bandas de frequências dos sistemas GSM e UMTS. É definido também um conjunto de procedimentos específicos para diversos cenários de instalação de EBs. Paralelamente, propõe-se um modelo de registo de medidas, que contempla diversos aspectos a registar na realização de uma campanha de medidas:

- Características do equipamento (grandeza medida, largura de banda, medida isotrópica ou não isotrópica,...).
- Identificação da EB (esboço do local de medida, identificação do cenário, identificação de espaços sensíveis, factores radioeléctricos da EB e de outras fontes de emissão).
- Resumo dos resultados (comparação com os limites de referência, andamento do campo eléctrico).
- Conclusões (conformidade da EB com os limites de referência).

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 isotrópica de banda larga (100 kHz a 3 GHz) [Free00], Anexo C, para a caracterização do ambiente radioeléctrico em que está inserida a EB. Idealmente deveria ser feita a discriminação de cada componente de campo, permitindo identificar claramente a contribuição das diferentes portadoras. Esta discriminação consegue-se com um analisador de espectros associado a um dipolo. No entanto, por questões de logística, não foi possível usar o analisador. Assim, usou-se o TEMS¹ [Eric02], Anexo D, que permite medir a potência do sinal GSM num canal especificado. A tecnologia disponível não permitiu a medição discriminada do sinal de UMTS, pelo que para este caso se usou apenas a sonda de banda larga.

Enquanto a sonda de banda larga fornece imediatamente o valor de campo, o TEMS fornece apenas a potência. Desta forma, torna-se necessário conhecer as características do receptor TEMS (ganho e perdas) para determinar o valor de campo. A intensidade de campo eléctrico no TEMS é dada por (4.1).

$$E_{[dB_{v/m}]} = P_{max[dBm]} - 42.79 + F_{[dB]} + 20 \log(f_{[MHz]})$$
(4.1)

$$P_{max[dBm]} = 10 \log(n_p) + P_{r[dBm]}$$
(4.2)

onde:

• P_{max} – Potência máxima no receptor.

- n_n Número de portadoras da estação de base.
- \vec{F} Factor do TEMS.
- P_r Potência do sinal GSM recebida no TEMS.

O parâmetro *F* contabiliza o ganho da antena do TEMS e as perdas associadas a este equipamento. Como não é um parâmetro fornecido pelo fabricante, tem de ser medido. A sua medida foi efectuada segundo o seguinte processo:

• Construiu-se uma grelha com 9 pontos de medida, Figura 4.1.

.

¹ Test Mobile System.

- Para cada ponto, obteve-se o valor de campo eléctrico com um analisador de espectros,
 Eanalisador.
- Mediu-se a potência, P_r , nesse ponto usando o TEMS.
- O factor *F* é então obtido por (4.3).

$$F_{[dB]} = 42.79 + E_{analisador} - P_{r[dBm]} - 20.\log(f_{[MHz]})$$
(4.3)

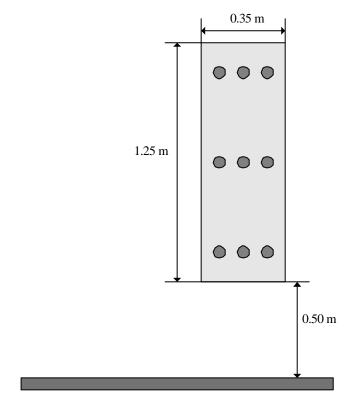


Figura 4.1 – Grelha de medida.

A versão integral dos requisitos a verificar no processo de medida de *F* encontra-se descrita no protocolo de medida, Anexo B. O relatório do cálculo do factor *F* encontra-se no Anexo E.

Note-se que tendo sempre em mente a análise do pior caso do ponto de vista da exposição à radiação, não se considera o tráfego na EB no momento da medida. Considera-se sempre o caso em que todas as portadoras estão activas, daí que na expressão (4.1) se contabilize P_{max} conforme definido em (4.2).

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 estação de base. De seguida, procede-se à escolha dos pontos de medida de acordo com o cenário em questão, conforme se descreve no protocolo. 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 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 situam-se 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, a análise de dados obtidos sobre uma amostra revelou que com um intervalo de medida de 2 minutos se obtém, em média, um desvio máximo (em relação à medida de 6 minutos) de 1.57 dB com o TEMS e de 0.57 dB com a sonda. Assim, tendo em conta uma medida do erro cometido, reduziu-se o tempo de medida para 2 minutos. O resumo dos resultados obtidos neste processo de análise encontra-se no Anexo F.

Após a recolha dos dados, estes são analisados e comparados com os limites de referência adoptados, conforme se descreve na secção 4.2. Para cada estação de base 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.

4.2 TRATAMENTO DE DADOS

O equipamento de medida utilizado permite registar os dados recolhidos em formato electrónico, possibilitando o tratamento automático dos mesmos. Desta forma e atendendo ao elevado número de medidas efectuadas, desenvolveu-se uma ferramenta de *software* que analisa automaticamente os valores obtidos durante a campanha de medidas. A ferramenta criada foi desenvolvida em linguagem Matlab R12 e é especificamente orientada para o tratamento de dados oriundos dos dois tipos de equipamento utilizados: sonda de banda larga e TEMS. No caso de utilização do TEMS, o programa permite fazer a análise de sistemas *dual-band*.

Os dados recolhidos, consoante a sua natureza, são sujeitos a análise "ponto-a-ponto" ou a análise "radial". Na análise "ponto-a-ponto" determinam-se, para cada ponto de medida, os valores médio e máximo do campo eléctrico, bem como o desvio padrão. De seguida, comparam-se os valores determinados com os valores de referência. Fazem-se três tipos de comparação:

$$E_{med} / E_{l \ med}$$
 [dB] (4.4)

$$E_{max} / E_{l_max} [dB]$$
 (4.5)

$$E_{max} / E_{l \ med}$$
 [dB] (4.6)

onde:

- E_{med} Valor médio de campo eléctrico medido.
- E_{max} Valor máximo de campo eléctrico medido.
- $E_{l med}$ Limite de referência (valor médio).
- $E_{l max}$ Limite de referência (valor de pico).

Desta forma, para além das comparações dos valores médio e máximo com os seus limites de referência, (4.4) e (4.5), faz-se uma comparação adicional mais restritiva, (4.6). Após o

processamento de todos os dados, os valores determinados são enviados para um ficheiro de texto.

Na análise "radial", o andamento do campo eléctrico, o seu valor médio e os limites de referência são representados graficamente, ao longo da radial.

Refira-se que a comparação com os limites de referência é feita de maneira distinta para o TEMS e para a sonda. No caso do TEMS, a comparação é feita com o limite para a frequência do canal analisado. No caso da sonda, devido ao facto da medida ser feita numa banda que vai dos 100 kHz aos 3 GHz, a comparação é feita com o limite mais restritivo dentro desta banda.

Na Figura 4.2 apresenta-se o fluxograma de funcionamento da ferramenta de análise de dados.

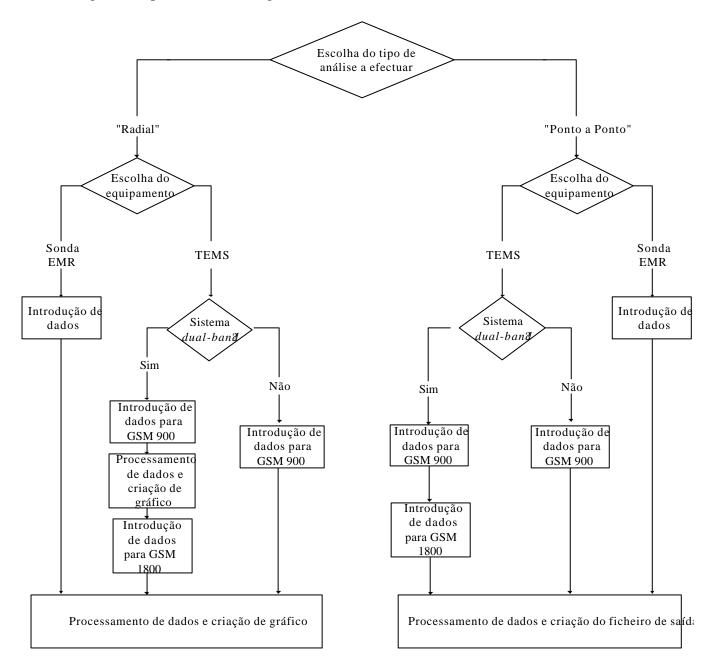


Figura 4.2 – Fluxograma de funcionamento da ferramenta de análise dados.

4.3 REALIZAÇÃO DE MEDIDAS

A realização de medidas em cenários reais, fora de ambientes controlados, está sujeita a diversos factores externos que podem condicionar a forma como decorre o processo de medida. Nesta secção, identificam-se alguns destes factores através de exemplos de aplicação do protocolo de medidas em algumas das EBs analisadas. Refira-se que os relatórios de medida de cada uma das EBs se encontram no Anexo G.

Seguindo o protocolo proposto, deve-se elaborar um esboço do local de medida representando as radiais e os pontos de medida escolhidos, bem como os factores mais relevantes do local. Sempre que possível, um registo fotográfico deve acompanhar os relatórios de medida. A título ilustrativo, apresenta-se na Figura 4.3 o esboço do local de medida da EB LX 6.

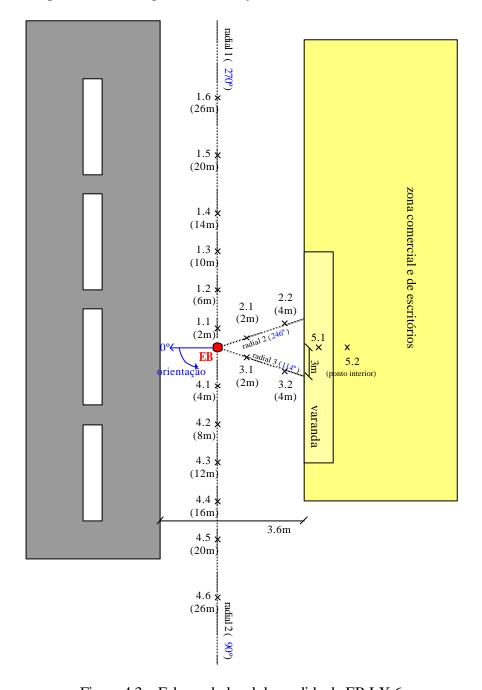


Figura 4.3 – Esboço do local de medida da EB LX 6.

Como se pode ver na Figura 4.4, este caso refere-se a uma antena instalada num poste de iluminação, num passeio público. Foi possível efectuar medidas ao nível da rua, numa varanda ao nível da antena e no interior de um edifício perto da EB. A escolha dos pontos de medida ao nível da rua limitou-se a quatro radiais ao longo do passeio. A presença de uma estrada com várias faixas de rodagem impossibilitou a realização de medidas noutras direcções. Esta situação não permite que se cumpram integralmente as regras definidas no protocolo, pelo que em casos semelhantes se deve tentar conciliar a situação particular em análise com o cumprimento das regras. Um outro exemplo em que não foi possível seguir o protocolo é o da EB LX 4. Neste caso, a instalação da antena num telhado inclinado não permitiu o estabelecimento de pontos de medida ao longo de radiais. A solução adoptada encontra-se representada no Anexo G.4.



Figura 4.4 – Registo fotográfico da EB LX 6.

O não cumprimento das regras do protocolo nem sempre se deveu a questões físicas (barreiras naturais, presença de obstáculos, ...). Muitas vezes, o acesso a alguns dos locais susceptíveis de análise foi vedado por motivos externos (condomínios privados, desconfiança da população, ...).

A determinação da distância dos pontos de medida à base da antena de EB nem sempre foi possível. Só o recurso a equipamento mais sofisticado permite determinar com exactidão a distância e orientação dos pontos em relação à EB.

Concretizada a campanha de medidas, é necessário efectuar o tratamento dos dados recolhidos usando a ferramenta de *software* desenvolvida para o efeito e já referida na secção 4.2. O processamento dos dados é seguido do preenchimento do modelo proposto no Anexo B.4. Na Tabela 4.2 encontra-se o resumo dos resultados obtidos com a sonda EMR na EB LX 6 e na Figura 4.5 apresenta-se o andamento do campo eléctrico ao longo da radial 1 da mesma EB. A correspondência entre os pontos de medida e as radiais encontra-se no esboço do local de medida já apresentado na Figura 4.3.

Tabela 4.2 – Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite, para a EB LX 6.

Dogiaão	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
Posição	[m]	[V/m]		[dB]			
1.1	2	0.92	0.15	1.47	-29.48	-54.65	-25.44
1.2	6	0.95	0.15	1.54	-29.23	-54.25	-25.04
1.3	10	0.97	0.19	1.45	-29.01	-54.77	-25.56
1.4	14	1.02	0.15	1.46	-28.65	-54.71	-25.50
1.5	20	0.97	0.15	1.48	-29.10	-54.59	-25.38
1.6	26	0.96	0.18	1.43	-29.19	-54.89	-25.68
2.1	2	0.93	0.12	1.11	-29.37	-57.09	-27.88
2.2	4	1.00	0.06	1.31	-28.75	-55.65	-26.44
3.1	2	0.96	0.12	1.33	-29.14	-55.52	-26.31
3.2	4	1.09	0.34	3.31	-28.01	-47.60	-18.39
4.1	4	1.15	0.07	1.56	-27.56	-54.13	-24.92
4.2	8	1.01	0.16	1.34	-28.67	-55.45	-26.24
4.3	12	1.14	0.11	2.00	-27.63	-51.98	-22.77
4.4	16	1.17	0.22	1.63	-27.42	-53.75	-24.54
4.5	20	1.16	0.06	1.36	-27.47	-55.33	-26.12
4.6	26	1.10	0.08	1.53	-27.94	-54.30	-25.09
5.1	*	0.74	0.14	0.94	-31.38	-58.53	-29.32
5.2	*	1.33	0.24	1.78	-26.30	-52.99	-23.78

Máximo 3.31

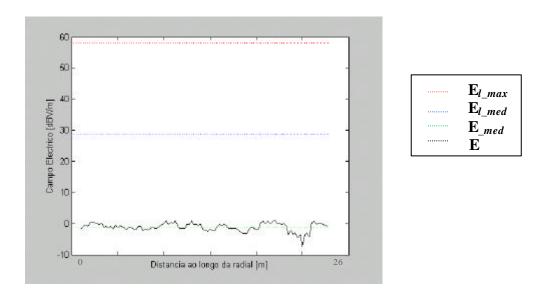


Figura 4.5 - Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1.

Na Tabela 4.2, apresentam-se os valores médios e máximos, E_{med} e E_{max} , registados em torno de cada ponto ao longo dos dois minutos da medida, bem como o desvio padrão, σ . Na mesma tabela apresentam-se também as comparações referidas na secção 4.2. Para esta situação, pode-se verificar que o valor máximo de campo eléctrico registado foi de 3.31 V/m.

-

^{*} Atendendo à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à EB.

A mínima diferença registada em relação aos limites de segurança foi de -26.30 dB, significando que o nível de radiação se encontra cerca de 20 vezes abaixo dos limites.

Na Figura 4.5, para além da representação do andamento do campo eléctrico ao longo da radial 1, representa-se também o seu valor médio. Este tipo de exposição dos resultados permite visualizar de uma forma gráfica a comparação com os limites.

O relatório de cada EB analisada é concluído com o preenchimento do modelo proposto no anexo B.5. Na Figura 4.6 apresentam-se as conclusões retiradas para a EB LX6.

Registo de Medida - Conclusões			
		Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		3.31	0.18
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]		-26.30	-47.34
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS (quando aplicável)	Sim		
(quando aplicavei)	Não		

Figura 4.6 – Conclusões da campanha de medidas efectuada na EB LX 6.

4.4 RESUMO DE RESULTADOS

Nesta secção apresenta-se um resumo geral das conclusões retiradas da campanha de medidas. Note-se que devido à análise de um maior número de cenários para o sistema GSM 900, as conclusões baseiam-se nos resultados obtidos para este sistema. No entanto, as mesmas são válidas para GSM 1800 e para UMTS.

A primeira conclusão a retirar é a óbvia diferença entre os resultados obtidos pela sonda e pelo TEMS. A sonda regista sempre valores de campo muito superiores aos do TEMS, resultado que já era esperado atendendo à largura de banda da sonda (100 kHz a 3 GHz).

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, foram de -13.58 dB no caso de exposição em terraços e de -22.36 dB no caso de exposição em interiores. As diferenças obtidas com o TEMS são de -44.51 dB e -46.29 dB, 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.

Note-se que o erro introduzido ao reduzir o tempo de medida de 6 para 2 minutos, 1.57 dB para o TEMS e 0.57 dB para a sonda, não afecta as conclusões. Com efeito, tomando o pior caso registado (13.58 dB abaixo do limites, para a sonda e 44.51 dB abaixo dos limites, para o TEMS) verifica-se que a consideração do erro de medida continua a produzir resultados muito abaixo dos limites.

As Figuras 4.7 e 4.8 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 4.7 refere-se aos dados obtidos pela sonda, enquanto que a Figura 4.8 se refere aos dados obtidos pelo TEMS.

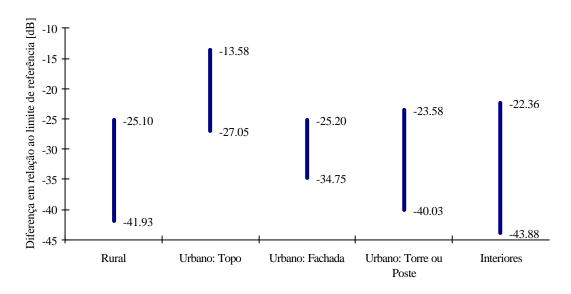


Figura 4.7 – Gama de variação dos resultados em relação ao limite de exposição à radiação (Resultados obtidos com a sonda).

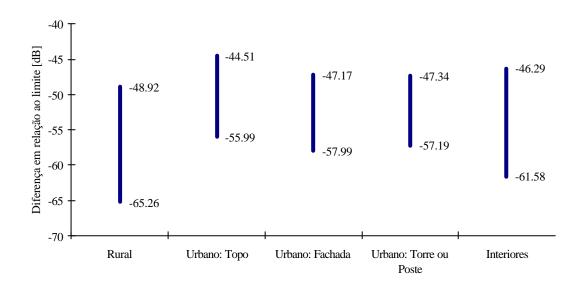


Figura 4.8 – Gama de variação dos resultados em relação ao limite de exposição à radiação (Resultados obtidos com o TEMS).

As Figuras 4.9 e 4.10 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 4.9 refere-se aos resultados obtidos usando a sonda, enquanto que a Figura 4.10 se refere aos dados obtidos com o TEMS. Refira-se que as EBs LX 4, 8, 9, 10 e 15, operam também em GSM 1800, portanto a avaliação da sua conformidade com os limites de exposição à radiação não pode ser feita apenas com base nos resultados obtidos para GSM 900. Uma avaliação correcta teria que contabilizar o efeito conjunto destas duas fontes, o que é feito nos relatórios de medida das EBs em causa.

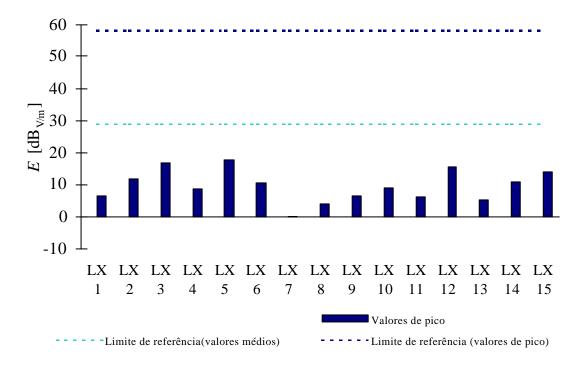


Figura 4.9 – Valores de pico registados em cada EB analisada (Resultados obtidos com a sonda).

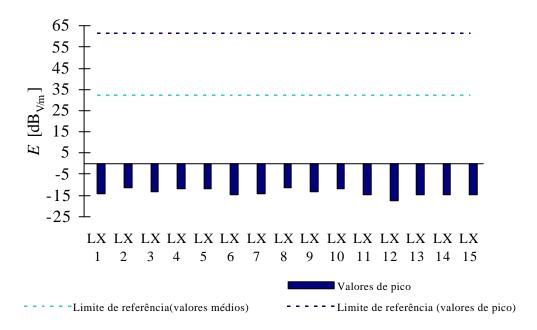


Figura 4.10 – Valores de pico registados em cada EB analisada (Resultados obtidos com o TEMS).

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.

Como já se referiu, foi apenas analisada uma EB operando em UMTS. Os resultados obtidos, Figura 4.11, mostram que também neste caso a radiação proveniente desta estação se encontra abaixo dos níveis de referência.

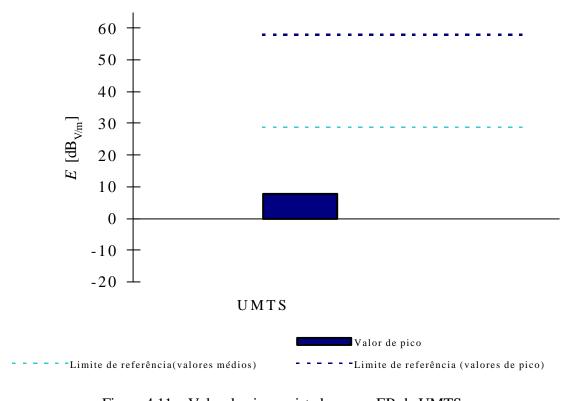


Figura 4.11 – Valor de pico registado para a EB de UMTS.

Importa referir que, para além do exposto na secção 4.3, os resultados da campanha de medidas foram influenciados por outros 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 Factor verificado na medida da estação de base LX 5, devido à curta distância entre o ponto de medida e a antena da EB. Em situações semelhantes, deve-se ter em conta apenas a medida da sonda. Estando a sonda muito próxima da antena da EB, a principal contribuição é a desta fonte de emissão.
- Contribuição de outras fontes de emissão Factor verificado na medida da estação de base LX 3, onde se encontrava uma antena de outro operador de comunicações móveis. Verifica-se um acréscimo do campo eléctrico registado pela sonda nos locais onde se está em linha de vista com a antena do outro operador.
- Condições de medida Factor verificado em todas as medidas, devido às oscilações do suporte do equipamento de medida, influência de pessoas nas proximidades, condições atmosféricas, e outros.
- Complexidade dos cenários Factor verificado em todas as medidas, devido à existência de múltiplas superfícies reflectoras e à dinâmica dos cenários (e.g., circulação de veículos).

4.5 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Nesta secção procede-se à validação dos modelos teóricos usados no desenvolvimento do programa *Radiation*. Desta forma, comparam-se os resultados fornecidos pelo programa, com os valores obtidos na campanha de medidas.

Devido a condicionantes de natureza logística no decorrer da campanha de medidas (e.g., o único meio disponível para a medição de distâncias era uma fita métrica) e à falta de parâmetros característicos de algumas EBs (e.g., não foram facultados os diagramas de radiação em formato electrónico das antenas para os cenários interiores), faz-se a comparação apenas com algumas das EBs analisadas. No entanto, tem-se a consciência que o significado das conclusões obtidas, aumenta com o número de comparações efectuadas.

De modo a obter conclusões tão gerais quanto possível, tentou-se comparar os resultados de pelo menos uma EB por cada cenário. Na Tabela 4.3 indicam-se as EBs escolhidas, a distância de zona distante, d_{min} , e a distância de zona distante ao nível do solo, d_{solo} , para cada uma delas. O conhecimento destas distâncias, é essencial na avaliação do impacto da utilização dos modelos teóricos fora da sua zona de validade, ou seja, na zona próxima da antena da EB. A sua definição encontra-se na Figura 4.12. Na Tabela 4.3, faz-se também a correspondência de cada situação com as figuras onde se representa o andamento teórico da intensidade de campo eléctrico ao longo de uma radial em linha de vista com a antena, sobreposto com os valores obtidos nas medidas.

As situações das Figuras 4.13 e 4.16 são as únicas onde todos os pontos representados estão na zona distante da EB e, portanto, na zona de validade dos modelos. Assim, comparando estas figuras com as restantes, nota-se uma maior aproximação entre o andamento do campo eléctrico teórico e os pontos medidos. No entanto, apesar desta semelhança no andamento do campo, os valores teóricos e medidos diferem bastante em termos quantitativos. Esta diferença era esperada pelo facto dos modelos teóricos não retratarem todos os mecanismos

de propagação existentes numa situação real, fornecendo sempre a menor atenuação de propagação, ou seja, considerando sempre o pior caso.

Tabela 4.3 – EBs utilizadas na comparação dos resultados teóricos com os resultados das medidas.

Cenários	Designação da EB	d _{min} [m]	d _{solo} [m]	Figuras
Urbano: Fachada de Edifícios	LX 13	0.73	0.00	4.13
Ci bano. Facilada de Edificios	LX 1	34.91	33.39	4.14
Urbano: Topo de Edifícios	LX 3	37.88	37.87	4.15
Urbano: Torre ou Poste	LX 6	0.73	0.00	4.16
Rural	LX 12	40.34	24.7	4.17

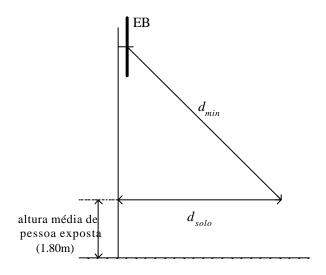


Figura 4.12 – Definição de d_{min} e d_{solo} .

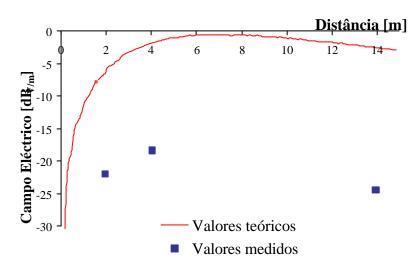


Figura 4.13 – Comparação dos resultados para LX 13.

A análise das figuras revela que, na generalidade dos pontos, os resultados do programa *Radiation* sobrestimam o valor da intensidade do campo eléctrico. Recordando que se

pretende avaliar a conformidade de uma EB relativamente aos limites de exposição à radiação, em detrimento de uma estimação do campo eléctrico o mais precisa possível, conclui-se que o programa cumpre os objectivos iniciais. Esta conclusão é válida para todos os cenários propostos. Note-se que não se pode generalizar esta conclusão para cenários interiores, pois não foi feita a comparação pelas razões já expostas.

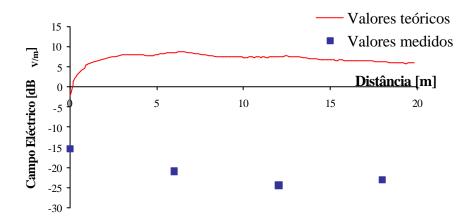


Figura 4.14 – Comparação dos resultados para LX 1.

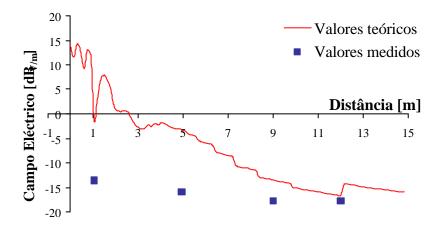


Figura 4.15 – Comparação dos resultados para LX 3.

Até ao momento, a discussão centrou-se na comparação dos resultados para pontos em linha de vista com a antena. Para completar a análise da validade de todos os modelos teóricos, há que considerar também situações de penetração em edifícios.

Um dos objectivos na abordagem à avaliação da EB LX 15, foi o de encaminhar o processo de medidas no sentido de tentar perceber qual a atenuação provocada pela penetração num edifício vizinho da EB. Analisando os resultados obtidos, verifica-se que, em média, a diferença entre a intensidade do campo eléctrico no exterior e no interior do edifício é 1.34 dB. Esta diferença é ligeiramente superior à atenuação adicional considerada no modelo usado para a estimação da intensidade do campo eléctrico em edifícios na proximidade da EB. Recorde-se que para o caso da parede externa ser de vidro (situação correspondente ao caso analisado nas medidas), $L_{adicional} = 1$ dB.

A penetração em edifícios com EBs instaladas na fachada foi considerada nas medidas realizadas na estação de base LX 1. A intensidade de campo eléctrico medida foi 0.18 V/m, e a obtida através do programa *Radiation*, foi 4.10 V/m. Também aqui se verifica que o valor obtido pelo programa é superior (a diferença é 27.15 dB).

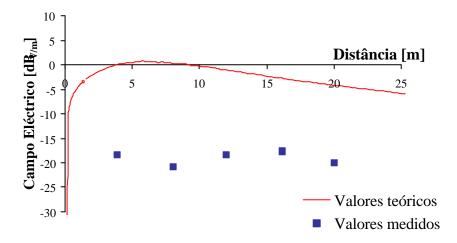


Figura 4.16 – Comparação dos resultados para LX 6.

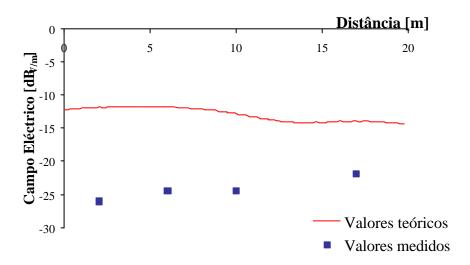


Figura 4.17 – Comparação dos resultados para LX 12.

As comparações levadas a cabo neste capítulo revelam que, em todos os cenários, os resultados obtidos pelo programa são superiores aos obtidos através das medidas. O processo de avaliação da conformidade de uma EB relativamente aos limites pode, então, ser dividido em duas fases:

- Numa primeira fase, analisa-se a EB em causa usando a aplicação *Radiation*. Se os valores obtidos se situarem muito abaixo dos limites de exposição à radiação, pode-se concluir 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 o protocolo do Anexo
 B. Só assim se consegue ter em conta todos os aspectos particulares característicos da
 EB em análise.

5. 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: exposição em meios rurais; exposição em meios urbanos com antenas instaladas em postes ou torres, no topo ou em fachadas de edifícios e exposição em 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 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.

Ao contrário do que fora inicialmente previsto, a campanha de medidas incidiu quase totalmente sobre o sistema GSM e apenas foi medida uma estação de base UMTS. Esta alteração deve-se ao atraso verificado na implementação deste sistema. No entanto, a situação analisada, apesar de não ter um significado estatístico relevante, revelou também um grande afastamento em relação aos limites. A menor diferença encontrada foi –37.83 dB. Como as potências de emissão envolvidas serão previsivelmente menores que no sistema GSM e como os limites de exposição à radiação são menos restritivos, pode-se afirmar, com alguma segurança, que a implementação deste novo sistema não sujeitará a população à exposição a maiores níveis de radiação.

Tendo em mente a análise do pior caso em termos da exposição humana à radiação, concluiu-se que, para situações com linha de vista, o modelo de espaço livre é o mais adequado. Os seus resultados sobrestimam o nível de sinal real, garantindo um factor de segurança determinante para a análise da conformidade de uma EB com os limites de referência. Para as situações de exposição no interior de edifícios nas proximidades das EBs, a aplicação do modelo de espaço livre adicionado de uma constante de perdas por penetração, revelou-se adequada. Novamente se verificou uma sobrestimação do nível do sinal. Os modelos de propagação em interiores, nomeadamente o modelo multi-paredes, são apropriados para a estimação da atenuação de propagação nas situações de penetração em edifícios com antenas de EBs instaladas no topo ou na fachada e nas situações em que a antena está instalada no interior.

A ferramenta *Radiation*, desenvolvida ao longo do trabalho, baseia-se na aplicação dos modelos atrás referidos em cenários típicos de exposição à radiação. A utilização desta ferramenta 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, a ferramenta desenvolvida pode ser utilizada para certificar a segurança de uma EB já instalada, seguindo o procedimento:

 Numa primeira fase, analisa-se a EB em causa usando a aplicação Radiation. 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 o protocolo do Anexo B.
 Só assim se consegue ter em conta todos os aspectos particulares característicos da EB em análise.

Por falta de dados, nem todas as EBs medidas puderam ser avaliadas pela aplicação *Radiation*. Para aquelas que se conseguiram avaliar, verificou-se que apenas em terraços de edifícios com EBs instaladas no topo, há a necessidade de considerar uma distância de segurança ao nível do solo (terraço). Como o valor mais elevado que se registou foi 0.95 m, recomenda-se que na proximidade de antenas de EB instaladas em terraços seja esta a distância de segurança. Sublinhe-se que esta recomendação se baseia exclusivamente nos resultados obtidos pelo programa *Radiation*, aos quais está inerente uma grande margem de segurança relativamente aos limites de exposição à radiação.

O estudo do impacto da localização das antenas das EBs na exposição humana à radiação sofre neste momento algumas alterações a nível nacional. A sensibilidade da população perante estas questões e o efeito alarmante da comunicação social têm pressionado o governo no sentido de regulamentar a instalação de EBs. Neste momento, equaciona-se a elaboração de um código de conduta e boas práticas para a instalação de equipamentos que criam campos electromagnéticos.

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. O protocolo poderá seguir o modelo sugerido neste trabalho. Um bom exemplo da utilização do protocolo de medidas encontra-se no Anexo G.15.
- 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.

A investigação conduzida ao longo do trabalho evidenciou a falta de informação e desarticulação entre as diversas entidades envolvidas nestas matérias. Esta é uma área que pela sua sensibilidade e importância tem que ser encarada sob um prisma mais relevante. Importa continuar a investigação e aguardar os resultados do projecto EMF já aqui referido. É também importante aperfeiçoar os modelos para avaliação de instalações, investir na realização de campanhas de medidas com equipamento adequado à discriminação das várias fontes de emissão e estreitar a relação entre operadores, fabricantes, entidades competentes e público.

ANEXO A – FORMATO DO FICHEIRO DOS DIAGRAMAS DE RADIAÇÃO

Neste anexo, define-se o formato do ficheiro com os diagramas de radiação horizontal e vertical a introduzir no programa *Radiation*. MAX corresponde ao ganho máximo e COMP à maior dimensão da antena. Os valores restantes são os pares ângulo (em graus) / valor abaixo do ganho máximo (em dB).

```
MAX / COMP
HORIZONTAL PATTERN=
0
1
2
3
4
5
.....
.....
353
354
355
356
357
358
359
VERTICAL_PATTERN=
1
2
3
4
5
.....
.....
.....
353
354
355
356
357
358
359
```

ANEXO B – PROTOCOLO DE MEDIDAS

B.1 PROTOCOLO DE MEDIDAS

1. OBJECTIVO

O presente protocolo define regras gerais para o processo de medida de campos electromagnéticos, nomeadamente nas bandas de frequência dos sistemas GSM e UMTS. Este processo é orientado para o estabelecimento de limites físicos de segurança em redor das estações de base.

A escolha do equipamento de medida é ponderada de acordo com o objectivo pretendido e a disponibilidade logística. Este protocolo baseia-se no uso de três aparelhos de medida: sonda de medida isotrópica de banda larga, TEMS e analisador de espectros.

2. EQUIPAMENTO

2.1 APARELHOS DE MEDIDA

Para cada aparelho usado, deve ser preenchido o documento "Registo de Medida - Características do Equipamento" (Anexo1).

2.1.1 Sonda de Medida Isotrópica de Banda Larga

A necessária caracterização do ambiente radioeléctrico em que está inserida a estação de base, é efectuada com a sonda isotrópica de banda larga. Com esta sonda identificam-se também as zonas de campo máximo, que serão preponderantes na escolha dos locais de medida. A sonda mede a intensidade de campo eléctrico, $E_{\text{[V/m]}}$, na banda de frequências de 100 kHZ a 3 GHz.

2.1.2 Analisador de Espectros

A discriminação de cada componente de campo é efectuada com o analisador de espectros, que permite identificar claramente a contribuição das diferentes portadoras. O analisador de espectros é usado com um dipolo eléctrico, pelo que a medida isotrópica é obtida orientando a antena sucessivamente segundo três eixos ortogonais e somando as suas contribuições.

O analisador mede a potência recebida no dipolo, $Pr_{x,y,z}$, pelo que é necessário passar este valor para campo eléctrico. Estando perfeitamente caracterizados o ganho do dipolo eléctrico, Gr, e as perdas nos cabos, Ar, o campo eléctrico em cada uma das direcções, $E_{x,y,z}$ é dado por:

$$E_{x,y,z[V/m]} = Pr_{x,y,z[dBm]} - 42,79 - G\eta_{dBi} + A\eta_{dB} + 20\log(f_{[MHz]})$$
(B.1)

Assim, o cálculo do campo resultante é obtido utilizando:

$$E_{analisador} = \sqrt{\left|E_x\right|^2 + \left|E_y\right|^2 + \left|E_z\right|^2}$$
(B.2)

A Figura B.1 representa esta situação.

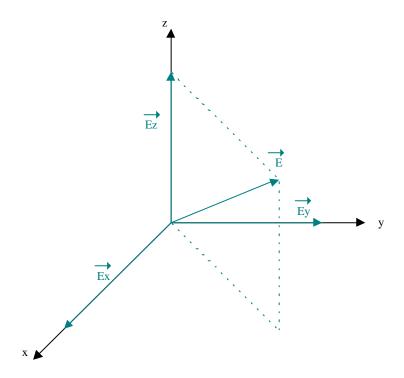


Figura B.1 – Campo eléctrico resultante.

2.1.3 TEMS

Por questões logísticas, o uso do analisador de espectros nem sempre será possível. Assim, é usado o TEMS que permite medir a potência do sinal GSM, Pr, num canal especificado. A intensidade de campo eléctrico obtém-se usando:

$$E_{[dBV/m]} = P_{\text{max}}[dBm] - 42.79 + F_{[dB]} + 20 \cdot \log(f_{[MHz]})$$
(B.3)

$$P_{max[dBm]} = 10.\log(n_p) + Pr_{[dBm]}$$
(B.4)

onde:

 P_{max} – Potência máxima no receptor.

 n_p - Número de portadoras da estação de base.

F - Factor do TEMS (parâmetro descrito no ponto 2.2).

2.2 MEDIDA DO FACTOR F

O factor F é um parâmetro que contabiliza o ganho da antena do TEMS e as perdas associadas a este equipamento. Por não ser um parâmetro fornecido pelo fabricante, é necessário medi-lo.

A medida de F é feita, em cada ponto, segundo o seguinte processo:

- Obtém-se o campo eléctrico, $E_{analisador}$, a partir da medida do analisador de espectros (conforme descrito no ponto 2.1.2);
- Mede-se a potência, Pr, nesse ponto usando o TEMS;
- O factor *F* é então obtido por:

$$F_{[dB]} = 42.79 + E_{\text{analisado}_{[dBV/m]}} - P_{r_{[dBm]}} - 20\log(f_{[MHz]})$$
(B.5)

O processo de medida deste factor deve ser tão rigoroso quanto possível e deve ser orientado tendo em vista a aplicação do TEMS no contexto da determinação de limites físicos de segurança em redor das estações de base. Deste ponto de vista, devem-se verificar os seguintes requisitos:

- Os pontos de medida têm que estar em linha de vista com a antena da EB.
- Há a necessidade de fazer uma média temporal, registando os valores medidos num intervalo de tempo de pelo menos 6 minutos.
- Há a necessidade de fazer uma média espacial, colocando os aparelhos de medida em pontos dispostos numa grelha como a representada na Figura B.2. A grelha deve ser colocada numa posição cuja distância à EB deve estar fora da "zona próxima" da antena.
- Deve-se repetir este processo para mais do que uma posição para dar algum significado estatístico ao resultado.
- O ambiente de medida deve ser tão controlado quanto possível, isto é, deve-se evitar a interferência de pessoas, máquinas e outras fontes externas à medida.

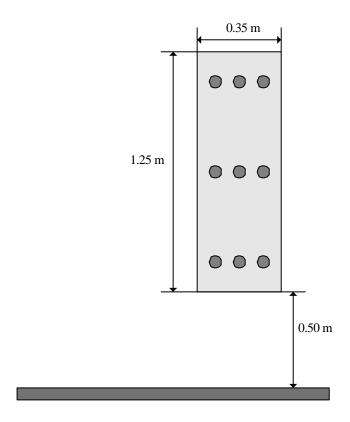


Figura B.2 – Grelha para fazer a média espacial.

3. ANÁLISE DO LOCAL DE MEDIDA

Numa fase prévia às medidas, há que ter em conta vários factores relacionados com a EB.

- Factores envolventes às estações
 - Identificação do cenário.
 - Identificação de zonas onde podem permanecer habitualmente pessoas ou outros espaços considerados sensíveis.

- Identificação de obstáculos passíveis de provocar reflexões ou outro tipo de mecanismo que possa afectar a medida.
- Factores radioeléctricos e condições de medida
 - Tipo de serviço.
 - Frequências e potências que podem ser utilizadas.
 - Caracterização das antenas emissoras (polarização, altura, inclinação, orientação, dimensões, diagramas de radiação).
 - Caracterização de outras fontes de emissão (tipo de serviço, frequência e potência).

A análise do local de medida deve ser complementada com o preenchimento do documento "Registo de Medida - Identificação da EB" (Anexo 2).

4. PROCESSO DE MEDIDA

O processo de medida do nível de sinal em torno da estação de base deverá seguir os passos gerais a seguir apresentados. Qualquer alteração ao processo deverá ser bem justificada e colocada em anexo à apresentação dos resultados.

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 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 metro.

Fazendo a média dos valores registados, obtém-se a média espacial e temporal da potência (no caso do TEMS) e da intensidade de campo eléctrico (no caso da sonda de banda larga), em cada um dos pontos de medida.

Nas secções seguintes, apresentam-se os critérios para a escolha dos pontos de medida, consoante o cenário em causa.

4.1 MASTRO OU TORRE EM AMBIENTE RURAL

- Os pontos de medida situam-se sobre quatro radiais a uma circunferência imaginária, com centro na torre ou mastro. O ângulo entre duas radiais consecutivas deverá ser aproximadamente de 90°.
- Os pontos devem ter o espaçamento adequado para que seja visível a variação da intensidade do sinal. Ou seja, não se devem escolher pontos de tal maneira próximos que não se notem diferenças significativas no nível de sinal ou pontos tão afastados que a diferença entre níveis de sinal seja muito acentuada.
- Devem-se também obter os valores de potência e intensidade de campo eléctrico ao longo de cada uma das radiais, deslocando os aparelhos de medida desde a base do mastro ou torre até ao ponto de medida mais afastado.
- Por último, percorre-se com a sonda de banda larga a área circundante à estação, tomando valores instantâneos, de modo a identificar algum ponto em que a intensidade de campo eléctrico seja elevada. Encaram-se os pontos assim identificados, como pontos adicionais de medida.

4.2 MASTRO OU TORRE EM AMBIENTE URBANO

- Os pontos de medida situam-se sobre quatro radiais a uma circunferência imaginária, com centro na torre ou mastro. O ângulo entre duas radiais consecutivas deverá ser aproximadamente de 90°.
- Os pontos devem ter o espaçamento adequado para que seja visível a variação da intensidade do sinal. Ou seja, não se devem escolher pontos de tal maneira próximos que não se notem diferenças significativas no nível de sinal ou pontos tão afastados que a diferença entre níveis de sinal seja muito acentuada.
- Devem-se também obter os valores de potência e intensidade de campo eléctrico ao longo de cada uma das radiais, deslocando os aparelhos de medida desde a base do mastro ou torre até ao ponto de medida mais afastado.
- Por último, percorre-se com a sonda de banda larga a área circundante à estação, tomando valores instantâneos, de modo a identificar algum ponto em que a intensidade de campo eléctrico seja elevada. Encaram-se os pontos assim identificados, como pontos adicionais de medida.
- Deve-se ter especial atenção a locais, ao mesmo nível da antena emissora, onde possam habitualmente permanecer pessoas (por exemplo, edifícios na proximidade do mastro ou torre).
- Para os locais nas condições anteriores, deve-se tomar um número significativo de pontos de medida.

4.3 INSTALAÇÃO NO TOPO DE EDIFÍCIOS

- Os pontos de medida são escolhidos ao longo de seis radiais. Três ao nível da rua e outras três ao nível da antena (no terraço do edifício). O ângulo entre duas radiais consecutivas deverá ser aproximadamente de 45°.
- Devem-se também obter os valores de potência e intensidade de campo eléctrico ao longo de cada uma das radiais, deslocando os aparelhos de medida desde a base do mastro ou torre até ao ponto de medida mais afastado.
- Para além dos pontos escolhidos no exterior, importa considerar pontos no interior do edifício onde está instalada a estação de base, bem como em edifícios vizinhos que estejam próximos e ao mesmo nível da antena emissora.
- Por último, percorre-se com a sonda de banda larga a área circundante à estação, tomando valores instantâneos, de modo a identificar algum ponto em que a intensidade de campo eléctrico seja elevada. Encaram-se os pontos assim identificados, como pontos adicionais de medida.

4.4 INSTALAÇÃO NA FACHADA DE EDIFÍCIOS

- Consideram-se pontos ao longo de três radiais, ao nível da rua. O ângulo entre duas radiais consecutivas deverá ser aproximadamente de 45°.
- Devem-se também obter os valores de potência e intensidade de campo eléctrico ao longo de cada uma das radiais, deslocando os aparelhos de medida desde a base do mastro ou torre até ao ponto de medida mais afastado.
- Para além dos pontos escolhidos no exterior, importa considerar pontos no interior do edifício onde está instalada a estação de base, bem como em edifícios vizinhos que estejam próximos e ao mesmo nível da antena emissora.

 Por último, percorre-se com a sonda de banda larga a área circundante à estação, tomando valores instantâneos, de modo a identificar algum ponto em que a intensidade de campo eléctrico seja elevada. Encaram-se os pontos assim identificados, como pontos adicionais de medida.

4.5 INTERIORES DE EDIFÍCIOS

- Devem-se considerar pontos na divisão onde se encontra instalada a antena emissora, bem como nas divisões circundantes (no mesmo piso e em pisos adjacentes).
- No caso da antena se localizar no centro da divisão, os pontos de medida situam-se sobre quatro radiais a uma circunferência imaginária, com centro na direcção da antena.
 O ângulo entre duas radiais consecutivas deverá ser aproximadamente de 90°.
- No caso da antena se localizar num canto da divisão, os pontos de medida devem situar-se sobre três radiais a uma circunferência imaginária, com centro na direcção da antena. Neste caso, o ângulo entre duas radiais consecutivas deve ser inferior a 45°.
- Os pontos devem ter o espaçamento adequado para que seja visível a variação da intensidade do sinal. Ou seja, não se devem escolher pontos de tal maneira próximos que não se notem diferenças significativas no nível de sinal ou pontos tão afastados que a diferença entre níveis de sinal seja muito acentuada.
- Devem-se também obter os valores de potência e intensidade de campo eléctrico ao longo de cada uma das radiais, deslocando os aparelhos de medida desde a base do mastro ou torre até ao ponto de medida mais afastado.
- Por último, percorre-se com a sonda de banda larga a área circundante à antena (no mesmo piso e em pisos adjacentes), tomando valores instantâneos, de modo a identificar algum ponto em que a intensidade de campo eléctrico seja elevada. Encaram-se os pontos assim identificados, como pontos adicionais de medida.

5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

- Deve-se apresentar um esquema do local onde se identifiquem todos os pontos de medida.
- As medidas registadas devem ser tratadas estatisticamente e apresentadas de forma gráfica como se indica no documento "Registo de Medida – Resumo dos Resultados" (Anexo 3).
- A apresentação das conclusões deve seguir a estrutura do "Registo de Medida Conclusões" (Anexo 4).

B.2 Anexo 1: Registo de Medida – Características do Equipamento

Marca		
Modelo		
Banda de Frequências		
Grandeza Medida		
	Campo Eléctrico	
	Campo Magnético	
	Densidade de Potência	
	Potência	
	RXLEV	
Natureza da Medida		
	Digital	
	Analógica	
Característica da Medida		
	Isotrópica (Triaxial)	
	Não Isotrópica (Uniaxial)	
Taxa de Amostragem		
Resolução do Display		
Gama Dinâmica		
Precisão		

B.3 Anexo 2: Registo de Medida – Identificação da EB

Da	ıta:		Hora	:
Lo	cal:			
1.	Identificaç	ão do cenário		
	Descrição:			Tipo de célula:
	Rural	Linha de vista		Pico
		Nível da rua		Micro
	Urbano Topo de edifício	Nível da antena		Macro
	cameio	Penetração no edifício		
		Nível da rua		
	Urbano Fachada	Nível da antena		
		Penetração no edifício		
		Nível da rua		
	Urbano Torre ou	Nível da antena		
	Poste	Penetração no edifício		
	Interior	Linha de vista		
	Outro]	_ 🗆	
2.		ão de zonas onde pode nsiderados sensíveis	em permanecer	habitualmente pessoas ou outro Distância aproximada [m]
	Rua ou praç	ça pública		
	Escola ou in	nfantário		
	Hospital, ce	entro de saúde ou lar		
	Jardim ou c	ampo de jogos		
	Outro			

3.	Esboço do local de medida	
4.	Factores radioeléctricos da EB	
	Tipo de serviço	
	Banda de frequências [MHz]	
	Frequência central do canal [MHz]	
	Potência por canal [dBm]	
	N. º máximo de canais	
	Tipo de antena	
	Referência da antena	
	Polarização	

	Altura [m]	
	Inclinação [°]	
	Azimute [°]	
	Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	
5.	Factores radioeléctricos de outras fontes de	emissão
	Tipo de serviço	
	Banda de frequências [MHz]	
	Distância aproximada [m]	
	Tipo de serviço	
	Banda de frequências [MHz]	
	Distância aproximada [m]	
	Tipo de serviço	
	Banda de frequências [MHz]	
	Distância aproximada [m]	

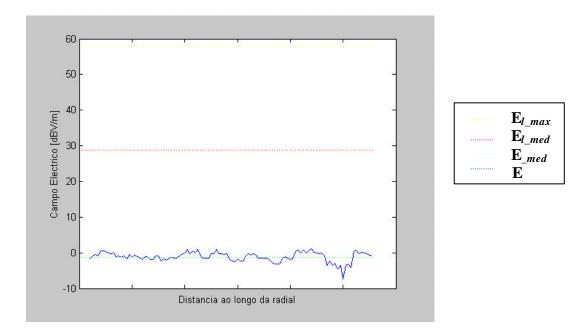
B.4 Anexo 3: Registo de Medida – Resumo dos Resultados

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
Posição	[m]		[V/m]			[dB]		

Máximo

2. Evolução do campo eléctrico ao longo das radiais



B.5 Anexo 4: Registo de Medida - Conclusões

	S	onda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:			
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]			
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS (quando aplicável)	Sim		
\1	Não		

ANEXO C - CARACTERÍSTICAS DA SONDA DE BANDA LARGA

Marca	Wandel&Goltermann
Modelo	EMR-300
Banda de Frequências	100 kHz – 3 GHz
Grandeza Medida	
	Campo Eléctrico
	Campo Magnético
	Densidade de Potência
	Potência
	RXLEV
Natureza da Medida	
	Digital
	Analógica
Característica da Medida	
	Isotrópica (Triaxial)
	Não Isotrópica (Uniaxial)
Taxa de Amostragem	±400 ms
Resolução do Display	0.01 V/m
Gama Dinâmica	±60 dB
Precisão	

ANEXO D - CARACTERÍSTICAS DO TEMS

Marca	Ericsson	
Modelo	R?20	
Banda de Frequências	GSM 900: 925.2-959.8 GSM 1800: 1805.2-1879.8	
Grandeza Medida		
	Campo Eléctrico	
	Campo Magnético	
	Densidade de Potência	
	Potência	
	RXLEV	
Natureza da Medida		
	Digital	
	Analógica	
Característica da Medida		
	Isotrópica (Triaxial)	
	Não Isotrópica (Uniaxial)	
Taxa de Amostragem	0.6 ms	
Resolução do Display	1 dB	
Gama Dinâmica	-115 dBm a –38 dBm	
Precisão	±4 dB na gama –110 dBm a –48 dBm (condições normais) +6 dB na gama -115 dBm a –38 dBm (condições extremas)	

ANEXO E – RELATÓRIO DO CÁLCULO DO FACTOR F DO TEMS

1. Resumo dos resultados obtidos

Posição A

Pontos		Pe [dBm]				ANAI	LISA	DOR	DE ES	SPECT	ROS			TEN	MS		
de medida	Frequencia		Pr_Z	Pr_Y	Pr_X	\overline{P}	S	E_Z	E_{Y}	E_X	$\sqrt{E^2}$	s	$\sqrt{\overline{E_{total}}^2} = E_{\text{analisador}}$	Pr _{TEMS}	F		
inculua				[dBm]				[V/m]					[dBm]	[dB]		
1			-54.71	-45.48	-57.23	-52.47	6.19	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	-41.00	-6.45		
2			-51.45	-46.71	-48.21	-48.79	2.42	0.02	0.03	0.03	0.04	0.01		-41.00	-6.45		
3	944.2	1	-55.33	-52.81	-50.50	-52.88	2.41	0.01	0.02	0.02	0.03	0.00		-45.00	-2.45		
4	944.2	1	-58.87	-57.21	-51.10	-55.73	4.09	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01		-46.00	-1.45		
5					-63.47	-59.65	-55.22	-59.44	4.13	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00		-47.00	-0.45
6			-63.70	-60.43	-51.67	-58.60	6.22	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01		-49.00	1.55		
		Média	-57.92	-53.71	-52.32	-54.65	4.52	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01		-44.83	-2.61		
		S	4.98	6.48	3.31	4.049	1.70	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00		3.25	3.25		

Posição B

Pontos		ia <i>Pe</i> [dBm]				ANA	LISA	DOR	DE E	SPECT	ros			TEN	ИS
de medida	F requencia		Prz	Pr_Y	Pr_X	P	s	E_Z	E_Y	E_X	$\sqrt{E^2}$	s	$\sqrt{\overline{E_{total}}^2} = E_{analisador}$	Pr _{TEMS}	F
incuida				[dBm]				[V/m]					[dBm]	[dB]
4			-57.45	-58.68	-51.76	-55.96	3.69	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01		-46.00	-4.46
5			-51.67	-59.37	-49.81	-53.62	5.07	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01		-46.00	-1.73
6	944.2	1	-65.82	-51.69	-52.42	-56.65	7.96	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	-48.00	-1.32
7	944.2	1	-52.00	-49.55	-66.68	-56.08	9.26	0.02	0.02	0.00	0.03	0.01	0.03	-50.00	2.08
8			-53.33	-45.08	-56.72	-51.71	5.98	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01		-44.00	-0.61
9			-60.15	-51.38	-52.73	-54.75	4.72	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01		-52.00	2.95
		Média	-56.74	-52.63	-55.02	-54.79	6.41	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01		-47.67	-0.51
		s	5.56	5.49	6.14	1.86	2.11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00		2.94	2.70

Conclui-se que o Factor do TEMS é:

$$F_{m\text{\'e}dio} = -1.56dB$$
 $s = 1.48dB$

2. Registo fotográfico da campanha de medidas

Aspecto geral do ambiente de medida



Antena de emissão



Equipamento de medida



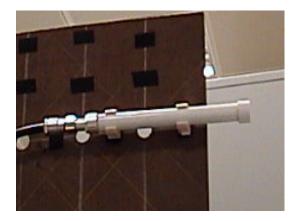


Alvo para fazer a média espacial



Orientação do dipolo eléctrico segundo três eixos ortogonais







ANEXO F - Análise da Média Temporal

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com intervalos de medida de 6 e 3 minutos

	<i>E</i> [V/m]										
Posição	Valor médio (6 minutos)	s	Valor médio (1°s 3minutos)	s	Valor médio (2°s 3 minutos)	s					
1.1	0.54	0.12	0.54	0.11	0.54	0.13					
1.2	0.69	0.17	0.65	0.17	0.73	0.17					
1.3	0.58	0.16	0.56	0.19	0.60	0.13					
2.1	0.63	0.13	0.60	0.14	0.66	0.11					
2.2	0.74	0.15	0.70	0.15	0.78	0.14					
2.3	0.51	0.18	0.50	0.15	0.53	0.21					
3.1	0.77	0.11	0.78	0.11	0.76	0.11					
3.2	0.74	0.14	0.75	0.12	0.72	0.15					
Média 0.65		0.15	0.64	0.15	0.67	0.15					
s	0.10	0.02	0.10	0.03	0.10	0.03					

2. Comparação dos resultados obtidos com intervalos de medida de 6 e 2 minutos

				E[V]	/m]			
Posição	Valor médio (6 minutos)	S	Valor médio (1°s 2 minutos)	s	Valor médio (2°s 2 minutos)	s	Valor médio (3°s 2 minutos)	s
1.1	0.54	0.12	0.52	0.11	0.54	0.12	0.56	0.13
1.2	0.69	0.17	0.66	0.17	0.67	0.19	0.75	0.14
1.3	0.58	0.16	0.55	0.20	0.60	0.15	0.60	0.13
2.1	0.63	0.13	0.58	0.13	0.64	0.13	0.66	0.11
2.2	0.74	0.15	0.68	0.16	0.75	0.15	0.78	0.14
2.3	0.51	0.18	0.51	0.23	0.55	0.13	0.47	0.17
3.1	0.77	0.11	0.76	0.11	0.79	0.12	0.76	0.11
3.2	0.74	0.14	0.75	0.12	0.76	0.14	0.70	0.15
Média	0.65	0.15	0.63	0.16	0.66	0.14	0.66	0.14
s	0.10	0.02	0.10	0.04	0.10	0.02	0.11	0.02

3. Diferenças máximas em relação aos tempos de medida

	$ \mathrm{D}E_{\mathrm{m\acute{a}x}} \ [\mathrm{dB}]$		
Posição	3 Minutos	2 Minutos	
1.1	0.00	0.33	
1.2	0.52	0.72	
1.3	0.45	0.61	
2.1	0.42	0.72	
2.2	0.48	0.73	
2.3	0.33	0.71	
3.1	0.11	0.22	
3.2	0.24	0.48	

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com intervalos de medida de 6 e 3 minutos

		<i>E</i> [V/m]					
Posição	Valor médio (6 minutos)	s	Valor médio (1°s 3minutos)	s	Valor médio (2°s 3 minutos)	s	
1.1	0.08	0.02	0.07	0.02	0.08	0.02	
1.2	0.07	0.03	0.08	0.02	0.06	0.03	
1.3	0.05	0.02	0.04	0.01	0.05	0.02	
2.1	0.07	0.03	0.10	0.02	0.06	0.03	
2.2	0.10	0.02	0.10	0.02	0.11	0.02	
2.3	0.05	0.02	0.04	0.01	0.05	0.02	
3.1	0.08	0.03	0.07	0.03	0.09	0.03	
3.2	0.08	0.02	0.08	0.02	0.07	0.02	
Média	0.07	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02	
s	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	

2. Comparação dos resultados obtidos com intervalos de medida de 6 e 2 minutos $\,$

				E[V]	/m]			
Posição	Valor médio (6 minutos)	S	Valor médio (1°s 2 minutos)	s	Valor médio (2°s 2 minutos)	s	Valor médio (3°s 2 minutos)	s
1.1	0.08	0.02	0.07	0.02	0.09	0.02	0.08	0.02
1.2	0.07	0.03	0.08	0.02	0.07	0.03	0.05	0.03
1.3	0.05	0.02	0.04	0.02	0.05	0.02	0.05	0.02
2.1	0.07	0.03	0.10	0.02	0.06	0.02	0.06	0.03
2.2	0.10	0.02	0.09	0.02	0.10	0.02	0.12	0.01
2.3	0.05	0.02	0.05	0.01	0.05	0.02	0.05	0.01
3.1	0.08	0.03	0.06	0.02	0.07	0.02	0.10	0.03
3.2	0.08	0.02	0.09	0.01	0.08	0.02	0.07	0.02
Média	0.07	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02	0.07	0.02
s	0.02	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01

3. Diferenças máximas em relação aos tempos de medida

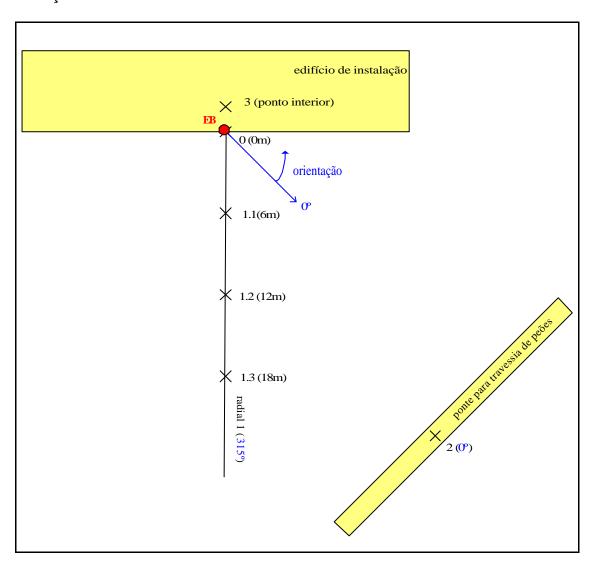
	$ { m D}E_{ m m\acute{a}x} \ [{ m d}{ m B}]$			
Posição	3 Minutos	2 Minutos		
1.1	0.61	1.17		
1.2	0.82	2.24		
1.3	0.87	1.27		
2.1	2.89	2.89		
2.2	0.59	1.11		
2.3	1.09	0.79		
3.1	1.64	2.02		
3.2	0.80	1.04		

ANEXO G – RELATÓRIOS DE MEDIDA

G.1 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 30 Local: LX		Hora: 10h				
1. Identif	icação do Cenário:		Tipo de célula:			
Descrição:			Tipo do contan			
Rural	Linha de vista		Pico			
77.1	Nível da rua		Micro			
Urbano Topo de edifício	Nível da antena		Macro			
	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
77.1	Nível da rua					
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena					
1 0310	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro]	_				
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis		habitualmente pessoas ou ou	ıtro		
cspaşo	5 CO11514C1 444 C5 5 C1151 V C15		Distância aproximada [m]			
Rua ou j	praça pública		2			
Escola o	ou infantário			_		
Hospital	l, centro de saúde ou lar					
Jardim o	ou campo de jogos			_		
Outro: F	Edifício de habitação		0			

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	948.2
Potência por canal [dBm]	41
N.º máximo de canais	2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	DAPA 3901-320
Polarização	Cruzada

Altura [m]	10.8
Inclinação [°]	0
Azimute [°]	340
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2400 xx -

5. Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão

Não foram identificadas outras fontes de emissão em redor da EB.

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



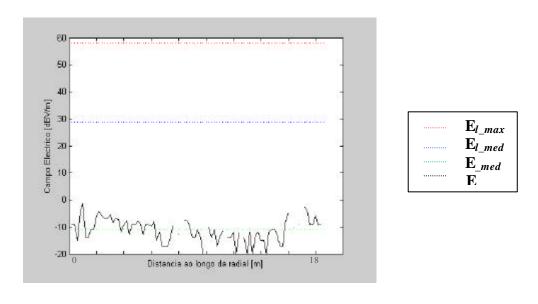
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
0	0	0.91	0.18	1.29	-29.61	-55.78	-26.57
1.1	6	0.54	0.13	1.07	-34.12	-57.41	-28.20
1.2	12	0.56	0.11	1.17	-33.86	-56.63	-27.42
1.3	18	0.50	0.11	1.02	-34.75	-57.82	-28.61
2	*	1.51	0.27	2.08	-25.20	-51.64	-22.43
3	*	0.85	0.10	1.25	-30.24	-56.06	-26.85

Máximo 2.08

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1



 * Devido à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à base da antena.

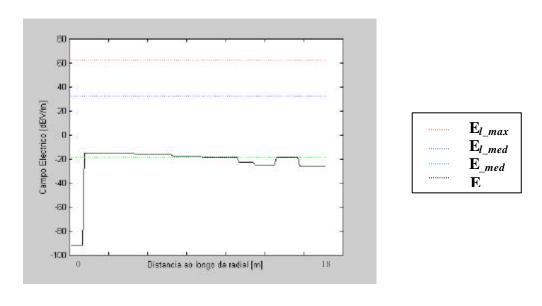
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
0	0	0.17	0.03	0.18	-48.14	-76.55	-47.31
1.1	6	0.09	0.03	0.14	-53.53	-78.55	-49.31
1.2	12	0.06	0.02	0.09	-56.96	-82.55	-53.31
1.3	18	0.07	0.03	0.13	-55.95	-79.55	-50.31
2	*	0.18	0.03	0.20	-47.17	-75.55	-46.31
3	*	0.18	0.02	0.20	-47.22	-75.55	-46.31

Máximo 0.20

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1



 * Devido à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à base da antena.

...

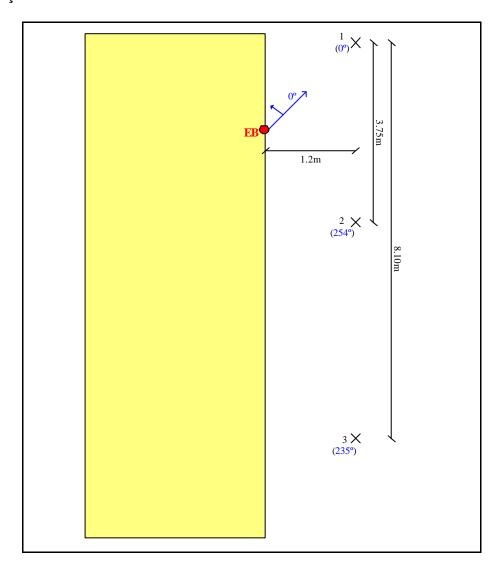
Registo de Medida - Conclusões

	S	onda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		2.08	0.20
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]		-25.2	-47.17
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.2 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 29.	Julho 2002	Hora: 1/h			
Local: LX	2				
1. Identif	icação do Cenário:				
Descrição:			Tipo de célu	ıla:	
Rural	Linha de vista		P	ico	
TT.1	Nível da rua		Mie	cro	
Urbano Topo de edifício	Nível da antena		Mad	ero	
	Penetração no edifício				
	Nível da rua				
Urbano Fachada	Nível da antena				
	Penetração no edifício				
TT 1	Nível da rua				
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena				
	Penetração no edifício				
Interior	Linha de vista				
Outro	7	_			
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis	• •	necer habitualment	e pessoas ou outro	
			Distância a	nproximada [m]	
Rua ou 1	praça pública				
Escola o	ou infantário				
Hospital	l, centro de saúde ou lar]		
Jardim o	ou campo de jogos				
Outro: 7	Геггаçо			0	

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	943.4
Potência por canal [dBm]	41
N.º máximo de canais	4
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	In-Snec IN-516215-915-T5
Polarização	Cruzada 45°

Altura [m]	3				
T 1 ~ F 03					
Inclinação [°]	4				
Azimute [°]	300				
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2700x320x90				
5. Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão					
Tipo de serviço	GSM				
Banda de frequências [MHz]	900				
Distância aproximada [m]	2.5				
Tipo de serviço	GSM				
Banda de frequências [MHz]	900				
Distância aproximada [m]	4.5				

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1	1.7	3.04	0.49	3.93	-19.13	-46.11	-16.90
2	2.5	2.44	0.41	3.30	-21.04	-47.63	-18.42
3	6.8	1.83	0.33	2.43	-23.53	-50.28	-21.07

Máximo 3.93

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 Osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1	1.7	0.25	0.03	0.26	-44.51	-73.56	-44.32
2	2.5	0.14	0.05	0.20	-49.30	-75.56	-46.32
3	6.8	0.12	0.03	0.18	-50.98	-76.56	-47.32

Máximo 0.26

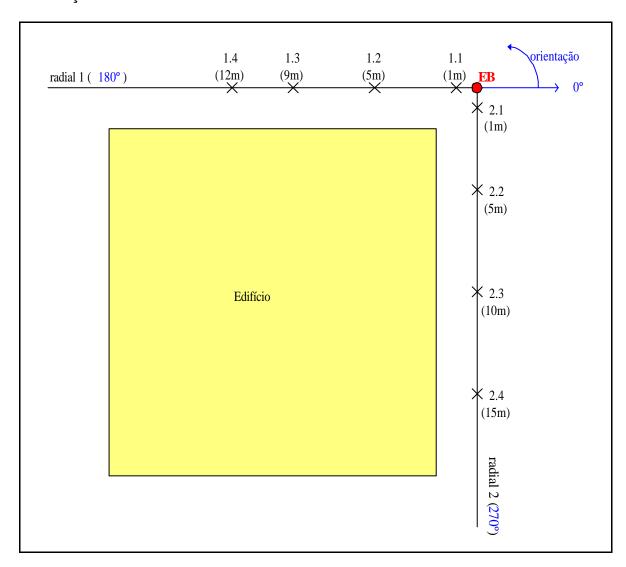
Registo de Medida - Conclusões

	Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:	3.93	0.26
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-19.13	-44.51
Conformidade da EB com os limites:		
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim	
(quando aplicável)		
	Não	

G.3 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 24 l	Maio 2002	Hora: 15h45m		
Local: LX	3			
1. Identifi	icação do Cenário:			
Descrição:			Tipo de célula:	
Rural	Linha de vista		Pico	
T T 1	Nível da rua		Micro	
Urbano Topo de	Nível da antena		Macro	
edifício	Penetração no edifício			
	Nível da rua			
Urbano Fachada	Nível da antena			
	Penetração no edifício			
	Nível da rua			
Urbano Torre ou	Nível da antena			
Poste	Penetração no edifício			
Interior	Linha de vista			
Outro]	_ 🔲		
2. Identifies	icação de zonas onde j s considerados sensíveis	podem permano	ecer habitualmente pesso Distância aproxima	
Rua ou r	oraça pública		_ =====================================	<u> </u>
-	u infantário		1	
	, centro de saúde ou lar		1	
_	ou campo de jogos		1	
	Terraço, Escritórios]	1

3. Esboço do Local de Medida



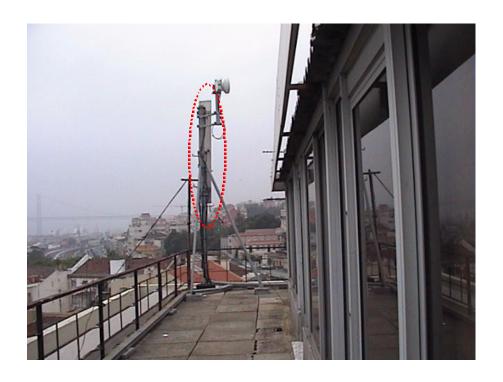
4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	950
Potência por canal [dBm]	41
N.º máximo de canais	3
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	Rymsa AT42-684T0
Polarização	

Altura [m]	1.5
Inclinação [°]	-3
Azimute [°]	300
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm] 2500xx
5. Factores Radioeléctricos de Outras	s Fontes de Emissão
T' 1 '	COM
Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Distância aproximada [m]	18
Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	1800
Distância aproximada [m]	10

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Co-Localização



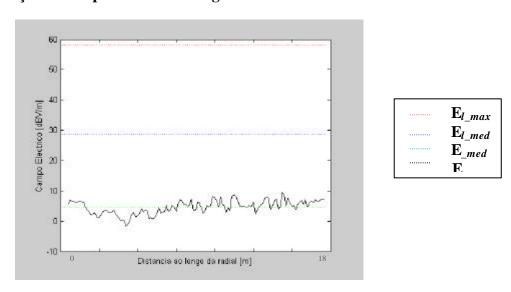
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

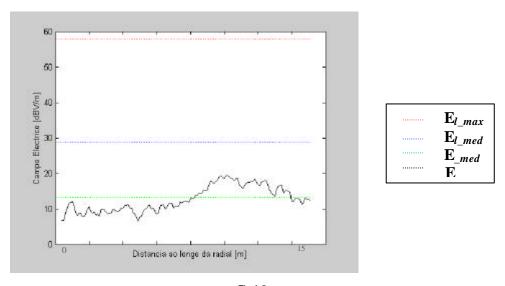
Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	1	1.70	0.31	2.23	-24.19	-51.03	-21.82
1.2	5	1.49	0.26	1.81	-25.34	-52.84	-23.63
1.3	9	1.91	0.30	2.48	-23.16	-50.11	-20.90
1.4	12	2.27	0.34	3.17	-21.67	-47.98	-18.77
2.1	1	2.27	0.33	3.56	-21.67	-46.97	-17.76
2.2	5	2.33	0.29	2.84	-21.43	-48.93	-19.72
2.3	10	5.76	0.70	6.78	-13.58	-41.37	-12.16
2.4	15	4.33	0.76	5.92	-16.06	-42.55	-13.34

Máximo 6.78

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1



3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2



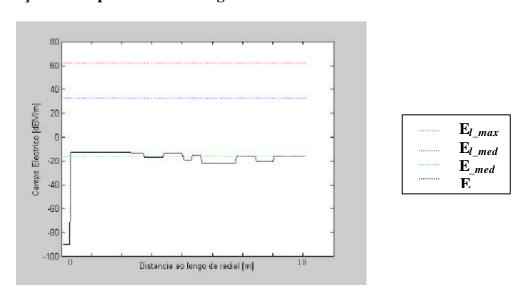
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

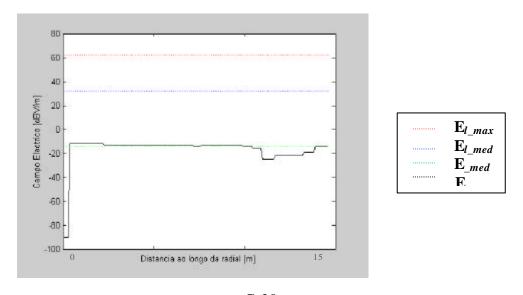
Posição	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
1 osição	[m]		[V/m]		[dB]			
1.1	1	0.21	0.05	0.22	-46.15	-74.78	-45.54	
1.2	5	0.16	0.06	0.22	-48.59	-74.78	-45.54	
1.3	9	0.13	0.06	0.20	-50.25	-75.78	-46.54	
1.4	12	0.13	0.05	0.20	-49.94	-75.78	-46.54	
2.1	1	0.21	0.02	0.22	-45.94	-74.78	-45.54	
2.2	5	0.18	0.04	0.22	-47.50	-74.78	-45.54	
2.3	10	0.15	0.06	0.22	-49.07	-74.78	-45.54	
2.4	15	0.16	0.05	0.22	-48.66	-74.78	-45.54	

Máximo 0.22

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1



3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2



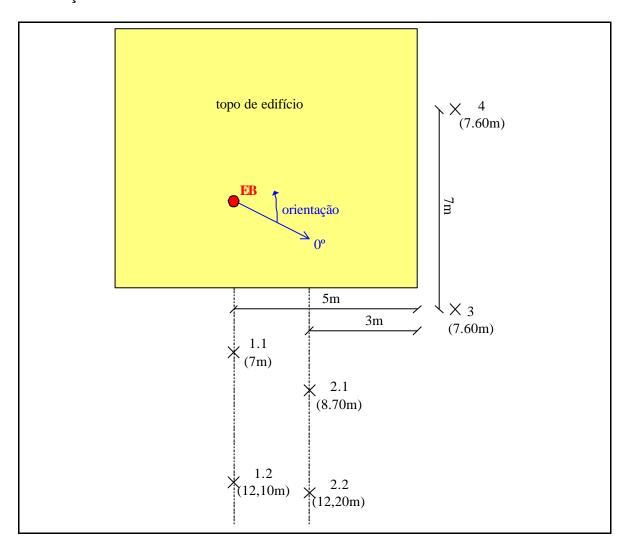
Registo de Medida - Conclusões

	S	Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		6.78	0.22
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-	13.58	-45.94
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.4 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 29.	Julho 2002	Hora: 10h				
Local: LX	4					
1. Identif	icação do Cenário:					
Descrição:			Tipo de célula:			
Rural	Linha de vista		Pico			
Urbano	Nível da rua		Micro			
Topo de edifício	Nível da antena		Macro			
edificio	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
I Iula ou o	Nível da rua					
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena					
TOSIC	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro		_				
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis		_			
			Distância aproxir	mada [m]		
Rua ou j	praça pública					
Escola o	ou infantário					
Hospital	l, centro de saúde ou lar					
Jardim o	ou campo de jogos					
Outro: F	Edifício de habitação			0		

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800
Frequência central do canal [MHz]	948.8 / 1871
Potência por canal [dBm]	41 / 41
N.º máximo de canais	3/2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	In-Snec IN-516215-915-T5 / In-Snec IN-516215-1710-T6
Polarização	Cruzada

Altura [m]	7				
Inclinação [°]	0				
Azimute [°]	45 / 45				
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2700x320x90				
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes o	de Emissão				
Encontram-se no local de instalação múlticaracterísticas:	iplas fontes de emissão com as seguintes				
Tipo de serviço	GSM				
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800				
Distância aproximada [m]	3				

5.

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
1 osição	[m]		[V/m]		[dB]			
1.1	7	1.83	0.21	2.22	-23.56	-51.07	-21.86	
1.2	12.1	1.40	0.06	1.61	-25.86	-53.86	-24.65	
2.1	8.7	1.71	0.31	2.41	-24.12	-50.36	-21.15	
2.2	12.2	1.52	0.11	1.86	-25.13	-52.61	-23.40	
3	7.6	2.15	0.23	2.63	-22.15	-49.60	-20.39	
4	7.6	2.22	0.14	2.72	-21.87	-49.31	-20.10	

Máximo 2.72

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	7	0.15	0.05	0.22	-48.78	-74.79	-45.54
1.2	12.1	0.16	0.04	0.20	-48.62	-75.79	-46.54
2.1	8.7	0.18	0.04	0.22	-47.26	-74.79	-45.54
2.2	12.2	0.20	0.05	0.25	-46.60	-73.79	-44.54
3	7.6	0.18	0.03	0.22	-47.51	-74.79	-45.54
4	7.6	0.17	0.04	0.25	-47.85	-73.79	-44.54

Máximo 0.25

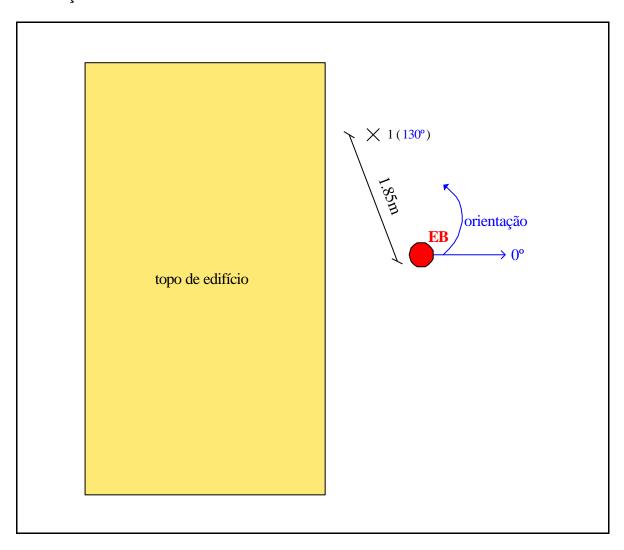
Registo de Medida - Conclusões

	S	onda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		2.72	0.25
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-′,	21.87	-46.60
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.5 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 29.	Julho 2002	Hora: 11h					
Local: List	boa, LX 5						
1. Identif	icação do Cenário:						
Descrição:				Tipo de co	ślula:		
Rural	Linha de vista				Pico		
I Iula on o	Nível da rua			Ν	Iicro		
Urbano Topo de edifício	Nível da antena			M	acro		
camero	Penetração no edifício						
	Nível da rua						
Urbano Fachada	Nível da antena						
	Penetração no edifício						
TT.1	Nível da rua						
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena						
Toste	Penetração no edifício						
Interior	Linha de vista						
Outro	7	-					
	icação de zonas onde p os considerados sensíveis	odem p	ermanecer		nte pessoas n aproximada		outros
D				Distancia	i apioximaua	[III]	
•	praça pública						
Escola o	ou infantário						
Hospital	l, centro de saúde ou lar						
Jardim o	ou campo de jogos						
Outro: F	Edifício de habitação					0	

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800
Frequência central do canal [MHz]	946.4/ 1873.4
Potência por canal [dBm]	41 / 41
N.º máximo de canais	3/2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	In-Snec IN-516215-915-T5 / In-Snec IN-516215-1710-T5
Polarização	Cruzada

	Altura [m]	2.7			
	Inclinação [°]	-2			
	Azimute [°]	190			
	Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2700x320x90			
5. Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão					
	Encontram-se no local de instalação múltiparacterísticas:	plas fontes de emissão com as seguintes			
	Tipo de serviço	GSM			
	Banda de frequências [MHz]	900 / 1800			
	Distância aproximada [m]	3			

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
1 osição	[m]	[V/m]			[dB]			
1	1.85	5.75	0.93	7.58	-13.60	-40.40	-11.19	

Máximo 7.58

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

GSM900	Posição	Distância		S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
	1 osição	[m]	[V/m]			[dB]			
	1	1.85	0.21	0.04	0.25	-46.18	-73.80	-44.56	
3.41					0.25				

Máximo 0.25

GSM1800		Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
	Posição	[m]	[V/m]		[dB]			
	1	1.85	0.35	0.05	0.40	-44.57	-72.59	-43.35

Máximo 0.40

2. Comparação dos resultados obtidos com os limites de exposição a múltiplas fontes de radiação

Posição	$(E_{med}/E_{l_{med}})^{2}_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_{med}})^{2}_{GSM1800}$
1	5.9·10 ⁻⁵

Registo de Medida - Conclusões

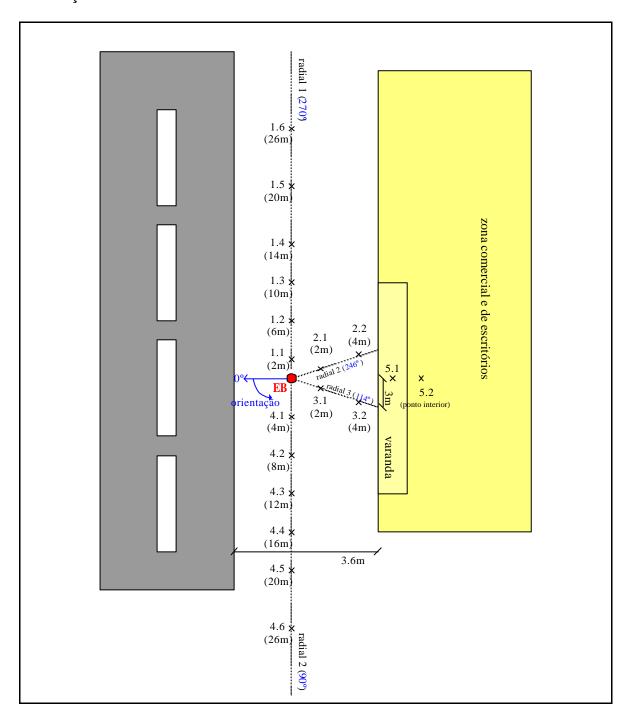
		Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		7.58	*
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]		-13.60	*
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

 $^{^{\}ast}$ Chegou-se à conclusão que o aparelho saturou, pelo que não se consideram os seus resultados.

G.6 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 24 1	Maio 2002	Hora: 16h					
Local: LX	6						
1. Identif	icação do Cenário:						
Descrição:			Tipo de célula:				
Rural	Linha de vista		Pico				
Urbano	Nível da rua		Micro				
Topo de edifício	Nível da antena		Macro				
edificio	Penetração no edifício						
	Nível da rua						
Urbano Fachada	Nível da antena						
	Penetração no edifício						
Urbano	Nível da rua						
Torre ou Poste	Nível da antena						
1 0310	Penetração no edifício						
Interior	Linha de vista						
Outro]	_ 🔲					
	icação de zonas onde j os considerados sensíveis		eer habitualmente pessoa				
			Distância aproximad				
	praça pública			2			
Escola o	ou infantário						
Hospital	l, centro de saúde ou lar						
Jardim o	ou campo de jogos						
Outro:							

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	949.4
Potência por canal [dBm]	33

N.º máximo de canais	2
Tipo de antena	Omnidireccional
Referência da antena	Kathrein K751167
Polarização	Vertical
Altura [m]	7.8
Inclinação [°]	0
Azimute [°]	
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	348xx21

5. Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão

Em redor do local de instalação encontram-se múltiplas fontes de emissão, mas foi impossível caracterizá-las ou determinar a distância a que se encontram da EB.

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Pormenor



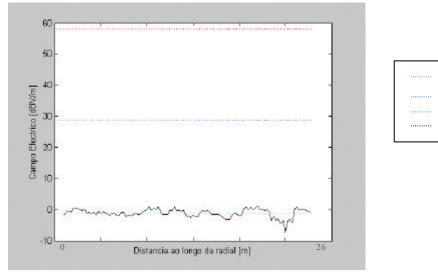
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Dagiaão	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
Posição	[m]	[V/m]			[dB]			
1.1	2	0.92	0.15	1.47	-29.48	-54.65	-25.44	
1.2	6	0.95	0.15	1.54	-29.23	-54.25	-25.04	
1.3	10	0.97	0.19	1.45	-29.01	-54.77	-25.56	
1.4	14	1.02	0.15	1.46	-28.65	-54.71	-25.50	
1.5	20	0.97	0.15	1.48	-29.10	-54.59	-25.38	
1.6	26	0.96	0.18	1.43	-29.19	-54.89	-25.68	
2.1	2	0.93	0.12	1.11	-29.37	-57.09	-27.88	
2.2	4	1.00	0.06	1.31	-28.75	-55.65	-26.44	
3.1	2	0.96	0.12	1.33	-29.14	-55.52	-26.31	
3.2	4	1.09	0.34	3.31	-28.01	-47.60	-18.39	
4.1	4	1.15	0.07	1.56	-27.56	-54.13	-24.92	
4.2	8	1.01	0.16	1.34	-28.67	-55.45	-26.24	
4.3	12	1.14	0.11	2.00	-27.63	-51.98	-22.77	
4.4	16	1.17	0.22	1.63	-27.42	-53.75	-24.54	
4.5	20	1.16	0.06	1.36	-27.47	-55.33	-26.12	
4.6	26	1.10	0.08	1.53	-27.94	-54.30	-25.09	
5.1	*	0.74	0.14	0.94	-31.38	-58.53	-29.32	
5.2	*	1.33	0.24	1.78	-26.30	-52.99	-23.78	

Máximo 3.31

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1

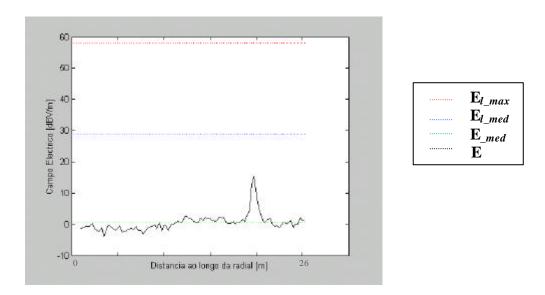




 * Atendendo à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à EB.

G-39

3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 4



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

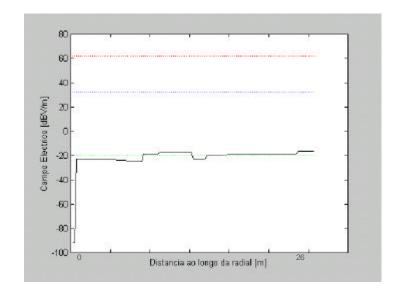
Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med} E_{max}/E_{l_max} E_{max}/E_{l_med}			
1 OSIÇAO	[m]	[V/m]			[dB]			
1.1	2	0.08	0.03	0.13	-54.06	-79.54	-50.30	
1.2	6	0.08	0.03	0.13	-53.96	-79.54	-50.30	
1.3	10	0.10	0.03	0.14	-52.20	-78.54	-49.30	
1.4	14	0.11	0.03	0.14	-51.36	-78.54	-49.30	
1.5	20	0.10	0.05	0.18	-52.65	-76.54	-47.30	
1.6	26	0.10	0.03	0.16	-52.13	-77.54	-48.30	
2.1	2	0.08	0.03	0.13	-54.62	-79.54	-50.30	
2.2	4	0.07	0.02	0.11	-55.46	-80.54	-51.30	
3.1	2	0.06	0.04	0.13	-57.19	-79.54	-50.30	
3.2	4	0.10	0.04	0.14	-52.33	-78.54	-49.30	
4.1	4	0.12	0.04	0.16	-50.74	-77.54	-48.30	
4.2	8	0.09	0.03	0.13	-53.51	-79.54	-50.30	
4.3	12	0.12	0.02	0.14	-50.90	-78.54	-49.30	
4.4	16	0.13	0.02	0.16	-50.01	-77.54	-48.30	
4.5	20	0.10	0.04	0.14	-52.21	-78.54	-49.30	
4.6	26	0.09	0.03	0.14	-53.42	-78.54	-49.30	
5.1	**	0.08	0.02	0.11	-54.06	-80.54	-51.30	
5.2	**	0.18	0.01	0.18	-47.34	-76.54	-47.30	

Máximo 0.18

_

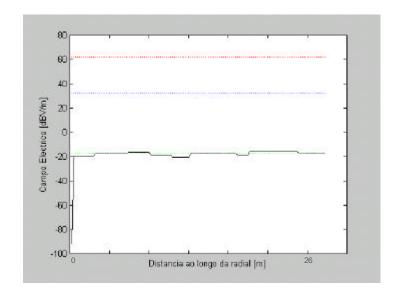
^{**} Atendendo à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à EB.

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial ${\bf 1}$





3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 4





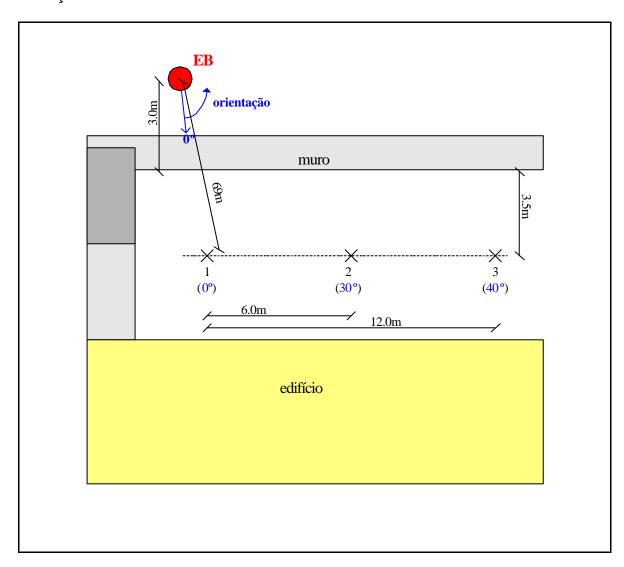
Registo de Medida - Conclusões

	S	Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		3.31	0.18
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-	26.30	-47.34
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.7 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 30.	Julho 2002	Hora: 15h						
Local: LX	7							
1. Identif	icação do Cenário:							
Descrição:			Tipo de célula:					
Rural	Linha de vista		Pico					
Urbano	Nível da rua		Micro					
Topo de edifício	Nível da antena		Macro					
edificio	Penetração no edifício							
	Nível da rua							
Urbano Fachada	Nível da antena							
	Penetração no edifício							
TT 1	Nível da rua							
Urbano Poste ou	Nível da antena							
Torre	Penetração no edifício							
Interior	Linha de vista							
Outro]	_ 🔲						
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis		necer habitualmente pesso					
			Distância aproxim	ada [m]				
Rua ou 1	praça pública			3				
Escola o	ou infantário]					
Hospital	l, centro de saúde ou lar							
Jardim o	ou campo de jogos]					
Outro: E	Edifício de habitação			6				

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	943.6
Potência por canal [dBm]	41
N.º máximo de canais	3
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	Rymsa AT42-684T6
Polarização	Cruzada 65°

	Altura [m]	18.5
	Inclinação [°]	-3
	Azimute [°]	300
	Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2400x310x57
5.	Factores Radioeléctricos de Outras Fontes d	le Emissão
	Tipo de serviço	GSM
	Banda de frequências [MHz]	900
	Distância aproximada [m]	1
	Tipo de serviço	GSM
	Banda de frequências [MHz]	1800
	Distância aproximada [m]	1

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida e Co-Localização



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]		[dB]		
1	6.9	0.27	0.15	0.84	-40.03	-59.51	-30.30
2	11	0.62	0.08	0.98	-32.93	-58.17	-28.96
3	16.4	0.56	0.11	0.92	-33.85	-58.72	-29.51

Máximo 0.98

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]		[dB]		
1	6.9	0.08	0.04	0.18	-54.36	-76.81	-47.57
2	11	0.09	0.03	0.16	-53.30	-77.81	-48.57
3	16.4	0.13	0.04	0.20	-50.44	-75.81	-46.57

Máximo 0.20

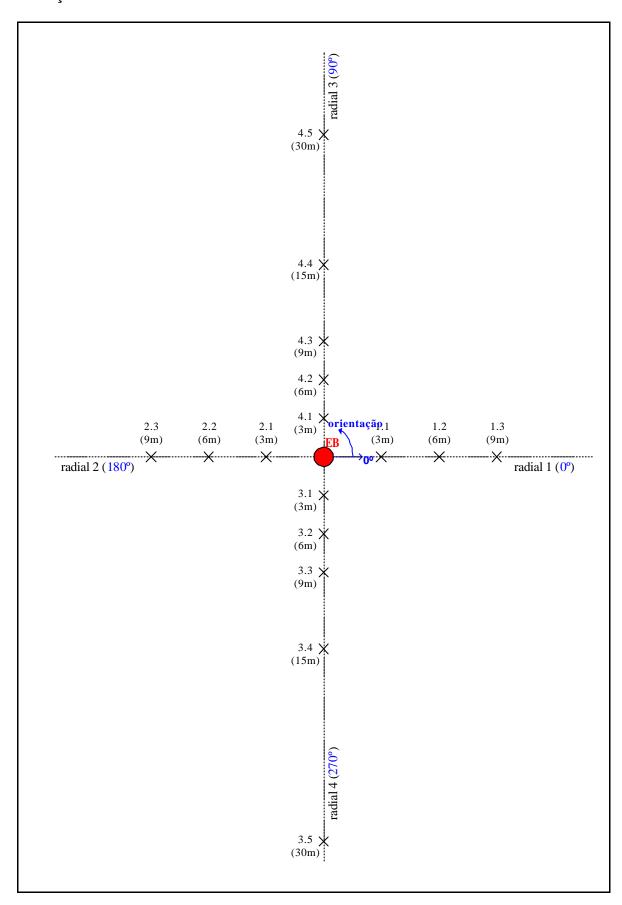
Registo de Medida - Conclusões

	S	onda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		0.98	0.20
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-3	32.93	-50.44
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	00/1800 Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.8 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 16.	Maio 2002	Hora: 14h				
Local: LX	8					
1. Identif	icação do Cenário:					
Descrição:			,	Tipo de célula:		
Rural	Linha de vista			Pico		
T.I.d	Nível da rua			Micro		
Urbano Topo de edifício	Nível da antena			Macro		
	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
T I de e e	Nível da rua					
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro]	_				
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis		nanecer hab	oitualmente pesso Distância aproxim		
T.	a v	_		Distancia aproxim	ada [m]	
Rua ou j	praça pública	L				
Escola o	ou infantário					
Hospital	l, centro de saúde ou lar					
Jardim o	ou campo de jogos					
Outro: F	Parque de estacionamento				0	

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

5.

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 /1800
Frequência central do canal [MHz]	943.4 / 1873
Potência por canal [dBm]	29 / 29
N.º máximo de canais	4/2
Tipo de antena	Omnidireccional
Referência da antena	Kathrein K741571
Polarização	Vertical
Altura [m]	
Inclinação [°]	0
Azimute [°]	
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	210x78x
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes o	de Emissão
Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800
Distância aproximada [m]	15

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	3	1.23	0.19	1.58	-27.01	-54.02	-24.81
1.2	6	0.91	0.23	1.48	-29.62	-54.59	-25.38
1.3	9	0.91	0.25	1.40	-29.65	-55.07	-25.86
2.1	3	0.79	0.13	1.09	-30.80	-57.25	-28.04
2.2	6	0.47	0.14	0.91	-35.35	-58.82	-29.61
2.3	9	0.33	0.08	0.62	-38.31	-62.15	-32.94
3.1	3	0.66	0.11	0.98	-32.45	-58.17	-28.96
3.2	6	0.46	0.12	0.82	-35.57	-59.72	-30.51
3.3	9	0.31	0.09	0.77	-39.00	-60.27	-31.06
3.4	15	0.21	0.09	0.64	-42.36	-61.87	-32.66
3.5	30	0.18	0.11	0.79	-43.88	-60.04	-30.83
4.1	3	0.69	0.12	1.01	-32.07	-57.91	-28.70
4.2	6	0.61	0.14	0.96	-33.14	-58.35	-29.14
4.3	9	0.42	0.10	0.94	-36.27	-58.53	-29.32
4.4	15	0.18	0.12	0.75	-43.76	-60.50	-31.29
4.5	25	0.26	0.10	0.96	-40.45	-58.35	-29.14

Máximo 1.58

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

GSM900

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	3	0.20	0.03	0.26	-46.32	-73.56	-44.32
1.2	6	0.23	0.05	0.26	-45.25	-73.56	-44.32
1.3	9	0.24	0.04	0.26	-44.94	-73.56	-44.32
2.1	3	0.19	0.05	0.26	-46.86	-73.56	-44.32
2.2	6	0.11	0.05	0.20	-51.68	-75.56	-46.32
2.3	9	0.12	0.02	0.18	-50.81	-76.56	-47.32
3.1	3	0.21	0.05	0.26	-45.93	-73.56	-44.32
3.2	6	0.19	0.05	0.26	-47.11	-73.56	-44.32
3.3	9	0.14	0.03	0.18	-49.26	-76.56	-47.32
3.4	15	0.08	0.02	0.13	-54.22	-79.56	-50.32
3.5	30	0.04	0.01	0.05	-61.58	-87.56	-58.32
4.1	3	0.17	0.04	0.23	-47.80	-74.56	-45.32
4.2	6	0.13	0.06	0.23	-50.34	-74.56	-45.32
4.3	9	0.12	0.04	0.20	-51.16	-75.56	-46.32
4.4	15	0.08	0.02	0.13	-53.93	-79.56	-50.32
4.5	25	0.04	0.02	0.08	-61.13	-83.56	-54.32

Máximo 0.26

GSM1800

Posição	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
1 OSIÇAO	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	3	0.20	0.04	0.29	-49.39	-75.59	-46.35
1.2	6	0.16	0.05	0.25	-51.53	-76.59	-47.35
1.3	9	0.18	0.05	0.25	-50.30	-76.59	-47.35
2.1	3	0.19	0.06	0.32	-50.02	-74.59	-45.35
2.2	6	0.09	0.05	0.18	-55.97	-79.59	-50.35
2.3	9	0.07	0.02	0.11	-58.95	-83.59	-54.35
3.1	3	0.12	0.04	0.20	-53.71	-78.59	-49.35
3.2	6	0.10	0.03	0.16	-55.14	-80.59	-51.35
3.3	9	0.08	0.02	0.11	-56.89	-83.59	-54.35
3.4	15	0.03	0.01	0.06	-64.77	-89.59	-60.35
3.5	30	0.03	0.01	0.04	-66.05	-92.59	-63.35
4.1	3	0.19	0.05	0.25	-50.06	-76.59	-47.35
4.2	6	0.09	0.02	0.11	-56.40	-83.59	-54.35
4.3	9	0.06	0.01	0.08	-59.68	-86.59	-57.35
4.4	15	0.05	0.01	0.07	-62.15	-87.59	-58.35
4.5	25	0.03	0.01	0.04	-67.26	-93.59	-64.35

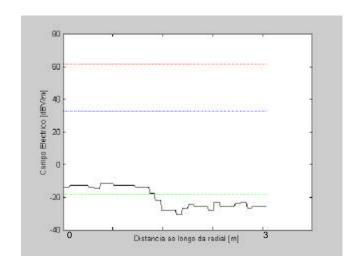
Máximo 0.32

2. Comparação dos resultados obtidos com os limites de exposição a múltiplas fontes de radiação

Posição	$(E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM1800}$
1.1	3.5·10 ⁻⁵
1.2	$3.7 \cdot 10^{-5}$
1.3	4.1·10 ⁻⁵
2.1	3.1·10 ⁻⁵
2.2	9.3·10 ⁻⁶
2.3	9.6·10 ⁻⁶
3.1	3.0·10 ⁻⁵
3.2	2.3·10 ⁻⁵
3.3	$1.4 \cdot 10^{-5}$
3.4	4.1·10 ⁻⁶
3.5	9.4·10 ⁻⁷
4.1	2.6·10 ⁻⁵
4.2	1.2·10 ⁻⁵
4.3	8.7·10 ⁻⁶
4.4	$4.7 \cdot 10^{-6}$
4.5	9.6·10 ⁻⁷

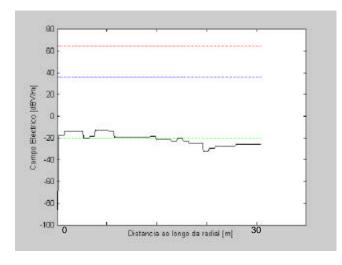
3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 3

GSM900





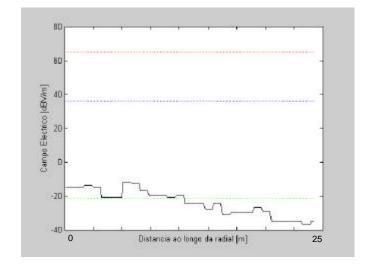
GSM1800





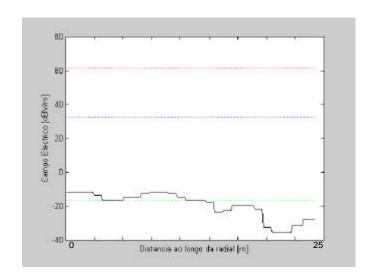
4. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 4

GSM900





GSM1800





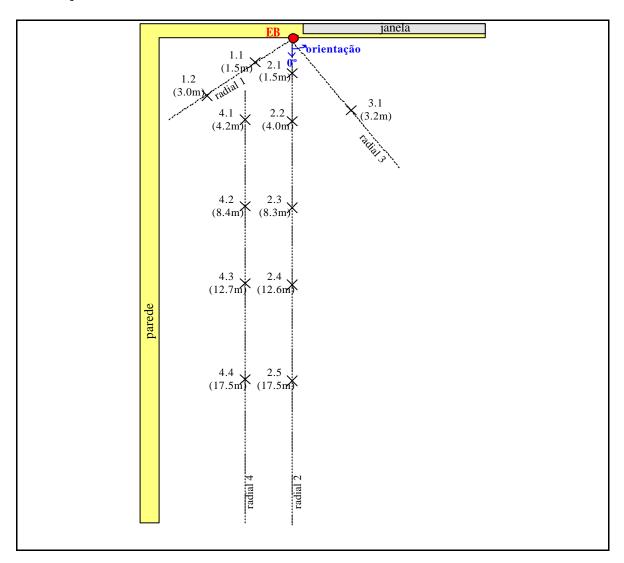
Registo de Medida - Conclusões

		Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		1.58	0.26 / 0.32
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]		-27.01	-44.94 / -49.39
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800 Sim (quando aplicável) Não			
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800 Sim			
(quando aplicável)	Siiii		
,	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.9 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 16 1	Maio 2002	Hora: 10h					
Local: LX	9						
1. Identif	icação do Cenário:						
Descrição:			Tipo de célula:				
Rural	Linha de vista		Pico				
Urbano Topo de edifício	Nível da rua		Micro				
	Nível da antena		Macro				
	Penetração no edifício						
	Nível da rua						
Urbano Fachada	Nível da antena						
	Penetração no edifício						
I Iula ou o	Nível da rua						
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena						
roste	Penetração no edifício						
Interior	Linha de vista						
Outro		_ 🗆					
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis	oodem perman	ecer habitualmente pesso				
			Distância aproxim	ada [m]			
Rua ou j	praça pública]				
Escola o	ou infantário]				
Hospital	l, centro de saúde ou lar						
Jardim o	ou campo de jogos]				
Outro: E	Escritório		1	0			

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

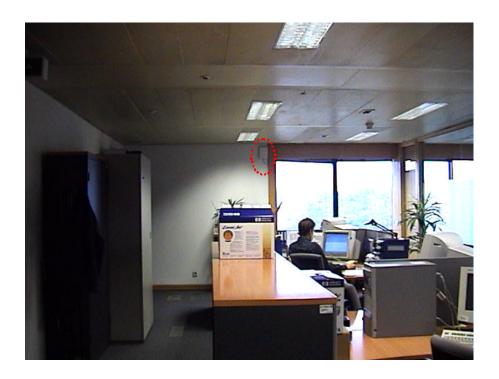
Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 /1800
Frequência central do canal [MHz]	946.4 / 1872.2
Potência por canal [dBm]	29 / 29
N. º máximo de canais	3/2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	Kathrein K738573
Polarização	Vertical

Altura [m]						
Inclinação [°]	0					
Azimute [°]						
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	205x155x42					
	Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão					
Foi identificada outra fonte de emissão n determinar a sua distância à EB.	uma sala adjacente, mas nao foi possivel					
Tipo de serviço	GSM					
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800					
Distância aproximada [m]	?					

5.

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	1.5	1.26	0.29	1.85	-26.77	-52.65	-23.44
1.2	3	1.40	0.25	1.85	-25.89	-52.65	-23.44
2.1	1.5	1.59	0.20	2.10	-24.78	-51.55	-22.34
2.2	4	0.99	0.30	1.53	-28.89	-54.30	-25.09
2.3	8.3	0.60	0.14	1.01	-33.16	-57.91	-28.70
2.4	12.6	0.41	0.08	0.76	-36.47	-60.38	-31.17
2.5	17.5	0.50	0.18	1.69	-34.86	-53.44	-24.23
3.1	3.2	0.91	0.18	1.36	-29.61	-55.33	-26.12
4.1	4.2	0.96	0.16	1.29	-29.16	-55.78	-26.57
4.2	8.4	0.63	0.11	0.90	-32.81	-58.91	-29.70
4.3	12.7	0.55	0.13	1.11	-34.05	-57.09	-27.88
4.4	17.5	0.45	0.06	0.62	-35.72	-62.15	-32.94

Máximo 2.10

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

	GS	М9	00
--	----	----	----

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
1 USIÇAU	[m]		[V/m]			[dB]		
1.1	1.5	0.19	0.05	0.22	-46.86	-74.80	-45.56	
1.2	3	0.16	0.04	0.22	-48.38	-74.80	-45.56	
2.1	1.5	0.20	0.04	0.22	-46.67	-74.80	-45.56	
2.2	4	0.18	0.05	0.22	-47.39	-74.80	-45.56	
2.3	8.3	0.14	0.04	0.20	-49.62	-75.80	-46.56	
2.4	12.6	0.10	0.04	0.16	-52.90	-77.80	-48.56	
2.5	17.5	0.09	0.03	0.13	-53.81	-79.80	-50.56	
3.1	3.2	0.18	0.04	0.22	-47.63	-74.80	-45.56	
4.1	4.2	0.18	0.03	0.22	-47.24	-74.80	-45.56	
4.2	8.4	0.13	0.04	0.20	-49.92	-75.80	-46.56	
4.3	12.7	0.13	0.05	0.20	-50.18	-75.80	-46.56	
4.4	17.5	0.10	0.03	0.16	-52.39	-77.80	-48.56	

Máximo 0.22

CCI	/T1	00	M
GSN	/ 1	่อเ	W

Dog	sição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 08	siçau	[m]		[V/m]			[dB]	
1	1.1	0.20	0.05	0.29	-49.57	-75.59	-46.35	-45.56
1	1.2	0.22	0.06	0.36	-48.63	-73.59	-44.35	-45.56
2	2.1	0.24	0.08	0.40	-47.81	-72.59	-43.35	-45.56
2	2.2	0.19	0.08	0.32	-49.68	-74.59	-45.35	-45.56
2	2.3	0.10	0.04	0.16	-55.40	-80.59	-51.35	-46.56
2	2.4	0.09	0.04	0.18	-56.56	-79.59	-50.35	-48.56
2	2.5	0.08	0.02	0.11	-57.40	-83.59	-54.35	-50.56
3	3.1	0.19	0.04	0.29	-49.96	-75.59	-46.35	-45.56
4	1.1	0.20	0.05	0.32	-49.60	-74.59	-45.35	-45.56
4	1.2	0.07	0.02	0.11	-58.87	-83.59	-54.35	-46.56
4	1.3	0.07	0.02	0.11	-58.84	-83.59	-54.35	-46.56
4	1.4	0.08	0.02	0.11	-57.17	-83.59	-54.35	-48.56

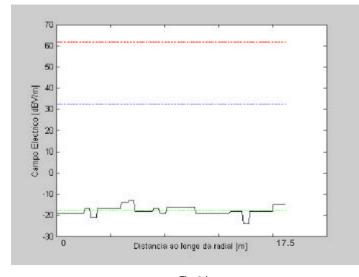
Máximo 0.40

2. Comparação dos resultados obtidos com os limites de exposição a múltiplas fontes de radiação

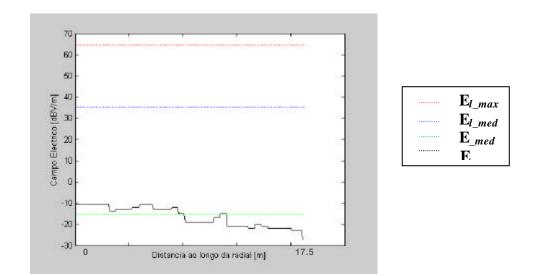
Posição	$(E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM1800}$
1.1	$3.2^{\cdot}10^{-5}$
1.2	2.8·10 ⁻⁵
2.1	3.8·10 ⁻⁵
2.2	2.9·10 ⁻⁵
2.3	$1.4^{\circ}10^{-5}$
2.4	$7.3^{\circ}10^{-6}$
2.5	6.0 ⁻ 10 ⁻⁶
3.1	$2.7^{\cdot}10^{-5}$
4.1	3.0·10 ⁻⁵
4.2	$1.1 \cdot 10^{-5}$
4.3	$1.1 \cdot 10^{-5}$
4.4	$7.7^{\cdot}10^{-6}$

3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 4

GSM900







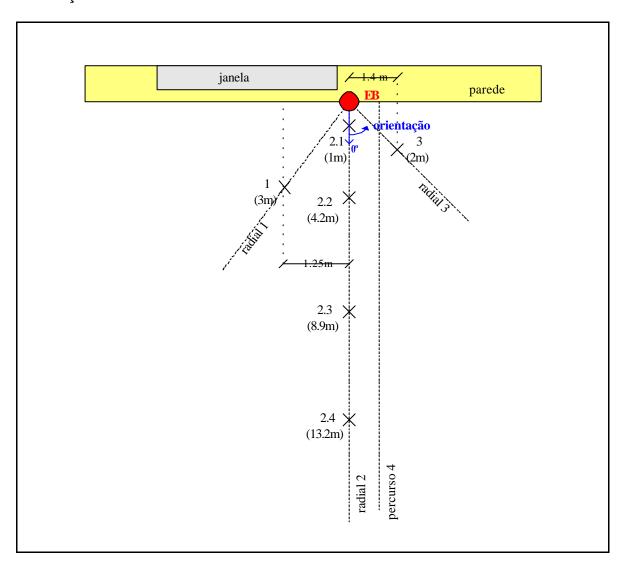
Registo de Medida - Conclusões

	S	onda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		2.10	0.22 / 0.40
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-2	24.78	-46.67 / -47.81
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800 (quando aplicável)	Sim Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800 (quando aplicável)	Sim Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS (quando aplicável)	Sim Não		

G.10 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 16 1	Maio 2002	Hora: 16h				
Local: LX	10					
1. Identif	icação do Cenário:					
Descrição:			Tipo de célula:			
Rural	Linha de vista		Pico	ı		
Urbano	Nível da rua		Micro]		
Topo de edifício	Nível da antena		Macro]		
	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
Urbano	Nível da rua					
Torre ou Poste	Nível da antena					
1 0310	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro]	- 🔲				
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis	odem perman	necer habitualmente pess	soas ou outro		
			Distância aproxin	nada [m]		
Rua ou 1	praça pública]			
Escola o	ou infantário]			
Hospital	l, centro de saúde ou lar]			
Jardim o	ou campo de jogos					
Outro: E	Escritório			0		

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 /1800
Frequência central do canal [MHz]	946.4 / 1872.2
Potência por canal [dBm]	29 / 29
N.º máximo de canais	3/2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	Kathrein K738573
Polarização	Vertical

Altura [m]	
Inclinação [°]	0
Azimute [°]	
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	205x155x42
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Foi identificada outra fonte de emissão m	
determinar a sua distância à EB.	uma sala aujaceme, mas nao 101 possiver
Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800
Distância aproximada [m]	?

5.

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
[m]			[V/m]			[dB]	
1	3	1.10	0.25	1.54	-27.95	-54.25	-25.04
2.1	1	1.74	0.36	2.60	-23.98	-49.70	-20.49
2.2	4.2	1.36	0.28	1.88	-26.14	-52.51	-23.30
2.3	8.9	1.02	0.15	1.51	-28.60	-54.42	-25.21
2.4	13.2	0.76	0.14	1.23	-31.18	-56.20	-26.99
3	2	2.10	0.32	2.77	-22.36	-49.15	-19.94

Máximo 2.77

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

GSM900

0	Posição	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
	1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
	1	3	0.16	0.05	0.22	-48.40	-74.80	-45.56
	2.1	1	0.19	0.04	0.22	-46.81	-74.80	-45.56
	2.2	4.2	0.20	0.06	0.25	-46.29	-73.80	-44.56
	2.3	8.9	0.18	0.04	0.22	-47.16	-74.80	-45.56
	2.4	13.2	0.14	0.06	0.22	-49.50	-74.80	-45.56
	3	2	0.19	0.03	0.22	-46.87	-74.80	-45.56

Máximo 0.25

GSM1800

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1	3	0.20	0.06	0.29	-49.43	-75.59	-46.35
2.1	1	0.27	0.06	0.40	-46.99	-72.59	-43.35
2.2	4.2	0.19	0.10	0.40	-49.72	-72.59	-43.35
2.3	8.9	0.13	0.06	0.20	-53.36	-78.59	-49.35
2.4	13.2	0.10	0.04	0.18	-55.78	-79.59	-50.35
3	2	0.29	0.05	0.36	-46.22	-73.59	-44.35

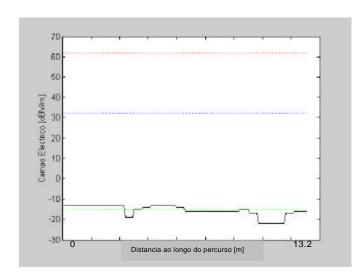
Máximo 0.40

2. Comparação dos resultados obtidos com os limites de exposição a múltiplas fontes de radiação

Posição	$(E_{med}/E_{l_{med}})^2_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_{med}})^2_{GSM1800}$
1	2.6·10 ⁻⁵
2.1	4.1·10 ⁻⁵
2.2	3.4·10 ⁻⁵
2.3	2.4·10 ⁻⁵
2.4	$1.4\cdot10^{-5}$
3	4.4·10 ⁻⁵

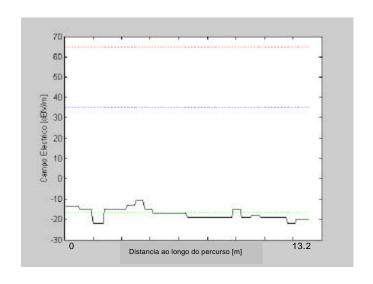
3. Evolução do campo eléctrico ao longo do percurso 4

GSM900





GSM1800





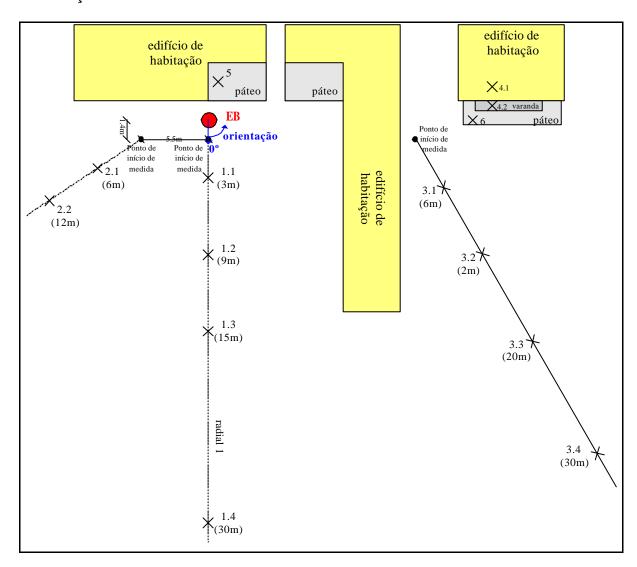
Registo de Medida - Conclusões

		Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		2.77	0.25 / 0.40
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]		-22.36	-46.29 / -49.72
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.11 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 23	Maio 2002	Hora: 10h			
Local: LX	11				
1. Identif	icação do Cenário:				
Descrição:			Tipo de célula:		
Rural	Linha de vista		Pico		
Urbano	Nível da rua		Micro		
Topo de edifício	Nível da antena		Macro		
edificio	Penetração no edifício				
	Nível da rua				
Urbano Fachada	Nível da antena				
	Penetração no edifício				
Llubono	Nível da rua				
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena				
Toste	Penetração no edifício				
Interior	Linha de vista				
Outro	Penetração em edifício				
	ficação de zonas onde p os considerados sensíveis	oodem permaned	cer habitualmente pessoa	as ou outro	
			Distância aproximad	da [m]	
Rua ou	praça pública				
Escola o	ou infantário				
Hospital	l, centro de saúde ou lar				
Jardim o	ou campo de jogos				
Outro: O	Casas de habitação			3	

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	943.4
Potência por canal [dBm]	41
N.º máximo de canais	2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	Rymsa AT42-684T0
Polarização	

Altura [m]	17
Inclinação [°]	0
Azimute [°]	80
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2500xx

5. Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão

Não foram identificadas outras fontes de emissão nas redondezas do local de instalação.

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Ambiente envolvente



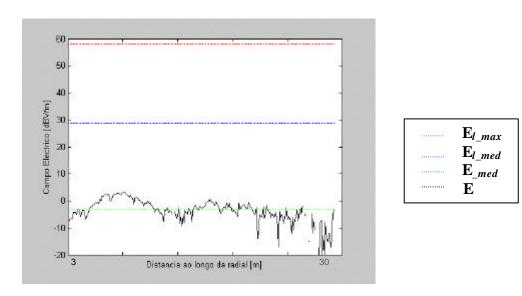
Registo de Medida – Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
i osiçao	[m]		[V/m]		[dB]		
0	0	1.53	0.31	2.04	-25.10	-51.80	-22.59
1.1	3	0.68	0.14	1.03	-32.71	-57.25	-28.04
1.2	9	0.64	0.16	1.36	-32.65	-55.33	-26.12
1.3	15	0.57	0.15	1.28	-33.71	-55.85	-26.64
1.4	30	0.23	0.12	0.90	-41.59	-58.91	-29.70
2.1	6	0.60	0.12	1.17	-33.21	-56.63	-27.42
2.2	12	0.35	0.16	1.60	-37.94	-53.91	-24.70
3.1	*	0.49	0.10	1.36	-34.95	-55.33	-26.12
3.2	*	0.37	0.17	1.05	-37.54	-57.57	-28.36
3.3	*	0.34	0.11	0.93	-38.14	-58.63	-29.42
3.4	*	0.35	0.12	0.93	-37.89	-58.63	-29.42
4.1	*	0.46	0.13	1.12	-35.54	-57.01	-27.80
4.2	*	0.65	0.14	1.02	-32.50	-57.82	-28.61
5	*	0.68	0.13	1.17	-32.09	-56.63	-27.42
6	*	0.36	0.11	1.25	-37.60	-56.06	-26.85

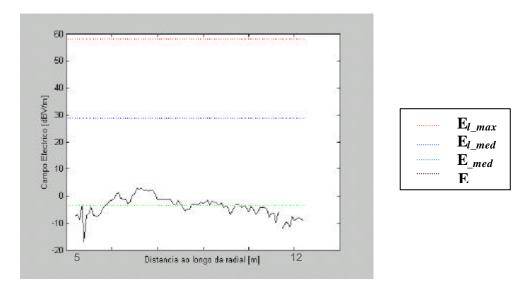
Máximo 2.04

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1

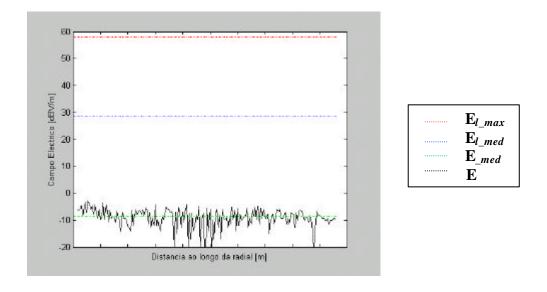


* Atendendo à geometria do local não foi possível determinar a distância do ponto de medida à EB.

3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2



4. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial $\boldsymbol{3}^{**}$



_

 $^{^{**}}$ Devido à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à EB.

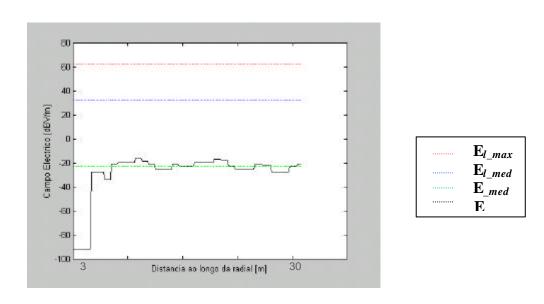
Registo de Medida – Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
i osiçao	[m]		[V/m]		[dB]		
0	0	0.15	0.02	0.18	-48.92	-76.57	-47.33
1.1	3	0.10	0.03	0.13	-52.53	-79.57	-50.33
1.2	9	0.11	0.04	0.18	-51.87	-76.57	-47.33
1.3	15	0.10	0.02	0.13	-52.16	-79.57	-50.33
1.4	30	0.06	0.03	0.10	-56.76	-81.57	-52.33
2.1	6	0.08	0.03	0.11	-54.12	-80.57	-51.33
2.2	12	0.08	0.04	0.13	-54.84	-79.57	-50.33
3.1	***	0.09	0.03	0.14	-53.13	-78.57	-49.33
3.2	***	0.12	0.04	0.16	-50.70	-77.57	-48.33
3.3	***	0.11	0.03	0.16	-51.83	-77.57	-48.33
3.4	***	0.11	0.04	0.16	-51.71	-77.57	-48.33
4.1	***	0.02	0.02	0.07	-64.65	-84.57	-55.33
4.2	***	0.02	0.01	0.05	-65.26	-88.57	-59.33
5	***	0.07	0.02	0.09	-54.98	-82.57	-53.33
6	***	0.06	0.02	0.09	-57.42	-82.57	-53.33

Máximo 0.18

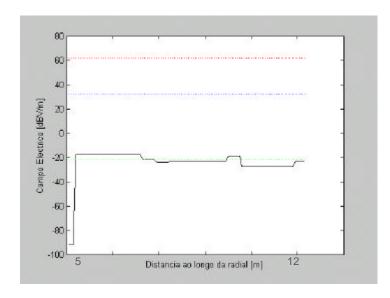
2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1



_

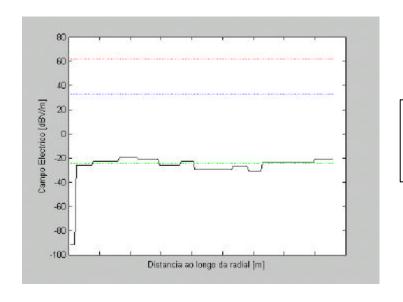
^{***} Atendendo à geometria do local e por dificuldades logísticas, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à EB.

3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2





4. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 3^{****}



^{****} Atendendo à geometria do local e por dificuldades logísticas, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à EB.

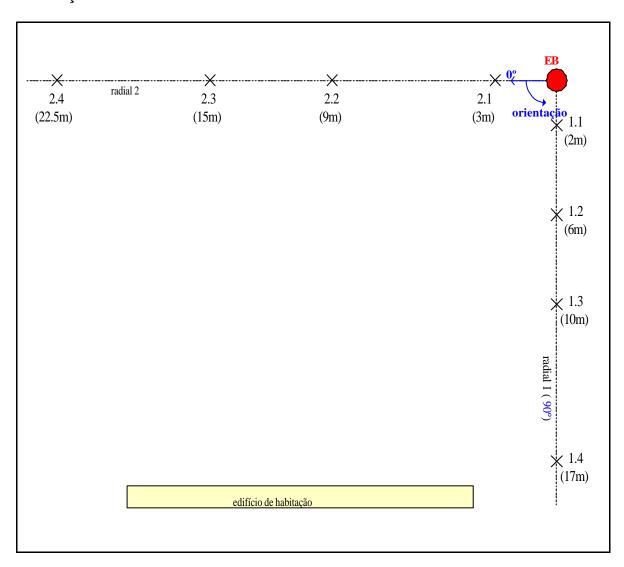
Registo de Medida - Conclusões

	So	onda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:		2.04	0.18
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-2.	5.10	-48.92
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim		
(quando aplicável)			
	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.12 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 23	Maio 2002	Hora: 16h				
Local: LX	12					
1. Identif	icação do Cenário:					
Descrição:			Tipo de célula:			
Rural	Linha de vista		Pico			
Urbano	Nível da rua		Micro			
Topo de edifício	Nível da antena		Macro			
edificio	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
I Iula ou o	Nível da rua					
Urbano Torre ou Poste	Nível da antena					
roste	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro		_ 🔲				
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis	odem permanecei	r habitualmente pessoas Distância aproximada			
Due ou i	praca pública		Distancia aproximada	, [111]		
	praça pública					
	ou infantário					
Hospital	l, centro de saúde ou lar					
Jardim o	ou campo de jogos					
Outro: E	Edifício de habitação			25		

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	944.6
Potência por canal [dBm]	41
N. º máximo de canais	1
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	Kathrein K739630
Polarização	Cruzada

	Altura [m]	32.4
	Inclinação [°]	-3
	Azimute [°]	240
	Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2580x262x116
5.	Factores Radioeléctricos de Outras Fontes d	le Emissão
	Tipo de serviço	GSM
	Banda de frequências [MHz]	900
	Distância aproximada [m]	1
	Tipo de serviço	GSM
	Banda de frequências [MHz]	900
	Distância aproximada [m]	4
	Tipo de serviço	GSM
	Banda de frequências [MHz]	900
	Distância aproximada [m]	23

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida e Co-Localização



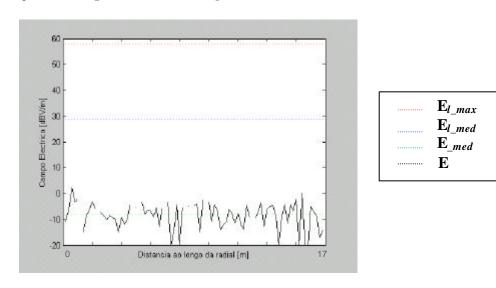
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

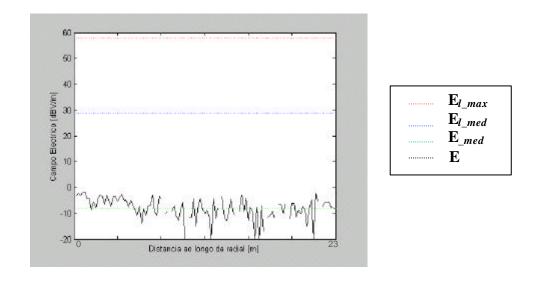
Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
1 osição	[m]	[V/m]			[dB]			
1.1	2	0.22	0.14	0.90	-41.93	-58.91	-29.70	
1.2	6	0.35	0.10	0.96	-37.93	-58.35	-29.14	
1.3	10	0.29	0.09	0.70	-39.48	-61.09	-31.88	
1.4	17	0.31	0.15	0.86	-38.86	-59.31	-30.10	
2.1	3	0.82	0.62	5.93	-30.54	-42.54	-13.33	
2.2	9	0.36	0.11	0.92	-37.59	-58.72	-29.51	
2.3	15	0.36	0.12	0.92	-37.63	-58.72	-29.51	
2.4	22.5	1.46	0.34	2.23	-25.51	-51.03	-21.82	

Máximo 5.93

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1



3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2



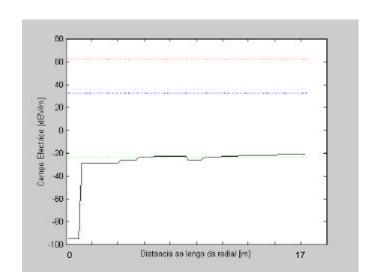
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]		[dB]		
1.1	2	0.05	0.02	0.09	-58.15	-82.58	-53.33
1.2	6	0.06	0.02	0.09	-57.41	-82.58	-53.33
1.3	10	0.06	0.02	0.09	-57.36	-82.58	-53.33
1.4	17	0.08	0.02	0.11	-54.57	-80.58	-51.33
2.1	3	0.03	0.02	0.06	-62.36	-85.58	-56.33
2.2	9	0.05	0.02	0.07	-58.01	-84.58	-55.33
2.3	15	0.09	0.03	0.11	-53.87	-80.58	-51.33
2.4	22.5	0.09	0.03	0.13	-53.31	-79.58	-50.33

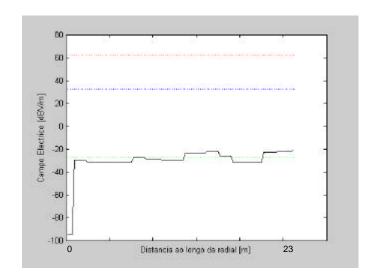
Máximo 0.13

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1





3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2





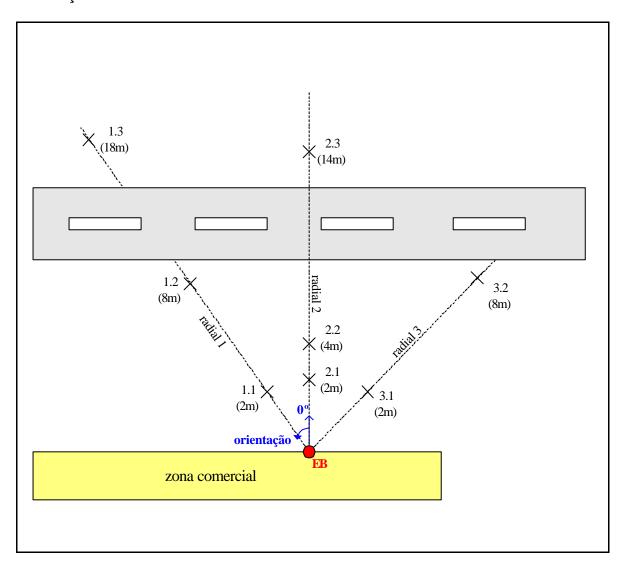
Registo de Medida - Conclusões

	Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:	5.93	0.13
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-25.51	-53.31
Conformidade da EB com os limites:		
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim	I
(quando aplicável)	Não]
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim]
(quando aplicável)	Não]
Conformidada da afeita coniunta CSM000/1900	Sim	1
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800 (quando aplicável)	Sim	J
(quanto aprilante)	Não]
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim]
(quando aplicável)	Não]
	1,40	4

G.13 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 24 1	Maio 2002	Hora: 11h				
Local: LX	13					
1. Identif	icação do Cenário:					
Descrição:			Tipo de célula:			
Rural	Linha de vista		Pico			
T T.il	Nível da rua		Micro			
Urbano Topo de	Nível da antena		Macro			
edifício	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Torre ou	Nível da antena					
Poste	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro		_ 🔲				
	icação de zonas onde p s considerados sensíveis		habitualmente pessoa Distância aproximad			
Rua ou p	praça pública			2		
Escola o	ou infantário					
Hospital	l, centro de saúde ou lar					
	ou campo de jogos					
Outro: _	-					

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	943.4
Potência por canal [dBm]	33
N.º máximo de canais	2
Tipo de antena	Omnidireccional
Referência da antena	Kathrein K751167
Polarização	Vertical

Altura [m]	8
Inclinação [°]	0
3	
Azimute [°]	
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	348xx21

5. Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão

Em redor do local de instalação encontram-se outras fontes de emissão, mas foi impossível caracterizá-las convenientemente ou determinar a distância a que se encontram da EB.

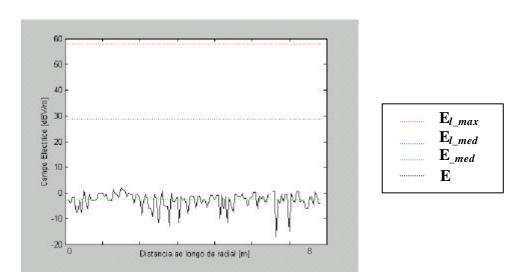
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

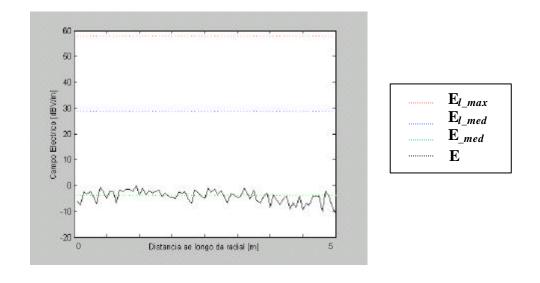
1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	2	0.54	0.12	1.26	-34.10	-55.99	-26.78
1.2	8	0.69	0.17	1.36	-31.98	-55.33	-26.12
1.3	18	0.58	0.16	1.80	-33.45	-52.89	-23.68
2.1	2	0.63	0.13	1.17	-32.82	-56.63	-27.42
2.2	4	0.74	0.15	1.39	-31.44	-55.14	-25.93
2.3	14	0.51	0.18	1.52	-34.58	-54.36	-25.15
3.1	2	0.77	0.12	1.36	-31.11	-55.33	-26.12
3.2	8	0.73	0.14	1.35	-31.47	-55.39	-26.18

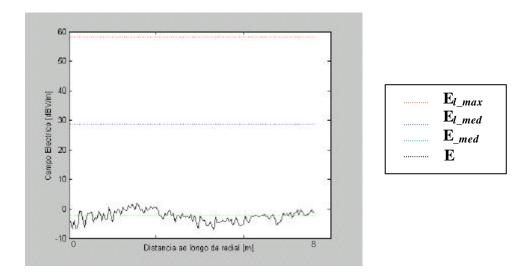
Máximo 1.80

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1





4. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 3

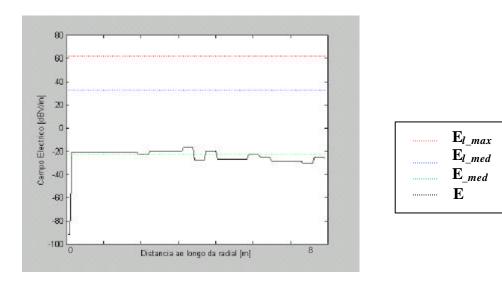


Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

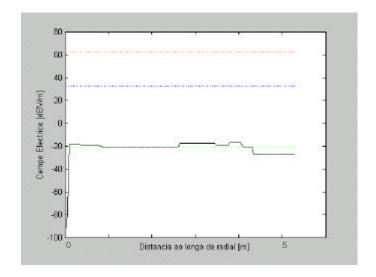
1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	2	0.09	0.02	0.13	-53.64	-79.57	-50.33
1.2	8	0.08	0.03	0.13	-54.42	-79.57	-50.33
1.3	18	0.05	0.02	0.10	-57.99	-81.57	-52.33
2.1	2	0.08	0.04	0.16	-54.14	-77.57	-48.33
2.2	4	0.12	0.03	0.14	-50.98	-78.57	-49.33
2.3	14	0.06	0.02	0.10	-57.42	-81.57	-52.33
3.1	2	0.09	0.04	0.18	-53.18	-76.57	-47.33
3.2	8	0.09	0.02	0.13	-53.68	-79.57	-50.33

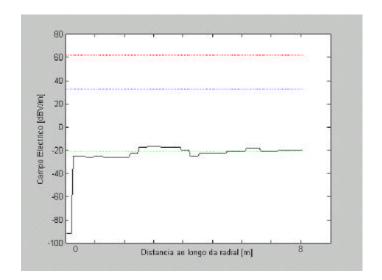
Máximo 0.18



3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial $\mathbf 2$









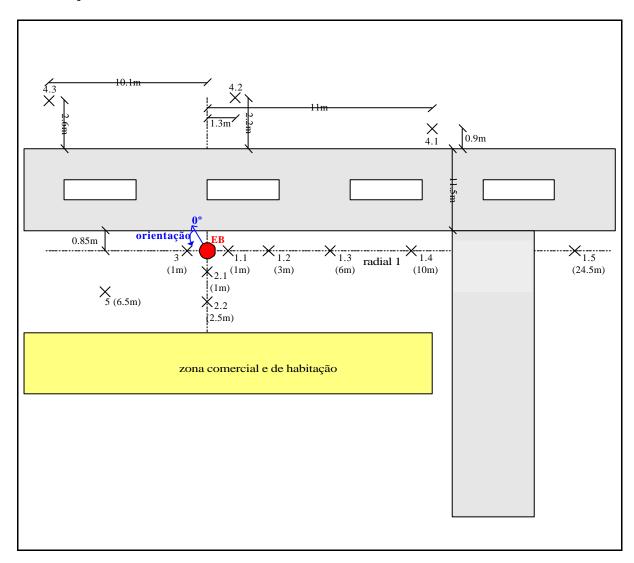
Registo de Medida - Conclusões

	S	Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:	1.80		0.18
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	=:	31.11	-50.98
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicavei)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800 (quando aplicável) Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Não		
ž .	Sim		
(quando aplicável)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)	Não		

G.14 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 17 1	Maio 2002	Hora: 11h				
Local: LX	14					
1. Identif	icação do Cenário:					
Descrição:			Tipo de célula:			
Rural	Linha de vista		Pico			
Lubana	Nível da rua		Micro			
Urbano Topo de edifício	Nível da antena		Macro			
Edificio	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
Urbano Torre ou Poste	Nível da rua					
	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro		_ 🔲				
	icação de zonas onde _l s considerados sensíveis	-	habitualmente pessoas Distância aproximada			
Rua ou 1	oraça pública		-	6		
	u infantário					
	l, centro de saúde ou lar					
-	ou campo de jogos					
	/aranda de habitação			3		

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900
Frequência central do canal [MHz]	944
Potência por canal [dBm]	33
N.º máximo de canais	2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	Kathrein K738573
Polarização	

Altura [m]	
Inclinação [°]	0
Azimute [°]	
Dimensões (altura*largura*espessura) [mm]	

5. Factores Radioeléctricos de Outras Fontes de Emissão

Em redor do local de instalação encontram-se múltiplas fontes de emissão, mas foi impossível caracterizá-las ou determinar a distância a que se encontram da EB.

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
1 OSIÇAO	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	1	1.25	0.24	1.79	-26.85	-52.94	-23.73
1.2	3	1.50	0.28	2.00	-25.26	-51.98	-22.77
1.3	6	1.51	0.36	2.36	-25.22	-50.54	-21.33
1.4	10	1.82	0.28	2.38	-23.58	-50.46	-21.26
1.5	24.5	0.90	0.10	1.42	-29.74	-54.95	-25.74
2.1	1	1.16	0.13	1.52	-27.46	-54.36	-25.15
2.2	2.5	1.05	0.15	1.56	-28.40	-54.13	-24.92
3	1	1.33	0.12	1.74	-26.28	-53.19	-23.98
4.1	18	1.01	0.25	1.90	-28.73	-52.42	-23.21
4.2	14.6	1.02	0.15	1.47	-28.59	-54.65	-25.44
4.3	17.2	0.98	0.15	1.49	-28.93	-54.53	-25.32
5	6.5	1.60	0.37	3.43	-24.68	-47.29	-18.08

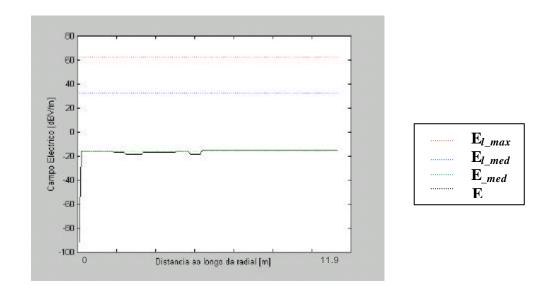
Máximo 3.43

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]		[V/m]			[dB]	
1.1	1	0.15	0.03	0.18	-49.14	-76.57	-47.33
1.2	3	0.13	0.04	0.18	-50.01	-76.57	-47.33
1.3	6	0.17	0.03	0.18	-47.98	-76.57	-47.33
1.4	10	0.14	0.04	0.18	-49.74	-76.57	-47.33
1.5	24.5	0.15	0.02	0.18	-48.96	-76.57	-47.33
2.1	1	0.15	0.03	0.18	-49.06	-76.57	-47.33
2.2	2.5	0.11	0.04	0.18	-51.79	-76.57	-47.33
3	1	0.14	0.04	0.18	-49.44	-76.57	-47.33
4.1	18	0.15	0.05	0.18	-49.01	-76.57	-47.33
4.2	14.6	0.12	0.05	0.18	-50.57	-76.57	-47.33
4.3	17.2	0.15	0.04	0.18	-48.83	-76.57	-47.33
5	6.5	0.14	0.03	0.18	-49.85	-76.57	-47.33

Máximo 0.18



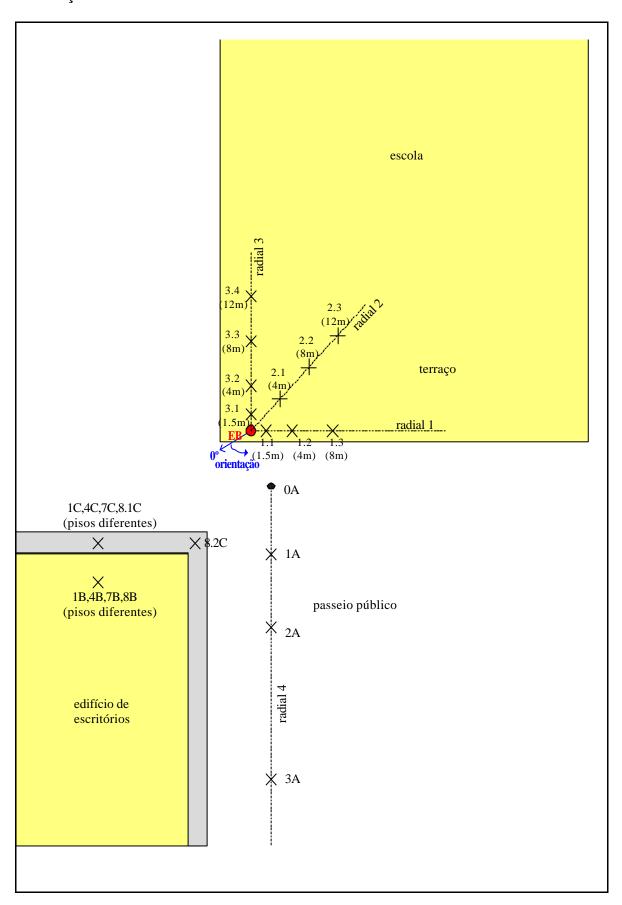
Registo de Medida - Conclusões

	Son	da	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:	3.	43	0.18
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-23.	58	-47.98
Conformidade da EB com os limites:			
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim		
(quando aplicavei)	Não		
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim		
Conformidade da fonte de emissão GSM900 (quando aplicável)	Não		
•	Sim		
(quanto spatial o)	Não		
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim		
(quando aplicável)			
	Não		

G.15 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 17]	Maio 2002	Hora: 15h				
Local: LX	15					
1. Identif	icação do Cenário:					
Descrição:			ר	Гіро de célula:		
Rural	Linha de vista			Pico]	
Urbano	Nível da rua			Micro]	
Topo de edifício	Nível da antena			Macro	l	
Camelo	Penetração no edifício					
	Nível da rua					
Urbano Fachada	Nível da antena					
	Penetração no edifício					
Urbano	Nível da rua					
Torre ou	Nível da antena					
Torre ou Poste	Penetração no edifício					
Interior	Linha de vista					
Outro]	-				
	icação de zonas onde p s considerados sensíveis	odem pern	nanecer hab			utros
		_		Distância aproxin		
Rua ou 1	praça pública				15	
Escola o	u infantário				0	
Hospital	l, centro de saúde ou lar					
Jardim o	ou campo de jogos					
Outro:						

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

5.

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800
Frequência central do canal [MHz]	949.4 / 1872.4
Potência por canal [dBm]	41 / 41
N.º máximo de canais	2/2
Tipo de antena	Sectorial
Referência da antena	In-Snec IN-516215-915-T5 / In-Snec IN-516215-1710-T4
Polarização	Cruzada
Altura [m]	5
Inclinação [°]	0
Azimute [°]	180
Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	2700x320x90
Differences (anara-angura-espessara) [imii]	2700762070
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes	
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes	de Emissão
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes Tipo de serviço	de Emissão GSM
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes Tipo de serviço Banda de frequências [MHz] Distância aproximada [m]	de Emissão GSM 900 / 1800
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes Tipo de serviço Banda de frequências [MHz]	de Emissão GSM 900 / 1800
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes Tipo de serviço Banda de frequências [MHz] Distância aproximada [m]	de Emissão GSM 900 / 1800
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes Tipo de serviço Banda de frequências [MHz] Distância aproximada [m] Tipo de serviço	de Emissão GSM 900 / 1800 15 Radiodifusão (?)
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes Tipo de serviço Banda de frequências [MHz] Distância aproximada [m] Tipo de serviço Banda de frequências [MHz]	de Emissão GSM 900 / 1800 15 Radiodifusão (?) ?
Factores Radioeléctricos de Outras Fontes Tipo de serviço Banda de frequências [MHz] Distância aproximada [m] Tipo de serviço Banda de frequências [MHz] Distância aproximada [m]	de Emissão GSM 900 / 1800 15 Radiodifusão (?) ?

Tipo de serviço	GSM
Banda de frequências [MHz]	900 / 1800
Distância aproximada [m]	150

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

• Medidas no terraço

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
1 OSIÇAO	[m]	[V/m]			[dB]			
0	0	3.70	0.65	4.90	-17.42	-44.19	-14.98	
1.1	1.5	3.04	0.46	4.01	-19.14	-45.93	-16.72	
1.2	4	1.64	0.29	2.16	-24.51	-51.31	-22.10	
1.3	8	1.56	0.30	2.13	-24.92	-51.43	-22.22	
2.1	4	1.43	0.08	1.78	-25.66	-52.99	-23.78	
2.2	8	1.32	0.10	1.71	-26.39	-53.34	-24.13	
2.3	12	1.22	0.09	1.65	-27.05	-53.65	-24.44	
3.1	1.5	2.80	0.50	3.78	-19.86	-46.45	-17.24	
3.2	4	2.02	0.28	2.52	-22.68	-49.97	-20.76	
3.3	8	1.99	0.25	2.47	-22.82	-50.14	-20.93	
3.4	12	2.48	0.18	2.90	-20.88	-48.75	-19.54	

Máximo 4.90

• Medidas no passeio público

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
1 USIÇAU	[m]		[V/m]		[dB]			
1A	*	0.60	0.16	1.64	-33.21	-53.70	-24.49	
2A	*	0.70	0.18	1.36	-31.87	-55.33	-26.12	
3A	*	0.49	0.17	1.39	-34.93	-55.14	-25.93	

Máximo 1.64

• Medidas no edifício vizinho (interior do edifício)

Posição	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
1 osição	[m]	[V/m]			[dB]			
1B	*	0.52	0.08	0.93	-34.47	-58.63	-29.42	
4B	*	2.18	0.47	3.23	-22.00	-47.81	-18.60	
7B	*	1.21	0.24	1.56	-27.16	-54.13	-24.92	
8B	*	0.58	0.19	1.58	-33.55	-54.02	-24.81	

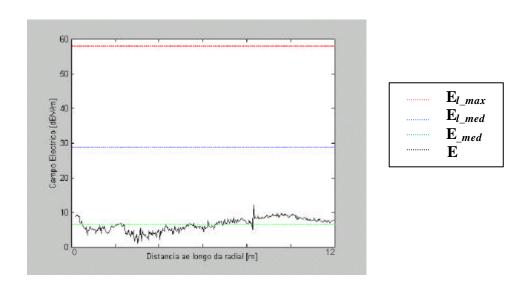
Máximo 3.23

• Medidas no edifício vizinho (exterior do edifício)

Posição	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
1 osição	[m]	[V/m]			[dB]			
1C	*	0.58	0.12	0.97	-33.54	-58.26	-29.05	
4C	*	1.88	0.51	3.01	-23.28	-48.43	-19.22	
7C	*	1.25	0.24	1.69	-26.86	-53.44	-24.23	
8.1C	*	0.71	0.09	1.01	-31.80	-57.91	-28.70	
8.2C	*	1.00	0.16	1.30	-28.82	-55.72	-26.51	

Máximo 3.01

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 3



-

^{*} Atendendo à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à base da antena.

Registo de Medida - Resumo dos Resultados (TEMS)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

• Medidas no terraço

GSM900

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
1 OSIÇAO	[m]	[V/m]			[dB]			
0	0	0.18	0.02	0.18	-47.59	-76.54	-47.30	
1.1	1.5	0.17	0.03	0.18	-47.95	-76.54	-47.30	
1.2	4	0.15	0.04	0.18	-49.04	-76.54	-47.30	
1.3	8	0.17	0.02	0.18	-47.78	-76.54	-47.30	
2.1	4	0.14	0.02	0.16	-49.32	-77.54	-48.30	
2.2	8	0.10	0.03	0.14	-52.43	-78.54	-49.30	
2.3	12	0.11	0.04	0.16	-51.35	-77.54	-48.30	
3.1	1.5	0.13	0.03	0.16	-49.98	-77.54	-48.30	
3.2	4	0.07	0.03	0.14	-55.99	-78.54	-49.30	
3.3	8	0.09	0.03	0.13	-53.52	-79.54	-50.30	
3.4	12	0.10	0.03	0.14	-52.89	-78.54	-49.30	

Máximo 0.18

GSM1800

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
i osição	[m]	[V/m]			[dB]			
0	0	0.27	0.08	0.36	-46.78	-73.59	-44.35	
1.1	1.5	0.18	0.08	0.29	-50.59	-75.59	-46.35	
1.2	4	0.20	0.05	0.32	-49.29	-74.59	-45.35	
1.3	8	0.17	0.04	0.23	-51.10	-77.59	-48.35	
2.1	4	0.10	0.05	0.23	-55.24	-77.59	-48.35	
2.2	8	0.08	0.02	0.10	-57.71	-84.59	-55.35	
2.3	12	0.05	0.02	0.11	-61.45	-83.59	-54.35	
3.1	1.5	0.13	0.04	0.18	-53.06	-79.59	-50.35	
3.2	4	0.08	0.03	0.11	-57.31	-83.59	-54.35	
3.3	8	0.07	0.03	0.13	-59.06	-82.59	-53.35	
3.4	12	0.07	0.03	0.14	-58.65	-81.59	-52.35	

Máximo 0.36

• Medidas no passeio público

GSM900

)		Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}	
	Posição	[m]		[V/m]		[dB]			
	1A	*	0.10	0.04	0.14	-52.86	-78.54	-49.30	
	2A	*	0.13	0.04	0.18	-50.27	-76.54	-47.30	
	3A	*	0.12	0.02	0.16	-50.60	-77.54	-48.30	

Máximo

0.18

GSM1800

	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}	
Posição	[m]	[V/m]			[dB]			
1A	*	0.10	0.04	0.16	-55.58	-80.59	-51.35	
2A	*	0.09	0.03	0.14	-56.27	-81.59	-52.35	
3A	*	0.05	0.01	0.07	-62.19	-87.59	-58.35	

Máximo

0.16

• Medidas no edifício vizinho (interior do edifício)

GSM900

0	Posição	Distância [m]	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
	1 USIÇAU			[V/m]		[dB]		
	1B	*	0.07	0.02	0.09	-55.26	-82.54	-53.30
	4B	*	0.18	0.02	0.18	-47.57	-76.54	-47.30
	7B	*	0.16	0.03	0.18	-48.28	-76.54	-47.30
	8B	*	0.07	0.03	0.11	-55.59	-80.54	-51.30

Máximo

0.18

GSM1800

0	Posição	Distância [m]	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
	1 Osição			[V/m]		[dB]		
	1B	*	0.03	0.02	0.06	-65.72	-88.59	-59.35
	4B	*	0.10	0.04	0.18	-55.22	-79.59	-50.35
	7B	*	0.17	0.04	0.23	-50.62	-77.59	-48.35
	8B	*	0.09	0.04	0.18	-56.76	-79.59	-50.35

Máximo

0.23

• Medidas no edifício vizinho (exterior do edifício)

GSM900

) 0	Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	$E_{max}/E_{l_{max}}$	E_{max}/E_{l_med}
	1 osição	[m]	[V/m]			[dB]		
	1C	*	0.12	0.03	0.16	-50.84	-77.54	-48.30
	4C	*	0.18	0.02	0.18	-47.63	-76.54	-47.30
	7 C	*	0.16	0.04	0.18	-48.69	-76.54	-47.30
	8.1C	*	0.11	0.03	0.14	-51.39	-78.54	-49.30
	8.2C	*	0.11	0.03	0.14	-52.08	-78.54	-49.30

Máximo

0.18

GSM1800	Posição	Distância	E_{med}	s	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
	1 USIÇAU	[m]	[V/m]		[dB]			
	1C	*	0.08	0.02	0.10	-57.31	-84.59	-55.35
	4C	*	0.11	0.04	0.18	-54.33	-79.59	-50.35
	7C	*	0.17	0.06	0.25	-51.05	-76.59	-47.35
	8.1C	ж	0.14	0.04	0.20	-52.82	-78.59	-49.35
	8.2C	*	0.12	0.05	0.18	-53 67	-79 59	-50 35

Máximo 0.25

2. Comparação dos resultados obtidos com os limites de exposição a múltiplas fontes de radiação

• Medidas no terraço

Posição	$(E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM1800}$
0	3.8·10 ⁻⁵
1.1	2.5·10 ⁻⁵
1.2	2.4·10 ⁻⁵
1.3	2.4·10 ⁻⁵
2.1	1.5·10 ⁻⁵
2.2	$7.4 \cdot 10^{-6}$
2.3	8·10-5
3.1	1.5·10 ⁻⁵
3.2	$4.4 \cdot 10^{-6}$
3.3	5.7·10 ⁻⁵
3.4	6.5·10 ⁻⁶

• Medidas no passeio público

Posição	$(E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM1800}$
1A	$7.9^{\cdot}10^{-6}$
2A	$1.2^{\cdot}10^{-5}$
3A	$9.3^{\circ}10^{-6}$

• Medidas no edifício vizinho (interior do edifício)

Posição	$(E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM1800}$
1B	$3.2 \cdot 10^{-6}$
4B	$2.1 \cdot 10^{-5}$
7B	$2.4 \cdot 10^{-5}$
8B	4.9·10 ⁻⁶

_

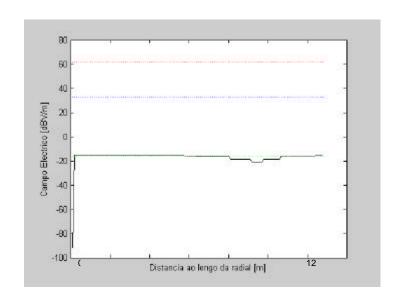
^{*} Devido à geometria do local, não foi possível determinar a distância do ponto de medida à base da antena.

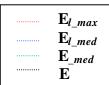
• Medidas no edifício vizinho (exterior do edifício)

Posição	$(E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM900} + (E_{med}/E_{l_med})^2_{GSM1800}$
1C	$1.0^{-10^{-5}}$
4C	$2.1^{\cdot}10^{-5}$
7C	$2.1^{\cdot}10^{-5}$
8.1C	1.2·10-5
8.2C	1.0·10-5

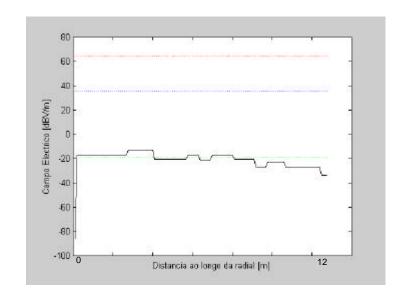
3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2

GSM900





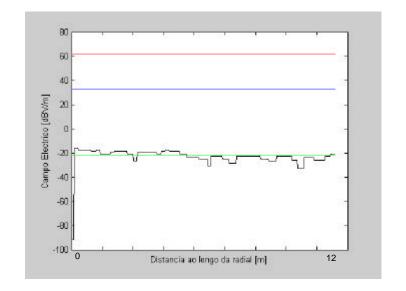
GSM1800

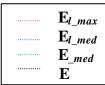




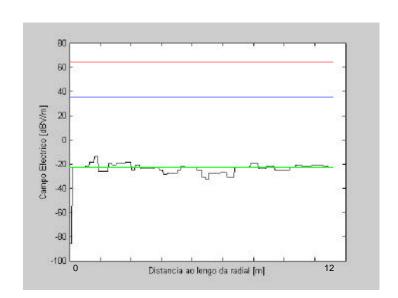
4. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 3

GSM900





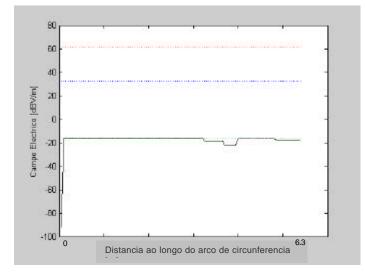
GSM1800





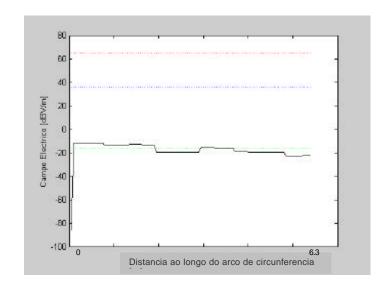
5. Evolução do campo eléctrico ao longo do arco de circunferência que une o ponto 1.1 ao ponto 3.2

GSM900





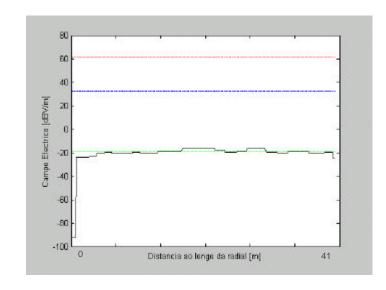
GSM1800



\mathbf{E}_{l_max} \mathbf{E}_{l_med} $\mathbf{E}_{_med}$ $\mathbf{F}_{...}$

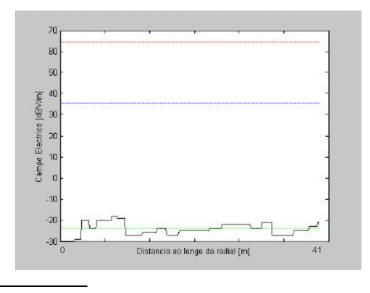
6. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 4^{**}

GSM900





GSM1800





 $^{^{\}ast\ast}$ A distância ao longo da radial é medida em relação ao ponto 0A.

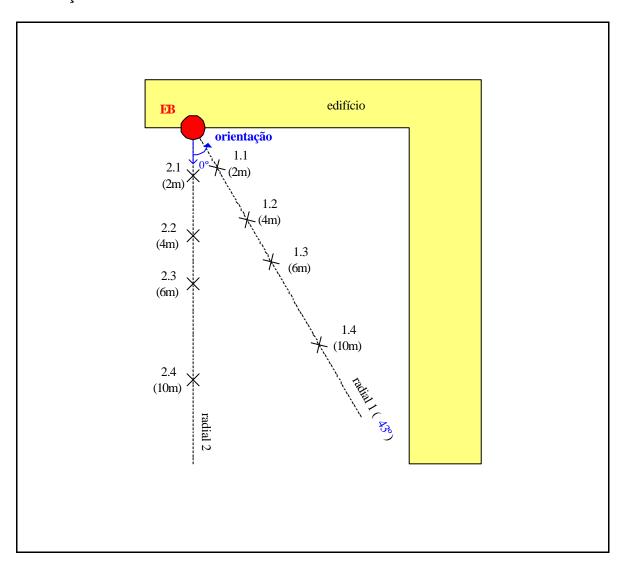
Registo de Medida - Conclusões

T.	Sonda	TEMS
• Terraço		
Valor máximo de E , [V/m]:	4.90	0.18 / 0.36
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-17.42	-47.59 / -46.78
Passeio público		
Valor máximo de E , [V/m]:	1.64	0.18 / 0.16
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-33.21	-50.27 / -55.58
• Edifício vizinho (interior)		
Valor máximo de E , [V/m]:	3.23	0.18 / 0.23
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-22	-47.57 / -50.62
• Edifício vizinho (exterior)		
Valor máximo de E , [V/m]:	3.01	0.18 / 0.25
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-23.28	-47.63 / -51.05
Conformidade da EB com os limites:		
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade da fonte de emissão UMTS	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	

G.16 Registo de Medida – Identificação da EB (1/2)

Data: 6 Ju	unho 2002	Hora: 11h25m			
Local: LX	16				
1. Identif	icação do Cenário:				
Descrição:			Tipo de célula:		
Rural	Linha de vista		Pico		
Llubana	Nível da rua		Micro		
Urbano Topo de edifício	Nível da antena		Macro		
edificio	Penetração no edifício				
	Nível da rua				
Urbano Fachada	Nível da antena				
	Penetração no edifício				
TT 1	Nível da rua				
Urbano Torre ou	Nível da antena				
Poste	Penetração no edifício				
Interior	Linha de vista				
Outro]	_			
	icação de zonas onde pos considerados sensíveis		ecer habitualmente pesso	oas ou outro	
			Distância aproxima	ada [m]	
Rua ou j	praça pública]		
Escola o	ou infantário				
Hospital	l, centro de saúde ou lar				
Jardim o	ou campo de jogos]		
Outro: F	Parque estacionamento		1	15	

3. Esboço do Local de Medida



4. Factores Radioeléctricos da EB

Tipo de serviço	UMTS
Banda de frequências [MHz]	2000
Frequência central do canal [MHz]	
Potência por canal [dBm]	
N.º máximo de canais	
Tipo de antena	Omnidireccional
Referência da antena	
Polarização	Vertical

	Altura [m]	
	Inclinação [°]	0
	Azimute [°]	
	Dimensões (alturaxlarguraxespessura) [mm]	
	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	
5.	Factores Radioeléctricos de Outras Fontes d	e Emissão
	Tipo de serviço	UMTS
	Banda de frequências [MHz]	2000
	1	
	Distância aproximada [m]	5
	Tipo de serviço	GSM
	Banda de frequências [MHz]	900
	Distância aproximada [m]	3

Registo de Medida – Identificação da EB (2/2)

1. Vista Geral



2. Antena Medida



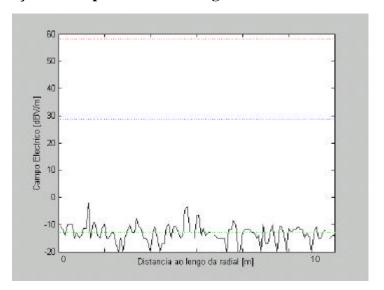
Registo de Medida - Resumo dos Resultados (Sonda EMR)

1. Comparação dos resultados obtidos com os valores de campo eléctrico limite

Posição	Distância	E_{med}	S	E_{max}	E_{med}/E_{l_med}	E_{max}/E_{l_max}	E_{max}/E_{l_med}
1 osição	[m]	[V/m]		[dB]			
1.1	2	0.26	0.13	0.97	-40.37	-58.26	-29.05
1.2	4	0.23	0.12	0.70	-41.42	-61.09	-31.88
1.3	6	0.35	0.43	2.45	-37.83	-50.21	-21.00
1.4	10	0.16	0.12	0.67	-44.79	-61.47	-32.27
2.1	2	0.09	0.14	0.78	-49.87	-60.15	-30.94
2.2	4	0.19	0.13	0.78	-43.12	-60.15	-30.94
2.3	6	0.25	0.16	1.04	-40.79	-57.66	-28.45
2.4	10	0.16	0.17	0.83	-44.48	-59.61	-30.41

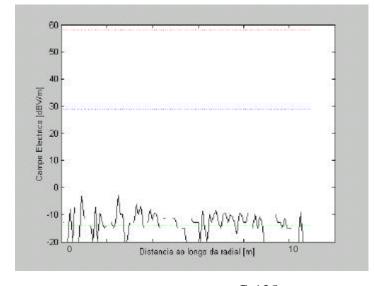
Máximo 2.45

2. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 1



 $\begin{array}{cccc} & & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & \\ & & & \\ & & \\ & & & \\ & \\$

3. Evolução do campo eléctrico ao longo da radial 2



Registo de Medida - Conclusões

	Sonda	TEMS
Valor máximo de E , [V/m]:	2.45	
Mínima diferença em relação ao limite, [dB]	-37.83	
Conformidade da EB com os limites:		
Conformidade da fonte de emissão GSM900	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade da fonte de emissão GSM1800	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
Conformidade do efeito conjunto GSM900/1800	Sim	
(quando aplicável)	Não 🔲	
	a:	
Conformidade da fonte de emissão UMTS (quando aplicável)	Sim	
	Não 🔲	

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.
- [Alex82] Alexander, S.E., "Radio Propagation within Buildings at 900 MHz", *Electronics Letters*, Vol. 18, No. 21, Oct. 1982, pp. 913-914.
- [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.
- [Brin00] Brinca, A.L., Antenas, AEIST, Lisboa, Portugal, 2000.
- [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.
- [Corr02] Correia, L.M., Sistemas de Comunicações Celulares-2, Apontamentos de Sistemas de Comunicações Móveis e Pessoais, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2002.
- [Corr01] Correia,L.M. (ed.), COST259: Wireless Flexible Personalised Communications, John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2001.
- [DaCo99] Damasso, E. and Correia, L.M. (eds.), Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems, COST Telecom Secretariat, European Comission, Brussels, Belgium, 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, July, 1999.
- [Eric02] Signal Strength Measurements in TEMS Mobiles (GSM) White Paper, Ericsson Erisoft AB, Sweden, Feb. 2002.
- [ETSI92] European digital cellular telecommunication system (phase 2) Radio Network Planning Aspects, ETSI/TC-GSM GSM 05.05, European Telecommunications Standard Institute, Sophia-Antipolis, France, Oct. 1992.

- [ETSI96] ETSI Technical Report 053, ETSI TC-RES RTR/RES-11001, European Telecommunications Standard, Sophia-Antipolis, France, Sep. 1996.
- [Free00] Freeden,J., *EMR-20/-30 EMR-200/-300 Operating Manual*, Narda Safety Test Solutions GmbH, Pfullingen, Germany, 2000.
- [Fost01] Foster,K., "Health Effects of RF Energy", in Seminário Exposição Humana a Radiações Electromagnéticas em Comunicações Móveis: Factos ou Fantasias, Lisboa, Portugal, Dez. 2001.
- [GCFP01] Gil,F., Claro,A.R., Ferreira,J.M., Pardelinha,C. and Correia,L.M., "A 3-D Interpolation Method for Base Station Antennas' Radiation Patterns", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 43, No. 2, Apr. 2001, pp. 132-137.
- [HoTo00] Holma,H. and Toskala,A., WCDMA for UMTS-Radio Access For Third Generation Mobile Communications, John Wiley & Sons, UK, June 2000.
- [HoWL99] Hoppe,R., Wölfle,G. and Landstorfer,F.M., "Measurements of Building Penetration Loss and Propagation Models for Radio Transmission into Buildings", in *Proc. of VTC'99 IEEE Vehicular Technology Conference*, Houston, TX, USA, May 1999.
- [IEGM00] IEGMP (2000) Independent Expert Group on Mobile Phones, *Mobile Phones* and *Health*, National Radiological Protection Board, UK, 2000 (http://www.iegmp.org.uk/IEGMPtxt.htm)
- [MoKe88] Motley, A.J. and Keenan, J.M.P., "Personal Communication Radio Coverage in Buildings at 900 MHz and 1700 MHz", *Electronics Letters*, Vol. 24, No. 12, June, 1988, pp. 763-764.
- [MoPa92] Mouly,M. and Pautet,M., *The GSM System for Mobile Communications*, Cell&Sys, Palaiseau, France, 1992.
- [Moul01] Moulder, J., Cellular Phone Antennas (Mobile Phone Base Stations) and Human Health, Medical College of Wisconsin, Wisconsin, USA, June, 2001 (http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html)
- [MuSC95] Murch,R.D., Sau,J.H.M. and Cheung,K.W., "Improved Empirical Modeling for Indoor Propagation Prediction", in *Proc. of VTC'95 IEEE Vehicular Technology Conference*, Chicago, IL, USA, July, 1995.
- [Pars92] Parsons, J.D., *The Mobile Radio Propagation Channel*, Pentech Press, London, UK, 1992.
- [SeRa92] Seidel,S.Y. and Rappaport,T.S., "914 MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 40, No. 2, Feb. 1992, pp. 207-217.

- [ToTP98] Toledo, A.F., Turkmani, A. and Parsons, D., "Estimating Coverage of Radio Transmission into and within Buildings at 900, 1800 and 2300 MHz", *IEEE Personal Communications*, Vol. 5, No. 2, Apr. 1998, pp. 40-47.
- [WoHO00] World Health Organization, *Electromagnetic Fields and Public Health Mobile Telephones and their Base Station*, Fact Sheet N° 193, Revised June 2000 (http://www.who.int/inf-fs/en/fact193.html)
- [WoHO02] World Health Organization, *The International EMF Project*, 2002 (http://www.who.int/peh-emf/en/)