CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA,

SAÚDE PÚBLICA

E

LINHAS DE ALTA TENSÃO

POR

DOUTOR ENG.º JOSÉ LUÍS C. PINTO DE SÁ

PROFESSOR ASSOCIADO COM AGREGAÇÃO DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Fevereiro de 2008

ÍNDICE

RESUMO EXECUTIVO.....4

1. INTRODUÇÃO.....7

2. CONHECIMENTO CIENTÍFICO COMPROVADO SOBRE O EFEITO DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA 9

2.1. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS **NATURAIS** E O CORPO HUMANO.....9

2.2 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS **ARTIFICIAIS** DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA COM INFLUÊNCIA COMPROVADA SOBRE O CORPO HUMANO: EFEITOS AGUDOS.....11

3. A POSIÇÃO DAS INSTITUIÇÕES RESPONSÁVEIS PELA SAÚDE PÚBLICA SOBRE A EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA.....19

3.1 A POSIÇÃO DA ICNIRP EM 1998: DEFINIÇÃO DE LIMITES BÁSICOS E DE VALORES DE REFERÊNCIA.....19

3.2 A RECOMENDAÇÃO EUROPEIA 519/EC DE 1999 E A DIRECTIVA 2004/40/EC 22

3.3 A PORTARIA PORTUGUESA 1421 DE 2004.....22

3.4 A NORMA NORTE-AMERICANA IEEE C95.6 DE 2002.....23

3.5 LIMITAÇÕES PRÁTICAS DECORRENTES DO GUIA DA ICNIPR DE 1998/PORTARIA 1421 DE 2004, E DO *STANDARD* IEEE C96.5 DE 2002.....26

4. SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA 28

4.1 INTRODUÇÃO 28

4.2 ESTUDOS EXPERIMENTAIS SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DOS CEMEBF, NOMEADAMENTE SOBRE CANCRO.....31

4.2.1 MECANISMOS BIOFÍSICOS *31*

4.2.2 ESTUDOS BIOLÓGICOS IN VIVO COM ANIMAIS *33*

4.2.3 ESTUDOS BIOLÓGICOS IN VITRO.....*34*

4.3 ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS ATÉ **2007** SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DA EXPOSI-

ÇÃO AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA 34

4.3.1 PATOLOGIAS NÃO-CANCERÍGENEAS 34

4.3.2 LEUCEMIA INFANTIL: ESTUDOS NORTE-AMERICANOS 35

4.3.3 LEUCEMIA INFANTIL: ESTUDOS EUROPEUS ATÉ 2001 39

4.3.4 AS ANÁLISES DE CONJUNTO QUE FUNDAMENTARAM A DECISÃO DA IARC EM 2002 44

4.3.5 2001-2007 E O "ESTUDO DEFINITIVO" DE DRAPER (2005) 47

4.4 DISCUSSÃO CIENTÍFICA DOS RESULTADOS EPIDEMIOLÓGICOS RELATIVOS À LEUCEMIA INFANTIL LINFOBLÁS-TICA AGUDA. 52

4.4.1 OS CRITÉRIOS DE BRADFOR HILL DE 1965 52

4.4.2 ALGUNS FACTOS SOBRE A LEUCEMIA INFANTIL 53

4.4.3 MÉTODO DOS "CASOS-CONTROLOS", "WIRE CODES", ENVIESAMENTOS E INCERTEZAS ESTATÍSTICAS 59

4.4.4 POSSÍVEIS ASSOCIAÇÕES CONFUSORAS DA LEUCEMIA INFANTIL . 68

5. A POSIÇÃO EM 2007 DA OMS SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DOS CEMEBF: ATITUDE PRECAUCIONAL E APELO A MAIS INVESTIGAÇÃO 70

6. TENDÊNCIAS DAS DECISÕES JURÍDICAS EM CASOS DE LITIGAÇÃO E MEDIDAS EM ADOPÇÃO EM VÁRIOS PAÍSES 73

7. REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO PÚBLICA AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA GERADOS PELAS LINHAS DE ALTA TENSÃO 79

7.1. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA A REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO PÚBLICA AOS CAMPOS MAGNÉTICOS GERADOS POR LINHAS AÉREAS E SUBTERRÂNEAS 79

7.1.1 ENTERRAMENTO DAS LINHAS 82

7.1.2 ELEVAÇÃO DA ALTURA DAS LINHAS 83

7.1.3 MODIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DOS APOIOS DOS CONDUTORES . 84

7.1.4 BLINDAGEM MAGNÉTICA DE LINHAS 85

7.1.5 DESDOBRAMENTO DE LINHAS 87

7.1.6 LINHAS CABLADAS E COM ESPAÇADORES, EM MÉDIA TENSÃO 90

7.2. ORDENAÇÃO DAS SOLUÇÕES TÉCNICAS DISPONÍVEIS PELAS SUAS RELAÇÕES CUSTO/BENEFÍCIO 92

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS: COMBINAR A ACÇÃO PEDAGÓGICA COM A OPTIMIZAÇÃO TÉCNICA 97

RESUMO EXECUTIVO

Os Campos ElectroMagnéticos de Extremamente Baixa Frequência (CEMEBF, de 3 Hz a 3 kHz) existem em estado natural no corpo humano e demais seres vivos que com ele partilham o planeta, tendo o campo **geomagnético** a que todos estão expostos uma intensidade superior à da esmagadora maioria das fontes artificiais (cerca de 45 μT na latitude média de Portugal).

A partir de certo nível de intensidade, os CEMEBF de **origem artificial** são capazes de afectar alguns processos fisiológicos do corpo humano, efeitos esses ditos **agudos** e para os quais a comunidade internacional tem reconhecido a conveniência de instituir limites protectores da saúde pública. Em 1998 foram definidos num Guia da **ICNIRP**[1] valores para a limitação dessa exposição a campos variáveis, fielmente vertidos na recomendação do Conselho Europeu 519/EC de 1999 e, mais tarde, na legislação portuguesa, pela portaria 1421 de 2004. São limites muito inferiores aos valores para os quais há registo de danos para a saúde humana e, fora da Europa, têm sido adoptados valores muito mais permissivos, como os estabelecidos pelo IEEE[2] e adoptados na América do Norte, aliás sem carácter obrigatório.

São muito raras as situações em que os valores definidos por estes normativos, contendo elevados factores de segurança, podem ser atingidos pela exposição do público a campos gerados por equipamentos e instalações de energia eléctrica. A recomendação europeia e a portaria portuguesa, por exemplo, para a frequência industrial de 50 Hz estipulam como valores de referência dos campos magnéticos e eléctrico, respectivamente, **100 μT e 5 kV/m**; o limite de campo magnético é praticamente impossível de ser atingido sob qualquer linha aérea de energia existente no país, enquanto a não-ultrapassagem do limite de campo eléctrico requer apenas algum afastamento (poucos metros) dos condutores das linhas de Alta Tensão.

Entretanto, após a publicação dos resultados de uma investigação epidemiológica realizada numa região dos EUA em 1979, surgiram suspeitas, em alguns países, de que os CEMEBF poderiam ter efeitos **crónicos** causadores de um aumento de incidência de **leucemia infantil linfoblástica aguda**, suspeitas que alguma comunidade científica generalizou a um elevado número de patologias. Nos anos seguintes da década de 80, e especialmente na de 90, foram realizadas dezenas de estudos epidemiológicos, tanto na Europa do Norte como na América, alguns de grande envergadura, e também milhares de experiências de natureza laboratorial.

Em 1992 o Congresso dos EUA solicitou à Academia de Ciências do país que estudasse o assunto, o que levou à publicação, em 1997, de um detalhado relatório que concluiu pela inexistência de provas de que os CEMEBF constituíssem algum

---

1 ICNIRP: Comissão Internacional de Protecção contra a Radiação não ionizante. A ICNIRP está integrada na Organização Mundial de Saúde (OMS).

2 IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers.

perigo para a saúde pública, embora reconhecesse a observação de uma associação persistente, em estudos epidemiológicos, entre a proximidade de linhas eléctricas e a leucemia infantil, para a qual não fora, porém, encontrada explicação física ou fisiológica experimentalmente comprovada[3].

Os resultados de todos estes trabalhos foram sendo acompanhados pela OMS[4], levando-a também a considerar que para a esmagadora maioria das patologias não havia indícios de alguma relação com Campos Magnéticos de extremamente baixas frequências. No entanto, em 2000, dois estudos de conjunto de muitas das investigações realizadas, abarcando mais de uma centena de milhões de pessoas ao longo de várias décadas, concluiu, num deles, que se teriam registado 44 casos de leucemia infantil nas populações expostas prolongadamente a campos magnéticos superiores a 0.4 μT (em média geométrica), quando seriam probabilisticamente de esperar de 14 a 35 casos, e no outro que teriam ocorrido 98 casos em populações expostas a campos magnéticos superiores a 0.3 μT (em média aritmética), quando seriam de esperar de 44 a 85. Embora os próprios autores destes estudos tenham admitido estes resultados como susceptíveis de enviesamento por problemas na selecção das amostras populacionais (as famílias dos não-doentes vivendo na proximidade de linhas AT participam menos nos inquéritos que as dos doentes), foram eles que conduziram a *Agência Internacional para a Investigação do Cancro* (IARC) em **2002**, apoiada pela OMS, a aceitar a **possibilidade** de poder haver um aumento de incidência de leucemia infantil para esses valores de campo magnético. Similar posição fora já tomada pela sua congénere norte-americana NIEHS[5] em 1998. Consequentemente, a OMS recomendou a adopção de um princípio de precaução na construção e instalação de novos equipamentos de energia eléctrica.

Desde então foram realizados novos estudos que levaram muito recentemente a OMS a concluir (**Junho de 2007**) que comprovadamente **não existe** qualquer relação entre os Campos Magnéticos e as **doenças cardiovasculares** ou o **cancro da mama**. Porém, um novo estudo de grande envergadura realizado em 2005 no Reino Unido reforçou os indícios de que a proximidade das linhas aéreas de Muito Alta Tensão estará associada a um ligeiro aumento da incidência de leucemia infantil, embora sem evidências de relação com os CEMEBF e tendo o estudo sofrido acusações de graves erros metodológicos. Em 2008 está prevista a sua replicação nos EUA.

Em todo o caso, apesar da prudente posição adoptada pela OMS, são muitos os cientistas que colocam sérias reservas à validade de todos os estudos epidemiológicos realizados no que respeita à leucemia infantil. O principal problema que difi-

---

3 National Research Council, "*Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields*", Academic Press, 1997.

4 OMS (WHO em inglês): Organização Mundial de Saúde.

5 NIEHS: *National Institute for Environmental Health Sciences*. A decisão desta classificação foi tomada por votação de um painel por 19 contra 9 votos e tem sido criticada por diversos Físicos.

culta o estudo da correlação entre campos magnéticos e a leucemia infantil é, antes de mais, o facto desta ser uma doença rara e, por conseguinte, serem diminutas as amostras populacionais de doentes em que se têm baseado as conclusões. De resto, os estudos da etiologia da leucemia infantil suportam a opinião, predominante na comunidade médica científica e que recebeu forte evidência experimental recentemente (Janeiro de 2008), de que na sua origem estará frequentemente uma predisposição genética activada por uma reacção imunológica a agentes infecciosos, visto a doença ter tendência a ocorrer por surtos no espaço e no tempo e haver outros indícios médico-sociais. No entanto, também é certo que existem outros factores activadores da cancerigenação leucémica, como a radioactividade, com a qual, porém, o carácter não-ionisante dos CEMEBF não admite em princípio comparação.

A título ilustrativo do risco em questão, dado que o número de diagnósticos anuais dessa doença tem sido em **Portugal** de cerca de 50, com uma mortalidade de perto de 15, e dado que em Portugal, como na Europa continental em geral, apenas cerca de **0,5%** da população vive na "proximidade magnética" de linhas aéreas, mesmo aceitando como certo o incremento de incidência da doença nessas zonas segundo os estudos referidos, daí só poderá resultar, em média, **um único caso cada quatro anos** associável a linhas de Alta Tensão, número igual ao calculado para a Suécia, com população similar à portuguesa. Destas raras ocorrências poderá resultar, ainda na hipótese de relação causal entre os CEMEBF e a leucemia infantil, **um óbito cada 10 a 25 anos**, dado esta doença ter, hoje em dia e afortunadamente, uma elevada taxa de cura de 70 a 85% - valores que merecem ser comparados com as médias nacionais anuais de **100 mortes de crianças** (menos de 15 anos) **por acidente**, ou de **12 mortes por acidentes de trabalho com electricidade**. É pelo conjunto destas razões que a posição da Organização Mundial de Saúde, reafirmada em Junho de 2007, é a da simples recomendação da adopção de medidas de precaução de custo baixo ou nulo, estabelecidas no diálogo com as populações que se sintam afectadas.

Entretanto, é generalizadamente reconhecida a existência de um problema de **opinião pública** nesta matéria, inclusive pela OMS. Tal problema levou esta Organização a recomendar que as entidades responsáveis invistam cuidadosamente na comunicação social, promovendo o esclarecimento científico e adoptando uma atitude pedagógica e dialogante para com as comunidades que apazigúe os medos públicos, tendo em **2005** produzido mesmo um "guia de diálogo" para a gestão do risco associado aos Campos Magnéticos de extremamente baixa frequência. No contexto deste esforço e seguindo as recomendações de precaução a baixo custo da OMS, tem também a comunidade técnico-científica internacional procurado soluções que permitam reduzir eficazmente os Campos Magnéticos, produzidos pelas linhas de energia eléctrica, com simples modificações da geometria dos condutores. Neste relatório é feita uma resenha das técnicas disponíveis, da sua eficácia e custo relativo, mostrando-se que as dispendiosas soluções de relocalização ou enterramento dos condutores raramente são necessárias, se as reivindicações do público estiverem devidamente informadas e forem quantificadas.

1. INTRODUÇÃO

Os campos eléctricos e magnéticos existem onde quer que a electricidade seja gerada, transmitida ou distribuída em linhas ou cabos de energia, ou usada em dispositivos eléctricos. Desde que o uso da electricidade se tornou uma parte integrante do nosso estilo de vida moderno, estes campos são omnipresentes no nosso ambiente.

A exposição residencial aos campos magnéticos gerados pela energia eléctrica à frequência industrial não varia substancialmente através do mundo. A média geométrica do campo magnético em habitações varia de **0.025 a 0.07 μT** na Europa e de 0.055 a 0.11 μT nos EUA[6]. Os valores médios do campo eléctrico nas habitações situam-se na escala de **algumas dezenas de V/m**. Na vizinhança de certos electrodomésticos, os campos magnéticos instantâneos podem atingir algumas centenas de μT. Perto das linhas de alta tensão, os campos magnéticos podem ir em geral até 20 μT, e os eléctricos até vários kV/m.

Poucas crianças têm exposições, em média temporal, aos campos magnéticos residenciais a 50 ou 60 Hz superando os níveis associados por algumas investigações a um aumento da incidência de leucemia infantil. Aproximadamente 1% a 4 % têm exposições médias acima de 0.3 μT e somente 1% a 2% têm exposições médias excedendo os 0.4 μT, na América do Norte. Na Europa, dado o menor uso de linhas aéreas e a maior tensão de uso residencial da energia eléctrica (230 V, contra 110 V nos EUA), têm-se apenas cerca de **2%** e **0.5%** da população com campos magnéticos respectivamente superiores a 0.2 e a 0.4 μT.

A exposição ocupacional, embora predominantemente o seja a campos à frequência industrial de 50 Hz, pode também incluir contribuições com outras frequências. Verifica-se que as exposições médias ao campo magnético nos locais de trabalho são mais elevadas "em ocupações electrotécnicas" do que em outras, variando por exemplo entre 0.4-0.6 μT para electricistas e electrotécnicos e até cerca de 1.0 μT para trabalhadores de linhas de Alta Tensão, sendo as exposições mais elevadas as suportadas por soldadores, condutores de comboios eléctricos e operadores de serrações (acima de 3 μT). As exposições profissionais máximas ao campo magnético podem atingir até cerca de **10 mT**, o que está invariavelmente associado à presença de condutores transmitindo correntes elevadas. Na indústria da energia eléctrica, os trabalhadores podem ser expostos a campos eléctricos de até 30 kV/m.

Os efeitos sobre a saúde humana destes campos electromagnéticos são um assunto que é amplamente investigado pela pesquisa médica desde há muitas décadas.

---

6 No seguimento, tomar-se-á como unidade do campo eléctrico Volts por metro (V/m), ou Quilovolts por metro (kV/m), e para campos magnéticos a sua intensidade será expressa em Tesla (T), ou em militesla (mT) ou ainda em microtesla (μT). Note-se que em muita literatura se usa o mili-Gauss, tendo-se a relação: 1 mG = 0,1 μT.

Recentemente (**Junho de 2007**), a Organização Mundial de Saúde (OMS), no âmbito de um projecto de Investigação iniciado em 1996[7] e desenvolvido em colaboração com diversas outras entidades relevantes, conhecido como o "***Projecto Internacional de CEM***", publicou uma detalhada monografia de 470 páginas que apresenta os resultados estabelecidos por essa investigação até ao presente[8].

Os próximos capítulos deste relatório baseiam-se fundamentalmente nos resultados publicados na referida monografia e consubstanciam, portanto, o conhecimento científico de validade reconhecida pelas mais altas instâncias mundiais responsáveis pela saúde pública.

7 Entre as organizações associadas ao "*projecto Internacional de CEM*" contam-se, além da Organização Mundial de Saúde (OMS), a Agência Internacional para a Pesquisa do Cancro (IARC) e a Comissão Internacional de Protecção contra Radiações não-ionisantes (ICNIRP), entre outras.

8 A informação apresentada neste capítulo e em geral ao longo deste relatório é totalmente congruente com a extensa (470 páginas) monografia nº 238 publicada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) em Junho de 2007, intitulada "*Extremely Low Frequency Fields Environmental Health Criteria*", e em parte extraída ou adaptada dela.

2. CONHECIMENTO CIENTÍFICO COMPROVADO SOBRE O EFEITO DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELECTRO-MAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA

2.1. CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS **NATURAIS** E O CORPO HUMANO

Todos os seres vivos estão sujeitos ao **campo magnético natural** do planeta, cuja intensidade varia entre os 30 μT (no equador) e os 60 μT (nos pólos); na latitude média de Portugal, vale presentemente cerca de **44 μT**. Este campo, capaz de mover uma peça de ferro magnetizada (princípio de funcionamento das bússolas), é mais intenso do que a esmagadora maioria dos campos de origem artificial a que os seres humanos estão quotidianamente sujeitos, e evidentemente que a vida à face da Terra se desenvolveu adaptando-se a ele. Com excepção de algumas aves e de certos animais aquáticos, que o usam para orientação navegacional, a maioria dos seres vivos não é afectada pela sua presença. Ao contrário da opinião comum, o campo geomagnético não é constante (fig. 2.1), embora varie "devagar".

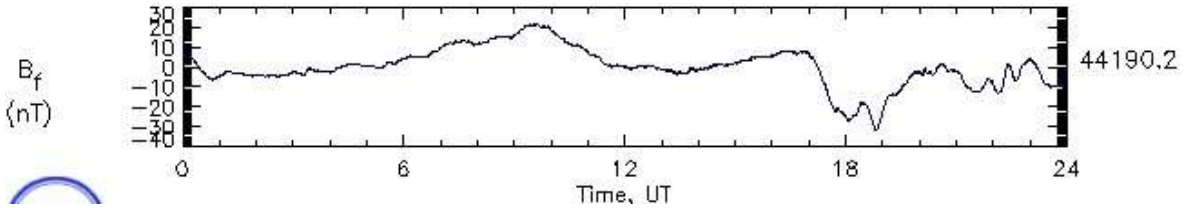

Figura 2.1: Campo geomagnético em Madrid no dia 1 de Fevereiro de 2008 (em nT).

Por outro lado, o **campo eléctrico natural** acima da superfície da terra varia muito com o tempo e o local. A causa primária desse campo é a separação de cargas eléctricas que ocorre entre a terra e a ionosfera, as quais se podem considerar como condutores perfeitos separado pelo ar, um isolante natural. O campo perto da superfície terrestre, com bom tempo, tem uma intensidade típica de aproximadamente **130 V/m**. A intensidade depende geralmente da altitude, da temperatura local, do perfil de humidade e da presença de iões na atmosfera. Foram registados valores de até **400 V/m** na presença de névoa ou de chuva. As mudanças diárias são atribuídas a fenómenos meteorológicos tais como as tempestades, que afectam a taxa de transferência de carga entre a terra e a atmosfera superior.

Variações de até 40 kV/m ocorrem na proximidade de trovoada, embora mesmo na ausência de descargas atmosféricas locais os campos possam alcançar até **3 kV/m**. Dado que o campo eléctrico dominante muda em geral muito lentamente, o fenómeno é descrito frequentemente como "electrostático". Entretanto, uma variedade de processos na atmosfera e na magnetosfera produz um largo leque de campos eléctricos com frequências que atingem até diversos MHz. Os campos relacionados com as descargas atmosféricas têm componentes espectrais inferiores a 1 Hz, mas os componentes de maior amplitude têm frequências de 1 a 30 kHz. Geralmente, o

leque de frequências e de intensidades de campo varia fortemente com a posição geográfica, hora e estação do ano. A intensidade dos campos variáveis no tempo de 5 Hz a 1 kHz e relacionados com as descargas atmosféricas é tipicamente inferior a 0.5 V/m, e as suas amplitudes diminuem geralmente com o crescimento da frequência. A intensidade do campo eléctrico às frequências industriais de 50-60 Hz é de cerca de 0.1 mV/m.

Por outro lado, os campos electromagnéticos estão presentes na própria fisiologia natural do corpo humano.

Com efeito, todos os condutores eléctricos, **incluindo o corpo humano**, têm campos de ruído eléctrico devidos ao movimento aleatório das cargas eléctricas. As três fontes principais de ruído são o térmico que, à temperatura fisiológica usual, produz uma tensão transmembrana de **3 μV**; o ruído 1/f associado às correntes iónicas através das membranas celulares e que tipicamente gera tensões de **10 μV**, e o ruído de disparo ("*shot noise*") resultante da natureza discreta dos canais de carga iónicos. Para uma célula longa (por exemplo, um nervo ou uma fibra muscular) com 1 mm de comprimento e um diâmetro de 25 μm, ou uma célula esférica com 100 μm de diâmetro, a tensão associada ao ruído de disparo é da ordem de **100 mV/m**. A superação deste potencial requer um campo externo aplicado tanto menor quanto maior for a célula, como se ilustra na figura 2.2. Com efeito, para campos ELF o citoplasma comporta-se como um condutor quase perfeito e está todo ao mesmo potencial, sendo a fina mas altamente isolante membrana celular que suporta toda a tensão eléctrica (com uma capacidade desprezável em ELF).

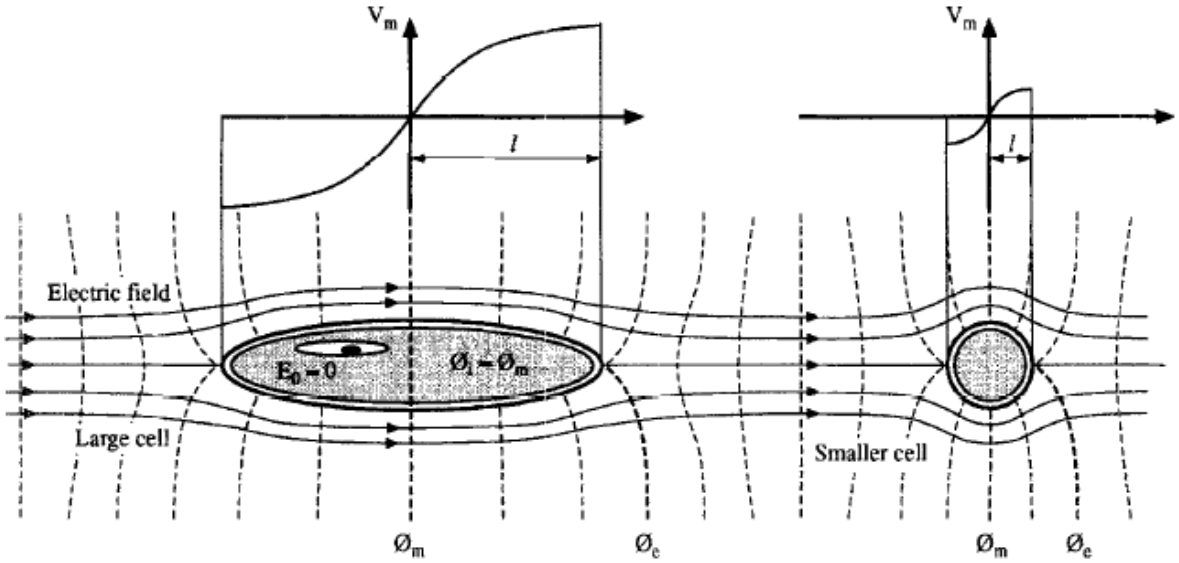

Figura 2.2: Campo eléctrico e linhas equipotenciais sobre células. Nas células longas (músculos estriados dos membros e respectivos nervos, espinal medula, etc), a tensão transmembrana pode ser muito elevada

Por outro lado, nos neurónios o papel dos neuro-transmissores reforça muito o seu carácter eléctrico. Estudos experimentais recentes mostram que o desvio padrão da tensão neuronal permanente é da ordem dos **0.5 mV** e, em geral, os neurónios são

rodeados de concentrações superiores de iões de sódio, cálcio e clorídricos, enquanto internamente predominam os de potássio e outros. Daqui resulta uma carga negativa permanente, em repouso, nos neurónios dos mamíferos, associada a uma tensão de **-60 a -76 mV**. Para muitos neurónios o limiar de tensão estimulante é da ordem de **10 a 15 mV** acima da "tensão de repouso". Muitos cientistas pensam ser improvável que campos aplicados muito inferiores a esses níveis de ruído possam afectar sistemas biológicos.

Entretanto, os campos **eléctricos** externos aplicados são atenuados por um factor de cerca de **10^4 a 10^7** dentro do corpo devido, em grande parte, ao papel da pele e ao facto da própria presença do corpo modificar as linhas de campo. Por este motivo e para pequenas células, induções de campos eléctricos com valores similares aos resultantes do ruído interno, a nível celular, requerem campos externos da ordem de grandeza de 100 kV/m ou 10 mT!

O campo magnético natural, pelo seu lado, sendo quase estacionário induz perturbações mínimas.

2.2 CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS **ARTIFICIAIS** DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA COM INFLUÊNCIA COMPROVADA SOBRE O CORPO HUMANO: EFEITOS AGUDOS

A disponibilidade de computadores com elevado poder de cálculo e de imagens tridimensionais obtidas a partir de aparelhos de ressonância nuclear magnética tem permitido, desde meados dos anos 90, a construção de modelos macroscopicamente detalhados do corpo humano. Existem programas que decompõem o corpo em 8 milhões de voxeis (acrónimo de "pixéis de volume"), conseguindo uma resolução de até 2.0 mm, distinguindo entre 30 tipos de órgãos e tecidos diferentes aos quais são atribuídas diferentes condutividades, e que usam algoritmos baseados em diferenças finitas ou elementos finitos com análise no domínio do tempo e da frequência[9]. O grau de detalhe conseguido é ilustrado na figura 2.3.

A comparação dos resultados de diferentes modelos[10] tem evidenciado que o valor dos campos induzidos nos diversos órgãos do corpo humano por campos eléctricos e magnéticos exteriores depende muito das dimensões e formas do corpo e órgãos e, também, da precisão com que é atribuída a condutividade aos diversos tecidos. Por consequência, devem considerar-se os modelos computacionais produzidos como sendo ainda relativamente grosseiros, fornecendo resultados que podem

---

9 Dawson et al, "*A comparison of 60 Hz uniform magnetic and electric induction in the human body*", Physics in Medicine and Biology. 42: 2319-2329. 1997, referido pelo relatório da OMS (entre outros).

10 M. Stuckly et al, "*Inter-Laboratory Comparison of Numerical Dosimetry for Human Exposure to 60 Hz Electric and Magnetic Fields*", Bioelectromagnetics 21:167-174, 2000.

estar errados numa relação de até 2 para 1.

Figura 2.3: Modelo computacional NAOMI de uma mulher, com 8 milhões de voxeis e resolução de 3.6 mm.

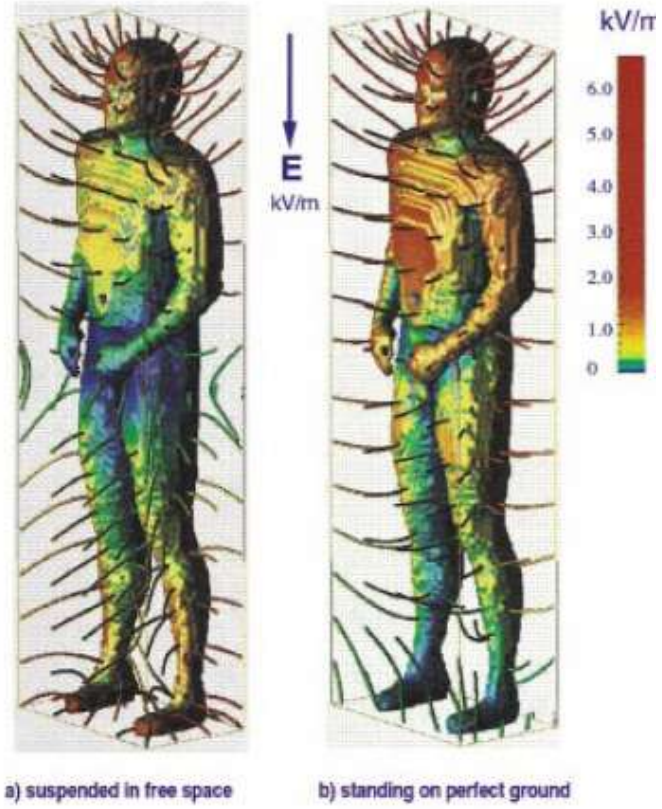

*Figura 2.4: Campo eléctrico e carga superficial num corpo humano sujeito a um campo externo uniforme e **vertical** com 1 kV/m. O corpo modifica substancialmente as linhas de campo.*

Para baixas frequências, o corpo humano é bastante bom condutor e altera substan-

cialmente um campo eléctrico uniforme em que se insira, como já se afirmou e se ilustra na figura 2.4. O principal resultado obtido com o estudo destes modelos, validado com estudos experimentais, é que os campos eléctricos a 50 Hz no interior do corpo humano têm apenas de 10^{-5} a 10^{-7} o valor do campo externo, como já fora afirmado no parágrafo 2.1 a propósito dos campos quase-estáticos. Estes estudos mostram também que o valor destes campos internos depende mais do tamanho, forma e posição do corpo, que da precisão atribuída à condutividade dos seus tecidos celulares. E depende, sobretudo, do facto do corpo se encontrar isolado do solo (calçado) ou, pelo contrário, em bom contacto com ele (descalço).

Na verdade, a penetração dos campos eléctricos exteriores ao corpo humano é muitíssimo atenuada pelas propriedades da pele, o que a torna praticamente uma "blindagem" contra a penetração desses campos. Diversos estudos convergem nos resultados ilustrados na figura 2.5, em que se apresenta a distribuição das densidades de corrente no corpo de um homem de 1,77 m de altura e no de uma criança. Na ilustração 2.6 mostram-se as correntes verticais no corpo de um homem adulto e no de uma criança, sendo constatável que a corrente induzida por um campo exterior de 1 kV/m a 50 Hz atinge o valor de cerca de **18 μA** (nos tornozelos) na pior situação (descalço). Para um corpo calçado, essa corrente é de apenas **7 μA** e ocorre ao nível das ancas.

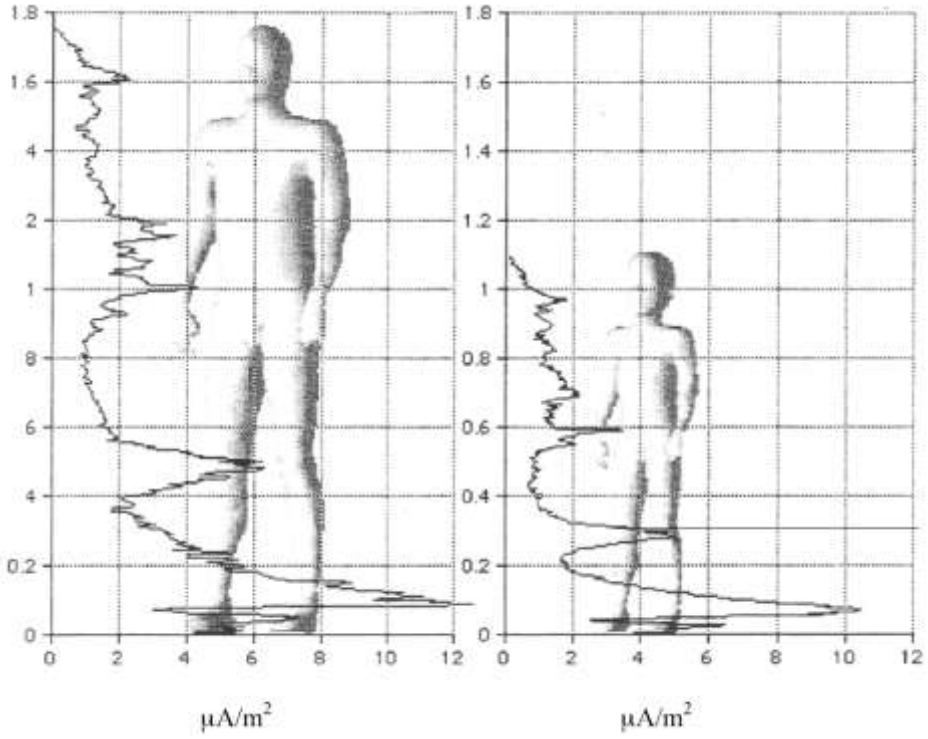

*Figura 2.5: Densidades de corrente máximas (em médias por cm²) ao longo dos corpos de um homem e de uma criança sujeitos a um campo **eléctrico** vertical de 1 kV/m, descalços. O valor máximo é atingido nos tornozelos (12.5 μA/m² no adulto). Excluindo as pernas, é de cerca de 4 μA/m².*

Pode-se também calcular os valores de campo eléctrico no interior dos corpos, por

kV/m exterior de campo. Estes valores são, no máximo, de **50 mV/m** nos ossos, de **2.0 mV/m** no cérebro e de **2.9 mV/m** na espinal medula de um adulto (para um percentil de 99%, descalço – se calçado os valores são cerca de metade), mas de **33 mV/m** na medula óssea de uma criança (descalça).

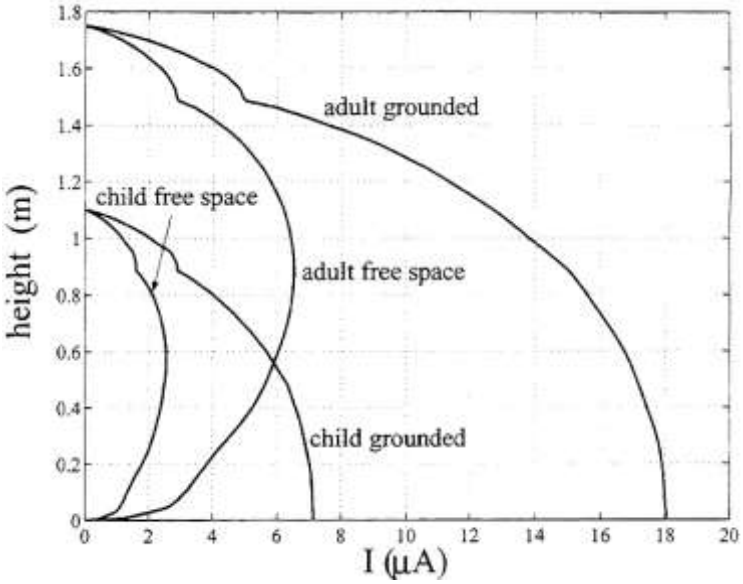

*Figura 2.6: Correntes ao longo das secções dos corpos de um homem e de uma criança descalços e sujeitos a um campo **eléctrico** vertical de 1 kV/m a 50 Hz.*

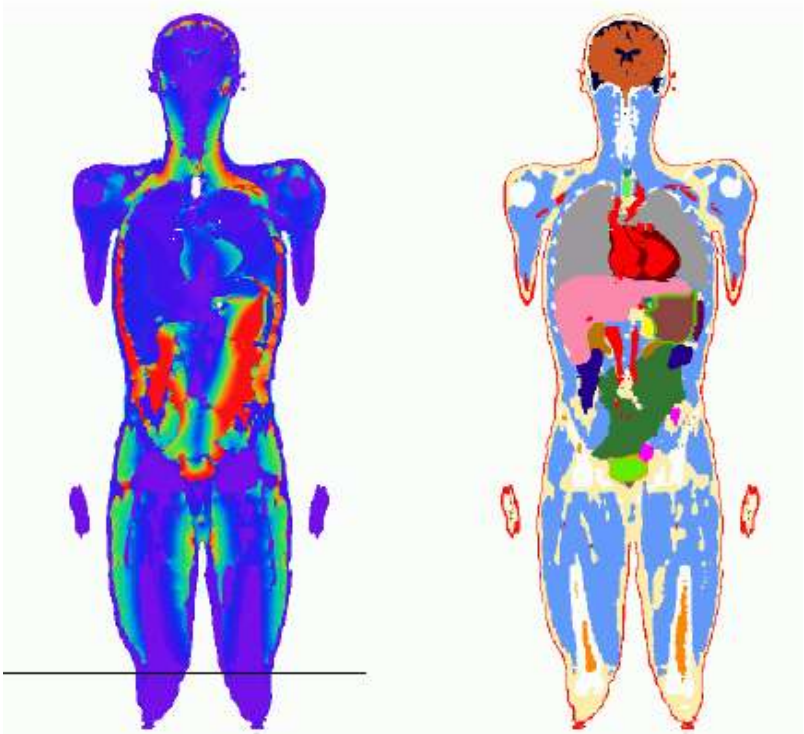

Figura 2.7: mapa de densidades de corrente no corpo de um homem sujeito a um campo magnético frontal. As correntes são maiores (a vermelho) na pele e em certos órgãos internos moles.

Têm também sido realizadas análises similares para os campos magnéticos aplicados a 50 Hz. Nos algoritmos utilizados têm tido especial aplicação os baseados em diferenças finitas de potencial escalar, e o cálculo do efeito do campo magnético é

mais complexo que o do campo eléctrico[11]. A figura 2.7 ilustra o aspecto dos campos induzidos por um campo magnético horizontal frente-verso; as zonas a vermelho representam uma maior intensidade de correntes e as a azul zonas de menor intensidade. Embora as maiores correntes, na generalidade do corpo, se obtenham por campos magnéticos frente-verso, no cérebro, na espinal medula e alguns outros órgãos os máximos verificam-se para campos transversais.

É de realçar que para o campo magnético não se verifica o efeito de "blindagem" da pele, e que a sua penetração induz campos eléctricos no interior do corpo a que se associam correntes, variáveis com a resistividade dos órgãos envolvidos, só se o campo for variável no tempo. É por isso importante a reserva de que o estudo aqui relatado se reporta apenas a extremamente baixas frequências (EBF), de **3 Hz a 3 kHz**, em que se situam as frequências industriais dos equipamentos de energia eléctrica.

A figura 2.8 ilustra valores quantitativos de campo e de corrente induzidos por um campo magnético frontal à frequência industrial.

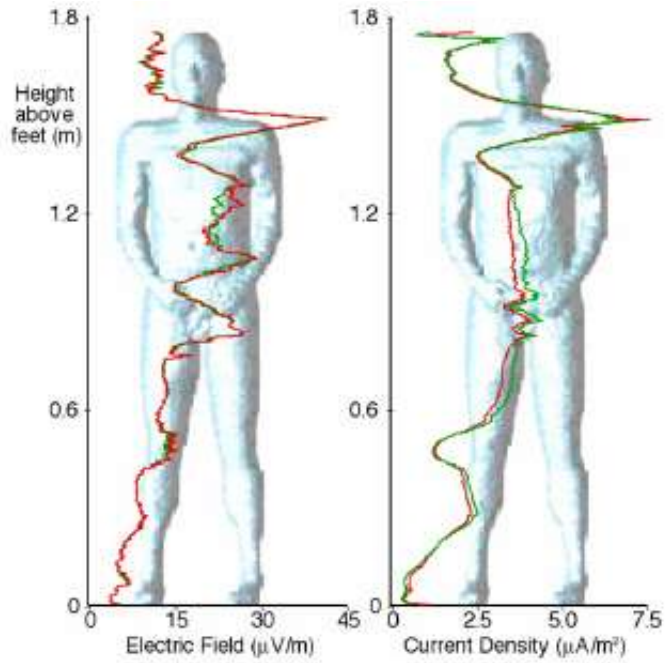

Figura 2.8: Diagramas de campo eléctrico (esquerda) e densidade de corrente (direita) em valor médio por secção horizontal, para um campo magnético frontal e uniforme a 60 Hz, de 1 μT.

De um modo geral, campos eléctricos internos e densidades de corrente similares às produzidas por um campo eléctrico externo de **1 kV/m** a 50 Hz só se obtêm com campos magnéticos de **50 a 200 μT** (o valor exacto depende do órgão).

---

11 Estes dados foram essencialmente extraídos do Capítulo 3 da recente monografia nº 238 da OMS, de algumas das suas referências, e do *paper* "*Are low level, low frequency, electromagnetic fields bad for human health*?", do Dr. Barker, do Departamento de Física Médica e Engenharia clínica do Royal Hallamshire Hospital, publicado pelo IEE em 1998.

Entretanto, numerosos estudos laboratoriais têm sido realizados com o objectivo de avaliar o efeito dos campos electromagnéticos sobre o corpo humano. Estes estudos têm sido praticados quer com voluntários, quer com animais (*in vivo*), e também com preparações laboratoriais de tecidos celulares (*in vitro*), produzindo os resultados que se apresentam de seguida.

A exposição a um campo **eléctrico** variável no tempo pode resultar na sua percepção em consequência da carga eléctrica alternada induzida na superfície do corpo, que faz com que os cabelos vibrem. Diversos estudos mostram que a maioria das pessoas pode **percepcionar** campos eléctricos de 50/60 Hz acima de 20 kV/m, e que só uma pequena minoria o consegue para valores inferiores a 5 kV/m.

Por outro lado, foram registadas pequenas alterações na **actividade cardíaca** em voluntários humanos expostos a campos eléctricos e magnéticos combinados a 60 Hz (**9 kV/m e 20 mT**). O batimento cardíaco em repouso reduziu-se ligeira mas significativamente (de 3 a 5 batidas por minuto), durante ou imediatamente após a exposição. Esta resposta não se verificou na exposição a campos mais intensos (12 kV/m e 30 mT) ou menos (6 kV/m e 10 mT), e reduziu-se se o voluntário estivesse mentalmente alerta. Nenhum dos voluntários destes estudos foi capaz de detectar a presença dos campos, e não houve mais nenhum outro resultado consistente numa larga bateria de testes sensoriais e perceptivos.

Nenhum efeito fisiológico ou psicológico adverso foi observado em estudos de laboratório sobre pessoas expostas a campos a 50 Hz no domínio de **2 a 5 mT**. Não se verificou nenhuma mudança na química **do sangue**, na contagem de glóbulos, no teor de gases dissolvidos, nos seus níveis de lactose, nos electrocardiogramas, electro-encefalogramas, na temperatura da pele ou nos níveis circulantes de hormonas. Estudos recentes em voluntários também não têm mostrado nenhum efeito da exposição aos campos magnéticos a 60 Hz no nível nocturno de melatonina (uma hormona cuja produção se considera ter uma relação com o cancro mamário) no sangue.

Entretanto, é sabido que Campos ElectroMagnéticos de Extremamente Baixa Frequência suficientemente intensos podem suscitar a estimulação periférica directa do tecido muscular e do tecido nervoso periférico, e são usados clinicamente curtos impulsos de campo magnético para estimular os nervos dos membros, a fim de verificar a integridade de caminhos neuronais. A estimulação periférica de nervos e de músculos foi também registada em voluntários expostos a campos magnéticos a 1 kHz, em sistemas experimentais de imagem latente em ressonância magnética; os limiares de campo magnético eram de **vários mT**, e as correspondentes densidades de corrente induzidas nos tecidos periféricos de cerca de **1 mA/m²**, para impulsos de campo rapidamente variáveis. Entretanto, campos magnéticos variáveis no tempo, que induzam densidades de corrente em tecidos celulares acima de **1 A/m²** (mil vezes superiores aos anteriores), são capazes de conduzir à excitação neuronal e de produzir efeitos biológicos irreversíveis, como a fibrilação cardíaca. Num

estudo envolvendo gravações electro-miográficas do braço humano, verificou-se ser necessário um campo pulsante com uma taxa de variação temporal de **10 mil T/s** para estimular o tronco mediano do nervo. Também se verificou que **a duração** do estímulo magnético é um parâmetro importante na estimulação de tecidos excitáveis.

Dos estudos de **funções visuais e mentais** em voluntários humanos, derivam-se limiares inferiores a **100 mA/m²**. Foram registadas alterações na latência de resposta em testes complexos de raciocínio, em voluntários sujeitos a correntes eléctricas a 50 Hz através de eléctrodos colocados na cabeça e nos ombros; estima-se que as densidades de corrente se encontrassem entre **10 e 40 mA/m²**. Finalmente, muitos estudos relataram a existência de voluntários que experimentaram sensações visuais fracas de cintilação, conhecidas como fosfenos magnéticos, durante a exposição a Campos ElectroMagnéticos de Baixa Frequência superiores a de **3 a 5 mT**. Estes efeitos visuais podem também ser induzidos pela aplicação directa de correntes eléctricas fracas à cabeça. Foi estimado que, a **20 Hz**, as densidades de corrente limiares para a suscitação dos fosfenos sejam de cerca de **10 mA/m²** na retina, o que é superior às densidades de corrente endógenas típicas nos tecidos electricamente excitáveis. Para frequências superiores e inferiores, os limiares encontrados foram mais elevados.

De um modo geral, mostrou-se laboratorialmente que campos eléctricos e correntes induzidas, que excedam os níveis dos sinais bio-eléctricos endógenos presentes nos tecidos celulares, causam um certo número de efeitos fisiológicos que aumentam de severidade com o aumento da densidade de corrente induzida.

Foram registados efeitos nas **funções cognitivas do cérebro** e alterações do tecido celular no domínio de densidades de corrente de **10 a 100 mA/m²**. Quando a densidade de corrente induzida excede valores de **100 a várias centenas de mA/m², para frequências entre cerca de 10 Hz a 1 kHz**, são excedidos os limiares de estimulação neuronal e neuro-muscular. As densidades de corrente limiares aumentam progressivamente para frequências abaixo de alguns Hz e acima de 1 kHz. Finalmente, para densidades de corrente extremamente elevadas, acima de **1 A/m²**, podem ocorrer efeitos severos e potencialmente mortais, tais como sístoles cardíacas extra, fibrilação ventricular, tetanização muscular e falha respiratória. A severidade e a probabilidade de irreversibilidade dos efeitos nos tecidos tornam-se maiores com a exposição crónica às densidades de corrente induzidas acima de **10 a 100 mA/m²**.

Por conseguinte, e **é esta a posição da ICNIRP[12] enquanto constituinte da OMS**, parece apropriado limitar a exposição humana a campos electromagnéticos que induzam densidades de corrente superiores a **10 mA/m²** na cabeça, na garganta e no tronco, para a gama de frequências de alguns Hz até 1 kHz, campos esses desig-

12 ICNIRP: "*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*", 1998.

nados neste relatório por CEMEBF (Campos ElectroMagnéticos de Extremamente Baixa Frequência), e por CEM "*ELF*" na literatura científica em língua inglesa. Na verdade, a referência da ICRNIRP é o limiar de 100 mA/m^2, ao qual é depois aplicado um factor de segurança de 10. No entanto, e face à gama de valores acima indicada, a opção pelo valor de 10 mA/m^2 é mais a escolha do limite mínimo dessa gama do que propriamente a de um factor de segurança arbitrário.

3. A POSIÇÃO DAS INSTITUIÇÕES RESPONSÁVEIS PELA SAÚDE PÚBLICA SOBRE A EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA

3.1 A POSIÇÃO DA ICNIRP EM 1998: DEFINIÇÃO DE LIMITES BÁSICOS E DE VALORES DE REFERÊNCIA

A partir dos resultados expostos no capítulo anterior, para os campos electromagnéticos gerados à frequência industrial, a restrição básica derivada pela ICNIRP e pela OMS é, como vimos, a da limitação da densidade de corrente no corpo humano a 10 mA/m^2, valor mínimo para o qual foram identificados efeitos na fisiologia humana, particularmente no sistema nervoso.

Este valor foi estabelecido como o máximo recomendável para os trabalhadores da indústria de electricidade (no cérebro e espinal medula e, portanto, ao nível da cabeça, pescoço e tronco). Porém, para o público em geral, que não é pressuposto ter qualquer instrução específica sobre os riscos associados à electricidade e que inclui um vasto leque de diferentes susceptibilidades fisiológicas, a ICNIRP considerou que o referido limite devia ser reforçado por um factor de segurança confortável, e por isso recomendou a limitação a **2 mA/m^2**.

A definição destes **limites básicos** de densidade de corrente no corpo humano, entretanto, não é de fácil utilidade prática no projecto e na análise de instalações eléctricas e outras situações de exposição humana aos CEMEBF. Por esse motivo, a ICNIRP considerou modelos teóricos que permitissem relacionar aqueles **limites básicos** de densidade de corrente com os CEMEBF mensuráveis nos locais e instalações.

Apesar do desenvolvimento dos modelos computacionais de que se deu breve notícia em 2.2, a opção da ICNIRP foi a de, na incerteza do rigor existente em tais modelos, preferir considerações simplificadas e conservadoras.

Assim, e para o campo magnético B, os modelos adoptados supõem simplesmente que o corpo tem uma condutividade homogénea e isotrópica e considera simples contornos circulares para estimar as correntes induzidas em diferentes órgãos e regiões do corpo, como por exemplo a cabeça, usando a seguinte equação derivada da lei da indução, para um campo sinusoidal puro à frequência f:

$J = \pi r \sigma B f$,

onde B é a densidade do fluxo magnético e r o raio do círculo considerado para a indução da corrente.

Se, por simplicidade, se admitir uma condutividade homogénea de 0.2 S/m para o

corpo humano e uma densidade magnética B do fluxo a 50 Hz de 100 μT, este gera densidades de corrente entre 0.2 e 2 mA/m² na área periférica do corpo. Outras análises mais sofisticadas não conduzem a valores substancialmente diferentes e, por isso, a ICNIRP estabeleceu, de facto, os valores de **100 μT** e de 500 μT como os valores de campo magnético cuja não ultrapassagem garante que os limites básicos de 2 e de 10 mA/m², respectivamente para o público em geral e para os trabalhadores do sector eléctrico, não são excedidos. Estes valores de B são designados por **valores de referência**. Note-se, ainda, que a ICNIRP admite expressamente que os valores de referência possam ser ultrapassados, desde que seja possível garantir a não ultrapassagem dos limites básicos.

Para o campo eléctrico E, por outro lado, a ICNIRP admite que os modelos do campo devem ter em conta o facto de que a carga eléctrica superficial pode variar grandemente, dependendo das condições de exposição e do tamanho, forma e posição do corpo exposto ao campo, tendo como resultado uma distribuição variável e não uniforme das correntes no corpo.

A distribuição induzida da densidade de corrente varia inversamente com a secção transversal do corpo e pode ser relativamente elevada na garganta e nos tornozelos. O nível de **5 kV/m** para a exposição do público em geral corresponde, nas piores circunstâncias, a uma densidade de corrente induzida de aproximadamente **2 mA/m²** na garganta e no tronco, se o vector do campo E for paralelo à linha central do corpo. Por conseguinte, a densidade de corrente induzida por um campo de **5 kV/m** concorda com as limitações básicas sob circunstâncias realistas de exposição nos piores casos, e é esse o valor de referência estabelecido para o campo eléctrico e para o público em geral (figura 3.1).

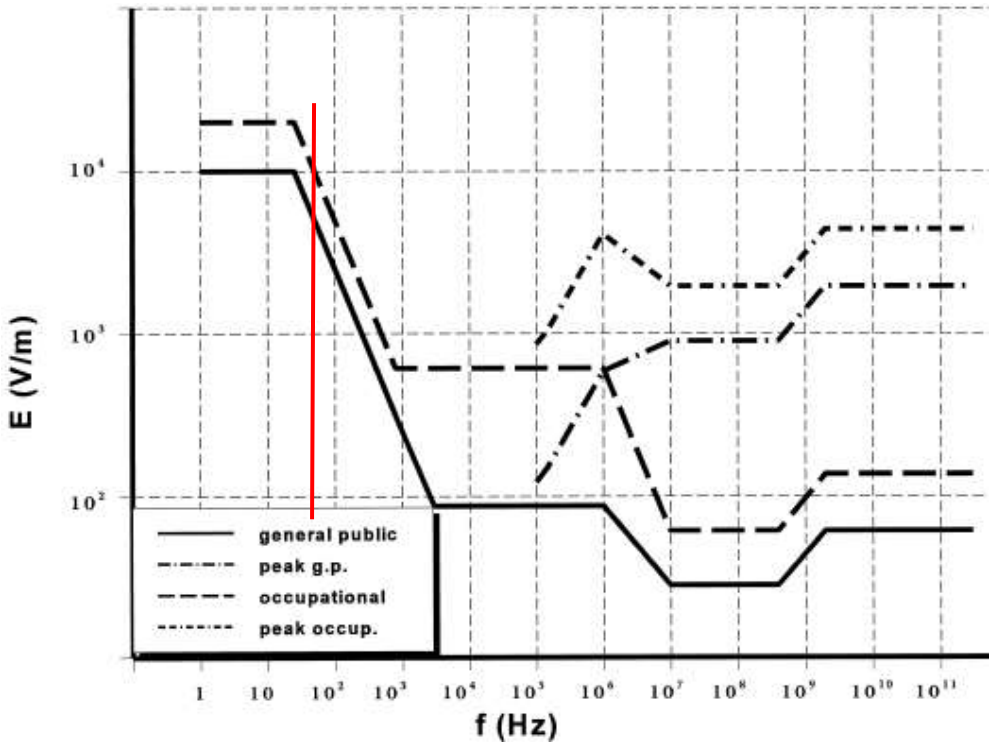

*Figura 3.1: Níveis de referência do campo **eléctrico** em função da frequência para o público em geral (a*

cheio) e para trabalhadores do sector (a tracejado). A traço-ponto, valores ocasionais (ICNIRP, 1998).

Para os trabalhadores da indústria eléctrica, aceita-se uma exposição ao dobro daquele valor, **10 kV/m.**

A ICNIRP esclarece ainda que, obviamente, para efeitos de demonstração de conformidade com as limitações básicas, os níveis de referência para os campos eléctricos e magnéticos devem ser considerados separada e não aditivamente.

Nas figuras 3.1 e 3.2 apresentam-se gráficos extraídos do próprio Guia da ICNIRP. Para as linhas de transmissão e distribuição de energia, em Portugal, interessa essencialmente a frequência de 50 Hz.

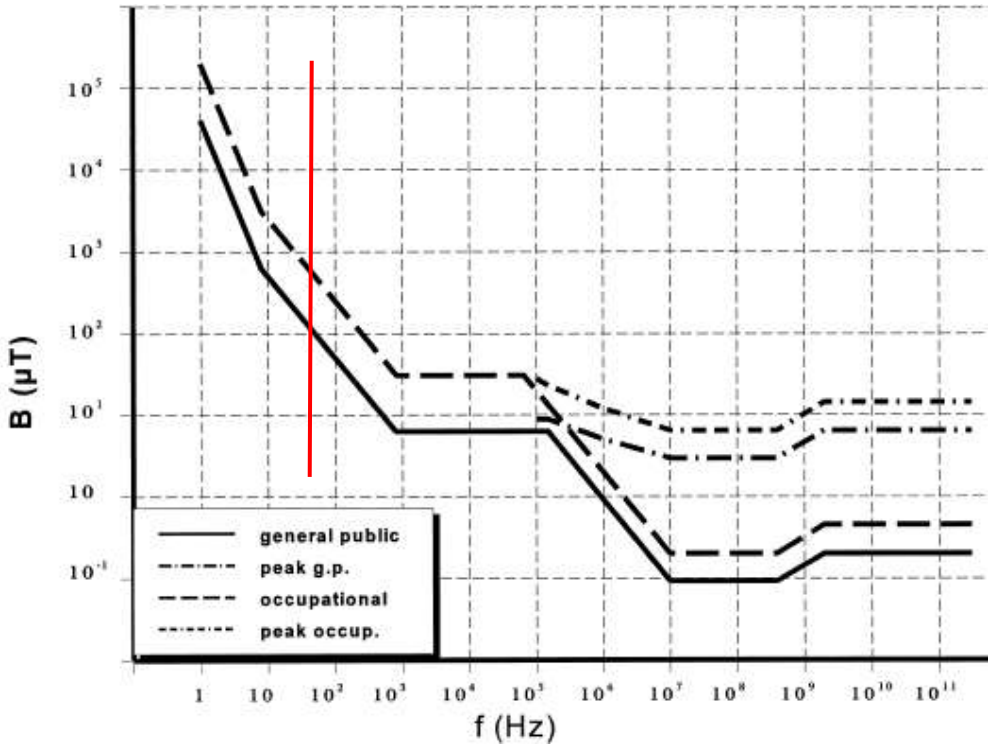

*Figura 3.2: Níveis de referência do campo **magnético** em função da frequência para o público em geral (a cheio) e para trabalhadores do sector (a tracejado). A traço-ponto, valores ocasionais (ICNIRP, 1998).*

Que as hipóteses de cálculo da ICNIRP são prudentes é ilustrado por algumas modelações computacionais recentes[13],[14]. No primeiro estudo referido em rodapé, a densidade de corrente no tronco de um homem com 2 metros de altura de pé no meio-vão de uma linha de 765 kV, em que o campo eléctrico atinge 11.2 kV à altura da cabeça e o valor médio de 5.5 kV, não ultrapassa 0.84 mA/m², ou seja, 40% dos 2 mA/m² tomados como limite básico para o público em geral e atrás justificados.

13 Motrescu at al, "*Simulation of Slowly Varying Electromagnetic Fields in the Human Body Considering the Anisotropy of Muscle Tissues,* IEEE Trans. on Magnetics, April 2006.

14 Gonzalez et a, "*Boundary Element Modeling of the Realistic Human Body Exposed to Extremely-Low-Frequency (ELF) Electric Fields: Computational and Geometrical Aspects*", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Feb. 2007.

Isto, apesar da consideração da anisotropia da condutividade muscular no modelo estudado conduzir a valores de densidade de corrente máximos superiores aos dos modelos isotrópicos mais simples! No segundo estudo, porém, a deformação do campo eléctrico exterior resultante da presença humana é também convenientemente modelada, e com isso evidencia-se que os referidos limites continuam a ser seguros mas não com margens de segurança tão grandes. Não há, ainda, estudos publicados que combinem toda a complexidade real dos modelos.

3.2 A RECOMENDAÇÃO EUROPEIA 519/EC DE 1999 E A DIRECTIVA 2004/40/EC

A 30 de Julho de 1999, o Jornal das Comunidades publicou uma "*Recomendação do Conselho (Europeu) de 12 de Julho de 1999, relativa à limitação da exposição da população aos campos electromagnéticos (0 Hz – 300 GHz)* ", em que recomenda a adopção pelos Estados membros de medidas que garantam a limitação dos campos electromagnéticos a que as populações são expostas. Os valores indicados são uma transcrição perfeita dos valores indicados pela ICNIRP no ano antecedente (1998) e esclarecidos no subcapítulo anterior deste relatório.

Posteriormente, em Abril de 2004, o Parlamento Europeu formulou em termos de directiva obrigatória as indicações da referida recomendação no que se referem aos ambientes ocupacionais (trabalhadores do sector eléctrico).

3.3 A PORTARIA PORTUGUESA 1421 DE 2004

A 23 de Novembro de 2004, o Diário da República I-Série B nº 275 publicou a portaria nº 1421/2004 que adopta para Portugal a Recomendação 519/EC/1999 do Conselho Europeu, mas ainda não o conteúdo da Directiva 2004/40/EC de Abril do mesmo ano, que contém prescrições processuais quanto às obrigações de empregadores e trabalhadores do sector eléctrico.

Os valores de limitação básica e de referência publicados correspondem a uma transcrição perfeita dos valores recomendados pelo Conselho Europeu e, por conseguinte, dos valores indicados pela ICNIRP em 1998 e já explicados anteriormente.

Ou seja, e no que se refere á frequência industrial de 50 Hz utilizada na transmissão e distribuição de energia eléctrica em Portugal:

- O **limite básico** estabelecido, para a população em geral, é o de a densidade de corrente no corpo humano não ultrapassar os **2 mA/m²**.
- O referido limite básico é considerado pela ICNIRP estar garantido se não forem ultrapassados os seguintes **valores de referência** para os campos eléctrico e magnético, respectivamente, em qualquer ponto do corpo de pessoas a eles expostas:

- **5 kV/m** para o campo eléctrico E;
- **100 μT** para o campo magnético B.

Note-se que a Directiva Europeia mencionada deverá entrar obrigatoriamente em efectividade em 1 de Maio de 2008 e que poderá acarretar um considerável impacto sobre alguns procedimentos técnicos habituais, nomeadamente nas Centrais de Produção de Energia, em diversas indústrias[15], e centros de Ressonância Nuclear Magnética.

3.4 A NORMA NORTE-AMERICANA IEEE C95.6 DE 2002

Seguindo uma linha de adopção de investigações realizadas por instituições predominantemente norte-americanas, ao longo de mais de dez anos, o *Institute of Electrical and Electronic Engineers* (IEEE) publicou em 2002 a norma IEEE C95.6, intitulada "*IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz*".

É de notar que o IEEE é uma instituição de reconhecida competência internacional que rivaliza com as instituições europeias normalizadoras, e que as suas recomendações técnicas não costumam diferir apreciavelmente das de origem europeia e gozam, frequentemente, de uma preocupação pedagógica superior. Embora não vincule a legislação portuguesa e seja de adopção estritamente voluntária, a norma IEEE C95.6 de 2002 é aqui referida a título de informação complementar de indubitável qualidade técnica.

Em primeiro lugar, e tal como o Guia da ICNIRP de 1998 em que se baseia a legislação portuguesa de 2004, o *standard* do IEEE estabelece limites para os campos electromagnéticos baseados nos **efeitos agudos** destes, mas considera que não há provas de **efeitos crónicos**, nomeadamente cancerígenos, que justifiquem medidas de outro tipo.

Em segundo lugar, há uma notória diferença nas hipóteses científicas admitidas pelo IEEE em comparação com as da ICNIRP, em que o IEEE toma como grandeza determinante da electro-estimulação, não a densidade de corrente eléctrica nos tecidos, mas sim o valor do próprio campo eléctrico, considerando que a outra perspectiva (a da ICNIRP) adiciona uma complexidade desnecessária por requerer a consideração da condutividade dos tecidos celulares.

No entanto, os princípios científicos utilizados são similares, e pode facilmente estabelecer-se uma equivalência entre os limites em densidade de corrente da ICNIRP e os limites em campo eléctrico do IEEE recorrendo a valores típicos de condutividade do corpo humano.

---

15 Vd. a comunicação de Joachim Lange, "*Impact of EU Directive 2004/40/EC on Electrical And Electrochemical Plants limiting Electromagnetic Fields outgoing from 30th April 2008*.", CIRED, Vienna, May 2007.

No entanto, os modelos anatómicos a partir dos quais foram derivados os cálculos dos campos induzidos no corpo humano pelo IEEE e pela ICNIRP são diferentes, em princípio mais precisos e detalhados os primeiros, mais prudentes quanto às incertezas dos modelos os segundos. Estas diferenças levam a que os **valores de referência** dos campos associados aos limites básicos sejam calculados por processos alternativos aos da ICNIRP, conduzindo também a resultados diferentes e mais específicos por órgãos, como se exemplifica na figura 3.3.

Em terceiro lugar, os limites básicos foram, como para a ICNIRP, primeiramente definidos para os trabalhadores do sector eléctrico, e destes derivados depois valores mais restritivos para o público em geral; porém, enquanto a ICNIRP adoptou como **factores de segurança**, respectivamente no que respeita aos campos eléctricos e magnéticos, os valores de 2 e de 5, baseando-se nos extremos da gama de valores reportados pelos estudos experimentais, o IEEE adoptou o factor de segurança comum de 3 deduzido de considerações probabilísticas e de modo a contemplar 99% das pessoas, mas tomando como exactas as considerações teóricas de um único autor. Além disso, o IEEE assumiu uma posição diferente da da ICNIRP no que se refere aos corredores de passagem das linhas aéreas, como será esclarecido adiante.

A principal discrepância entre os dois modelos, porém, é a da frequência a partir da qual se considera que os limiares de sensibilidade começam a crescer: 1 kHz para a ICNIRP, e 20 Hz para o IEEE. É essa discrepância que explica a maioria das diferenças entre as figuras 3.2 e 3.3 e também as da tabela 3.1.

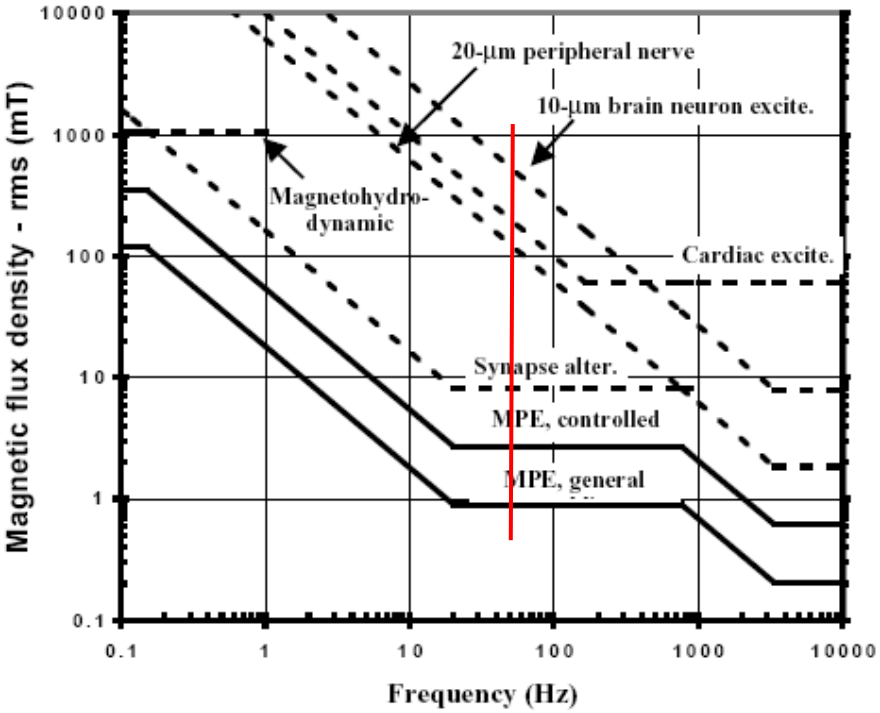

Figura 3.3: Limiares médios para a estimulação adversa de campos magnéticos (tracejado) e limites máximos recomendados (MPE: Maximum Permissible Exposure). (IEEE, 2002).

Os **valores de referência** associados às restrições básicas são, para o IEEE e para a frequência industrial de 50 Hz:

- **Campo eléctrico**: **5 kV/m** para o público em geral e **20 kV/m** para os trabalhadores do sector; porém, admite-se que nos corredores de passagem das linhas aéreas, e supondo que o acesso do público aí só possa ser esporádico, seja aceite o valor de referência de **10 kV/m**.

Nos normativos europeus, os valores correspondentes são, recorde-se, de 5 kV/m para o público em geral (portanto **igual**, mas sem excepções mesmo nos corredores de passagem das linhas aéreas), e de 10 kV/m para os trabalhadores do sector (portanto metade).

- **Campo magnético**: **904 μT** para o público em geral mas só para a cabeça e o tronco, e **2710 μT** para os trabalhadores do sector. Para os membros, os valores de referência são ainda mais tolerantes.

Nos normativos europeus, os valores correspondentes são, recorde-se mais uma vez, de **100 μT** para o público em geral (portanto **muito mais restritivo**), e de **500 μT** para os trabalhadores do sector (também muito mais restritivo), nada se prescrevendo quando aos membros.

Limites (valores de referência)	ICNIRP (1998) / **Europa – 50 Hz**	IEEE (2002) / **América – 60 Hz**
Campo **Eléctrico** para o público em geral	**5** kV/m	**5** kV/m
Campo **Eléctrico** para o público nos corredores de passagem das linhas	**5** kV/m	**10** kV/m
Campo **Eléctrico** para trabalhadores do sector	10 kV/m	20 kV/m
Campo **Magnético** para o público em geral (só cabeça e tronco)	**100** μT	**904** μT
Campo **Magnético** para trabalhadores do sector (só cabeça e tronco)	500 μT	2710 μT

Tabela 3.1 – Limites de referência definidos pela ICNIRP e pelo IEEE

Não é claro se o *standard* do IEEE terá cedido excessivamente ao interesse das companhias de electricidade na manutenção do *statuo quo* ou se, pelo contrário, terá sido a ICNIRP a ceder demais às pressões de políticos ambientalistas, investigadores interessados em obter protagonismo e subsídios, e *media* sensacionalistas. Os comités de trabalho do IEEE são compostos, em regra, por voluntários e têm a preocupação de assegurar o equilíbrio entre os diversos interesses em jogo, mas o IEEE é uma instituição exclusivamente de electrotécnicos, enquanto na ICNIRP a composição dos grupos de trabalho é mais pluridisciplinar e, por outro lado, é patente a sua composição multi-nacional. A apreciação das publicações editadas desde então mostra, no entanto, que a generalidade dos cientistas refere muito mais o Guia da ICNIRP que a norma do IEEE.

De qualquer forma, o facto de, recorrendo ambas a fundamentação aparentemente científica, estas prestigiadas instituições terem chegado a restrições tão diferentes,

nomeadamente no domínio dos campos magnéticos, mostra que, para lá das opções científicas, há, nesta matéria, opções políticas e jurídicas a tomar pelas instituições responsáveis[16].

3.5 LIMITAÇÕES PRÁTICAS DECORRENTES DO GUIA DA ICNIPR DE 1998/PORTARIA 1421 DE 2004, E DO *STANDARD* IEEE C96.5 DE 2002[17]

Os limites mais restritivos para o público em geral são sem dúvida os da ICNIRP. Genericamente, porém, os limites desta, relativos ao campo **magnético,** não deverão ter grande efeito sobre o uso da electricidade, embora alguns equipamentos ou dispositivos de segurança possam exceder estes níveis.

O impacto mais substancial no que respeita às linhas de energia, porém, é o do limite do **campo eléctrico**. Muitas linhas de transmissão em Muito Alta Tensão, a partir de 220 kV, têm campos eléctricos nos corredores de passagem superiores aos valores de referência da ICNIRP. A ICNIRP não prevê qualquer excepção e, por isso, o cumprimento estrito dos seus limites requer que as companhias de electricidade ou reduzam os campos eléctricos, modificando as suas linhas da transmissão, ou tenham que impedir o acesso do público aos corredores de passagem. Ressalva-se, porém, a possibilidade de se demonstrar que a exposição àqueles campos não implica a ultrapassagem dos limites básicos, o que alguns estudos computacionais recentes têm indicado (vd. publicações referidas nas notas de rodapé 13 e 14).

Enquanto o limite do campo eléctrico da ICNIRP poderá afectar linhas com tensões como os 400 kV, a norma do IEEE só terá impacto em linhas de transmissão com campos eléctricos que excedam 10 kV/m, o que abrange um número limitado de situações, para linhas de 500 kV ou superior.

Com efeito, a norma do IEEE considera que um corredor de passagem de uma linha aérea é um ambiente controlado em que, ou as pessoas são conhecedoras da exposi-

---

16 O grupo de trabalho que elaborou o *Standard* do IEEE foi dirigido pelo Prof. Patrick Reilly, um cirurgião à época investigador do laboratório de Física Aplicada John Hopkins e que foi também o principal autor das contribuições teóricas, em fisiologia celular, em que o *Standard* se fundamentou. Que este mereceu o aplauso da generalidade das companhias de electricidade americanas é patente, por exemplo, na declaração de voto favorável do EPRI, o *Electrical Power Research Institute* que conglomera a maioria daquelas empresas. O guia da ICNIRP, por outro lado, foi elaborado sob direcção do Prof. Anders Ahlbom, um epidemiologista sueco do Instituto de Medicina Ambiental do Instituto Karolinska de Estocolmo, cujo trabalho de Investigação epidemiológica foi a contribuição teórica principal em que se baseou a posição da IARC/OMS de 2002, como adiante se referirá com algum detalhe. A OMS requer aos membros dos seus grupos de trabalho a assinatura de uma declaração de possíveis conflitos de interesses.

17 O material deste subcapítulo baseia-se em boa parte no artigo de Reilly e al, "*The IEEE Draft Electric and Magnetic Field Exposures for the Public and Workers, 0 to 3 kHz*", publicado no *Summer Power Meeting* do IEEE, em 2001.

ção e dos seus efeitos potencialmente adversos, ou o seu atravessamento é meramente ocasional e há avisos afixados. Foi por isso que estabeleceu um valor de referência intermédio para o público, nessas zonas.

Para os **campos magnéticos**, o normativo da ICNIRP pode limitar trabalhos de manutenção manual em linhas de transmissão pesadamente carregadas, ou trabalhos em espaços apertados como valas com múltiplos cabos subterrâneos pesadamente carregados, ou próximo de reactâncias com núcleo de ar. Alguns dispositivos de segurança (como os detectores de metais) ou industriais poderão também exceder os limites da ICNIRP. Uma estreita proximidade a alguns quadros eléctricos ou transformadores pode também tornar-se problemática, face aos limites definidos pela ICNIRP, assim como as condições de trabalho na proximidade de aparelhos de ressonância nuclear magnética. Qualquer dos dois normativos requererá, provavelmente, restrições em áreas próximas de reactâncias com núcleo de ar ou de barramentos de Média Tensão existentes entre geradores e os seus transformadores elevadores, com as regras da ICNIRP a serem mais restritivas. O *standard* do IEEE só provavelmente será excedido muito perto de reactâncias com núcleo de ar ou de barramentos de saída de geradores, mas em geral não cria limitações a trabalhos de manutenção manual em tensão.

No que diz respeito aos limites de campo eléctrico, o limite da ICNIRP de 10 kV/m proibirá quase todo o trabalho em linhas de transmissão sob tensão, a menos que os trabalhadores usem fatos condutores[18]. Pelo contrário, o *standard* do IEEE não deverá restringir as actuais práticas de trabalho com varas de "TET" (Trabalhos Em Tensão) e camionetas com gruas.

Naturalmente, o trabalho de manutenção manual em linhas da transmissão sob o *standard* do IEEE também requer um fato condutor, de acordo aliás com a prática existente.

18 Note-se que, como já foi mencionado, a Directiva Europeia 2004/40/EC impõe a observância destes limites nas actividades profissionais a partir de 1 de Maio de 2008!

4. SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA

4.1 INTRODUÇÃO

A possibilidade da exposição a campos electromagnéticos de baixa intensidade aumentar o risco de **cancro** foi sujeita a profusa investigação epidemiológica e experimental nas décadas de 80 e 90, e os seus resultados foram extensamente revistos por grupos de peritos internacionais.

A associação entre a **leucemia infantil** e os **campos magnéticos** das correntes residenciais, identificada primeiramente por Wertheimer & Leeper (1979) e encontrada subsequentemente num certo número de estudos epidemiológicos, promoveu a avaliação experimental e epidemiológica da investigação e do risco neste tema, tendo conduzido em **2002** à classificação dos campos **magnéticos** da corrente eléctrica, pela *International Agency for Research on Cancer* (IARC), como "***possivelmente carcinogénicos para os seres humanos***". Idêntica classificação fora já realizada pelo NIEHS norte-americano[19], em **1998**. Esta avaliação da carcinogenicidade dos CEMEBF tem sido considerada de particular relevância no domínio dos critérios de saúde ambiental, com grande impacto alarmista sobre a opinião pública. Entretanto, um certo número de estudos relevantes foi publicado depois desta avaliação.

Um cancro é um crescimento descontrolado de células que pode invadir e romper tecidos circunvizinhos e espalhar-se pelo corpo através do sangue e dos canais linfáticos. Em contraste com as células normais, as células malignas mostram geralmente, *in vitro*, uma proliferação persistente e autónoma na ausência de qualquer fixação normal (imortalização e crescimento "sem ancoragem"). A carcinogenesis em si própria é um processo com vários estágios e é dividida classicamente em duas fases principais: *iniciação*, que é a indução de mudanças irreversíveis (mutações nos genes), e *promoção*, que é reversível e necessita de ser sustentada por estímulos repetidos à célula inicial. A *promoção* estimula, portanto, o desenvolvimento adicional (consequência) de um tumor.

Considerando os baixos níveis de energia das interacções moleculares, a OMS considera fisicamente altamente implausível que campos de extremamente baixa frequência (CEMEBF) causem danos genéticos directos (isto é, danifiquem as molécu-

---

19 Um dos membros que votou favoravelmente a decisão foi mais tarde acusado pela comunidade científica de falsificação intencional de resultados de investigação que reportavam efeitos celulares dos CEMEBF. Entretanto, em 1992 o Congresso dos EUA solicitou à Academia de Ciências desse país que avaliasse os riscos associados à exposição aos CEMEBF, o que redundou no relatório publicado em 1997 e referido na nota de rodapé nº3. Este relatório pronunciou-se pela falta de provas conclusivas quanto a prejuízos para a saúde pública dos CEMEBF.

las de ADN de que os genes são feitos). Contudo, tem sido teorizado que os CEMEBF poderiam potenciar danos genéticos causados por outras fontes (por exemplo radicais endógenos), ou que interferências epigenéticas (não-genotóxicas) na transdução de sinais poderiam reforçar a formação do cancro. De facto, uma vez que o potencial maligno tenha sido estabelecido num tumor primário, a progressão da doença pode ser influenciada por outros factores, como a vigilância imunitária e a dependência hormonal. Tem sido colocada a hipótese, por isso, de os CEMEBF poderem interferir com estes factores que desempenham um papel no desenvolvimento dos estágios finais da formação de tumores.

De qualquer forma, as considerações da IARC em **2002**, mantidas pela OMS em **2007** face aos resultados de investigações posteriores, como se referirá adiante, e que serviram de base à classificação do campo magnético como "possivelmente cancerígeno", resumem-se no seguinte, segundo a própria OMS:

- Existe uma evidência limitada (sublinhados da OMS) para a carcinogenicidade humana de campos **magnéticos** de frequência extremamente baixa (C**ME**BF), em relação com a **leucemia infantil**.

- Não existe evidência adequada para a carcinogenicidade humana de C**M**BF, **em relação a todas as outras formas de cancro**.
- Não existe evidência adequada para a carcinogenicidade humana de campos eléctricos e magnéticos estáticos e a muito baixas frequências (até 3 kHz).
- Não existe evidência adequada em experiências com animais para a carcinogenicidade de campos **magnéticos** a muito baixas frequências.
- Não existem dados disponíveis relevantes sobre experiências de carcinogenicidade com animais e campos **eléctricos** a muito baixas frequências.

Estas cinco conclusões conduzem ao seguinte sumário:

- Os campos **magnéticos** de extremamente baixas frequências são possivelmente carcinogénicos para os seres humanos (grupo 2B).
- Os campos **eléctricos** de extremamente baixas frequências não são classificáveis quanto à carcinogenicidade humana (grupo 3).

Note-se que, na semântica da IARC, a expressão "*evidência **limitada** de carcinogenicidade*" significa que foi observada uma **associação** positiva para a qual é considerada credível uma interpretação causal, mas que o acaso, o enviesamento ou a confusão nos estudos subjacentes não podem ser excluídos com um grau de confiança razoável.

A expressão "*inexistência de evidência adequada de carcinogenicidade* " indica que ou os estudos subjacentes são de insuficientes qualidade, consistência ou significado estatístico, ou que não existem quaisquer dados sobre cancro para permitirem uma conclusão.

Para uma melhor noção do significado da classificação da IARC, na tabela 4.1 exemplificam-se vários agentes classificados por aquela organização para os três níveis de perigosidade considerados.

Agents Classified by IARC

IARC Classification	Examples of Agents
Carcinogenic to humans (75) (usually based on strong evidence of carcinogenicity in humans)	Asbestos Alcoholic beverages Benzene Mustard gas Radon gas Solar radiation Tobacco (smoked and smokeless) X-rays and Gamma
Probably carcinogenic to humans (59) (usually based on strong evidence of carcinogenicity in animals)	Creosotes Diesel engine exhaust Formaldehyde Polychlorinated biphenyls (PCBs)
Possibly carcinogenic to humans (225) (usually based on evidence in humans which is considered credible, but for which other explanations could not be ruled out)	Coffee ELF magnetic fields Gasoline engine exhaust Glass wool Pickled vegetables Styrene

Tabela 4.1 – Exemplos de classificação da IARC quanto à carcinogenicidade [20]

Como se vê, os CMEBF emparelham em perigosidade atribuída com agentes como o café ou os vegetais de conserva e, na verdade, a classificação de "possibilidade" de carcinogenicidade significa apenas que não está provado que sejam inócuos.

É ainda de sublinhar, de novo, que a classificação da IARC para os CMEBF, corroborada pela OMS, se aplica apenas à **leucemia infantil** e aos campos **magnéticos** e que, como veremos, até ao momento não encontrou qualquer comprovação laboratorial, resultando apenas de estudos epidemiológicos de interpretação estatística polémica.

20 Tabela extraída da apresentação do Dr. Mike Repacholi, Coordenador da OMS para a Radiação e o Ambiente, apresentada num Colóquio realizado no Brasil em Agosto de 2006. Também contida no próprio documento da OMS nº238 publicado em Junho de 2007.

4.2 ESTUDOS EXPERIMENTAIS SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DOS CEMEBF, NOMEADAMENTE SOBRE CANCRO

4.2.1 MECANISMOS BIOFÍSICOS

A OMS examinou vários mecanismos que, directa ou indirectamente, têm sido propostos como plausíveis para explicar eventuais interacções entre os campos eléctricos e magnéticos da corrente, em particular se um "sinal" gerado num processo biológico pela exposição a um campo pode ser discriminado do ruído aleatório inerente à fisiologia celular e se esse mecanismo desafia os princípios científicos e o conhecimento científico actual. Na verdade, muitos mecanismos só se tornam plausíveis em campos acima de uma certa intensidade. No entanto, convém notar que a falta de identificação de mecanismos plausíveis não elimina a possibilidade de efeitos na saúde mesmo com níveis muito baixos de campo, desde que os princípios científicos básicos sejam satisfeitos.

Dos numerosos mecanismos propostos para a interacção **directa** dos campos com o corpo humano, três surgem como operando potencialmente a níveis de campo inferiores aos dos outros: **campos eléctricos induzidos em redes neuronais**, **radicais livres**[21] e **magnetite**.

Os **campos eléctricos induzidos nos tecidos celulares,** pela exposição aos campos eléctrico e magnético da corrente, estimulam directamente fibras de mielina dos nervos, de um modo biofisicamente plausível quando a intensidade do campo eléctrico interno excede **alguns V/m**. Alguns campos muito mais fracos podem afectar a transmissão sináptica em redes neuronais, ao contrário do que sucede em células simples. Este processamento de sinal por sistemas nervosos é usado geral-

---

21 Quimicamente, pode definir-se radical livre como qualquer espécie que contenha (pelo menos) um electrão desemparelhado que ocupe, por si, uma orbital atómica ou molecular. Como exemplos podem referir-se o radical anião superóxido (O2 .-), o óxido nítrico (NO.), o radical hidroxilo (HO.) e o próprio oxigénio molecular (di-oxigénio, O2). Está demonstrado que muitas condições patofisiológicas estão relacionadas com o envolvimento de radicais livres no metabolismo das células vivas. Podem referir-se, como exemplos, o envelhecimento celular, a aterosclerose, a diabetes, várias doenças neurológicas degenerativas e o cancro. Estas perturbações estão associadas ao chamado "stress oxidativo", que se pode definir como um desequilíbrio entre espécies pro-oxidantes e anti-oxidantes num sistema biológico que conduz a um aumento intracelular de espécies oxidantes. O stress oxidativo é um efeito químico, com repercussões biológicas, provocado por espécies ("oxidantes") do meio ambiente sobre os tecidos vivos. As espécies oxidantes responsáveis por este fenómeno podem ser não radicalares, como o peróxido de hidrogénio (H2O2), mas são as radicalares as mais lesivas: (radical anião superóxido (O2 .-), óxido nítrico (NO.) e radical hidroxilo (HO.)). Os agentes do stress oxidativo são de natureza radioactiva ou química. No primeiro caso destacam-se as radiações ionizantes (raios gama, raios X ou electrões acelerados) que produzem danos biológicos por efeito directo (ionização, responsável por 30-40% das lesões celulares) e, sobretudo, por efeito indirecto (geração de radicais livres por radiólise da água, responsável por 60-70% das lesões celulares). [*Do Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, nº 100, Jan./Mar 2006, pag. 66*].

mente por organismos multi-celulares para discriminar sinais ambientais fracos. Já foi sugerido um limite inferior a 1 mV/m nessa capacidade discriminatória das redes neuronais mas, com base nos dados experimentais actuais, parecem mais prováveis limiares à volta de **10 a 100 mV/m**.

O mecanismo do **par de radicais** é um processo aceite em que campos magnéticos podem afectar tipos específicos de reacções químicas, geralmente aumentando a concentração de radicais livres reactivos em campos fracos e diminuindo-a em campos mais fortes. Estes aumentos foram verificados em campos magnéticos inferiores a **1 mT**. Há alguma evidência experimental que liga este mecanismo à navegação migratória de pássaros. Quer por fundamentação teórica, quer por que as mudanças produzidas pelos campos eléctricos e magnéticos de baixa frequência e estáticos são similares, considera-se improvável que campos à frequência industrial muito mais fracos que o campo geomagnético tenham grande significado biológico.

Os cristais de **magnetite**, pequenos cristais termomagnéticos de várias formas do óxido do ferro, encontram-se nos tecidos animais e humanos, embora em quantidades mínimas. Tal como os radicais livres, têm sido associados à orientação e à navegação em animais migratórios, embora a presença de quantidades mínimas de magnetite no cérebro humano não lhe confira capacidade de detectar o campo geomagnético. Cálculos baseados em suposições extremas apontam para um limite, para que haja efeitos sobre os cristais de magnetite por parte dos CEMEBF, pouco inferior a **5 μT**.

Outras interacções biofísicas directas dos campos, tais como a quebra de ligações químicas, forças sobre partículas carregadas e vários mecanismos de "ressonância" em estreitas larguras de banda, não são consideradas como podendo fornecer explicações plausíveis, para interacções, pelos níveis de campo encontrados nos ambientes públicos e ocupacionais.

No que diz respeito a **efeitos indirectos**, a carga eléctrica de superfície induzida por campos eléctricos pode ser percepcionada e pode resultar em micro-choques dolorosos ao se tocar num objecto condutor. Isto produz pequenos campos eléctricos, possivelmente acima dos níveis de ruído de fundo celular, na medula óssea. Porém, desconhece-se se isso apresenta algum risco para a saúde.

Por outro lado, as linhas eléctricas de alta tensão produzem nuvens de iões electricamente carregadas como consequência do "efeito coroa". Há sugestões de que essa ionização poderia aumentar o depósito de poluentes transportados por via aérea na pele e em vias respiratórias dentro do corpo, afectando possivelmente a saúde de forma adversa. Entretanto, parece improvável[22] que os iões do "efeito coroa"

22 A suspeita do papel da ionização do ar provocado pelo "efeito coroa", e o incremento dela decorrente que poderá haver da fixação de poluentes nos canais das vias respiratórias, retomou importância recentemente, depois do "relatório Draper" publicado em 2005 e que será mencionado mais adiante, a propósito dos estudos epidemiológicos.

tenham mais do que um pequeno efeito, se o tiverem, sobre os riscos de saúde a longo prazo, mesmo sobre os indivíduos mais expostos.

A OMS considera que nenhum dos três mecanismos directos considerados acima parece uma causa plausível de aumento de incidência de doenças, para os níveis de exposição geralmente encontrados por pessoas. De facto, só se tornam plausíveis para ordens de grandeza do valor dos campos 5 vezes mais elevadas, e os mecanismos indirectos não foram ainda suficientemente investigados. Esta ausência de identificação de um mecanismo plausível não exclui a possibilidade de efeitos adversos na saúde, mas cria a necessidade de evidências mais fortes provenientes da biologia e da epidemiologia.

4.2.2 ESTUDOS BIOLÓGICOS *IN VIVO* COM ANIMAIS

Não há, actualmente, nenhum modelo animal adequado da forma mais comum de leucemia infantil, a leucemia infantil linfoblástica aguda (LILA).

Três estudos em grande escala com ratos, independentes, não forneceram nenhuma evidência de um efeito dos CEMEBF na incidência de tumores mamários espontâneos. A maioria dos estudos não relata qualquer efeito dos CEMEBF na leucemia ou no linfoma em modelos com roedores, mas de qualquer modo estes não são bons modelos para a leucemia infantil humana. Diversos estudos a longo prazo e em grande escala com roedores também não mostraram nenhum aumento consistente de qualquer tipo de cancro, inclusive tumores no sangue, mamários, do cérebro ou da pele. Na verdade, de quatro grandes estudos com roedores expostos a CEMEBF, um deles detectou um aumento de carcinomas mas dois, pelo contrário, assinalaram uma redução.

Um número substancial de estudos examinou os efeitos de CEMEBF em tumores mamários quimicamente induzidos nos ratos. Foram obtidos resultados inconsistentes que podem ser devidos inteiramente, ou em parte, às diferenças entre protocolos experimentais, tais como o uso de substratos específicos. A maioria dos estudos sobre os efeitos da exposição aos CEMEBF em modelos quimicamente induzidos, ou induzidos por radiação, de leucemia e de linfoma, foram negativos. Os estudos de lesões pré-neoplásicas do fígado, de tumores quimicamente induzidos da pele, e de tumores do cérebro, relataram resultados predominantemente negativos. Um único estudo relatou uma aceleração, pelos CEMEBF, da génese de um tumor na pele induzido por radiações ultra-violetas.

Dois grupos de investigação relataram níveis aumentados de rupturas da sequência de ADN no tecido do cérebro, na sequência de exposição ao vivo a CEMEBF. Contudo, outros grupos, usando uma variedade de modelos de genotoxidade diferentes, em roedores, não confirmaram nenhuma evidência de efeitos genotóxicos. Os resultados dos estudos que investigam os efeitos não-genotóxicos relevantes para o cancro são, por isso, considerados inconclusivos pela OMS.

Globalmente, portanto, e com base nas investigações usando modelos animais vivos, não há nenhuma evidência de que a simples exposição a CEMEBF cause tumores. Por outro lado, a evidência de que a exposição aos CEMEBF possa agravar o desenvolvimento de tumores em combinação com carcinogenes identificados (agravamento de tumores pré-existentes) não é considerada adequada.

4.2.3 ESTUDOS BIOLÓGICOS *IN VITRO*

Em geral, os estudos dos efeitos da exposição das células a campos magnéticos de baixa frequência não mostram nenhuma indução de genotoxidade para intensidades inferiores a **50 mT**. A única excepção notável é a evidência, em estudos recentes, de danos no ADN por intensidades de campo tão baixas como 35 μT; contudo, estes estudos estão ainda presentemente em avaliação, não tendo ainda sido replicados por outros laboratórios, e a compreensão dos seus resultados está incompleta. Há também uma evidência crescente de que os campos magnéticos de baixa frequência poderão interagir com alguns agentes reconhecidamente prejudiciais para o ADN, mas não está demonstrada a sua irreversibilidade.

Não há, entretanto, nenhuma evidência clara de activação dos genes associados ao controlo do ciclo de vida celular. Contudo, na opinião da OMS ainda têm de ser realizados estudos sistemáticos que analisem a resposta do genoma completo.

Muitos outros estudos celulares, por exemplo sobre proliferação celular, apoptose, sinalização por cálcio, comunicação intercelular, expressão proteica aos choques térmicos e transformações malignas, não produziram até ao momento (**2007**) senão resultados inconsistentes ou inconclusivos.

4.3 ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS ATÉ **2007** SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA

4.3.1 PATOLOGIAS NÃO-CANCERÍGENEAS

Variadas patologias têm sido investigadas, combinando não só estudos epidemiológicos com investigações experimentais quer *in vitro*, quer *in vivo* com animais e pessoas, não se tendo concluído, até ao presente (**Junho de 2007**) e na opinião da própria OMS, que exista evidência adequada de correlação com CEMEBF, nomeadamente em:

- Neuro-comportamentos, como a depressão e o suicídio;
- Sistema neuro-endócrino, nomeadamente a produção de melatonina, que tem sido correlacionada com o cancro da mama;
- Patologias neuro-degenerativas, nomeadamente as doenças de Parkinson e Alzheimer, assim como a esclerose múltipla;

- Imunologia e hematologia;
- Reprodução e desenvolvimento.

Por outro lado, e relativamente quer às **doenças cardiovasculares**, quer ao **cancro da mama**, a acumulação recente de estudos permite à OMS afirmar (em 2007) a inexistência de qualquer correlação entre CEMEBF e essas patologias.

Tem sido relativamente ao **cancro,** porém, que têm sido colocadas as maiores suspeitas de correlação patológica entre os CEMEBF e a saúde pública, nomeadamente desde que a IARC classificou o campo magnético como "*possivelmente carcinogénico*", em 2002.

Ora, como nota a própria OMS, a classificação da IARC foi pesadamente influenciada pelas associações observadas em estudos epidemiológicos no que respeita à **leucemia infantil**. Esta associação será, por isso, analisada com maior detalhe no seguimento. Entretanto e relativamente à **leucemia em adultos e ao cancro do cérebro**, únicas formas de cancro para os quais houve a extensão de suspeitas de correlação com os CEMEBF que justificassem investigações, os novos estudos publicados depois da monografia de 2002 da IARC não alteram a conclusão de que a evidência total para uma associação entre os CEMEBF e o risco destas doenças permanece inadequada.

Vale a pena, portanto, considerar com algum detalhe os estudos epidemiológicos relativos à **leucemia infantil** e que conduziram a IARC à classificação do campo magnético como "possivelmente carcinogénico", e que são os referenciados na recente monografia da OMS. No que se segue, a avaliação apresentada dos referidos estudos baseia-se essencialmente na avaliação da própria OMS.

4.3.2 LEUCEMIA INFANTIL: ESTUDOS NORTE-AMERICANOS

Tudo começou com o estudo publicado em **1979**, por Nancy Wertheimer e Ed Leeper, no Colorado, EUA.

Wertheimer, uma epidemiologista que acabava de regressar ao serviço após uma interrupção de 6 anos, recebeu como sugestão a procura de factores ambientais correlacionáveis com leucemia infantil[23]. Wertheimer obteve a lista de todas as crianças falecidas com essa doença no Colorado entre 1950 e 1969 (nessa época ainda não se tinham desenvolvido os tratamentos modernos da doença que permitiram reduzir a sua taxa de mortalidade para os actuais 15 a 30%), e fez um levantamento sistemático **visual** da localização das suas habitações, viajando no seu próprio automóvel e trabalhando a expensas próprias. A dada altura Wertheimer notou que na proximidade das casas (tipicamente vivendas, no Colorado) havia em regra linhas

23 Esta história foi publicada no jornal *The New Yorker*, de 12 de Junho de 1989, e redigida pelo jornalista Paul Brodeur, o qual tem sido apontado por alguns autores como o grande criador do "terror público" relativamente às "radiações electromagnéticas".

eléctricas e pequenos transformadores, como é usual nos EUA, e ocorreu-lhe que pudesse haver uma relação. Nancy Wertheimer avaliou os 155 casos de leucemia infantil registados, dos quais 92 associados a configurações de circuitos de baixa intensidade de corrente eléctrica e 63 a circuitos de alta intensidade, e concluiu que havia uma relação de causa e efeito.

Note-se que a classificação dos condutores não se baseou na medida dos campos por eles gerados nos locais onde viviam as crianças na altura em que adoeceram, mas apenas no seu tipo, nomeadamente tensão, espessura e proximidade das residências. Na verdade, no Colorado é usual montar-se um pequeno transformador sobre um poste nos cantos dos quarteirões para cada duas casas (vivendas) e é também comum a distribuição em linha aérea pelas ruas das povoações, e o que Wertheimer terá verificado é que parecia haver um maior número de casos da doença, cuja epidemiologia investigava, nas casas mais próximas desses postes.

Nancy Wertheimer inventou então um sistema de classificação da "proximidade magnética" das casas relativamente às linhas, que seria mais tarde aperfeiçoado por outros investigadores e se tornaria o método de referência utilizado nos estudos subsequentes realizados nos EUA, a denominada classificação por "*wire codes*" e que descreveremos mais adiante.

O estudo não forneceu nenhuma estimativa de risco relativo; por outro lado, e pelo próprio método utilizado (*wire codes*), também não estabeleceu uma relação quantificada entre a incidência da doença e uma avaliação da exposição aos CEMEBF. Na década subsequente Wertheimer promoveria diversos estudos similares que pretenderam associar os campos magnéticos das linhas de energia a diversas patologias, incluindo o aborto espontâneo, tornando-se uma notória militante anti-"radiações electromagnéticas". Por estas razões, embora pioneiro, o estudo foi considerado como meramente gerador de hipóteses e merecendo pouco crédito científico, pelo que o assunto não viria a ser retomado senão 9 anos depois.

Em **1988** Savitz et al, do Departamento de Epidemiologia da Universidade da Carolina do Norte nos EUA, realizaram um novo estudo, envolvendo 356 casos de leucemia e linfoma (sem distinção), na mesma região do Colorado onde Wertheimer trabalhara, usando telefonemas aleatórios como forma de pesquisa. A sua investigação encontrou um aumento da taxa de incidência de leucemia e também de outras formas de cancro para cerca do dobro na proximidade das linhas AT, mas não sabemos quantos casos ao certo foram contabilizados. No entanto, os próprios autores reconheceram que a percentagem de colaborações com os inquéritos fora pequena e que isso poderá ter enviesado gravemente os resultados. Este estudo mereceu uma maior credibilidade à comunidade científica, despoletando um grande número de estudos epidemiológicos de extensão e qualidade crescentes.

Em **1991**, London & al, todos académicos do Departamento de Medicina preventiva da Escola de Medicina da Universidade da Califórnia do Sul, realizaram um novo estudo, no Condado de Los Angeles, EUA, sobre 164 casos de leucemia em menores

de 10 anos, na verdade 70% dos registados no Condado entre 1980 e 1987.

Os casos investigados corresponderam àqueles cujas famílias aceitaram responder telefonicamente e recorreram a medidas dos campos em alguns dos casos, aqueles onde foi obtida permissão para o efeito; nos casos restantes os investigadores recorreram ao método dos "*wire codes*" para estimar a intensidade dos campos. As conclusões expressas pelos autores foram a impossibilidade de estabelecer uma relação entre **o valor dos campos** medidos e a incidência da doença, mas que haveria uma relação entre esta e a **proximidade** de condutores, usando a mesma classificação de Wertheimer (*wire codes*), assim como, segundo os próprios autores, com o uso de electrodomésticos de potência elevada. Os autores procuraram proceder a uma avaliação estatística dos intervalos de incerteza, usando regressão logística, um método que viria a ser aplicado generalizadamente depois, conforme se apresenta nas tabelas anexas (a primeira para campos medidos, a segunda de acordo com a codificação de Nancy relativa aos condutores). Segundo a apreciação da OMS, esta foi uma análise bem adaptada, mas carecendo de ajustes extra e para a qual a baixa taxa de respostas, assim como o desconhecimento da exposição dos sujeitos que recusaram responder, coloca sérias dúvidas quanto ao valor estatístico dos resultados. Acresce a esta apreciação o facto de os resultados obtidos por medida directa dos campos e por proximidade aos condutores serem diferentes.

Mean magnetic fields (24-h bedroom measurement)		
< 0.067 μT (baseline)	85	1.0
0.068–0.118 μT		
0.119–0.267 μT	35	0.68 (0.39–1.2)
≥ 0.268 μT	24	0.89 (0.46–1.7)
	20	1.5 (0.66–3.3)

Tabela 4.2 – Quadro do estudo de London em Los Angeles. À esquerda valores de campo obtidos por medida, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (para um grau de confiança de 95%).

Wire code		
UG/VLCC (baseline)	31	1.0
OLCC	58	0.95 (0.53–1.7)
OHCC	80	1.4 (0.81–2.6)
VHCC	42	2.2 (1.1–4.3)

Tabela 4.3 – Outro quadro do estudo de London. À esquerda "wire codes" dos condutores próximos, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (para um grau de confiança de 95%).

Como se pode verificar das tabelas, de resto, os próprios autores admitem uma elevada incerteza estatística para os resultados alcançados, definindo um intervalo de confiança, por exemplo, entre 0.66 e 3.3 para a incidência relativa de casos com campos magnéticos superiores a 0.268 μT (uma incidência relativa de 1.0 significa que essa incidência é precisamente igual à verificada na ausência dos campos, e que portanto não há nenhuma relação com esses campos).

Em **1997**, Martha Linet et al, do Instituto Nacional do Cancro dos EUA, alargaram os estudos realizados no Colorado em 1979 e no condado de Los Angeles em 1991 a

nove estados do Nordeste dos EUA, obtendo assim uma amostra populacional muito maior do que nas anteriores investigações nos EUA. O estudo, que criticava aos anteriormente realizados no país os longos lapsos de tempo registados entre a vivência na proximidade das linhas e o diagnóstico da doença, ao contrário do que terá acontecido com este, foi no entanto realizado por inquérito telefónico, envolvendo 408 casos de leucemia. Porém, conforme a apreciação da OMS, a análise não terá sido ajustada para possíveis factores de confusão e teve uma relativamente baixa taxa de respostas. Na tabela 4.4 mostram-se os resultados alcançados e que contrariam os dos estudos anteriores, afirmando os seus autores **a ausência de correlação observada entre campos magnéticos e leucemia infantil**, visto o número de casos registados ser, até, ligeiramente inferior ao expectável na ausência de campos magnéticos.

Wire code		*Matched*
UG/VLCC (baseline)	175	1.0
OLCC	116	1.1 (0.74–1.5)
OHCC	87	0.99 (0.67–1.5)
VHCC	24	0.88 (0.48–1.6)

Tabela 4.4 – Quadro de resultados do estudo de Linet (EUA). À esquerda, "wire codes" dos condutores próximos, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%)

Em **1999**, McBride et al, de organismos estatais para a pesquisa sobre o cancro e de várias Universidades do Canadá, realizaram dois estudos sobre os casos de leucemia infantil ocorridos em 5 províncias, próximas de cidades, de 1990 a 1994 (até 1995 no Quebec e na Colûmbia Britânica). Um dos estudos usou também como referência o tipo de condutores (*wire code*s) em 351 casos, mas outro usou medidas directas, durante 48 horas, envolvendo 293 casos. Porém, o estudo baseou-se também no inquérito pessoal, por carta e/ou telefone, o que lhe faz merecer a apreciação pela OMS de que terá sido uma análise bem ajustada para todos os factores de confusão mas com uma baixa taxa de respostas para o estudo baseado na medida directa dos CEMEBF e, portanto, susceptível de enviesamento.

Porém, os resultados dos estudos dos dois grupos, apresentados nas tabelas 5 e 6, apontam para **a falta de correlação entre campos magnéticos e leucemia infantil**, juntando-se nas conclusões às do outro estudo em larga escala anteriormente mencionado, o de Martha Linet nos EUA, dado que em qualquer dos casos o intervalo de confiança para a incidência relativa estimada inclui a unidade. Note-se, ainda, que os resultados obtidos pelos dois métodos coincidem em ordem de grandeza mas não na precisão das estimativas, como aliás já se verificara no estudo de London et al em 1991.

Como conclusão verifica-se que os estudos norte-americanos de maior envergadura foram negativos no estabelecimento de uma associação entre a leucemia infantil (e outras formas de cancro) e os CEMEBF.

Wire code		
UG (baseline)	79	1.0
VLCC	73	0.70 (0.41–1.2)
OLCC	77	0.76 (0.45–1.3)
OHCC	83	0.64 (0.38–1.1)
VHCC	39	1.2 (0.58–2.3)

Tabela 4.5 – Quadro de resultados do estudo de Mc Bride (Canadá). À esquerda, "wire codes" dos condutores próximos, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%)

Personal monitoring (48-h)		
< 0.08 μT (baseline)	149	1.0
0.08–< 0.15 μT	67	0.57 (0.37–0.87)
0.15–< 0.27 μT	45	1.1 (0.61–1.8)
≥ 0.27 μT	32	0.68 (0.37–1.3)

Tabela 4.6 – Quadro de resultados do mesmo estudo da tabela 10; porém, agora à esquerda, valores medidos de campo, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%)

4.3.3 LEUCEMIA INFANTIL: ESTUDOS EUROPEUS ATÉ 2001

Entretanto, na Europa do Norte viriam também a realizar-se diversas investigações epidemiológicas ao longo dos anos 90 e posteriormente, mas todos usando métodos mais precisos de quantificação da exposição aos CEMEBF que os "*wire codes*". Porém, e devido às diferentes práticas de construção das redes de energia europeias relativamente às norte-americanas, as populações relativas expostas a CEMEBF na Europa são significativamente inferiores às americanas o que, combinado com populações também mais reduzidas, viria a caracterizar os estudos europeus pelos baixos números de doentes identificados.

Assim, em **1993**, Maria Feychting e Anders **Ahlbom**, investigadores epidemiologistas do Instituto Karolinska de Saúde Ambiental da Suécia, estudaram pela primeira vez a incidência relativa da leucemia infantil nos corredores de linhas áreas de alta tensão. A base do estudo consistiu em **todas** as crianças menores de 16 anos que tivessem vivido em propriedades situadas a menos de 300 metros de qualquer das linhas aéreas de 220 e 400 kV da Suécia, durante o quarto de século decorrido de 1960 a 1985. Os sujeitos foram seguidos desde a sua entrada na base de dados do estudo até 1985.

Foi identificado um total de 142 casos de cancro nestas condições, através de uma ligação ao registo sueco de cancros; destes, **39** casos eram de leucemia e 33 de tumores do sistema nervoso central. Foram seleccionados aleatoriamente 558 casos para controlo, como base do estudo. A exposição foi avaliada por medidas de campo pontuais e por cálculos dos campos magnéticos gerados pelas linhas de energia, examinando as distâncias, as configurações das linhas e os consumos. Foi usada informação histórica das cargas nas linhas para calcular os campos magnéticos para o ano mais próximo, no tempo, do diagnóstico. As conclusões foram que, embora

não se identificasse qualquer correlação entre incidência de tumores cerebrais e outras formas de cancro e os CEMEBF, essa correlação se verificava para a **leucemia**. Na tabela 4.7 mostra-se a distribuição dos **38** casos de leucemia considerados, e a avaliação da sua razoabilidade estatística pelos próprios autores.

Calculated historical magnetic fields		
< 0.1 μT (baseline)	27	1.0
0.1–0.19 μT	4	2.1 (0.6–6.1)
≥ 0.2 μT	7	2.7 (1.0–6.3)

Tabela 4.7 – Quadro de resultados do estudo de Ahlbom (Suécia). À esquerda valores medidos ou calculados de campo, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%).

Os resultados, como se vê, apontam para uma **duplicação** da incidência da patologia para campos magnéticos superiores a **0,1 μT**, mas os próprios autores reconhecem que a amostra em causa é pequeníssima: um total de 11 casos, apenas, e que, segundo os valores esperados, deveria ser de apenas 5, mas que se situam em intervalos de incerteza onde também cabe o valor de 1.0, ou seja, o de não haver aumento de incidência!...

É de notar que a Suécia é um país com uma população de 9 milhões de habitantes, um número próximo do de Portugal. Ora, olhando para os resultados desta investigação em termos absolutos, ela afirma que em todo o país, ao longo de 25 anos, podem ter ocorrido 6 casos adicionais de leucemia infantil devido às linhas de Muito Alta Tensão, em média um caso em cada quatro anos…! Mas mesmo este pequeno número é estatisticamente muito incerto, devido à pequenez da amostra, e com 95% de confiança o que se pode afirmar, apenas e de facto, é que os 11 casos registados tanto podem ter sido 3 a menos do que o expectável sem as linhas, como 9 casos a mais[24]…

No mesmo ano de **1993**, Olsen, Nielsen & Shulgen, da Sociedade Dinamarquesa de Cancro, apresentaram os resultados de um estudo muito similar ao sueco acabado de descrever, no que respeita à dimensão da amostra estudada e aos critérios de quantificação da exposição aos CEMEBF das linhas de alta tensão. Foram avaliados 1707 casos de leucemia, tumores cerebrais e linfomas, constituindo 2/3 de todos os cancros infantis verificados na Dinamarca no período de 18 anos entre 1968 e 1986.

Relativamente à **leucemia** infantil, foram analisados 833 casos, concluindo-se pelos

24 Esta afirmação obedece ao seguinte raciocínio: os limites inferiores do intervalos de confiança são de 0.6 e de 1.0 para B, respectivamente em 0.1-0.19 μT e maior ou igual que 0.2 μT, pelo que para esses limites se tem que os valores normais seriam 4/0.6 + 7/1.0 ≈ 14 (visto só haver doentes inteiros), pelo que os 11 casos observados são 3 a menos que o normal. Por outro lado, os limites superiores são, respectivamente, de 6.1 e 6.3 para os mesmos intervalos de B; para esses limites os valores normais seriam 4/6.1 + 7/6.3 ≈ 2, continuando a ser verdade que não existem "fracções de doente". Com este último valor, terão ocorrido 9 casos a mais do que o normal.

resultados da tabela 4.8. Ou seja, para campos magnéticos superiores a 0,1 μT, verificou-se um total de 4 casos quando seria de esperar, caso não existissem as linhas… 4 casos, precisamente! Porém, segundo os cálculos dos autores, deveriam observar-se 2 casos para campos no intervalo de 0,1 a 0,25 μT (1/0.5, da tabela) e outros 2 para campos superiores (3/1.5, da tabela); como se verificaram 3 casos em vez dos 2 esperados neste último domínio (acima de 0,25 μT), os autores concluem que o campo magnético aumenta, de facto, a incidência de leucemia, desprezando a contradição de os mesmos resultados apontarem para uma **redução** do número de leucemias no intervalo de campo magnético de 0,1 a 0,24 μT…! Entretanto, a incerteza estatística dos resultados é tal que só é possível afirmar com 95% de confiança, de facto, que os 4 casos registados são entre 15 a menos e 4 a mais do que seria de esperar, caso não existissem as linhas aéreas…

< 0.1 μT (baseline)	829	1.0
0.1–0.24 μT	1	0.5 (0.1–4.3)
≥ 0.25 μT	3	1.5 (0.3–6.7)

Tabela 4.8 – Quadro de resultados do estudo de Olsen (Dinamarca). À esquerda valores medidos ou calculados de campo, à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%).

No entanto, e tal como considera a OMS, a análise foi bem ajustada para todos os factores de confusão e teve o grande mérito de não ter tido necessidade de contacto com os investigados, não sofrendo por isso de enviesamento das respostas. Vale a pena notar, porém, que a Dinamarca é um país com cerca de metade da população de Portugal (pouco mais de 5 milhões de habitantes), e que **aceitando a opinião dos próprios autores** deste estudo, dele se retira que em toda a Dinamarca, ao longo de 18 anos, o número de casos de leucemia infantil associáveis às linhas eléctricas de Alta e Muito Alta Tensão terá, e talvez, sido de… um!

Em **1997**, Tynes & Haldorsen, investigadores respectivamente do Centro de Pesquisa Epidemiológica do Cancro e da Autoridade para a Protecção contra Radiações da Noruega, fizeram um estudo semelhante aos outros escandinavos mas apenas para 6 dos anos entre 1965 e 1989. Foram analisados 500 casos de cancro infantil, dos quais 148 leucemias. Os resultados obtidos, após tratamento estatístico, estão representados na tabela 4.9

Calculated historical magnetic fields		
< 0.05 μT (baseline)	139	1.0
0.05–< 0.14 μT	8	1.8 (0.7–4.2)
≥ 0.14 μT	1	0.3 (0.0–2.1)

Tabela 4.9 – Quadro de resultados do estudo de Tynes (Noruega). À esquerda valores medidos ou calculados de campo, à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%)

Tal como para os outros dois estudos escandinavos que apresentámos, a OMS considera este bem ajustado para todos os factores de confusão, e valorizado por não ter necessitado de contacto com os investigados. Os resultados, porém, contrariam

os anteriores e especialmente o dinamarquês, já que foram observados 9 casos quando seriam de esperar 8, mas agora foi para os valores de campo superiores que se observou menos do que o esperado – um único caso, quando seriam de esperar 3! Notando que a Noruega tem uma população ligeiramente inferior à dinamarquesa, é de assinalar, mais uma vez, a enorme incerteza estatística dos valores obtidos, de que os autores estão cientes visto que, ao contrário dos seus colegas dinamarqueses, concluem da impossibilidade de estabelecer qualquer relação entre os campos magnéticos e a incidência de leucemia infantil (e aliás também das outras formas de cancro infantil, que também estudaram).

Um conjunto de outros estudos foi-se desenrolando ao longo dos anos finais da década de 90, todos com características semelhantes aos aqui anunciados e com maiores ou menores amostras populacionais. A OMS realça os seguintes, como tendo tido importância para a decisão da IARC em 2002:

Em **1998**, os trabalhos de Michaelis et al, na Baixa Saxónia e em Berlim, envolvendo 176 casos de leucemia infantil. Na Saxónia a observação envolveu os anos de 1988 a 1993, e em Berlim de 1991 a 1994. Os resultados são apresentados na tabela 4.10, e mereceram da OMS a crítica de, tendo-se baseado em inquéritos, terem tido uma baixa taxa de respostas dos inquiridos, especialmente em Berlim, o que os sujeita à possibilidade de enviesamento positivo (predominância de resposta dos familiares cujas crianças afectadas viviam próximo de linhas aéreas). Como é patente, o número de casos envolvidos com campos magnéticos de alguma relevância (acima de 0,2 μT) não foi mais do que **9**, os quais, segundo as estimativas dos autores, deveriam ter sido de apenas 4 se não houvesse a alegada influência das linhas de energia. Isto aponta para uma prática duplicação da incidência da doença mas, dada a pequenez da amostra, o que de facto e mais uma vez é possível afirmar com 95% de confiança e de acordo com o intervalo de confiança indicado pelos próprios autores, é que os 9 casos registados são entre 2 a menos e 7 a mais do que seria de esperar, caso não existissem as linhas aéreas…

Lower Saxony and Berlin (Germany) 176 cases, 414 controls aged 0–14 y	*Median magnetic fields (24-h bedroom measurement)*		
	< 0.2 μT (baseline)	167	1.0
	≥ 0.2 μT	9	2.3 (0.8–6.7)

Tabela 4.10 – Quadro de resultados do estudo de Michaelis (Berlim e Baixa Saxónia). A meio valores medidos de campo, à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%)

Em **1999**, o "Estudo para o Cancro Infantil no Reino Unido", ou UKCCS, realizou uma investigação em larga escala sobre os cancros infantis em todo o Reino Unido, com excepção da Irlanda do Norte; 1073 casos de leucemia infantil, de entre um total de 3838 casos de cancro infantil registados no país, foram investigados quanto à sua proximidade relativamente a linhas de energia. A OMS considera que a análise foi bem ajustada para todos os factores de confusão, mas sofrendo de uma

baixa taxa de respostas. De qualquer forma, e como é visível na tabela 4.11, os resultados deste estudo apontam para uma **correlação negativa** para campos magnéticos inferiores a 0,4 μT (entre 0,1μT e 0,4 μT seriam de esperar, na ausência de linhas, 117 casos, e com estas só se observaram 94), e positiva em cerca de 70% para campos acima de 0,4 μT: seriam de esperar 3 casos e observaram-se 5!... (na verdade, os 5 casos observados tanto poderão ter sido 4 a mais como 7 a menos do que o normal, segundo o próprio intervalo de confiança estimado).

Time-weighted average magnetic fields (1.5–48-h measurement)		
< 0.1 μT (baseline)	995	1.0
0.1–< 0.2 μT	57	0.78 (0.55–1.1)
≥ 0.2 μT	21	0.90 (0.49–1.6)
0.2–< 0.4 μT	16	0.78 (0.40–1.5)
≥ 0.4 μT	5	1.7 (0.40–7.1)

Tabela 4.11 – Resultados do estudo da UKCCS (Inglaterra, Gales e Escócia); à esquerda, valores medidos de campo, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%)

Como estes resultados são contraditórios entre si, e de qualquer modo muito incertos devido à pequenez das amostras, a UKCSS concluiu simplesmente pela **ausência de relação entre campos magnéticos e leucemia infantil**.

Finalmente em **2001**, Schüz et al, do Instituto de Bio-estatística médica, Epidemiologia e Informática da Alemanha, realizaram um estudo abrangendo todo o território da antiga Alemanha Ocidental (com cerca de 50 milhões de habitantes) e relativo a 514 casos, todos os diagnosticados entre 1990 e 1994 e cerca do triplo dos abrangidos pelo anterior estudo alemão, de 1998, na Baixa Saxónia e Berlim. O seu objectivo era tentar confirmar (ou infirmar) os resultados de estudos anteriores. Embora o período analisado abrangesse os anos de diagnóstico de 1990 a 1994, as medições de campo residenciais só foram efectuadas em 1998 e 1999, o que viria a ser razão de crítica pela OMS, por considerar não se poder estabelecer uma relação segura entre a ocorrência da doença e a intensidade dos campos existentes na mesma altura.

Uma das qualidades deste estudo foi o rigor com que foi medido o campo magnético, quer em termos de prolongamento no tempo, quer no número de compartimentos das residências abrangido, embora seja passível, como nota a OMS, ter sofrido de algum enviesamento por parte dos investigados que aceitaram ou não participar no estudo. Em todo o caso, os resultados estão patentes na tabela 4.12 e apontam para um aparente grande incremento da incidência de leucemia infantil para intensidades de campo superiores a 0,4 μT. De facto, pelos cálculos dos autores verificou-se 5.8 vezes o número de casos expectável na ausência das linhas aéreas; porém, o número efectivamente observado foi de… **3**! Independentemente de não fazer sentido falar de 3/5.8 casos expectáveis ("0,51" doentes é algo

absurdo), como os próprios autores calcularam e é patente no intervalo de incerteza da tabela, mais uma vez o que é realmente possível afirmar, com 95% de confiança, é que o número observado, para essas intensidades de campo, foi entre 1 a menos e 3 a mais do que seria expectável na ausência das linhas!

Median magnetic fields (24-h bedroom measurement)		
< 0.1 μT (baseline)	472	1.0
0.1–< 0.2 μT	33	1.2 (0.73–1.8)
0.2–< 0.4 μT	6	1.2 (0.43–3.1)
≥ 0.4 μT	3	5.8 (0.78–43)

Tabela 4.12 – Resultados do estudo de Schüz (Alemanha Ocidental); à esquerda, valores medidos de campo, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de incerteza (grau de confiança de 95%)

Para campos acima de 0,1 μT a estatística é no entanto mais expressiva, abrangendo 42 casos observados para uma expectativa total média de 33, ainda que, na verdade, só seja possível afirmar com 95% de confiança que os 42 casos observados são entre 21 a menos e 21 a mais do que o expectável…

4.3.4 AS ANÁLISES DE CONJUNTO QUE FUNDAMENTARAM A DECISÃO DA IARC EM 2002

Os dez estudos apresentados são aqueles que, dos cerca de **quinze** realizados até 2001 (houve-os também na Finlândia e Nova Zelândia, além de mais alguns nos EUA), maior consideração mereceram à IARC para a sua decisão de considerar os campos magnéticos de extremamente baixa frequência como **possivelmente** cancerígenos. Como é patente, os seus resultados são em geral contraditórios e, sobretudo, com uma incerteza probabilística extremamente elevada associada nas conclusões, a qual resulta da pequena dimensão das amostras populacionais de leucemia infantil.

Na verdade, o grande obstáculo aos estudos epidemiológicos nesta doença é que **a leucemia infantil é uma doença rara**. A este assunto voltaremos no próximo subcapítulo, mas desde já se pode notar que a maioria dos estudos realizados e aqui apresentados envolveram populações muito consideráveis de diferentes países e longos períodos de tempo, e mesmo assim as suas conclusões quase nunca permitem garantir com razoável confiança (95% de confiança) que a incidência relativa da doença na presença de campos magnéticos não seja a unidade, isto é, a mesma que se verifica na ausência desses campos!

Conscientes deste problema, alguns dos autores citados resolveram colaborar na realização de análises conjuntas (*pooled analysis*), isto é, de trabalhos estatísticos que juntassem os resultados e as populações do maior número possível de investigações realizadas, de forma a juntar populações de tal grandeza que permitam produzir conclusões com menor incerteza estatística. Uma das análises conjuntas foi publicada em 2000 e reuniu os resultados de 9 dos 12 trabalhos indicados na figura 4.1.

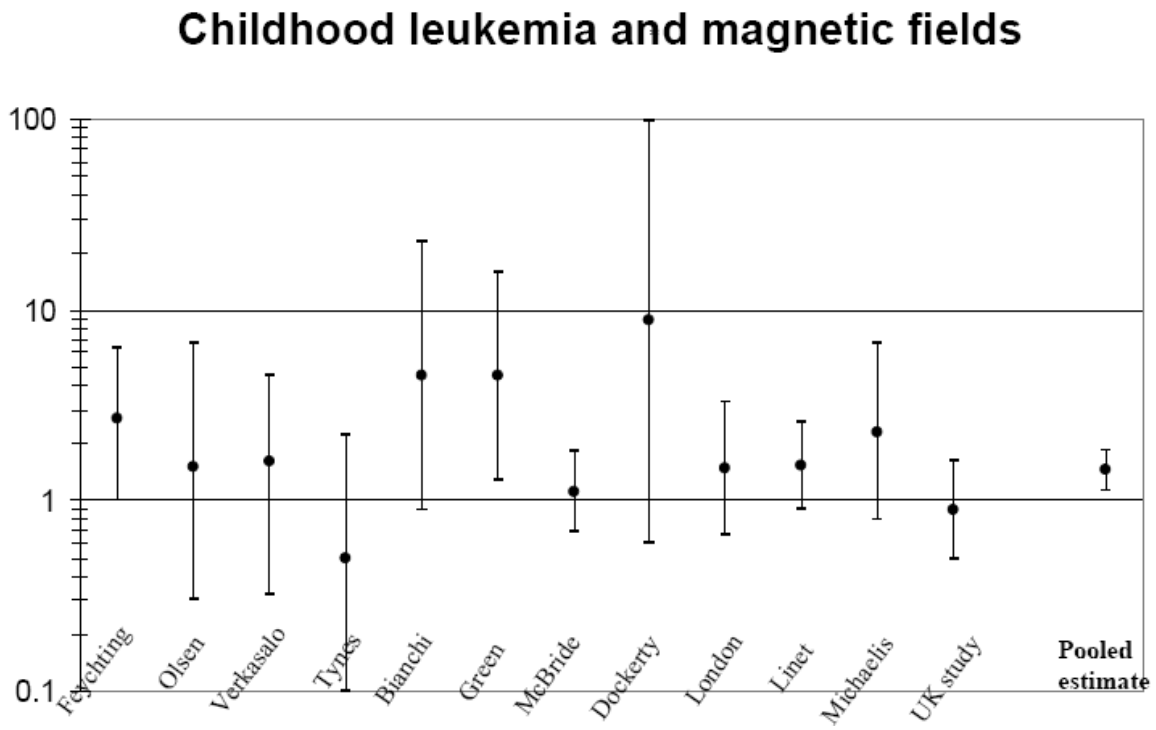

Figura 4.1: Valores médios e respectivos intervalos de incerteza a 95% dos resultados obtidos para 12 estudos epidemiológicos. A sua combinação produz resultados com muito menor incerteza (pooled estimate).

Este resultado[25] apresenta, como se pretendia, um intervalo de incerteza muito mais estreito. É de notar que, dos 12 trabalhos assinalados na figura 4.1, só 9 mereceram uma credibilidade à IARC e à OMS que as leve a citá-los, e que 2 dos 3 que não mereceram tal referência são precisamente aqueles que, na figura, apresentam uma incidência relativa da doença mais elevada, enquanto por outro lado não consta do estudo, por exemplo, o importante trabalho na Alemanha, publicado já em 2001, de Schüz. No entanto, a análise de conjunto oficial apreciada pela IARC só considerou os 9 estudos considerados credíveis, pelo que o resultado final tem, de facto, um suporte de elevada credibilidade. O universo abrangido contemplou, assim, 3247 casos de leucemia e mais de 10 mil de controlo, e 5 dos 9 estudos originais eram europeus e usaram, por isso, valores bem quantificados de exposição aos CEMEBF.

O intervalo de incerteza já se situa todo acima do valor de 1.0 e, de facto, os resultados que os autores estabelecem para a incidência relativa da leucemia infantil, como função da intensidade do campo magnético, são os apresentados na tabela 4.13. Ou seja: a incidência relativa da leucemia infantil pouco aumentaria com a intensidade do campo magnético até **0,4 μT**, mas para valores acima deste limiar praticamente duplicaria. Note-se, no entanto, que apesar da imensa população e dos muitos anos de observação abrangidos por este estudo conjunto, só foi possível identificar 44 casos de leucemia infantil em crianças expostas a tais campos e que,

25 "*A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia*", 2000, British Journal of Cancer, tem como co-autores, entre outros, os primeiros autores de 6 dos 9 trabalhos realizados até à altura e considerados relevantes pela IARC, e aqui já referidos.

na ausência desses campos seriam de esperar, de qualquer forma, de 14 a 35 casos…

Childhood leukemia and ELF
Pooled results

Exposure	RR	(95% CI)	No. cases
0.1-0.19 μT	1.08	(0.89-1.31)	233
0.2-0.39 μT	1.11	(0.84-1.47)	104
0.4μT-	2.00	(1.27-3.13)	44

Ahlbom et al. 2000

Tabela 4.13 – Resultados da análise conjunta de 9 estudos nacionais (Ahlbom, 2000); à esquerda, valores medidos de campo, e à direita o valor médio da incidência relativa com o respectivo intervalo de confiança (grau de confiança de 95%)

Os próprios autores deste estudo sublinham expressamente, nas suas conclusões, que **não conhecem explicação para os resultados obtidos e que estes podem ter sofrido de algum enviesamento** no tratamento das amostras populacionais, recusando assim apontar uma relação causal entre os campos magnéticos e a leucemia infantil. De facto, dos cerca de 44 casos de leucemia associados a campos superiores a 0.4 μT por este estudo de conjunto, 30 provieram só dos estudos de Linet nos EUA e McBride no Canadá, onde a percentagem de população exposta a campos magnéticos elevados é muito superior à europeia, apesar de Linet reconhecer que tendo os seus inquéritos sido realizados por telefone, aceitaram participar neles **78%** das famílias das crianças leucémicas, mas apenas **63%** das das que o não eram ("controlos")[26], o que aliás suscitou da própria OMS as críticas já mencionadas atrás…

Entretanto, é de notar que enquanto nos relatórios de Linet e de McBride se concluía pela ausência de associação entre os CEMEBF e a leucemia, usando como medida da exposição os "*wire codes*" e também medidas directas no estudo de McBride, quando esses resultados foram reprocessados para serem adaptados à métrica comum europeia, visando a integração no estudo de conjunto, passaram a já dar uma associação positiva que se tornou, de resto, determinante nos resultados obtidos, dado o grande peso relativo dos trabalhos americanos! Visto que o reprocessamento dos dados originais de Linet e McBride envolveu alterações de critério quanto à classificação ou não de certos casos e de certos controlos, tal mereceu de certos investigadores manifestações de estranheza, que foram mais tarde respondidas circunstancialmente[27]. Talvez por causa destas críticas, Ahlbom, o autor princi-

26 Marta S. Linet et al, "*Residential Exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children*", The New England Journal of Medicine, vol. 337, nº 1, July 1997.

27 Elwood, "*Childhood leukemia and magnetic residental fields: are pooled analysys more valid than the original studies?*", Biometrics 27:112-118, 2006. Este autor estranha, fundamentando-se nos dados

pal da análise de conjunto, mostraria mais tarde que se, por exemplo, os dados originais do estudo nos EUA forem excluídos, a incidência relativa da leucemia para campos superiores a 0.4 μT baixa de 2.0 para **1.7**[28]. Este exercício tem particular interesse por coincidir com os resultados da outra análise de conjunto realizada pela mesma época (2000).

Com efeito, foi realizada outra análise de conjunto[29], em 2000, envolvendo 16 estudos de base, mas merecendo da OMS menor credibilidade que os desta na escolha dos estudos parcelares de suporte, talvez por o seu tratamento matemático ter sido aparentemente rebuscado e de difícil compreensão, ou talvez por o autor do outro estudo (Ahlbom) pontificar no grupo de trabalho da ICNIRP e da OMS. Na verdade, para se poder combinar diferentes estudos é necessária a definição de uma métrica comum, o que requer a colaboração dos vários autores de modo a que reformulem os seus dados; ora Sander Greenland, um conceituadíssimo professor de epidemiologia da Universidade da Califórnia em Los Angeles (UCLA) não conseguiu a colaboração, para o seu estudo de conjunto, de alguns dos trabalhos originais de maior relevância. No entanto, as suas conclusões são similares às da outra análise de conjunto: acima de 0,3 μT a incidência relativa de leucemia infantil seria de 1,65, resultado extrapolado do facto de se terem identificado 98 casos onde seriam de esperar entre 42 e 85…

Mais tarde, como se mostrará na discussão destes trabalhos, Greenland reveria e estenderia o seu estudo, mas de momento importa apenas sublinhar que foram estas duas análises de conjunto que fundamentaram a decisão da classificação atribuída aos CEMEBF pela IARC em 2002 e, portanto, também pela OMS, de **possivelmente carcinogénicos**.

4.3.5 2001-2007 E O "ESTUDO DEFINITIVO" DE DRAPER (2005)

Depois de 2001 e até 2007, a quantidade de estudos epidemiológicos reduziu-se substancialmente, conforme se atesta na figura 4.2. A recente monografia da OMS menciona dois novos estudos realizados no Japão e Reino Unido.

O primeiro, realizado por *Kabuto et al* e publicado em 2006[30], cobriu um período de

---

dos próprios relatórios, que apesar de 6 dos 9 estudos originais concluírem pela inexistência de associação entre leucemia e campos magnéticos, a análise de conjunto conclua pela sua existência, questionando os critérios de reprocessamento dos dados que uniformizaram a respectiva métrica e, em regra, aumentaram a incidência relativa da doença na presença dos CEMEBF.

28 *In* apresentação de Ahlbom no *Workshop* sobre CEMEBF promovido pelo "projecto ELF" da OMS, Genebra, Suíça, Junho de 2007.

29 Greenland et al, "*A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia*", Epidemiology, 2000.

30 Kabuto et al, "*Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan*", Int. J. on Cancer, 119, 2006.

3 anos e uma população de 10 milhões de menores de 15 anos (correspondendo a cerca de metade da população japonesa, portanto 62 milhões de pessoas), e envolveu 312 casos (após eliminar uma maioria que se mostrou improcessável) mas considera-se que pouco acrescenta ao conhecimento na matéria. De facto, as suas conclusões apontam para um aumento da incidência relativa da leucemia infantil para 2.65 com campos superiores a 0,4 μT mas, mais uma vez, o número efectivamente observado foi muito pequeno: **6**! O intervalo de confiança a 95% calculado situou-se entre 0.76 e 8.58, o que significa que os 6 casos encontrados tanto podem ter sido 2 a menos como 5 a mais do plausível…

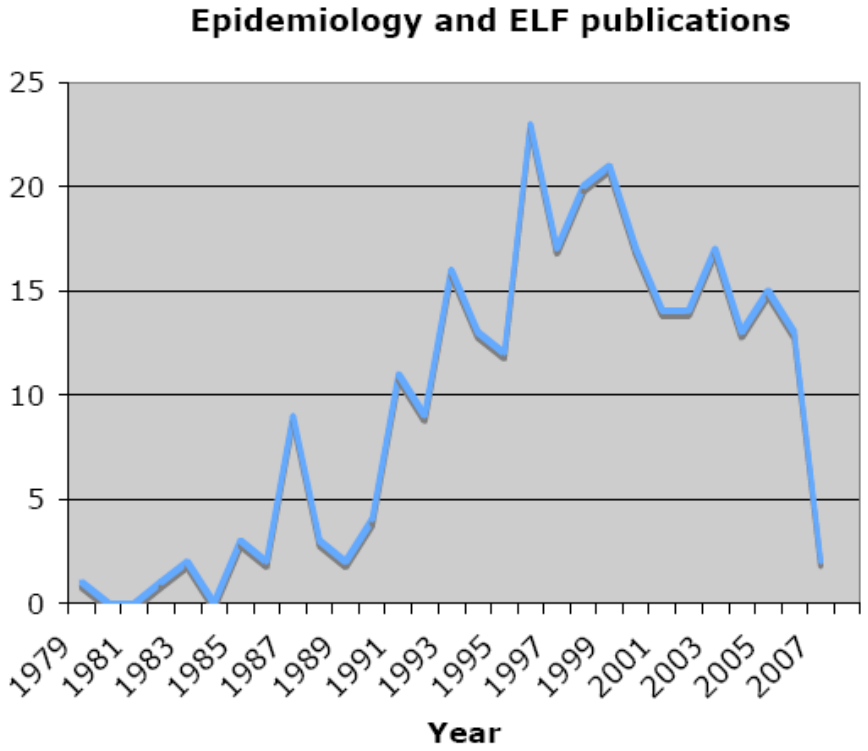

Figura 4.2: Evolução temporal do número de relatórios sobre estudos epidemiológicos relativos aos CEMEBF. A investigação parece ter-se esgotado em 2006.

O outro estudo, realizado depois da tomada de posição da IARC, foi o de *Draper et al*, no Reino Unido, publicado em **2005**[31] e considerado desde então, por muitos investigadores, uma referência decisiva na matéria.

A importância do estudo de Draper resulta das seguintes razões:

1) Em primeiro lugar, a enorme dimensão da amostra estudada: toda a população da Inglaterra, Gales e Escócia, num total de 59 milhões de habitantes, e durante os **33 anos** decorridos de 1962 a 1995, envolvendo 29081 crianças afectadas de cancro, das quais **9700** leucemias infantis; será muito difícil, doravante, conseguir realizar estudos com amostras populacionais ainda mais significativas.

2) Em segundo lugar, a metodologia aplicada para a correlação com os campos

31 Draper et al, "*Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study*", publicado na revista Bio-Medical Journal nº 1290, Junho de 2005.

magnéticos: não houve contacto com os investigados, assim se evitando o enviesamento de respostas, e o critério adoptado foi apenas o da distância das residências às linhas de Muito Alta Tensão (400, 275 e algumas de 132 kV), obtidas automaticamente a partir de mapas digitalizados e usando os códigos postais como referência geográfica;

3) Em terceiro lugar, o prestígio dos investigadores em causa: o próprio Gerald Draper e 3 elementos da sua equipa trabalhavam no Grupo de Pesquisa para o Cancro Infantil da universidade de Oxford, mas o 4º elemento pertence à própria Companhia de Electricidade que, no Reino Unido, gere a rede de transmissão, a *National Grid*, e que foi também a entidade financiadora do estudo.

Os resultados deste estudo estão representados na tabela 4.14. As conclusões mais relevantes são a da existência de uma incidência relativa de 1.67 (intervalo de incerteza de 0.4 a 7 com 95% de confiança) para distâncias às linhas inferiores a 50 metros, o mesmo valor (1.68) para distâncias entre 50 e 200 metros, com intervalo de incerteza de 0.83 a 3.19, e de 1.23 para distâncias superiores a 200 m e até 600 m (intervalo de incerteza de 1.02 a 1.49). **Para os tumores cerebrais e outros, não há aumento de incidência**.

	Leukaemia			CNS/brain tumours			Other diagnoses		
Distance to line (metres)	Cases	Controls	RR	Cases	Controls	RR	Cases	Controls	RR
0-49	5	3	1.67	3	7	0.44	7	6	1.17
50-99	19	11	1.79	4	6	0.69	15	16	0.91
100-199	40	25	1.64	26	32	0.82	37	45	0.81
200-299	44	39	1.16	38	28	1.35	66	76	0.87
300-399	61	54	1.15	35	30	1.19	79	65	1.21
400-499	78	65	1.23	40	42	0.96	80	97	0.82
500-599	75	56	1.36	54	41	1.33	86	85	1.01
≥600 (reference group)	9378	9447	1.00	6405	6419	1.00	12 406	12 386	1.00
Total	9700	9700		6605	6605		12 776	12 776	

CNS=central nervous system.

*Tabela 4.14 – Resultados do estudo de Draper et al (Reino Unido sem Irlanda do Norte, 2005); são também estudadas outras patologias, como o cancro do cérebro, com **resultados negativos**.*

A primeira constatação é que, para distâncias às linhas inferiores a 50 metros, os números deste estudo nada acrescentam, por serem iguais, aos que já haviam sido obtidos em 1999 pelo estudo da UKCCS para B≥ 0.4 μT, quer em incidência relativa, quer em intervalo de incerteza. Ou seja, que os 5 casos verificados tanto podem ter sido 4 a mais como 7 a menos do plausível sem efeito de CEMEBF…

Para a zona de distâncias entre os 50 e os 200 metros, entretanto, já é mais surpreendente continuar a observar-se a mesma incidência relativa, embora ainda com grande incerteza probabilística: os 59 casos observados poderão ter sido de 12 a menos a 40 a mais que o plausível sem CEMEBF. Porém, é para as maiores distâncias, dos 200 aos 600 metros, que o intervalo de incerteza se reduz a uma banda que parece quase garantir a existência de uma associação com as linhas AT mesmo a essa distância, embora na verdade o intervalo de confiança continue a conter o 1…

Entretanto, a opinião da OMS sobre este estudo é que existe um grande valor estatístico nos seus resultados, mas que falta correlacioná-los com o valor do campo magnético, já que distância lhe é pouco proporcional.

Porém, o que muitos investigadores consideram, a começar pela própria Associação britânica de engenheiros electrotécnicos, o ITE, e também pela *National Grid*, é que estes resultados demonstram duas coisas:

1) Que, indubitavelmente, parece existir uma **associação** entre a proximidade geográfica das linhas de Muito Alta Tensão e um aumento da incidência de leucemia infantil, no Reino Unido;

2) Que **é improvável que essa associação tenha a ver com os campos magnéticos** gerados pelas linhas, devendo resultar de outros factores (ditos "de confusão") que terão uma correlação com a proximidade geográfica das linhas, ou seja, que **existirá uma relação, mas não uma relação de causa-efeito**. Este corolário deriva de, a distâncias como as consideradas, para lá de entre 50 a 100 metros, o campo magnético originado pelas linhas já ser tão fraco que se torna indiscernível dos campos gerados pelos usos correntes de energia eléctrica, nomeadamente electrodomésticos. Este corolário é evidenciado pela figura 4.3.

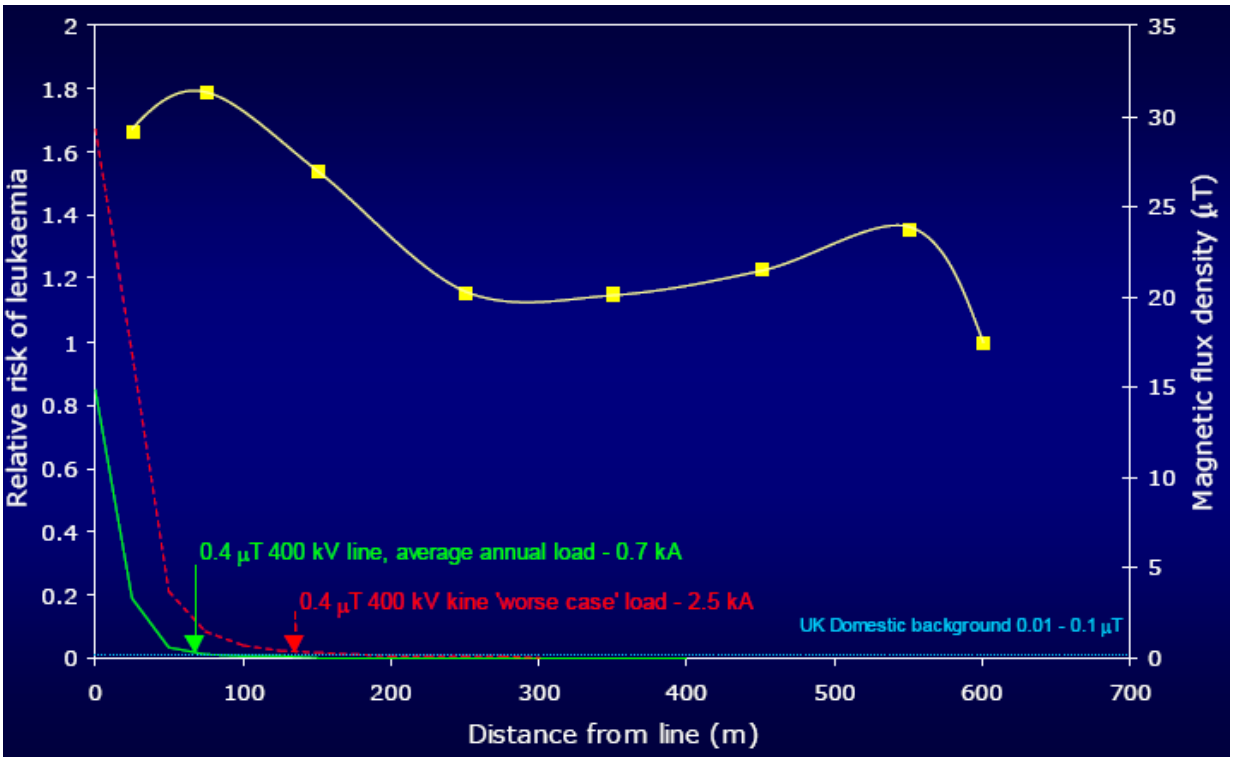

Figura 4.3: Ilustração dos resultados do estudo de Draper confrontados com o alcance dos campos magnéticos gerados pelas linhas de energia. A incidência relativa superior à unidade para lá da distância de 100 metros das linhas não é explicável pelos seus campos magnéticos!

Entretanto, os resultados deste estudo contrariam parcialmente as duas análises de conjunto referidas atrás e em que se terá baseado a IARC para a sua classificação de 2002, já que elas apontavam para uma prática ausência de efeito dos campos para intensidades inferiores a 0,4 µT!...

Uma das hipóteses de explicação sugerida, de imediato, foi a de que não podendo ser nem o campo magnético nem o eléctrico os causadores **directos** deste aumento de incidência da leucemia infantil, então só poderia ser um outro efeito **indirecto** das linhas que se manifesta a maiores distâncias: a ionização do ar provocada pelo ***efeito-coroa*** e resultante do campo eléctrico junto da superfície dos próprios condutores.

Conforme já foi mencionado neste relatório, uma das teorias biofísicas existentes para a eventual patogenicidade das linhas de Alta Tensão, advogada por Henshaw da Universidade de Bristol, é que a ionização do ar provocada pelo *efeito-coroa* aumentaria a fixação de partículas poluentes do tipo aerossol, existentes na atmosfera, nos canais das vias respiratórias e que, por outro lado, haveria registos do vento poder levar esses iões até distâncias consideráveis das linhas (em alguns casos, no Reino Unido e na Alemanha, foram detectados até 7 km das linhas). No entanto, outros especialistas em dosimetria como David Jeffers, investigador do Secretariado Nacional de Protecção Radiológica britânico, defendem a impossibilidade do efeito-coroa poder causar o depósito de poluentes em vias respiratórias da natureza necessária a provocar patologias[32]. O estudo de Draper sugere, de facto, uma proporcionalidade inversa da incidência da leucemia com a distância, o que se ajusta melhor à variação da densidade iónica do ar provocada pelo efeito-coroa do que ao campo magnético, o qual se reduz com o quadrado ou o cubo da distância às linhas. No entanto, os próprios autores analisaram as direcções predominantes do vento no Reino Unido e chegaram à conclusão de que não havia diferença de incidência entre o sotavento e o barlavento das linhas…

Em todo o caso, é de sublinhar que uma outra conclusão extraível deste estudo é que, **numa população quase <u>sêxtupla</u> da portuguesa e ao longo de 1/3 de século**, o número de casos de leucemia infantil associável, em média, à proximidade das linhas de Muito Alta Tensão, teria sido de 69. Ou seja, 0.7%, uma média de 2.09 por ano, dos quais eventualmente terá resultado, em média, uma morte cada 2 anos. Supondo admissível a extrapolação para **Portugal**, onde ocorrem em média cerca de 50 diagnósticos anuais de leucemia infantil com uma taxa de mortalidade de 30%, estes números implicariam **um caso de leucemia infantil** associado às linhas de Muito Alta Tensão **cada 3 anos**, com **um** óbito entre cada 10 a 20 anos…

Face a todos estes resultados e independentemente da posição oficial da IARC/ OMS, justifica-se a exposição de alguns dos factores de discussão que têm dividido apaixonadamente a comunidade científica sobre este tema.

---

32 Jeffers, "*Modeling and analysis do not support the hypothesis that charging by power-line coronna increases lung deposition of airborne particles*", revista Radiation Protection Dosimetry dos Oxford Journals, Fevereiro de 2007. Jeffers recorda que nos últimos anos a ionização negativa do ar tem até sido usada como bactericida em múltiplos edifícios climatizados, de hospitais a aviários... Ver também: "*Possible mechanisms by which electric fields from power lines might affect airborne particles harmful to health*", Journal on Radiation Protection, Vol. 19, 1999.

4.4 DISCUSSÃO CIENTÍFICA DOS RESULTADOS EPIDEMIOLÓGICOS RELATIVOS À LEUCEMIA INFANTIL LINFOBLÁSTICA AGUDA.

4.4.1 OS CRITÉRIOS DE BRADFOR HILL DE 1965

De acordo com os denominados "*critérios Bradfor Hill de 1965*", os quais são largamente aceites pela comunidade médica, um estudo epidemiológico só pode indicar uma **relação** e não, em geral, uma causalidade.

Ainda de acordo com os referidos critérios, para que um estudo epidemiológico possa ser aceite como indicando **causalidade**, é necessário que a relação observada verifique nove critérios, dos quais os cinco mais relevantes são:

1) **Consistência e não enviesamento dos resultados**: Confirmação da associação por investigadores diferentes, em populações diferentes, usando métodos diferentes.
2) **Força da associação**: inclui dois aspectos: a frequência com que o factor é encontrado na doença, e a frequência com que ocorre na ausência da doença. Quanto maior o risco relativo, mais a hipótese é reforçada. A maioria dos epidemiologistas considera que só tem significado um limiar de **3** ou superior[33], na incidência relativa resultante de estudos epidemiológicos, e alguns defendem que um limiar inferior a 2 é "*junk science*" [34]…
3) **Gradiente biológico (relação entre a dose e a resposta):** encontrando um relacionamento quantitativo entre o factor e a frequência da doença. A intensidade e a duração da exposição devem poder ser medidas.
4) **Especificidade**: se o factor determinante que está a ser estudado puder ser isolado de outros, e se se puder mostrar que produz mudanças na incidência da doença. Por exemplo, se se puder mostrar que o cancro da tiróide tem uma incidência mais elevada associada especificamente com o fluoreto, isto é convincente da evidência de uma causalidade.
5) **Coerência com a base biológica e o conhecimento precedente**: a evidência deve ajustar-se aos factos que se pensem estar relacionados. Por exemplo, o aumento de incidência de fluorose dental e o aumento de consumo de fluoreto são coerentes.

---

33 No tabagismo activo, por exemplo, a incidência relativa é da ordem de 20 para o cancro pulmonar. Para os Abetos (amianto), a incidência relativa no cancro da pleura e peritoneu (mesotelioma) é da ordem de 10, embora este cancro seja ainda mais raro que a leucemia infantil (1/3 da incidência geral desta). Já para o tabagismo passivo prolongado a incidência relativa de cancro pulmonar é de 1.25, sensivelmente igual à resultante de se viver numa grande cidade…

34 *Fact sheet* nº 8 da Agência para a Segurança Nuclear e Protecção da Radiação, do Governo Australiano, "*The controversy over electromagnetic fields and possible adverse health effects*", 2005.

6) **Plausibilidade biológica**: a associação estatisticamente significativa ajusta-se bem ao conhecimento previamente existente.

É bastante claro que, mesmo admitindo a existência de uma relação entre os campos electromagnéticos das linhas de Muito Alta Tensão e a leucemia infantil, não é possível no estado presente das investigações, e que foi aqui apresentado, afirmar com clareza a **consistência** das observações por diferentes autores, nem uma **força da relação** entre os campos e a doença convincente, nem a **plausibilidade biológica** dos campos provocarem danos no ADN celular, nem a **coerência com o conhecimento pré-existente**, nem, sobretudo, a **especificidade** dos campos como factor da leucemia infantil[35]. É por isso que a IARC e a OMS consideram possível a carcinogenicidade do campo magnético, mas não como estando estabelecida nem sequer sendo provável!

4.4.2 ALGUNS FACTOS SOBRE A LEUCEMIA INFANTIL

Valerá a pena, pelo exposto, juntar por isso a este relatório alguma informação sobre a etiologia da **leucemia infantil**.

A leucemia infantil é uma doença rara. Para crianças com menos de 15 anos de idade, o número estimado de novos casos mundiais de leucemia, no ano 2000, foi de aproximadamente 49 000, traduzindo uma taxa da incidência de aproximadamente 3 casos por cada 100 000 jovens (IARC, 2000). A incidência da leucemia infantil em diferentes regiões do mundo é dada na tabela 4.15.

Alguns autores notam que, mesmo admitindo que os CEMEBF sejam responsáveis por de 0,2% a 0,8% dos casos de leucemia infantil (conforme os diferentes estudos que o indiciam), isso corresponderia a um **total mundial** de 100 a 500 casos, o que é considerado pouco expressivo, tendo ainda em conta a incerteza de causalidade nesta relação.

Entretanto, e como se pode verificar na tabela 4.15, na América do Norte a incidência da doença é 50% superior à registada na Ásia, por exemplo.

De facto, há diferenças marcantes nas taxas de leucemia entre vários grupos regionais e étnicos. Nos EUA, as taxas mais elevadas observam-se entre hispânicos em Los Angeles e entre filipinos, chineses e japoneses na Califórnia e no Havai. As taxas **médias** mais elevadas ocorrem, porém, entre caucasianos; para afro-americanos, as taxas são significativamente inferiores. A relação entre brancos e negros nas taxas totais de incidência da leucemia é aproximadamente de **2**, para vários grupos de idade. Dentro dos EUA, por outro lado, há claras diferenças **regionais**, com as incidências a variarem entre **2.2 e 5.6** por 100 000 nos rapazes e entre **1.4 e 6.3** por

35 A. Preece et al, do Centro Oncológico da Universidade de Bristol et al, "*Power frequency electromagnetic fields and health. Where's the evidence?*", Physics, Medicine and Biology journal, Abril de 2000.

100 000 nas raparigas (em todas as regiões a leucemia infantil é 10 a 50% mais frequente nos rapazes).

Table 72. Global incidence of childhood leukaemia in 2000

Region	Population 0-14 year olds [a]	New cases [b]	Incidence (per 100 000)
Africa	339 631 000	3 848	1.13
Asia	1 119 233 000	31 062	2.78
Europe	127 382 000	4 878	3.83
Latin America	165 828 000	6 367	3.84
North America	68 083 000	2 841	4.17
Oceania	8 018 000	283	3.53
World	1 828 175 000	49 000	2.68

[a] Estimates for 2000: International Association of Cancer Registries (IARC, 2000).

[b] Estimates for 2000: United Nations - World Population Prospects (UN, 2002).

Tabela 4.15 – Incidência da leucemia infantil em diversas regiões do Mundo.

As comparações internacionais das taxas totais de incidência da leucemia infantil mostram uma variabilidade de **4 a 6 vezes**. As mais elevadas, com **6 casos por 100 mil** por ano, verificam-se na Costa-Rica e na população não-Maori da Nova Zelândia. Também se verificam taxas elevadas de incidência nos países escandinavos, na Austrália, em Hong-Kong e nas Filipinas; essas taxas variam de 4.5 a 5.5 casos por 100 000, anualmente. As taxas mais baixas ocorrem na Índia, entre Kuwaitianos no Kuwait (que tem uma larga população trabalhadora oriunda de países vizinhos) e entre crianças negras em África. Embora as taxas absolutas variem, a relação da incidência entre sexos e diferentes idades é similar nos vários países, excepto que o máximo de incidência na distribuição por idades é aparentemente ausente nas crianças africanas.

Em Portugal, a mortalidade infantil anual por leucemia e linfomas tem sido em média de 19 óbitos em 1650 000 crianças (**1.15** por 100.000) mas, em Lisboa e Vale do Tejo, parece ser significativamente superior à do resto do país[36].

Há, entretanto, uma variação internacional significativa na relação entre leucemia linfoblástica e não-linfoblástica. Tal como nos EUA, a grande maioria dos casos nos países europeus e latino-americanos é de linfoblástica (cerca de ¾), mas em muitos países asiáticos, como a China, as Filipinas e a Índia, a proporção de casos de leucemia linfoblástica é menos elevada, pouco mais de ½ do total de casos de leucemia infantil. Porém, é controverso se a grande variação internacional nas taxas de incidência da leucemia infantil representa diferenças reais de incidência, ou apenas diferenças no diagnóstico e no registo da doença. Algumas explicações alternativas

36 Brochuras da Direcção-Geral de Saúde, "*Risco de Morrer em Portugal*" de 2003, 2004 e 2005.

são que factores genéticos hereditários podem predispor determinados grupos étnicos para a leucemia infantil, ou que factores ambientais até agora não identificados, ou um status socioeconómico mais elevado, podem expor as crianças das nações mais desenvolvidas a um maior risco de leucemia.

No conjunto, a leucemia infantil contabiliza cerca de 1/3 de todos os cancros infantis, e tem uma taxa de incidência típica de 1 caso, ao longo de toda a infância, por cada 1400 a 3000 crianças.

Entretanto, as taxas de incidência de leucemia infantil têm uma distribuição padrão característica, dependente da idade, e que é ilustrada na figura 4.4. Esta evolução típica tem levado à convicção com evidências crescentes de que o processo de iniciação da leucemia infantil começa, de facto, ainda *in utero*.

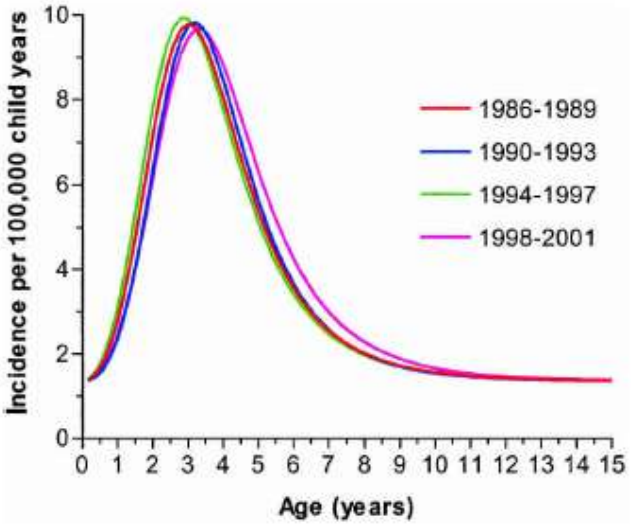

Figura 4.4: Variação com a idade do diagnóstico da leucemia infantil. A maioria dos casos é diagnosticada dos 2 aos 5 anos de idade.

Verifica-se, também, que a doença tem uma significativa variabilidade no tempo, quer ao longo da história do século XX, quer sazonalmente em cada ano, e alguns estudos epidemiológicos notaram uma correlação significativa entre o aumento de incidência da doença e a melhoria das condições de higiene das populações.

Do conjunto de todos estes dados resultou nos últimos anos a convicção, dominante entre os investigadores epidemiológicos, da existência de uma elevada probabilidade de a causa mais frequente da leucemia infantil linfoblástica aguda ser um agente infeccioso ainda desconhecido (provavelmente um vírus), reforçado por uma propensão genética, e para o qual a melhoria das condições de higiene tende a reduzir as defesas imunológicas das crianças, como sucede com outras patologias.

Recentemente[37] a hipótese de uma mutação genética *in-utero* relativamente comum, atingindo cerca de 1% das crianças, precursora da promoção posterior e malignação

37 Dengli Hong et al, "*Initiating and Cancer-Propagating Cells in TEL-AML1-Associated Childhood Leukemia*", Science, Janeiro 2008.

a ocorrer nos 2 ou 3 primeiros anos de vida, foi confirmada e os respectivos genes identificados. Esta promoção da leucemia ocorre em cerca de 5% das crianças portadoras da mutação inicial e há fortes indícios de estar associada a uma resposta desadequada a agentes infecciosos comuns, porventura resultante de uma imaturidade do sistema imunológico, porquanto tende a ocorrer mais em crianças criadas em ambientes protegidos de contágios (frequência tardia de infantários) e assépticos (famílias mais abastadas).

Como é que o campo magnético ou, segundo outros autores, a ionização atmosférica associada ao campo eléctrico ou, ainda segundo outros, certas correntes de contacto (ideia explicada adiante) poderão contribuir para reforçar a desadequação da resposta imunitária a um agente infeccioso inoculado nos primeiros meses de vida, promovendo o desenvolvimento das células malignas daí resultantes, é desconhecido! Certo é que a OMS pretende reorientar a investigação no que respeita à relação entre CEMEBF e leucemia infantil tendo em conta os novos conhecimentos sobre a etiologia da leucemia infantil[38].

É de notar, entretanto, que a leucemia infantil é hoje em dia uma doença tratável. A probabilidade total de sobrevivência ao fim de 5 anos tem melhorado com cada nova geração de tratamentos, embora persistam diferenças associadas à etnicidade (ou estatuto socioeconómico subjacente). Na década de 1990-1999, nos EUA, a sobrevivência ao fim de 5 anos era de 84% para as crianças brancas, de 81% para as das ilhas do Pacífico, de 75% para as crianças negras e de 72% para as crianças nativas índias e do Alasca, bem como para as crianças latino-americanas. Em Portugal, os dados mais recentes apontam para uma taxa de sobrevivência de apenas 70%, denotando um infeliz atraso do sistema nacional de saúde e que também ainda atinge a generalidade das outras formas de cancro. Aliás, a incidência de leucemia infantil é difícil de quantificar em Portugal devido à falta de estatísticas, mas pode admitir-se que seja similar à de Espanha, da ordem dos **3.4** casos por 100000[39].

Vale a pena ainda esclarecer por que, como tem sido patente ao longo deste relatório, a preocupação dominante das investigações que têm procurado uma relação causal entre as linhas de Alta Tensão e a leucemia infantil se tem centrado no campo **magnético,** e não no eléctrico. A razão é que este último não consegue atravessar as paredes dos edifícios nem, facilmente, a própria pele humana, enquanto o campo magnético o consegue. Claro que esta diferença só tem importância se, como se tem pressuposto, se atribuir aos campos electromagnéticos um efeito **directo** sobre a incidência da doença, e não um efeito indirecto como o da ionização do ar pelo efeito-coroa…

Ora os campos magnéticos estão também presentes no ambiente doméstico, como fruto dos electrodomésticos e circuitos eléctricos de Baixa Tensão aí existentes,

---

38 Vd. o anúncio de *Wokshop* pela OMS para 5-7 de Maio de 2008 em Berlim.

39 On-line em "*Automated Childhood Cancer Information System*".

como já foi referido na introdução deste relatório. A tabela seguinte ilustra o valor dos campos gerados por alguns aparelhos, sendo dignos de nota os aspiradores e os secadores de cabelo, por exemplo.

Table 9. Examples of magnetic flux densities from 50 and 60 Hz domestic electrical appliances [a]

	Source	Magnetic flux densities (T)			
		60 Hz at 30 cm [b]		50 Hz at 50 cm [c]	
		Median	Range [d]	Computed field	SD
Bathroom	Hair dryers	1	bg***–7	0.12	0.1
	Electric shavers	2	bg–10	0.84	
	Electric showers			0.44	0.75
	Shaver socket			1.24	0.27
Kitchen	Blenders	1	0.5–2	0.97	1.05
	Can openers	15	4–30	1.33	1.33
	Coffee makers	bg	bg–0.1	0.06	0.07
	Dishwashers	1	0.6–3	0.8	0.46
	Food processors	0.6	0.5–2	0.23	0.23
	Microwave ovens	0.4	0.1–20	1.66	0.63
	Mixers	1	0.5–10	0.69	0.69
	Electric ovens	0.4	0.1–0.5	0.39	0.23
	Refrigerators	0.2	bg–2	0.05	0.03
	Freezers			0.04	0.02
	Toasters	0.3	bg–0.7	0.09	0.08
	Electric knives			0.12	0.05
	Liquidisers			0.29	0.35
	Kettle			0.26	0.11
	Extractor fan			0.5	0.93
	Cooker hood			0.26	0.10
	Hobs			0.08	0.05
Laundry/Utility	Clothes dryers	0.2	bg–0.3	0.34	0.42
	Washing machines	0.7	0.1–3	0.96	0.56
	Irons	0.1	0.1–0.3	0.03	0.02
	Portable heaters	2	0.1–4	0.22	0.18
	Vacuum cleaners	6	2–20	0.78	0.74
	Central heating boiler			0.27	0.26
	Central heating timer			0.14	0. 17
Living room	TVs	0.7	bg–2	0.26	0.11
	VCRs			0.06	0.05
	Fish tank pumps			0.32	0.09
	Tuners/tape players	bg	bg–0.1	0.24	

*Tabela 4.16 – Campos magnéticos (**em μT**) gerados por alguns electrodomésticos de uso corrente*

Table 9. Continued.

	Audio systems			0.08	0.14
	Radios			0.06	0.04
	Bedroom				
	Clock alarm	0-50		0.05	0.05
Office	Air cleaners	3.5	2–5		
	Copy machines	2	0.2–4		
	Fax machines	bg	bg–0.2		
	Fluorescent lights	0.6	bg–3		
	VDUs	0.5	0.2–0.6	0.14	0.07
Tools	Battery chargers	0.3	0.2-0.4		
	Drills	3	2-4		
	Power saws	4	0.9-30		
Miscellaneous	Central heating pump			0.51	0.47
	Burglar alarm			0.18	0.11

Aceita-se, porém, que o efeito destes aparelhos é intermitente e que o valor médio doméstico é baixo, da ordem dos 0,03 a 0,07 μT na Europa, e 0,05 a 0,11 μT na América do Norte, sendo aceite que estes campos podem atingir, dentro da normalidade, até **0,2 μT**. É por isso que as linhas de Muito Alta Tensão só podem ter significado específico, quanto ao campo magnético que geram, para distâncias inferiores àquelas em que o valor do seu campo seja superior ao existente normalmente nos ambientes domésticos.

A existência destes campos domésticos dificulta enormemente o estudo epidemiológico da relação entre as linhas de Alta Tensão e a leucemia infantil por que, ou se abrangem áreas alargadas de vizinhança das linhas, de modo a conseguir abarcar um número significativamente estatístico de doentes, mas então torna-se difícil distinguir o campo magnético específico dessas linhas do habitual nas residências (como será o caso do estudo de Draper, de 2005), ou se restringe a área de estudo à vizinhança imediata das linhas, onde o respectivo campo é mais intenso, mas então dificilmente se consegue quantificar um número estatisticamente significativo de patologias (como terá sido o caso dos estudos anteriores ao de Draper). Obviamente, este problema resulta, antes de mais, da raridade da doença e do fraco aumento da sua incidência relativa na proximidade das linhas!

Entretanto, existem outras fontes de campo magnético apreciável no ambiente usual. Por exemplo, em 1993 foram medidos campos de até **0,21 μT** a 50 cm dos monitores de computadores pessoais em 150 escritórios.

No **domínio dos transportes**, um campo magnético recentemente identificado é o produzido pelas cintas em aço de reforço dos pneus radiais dos **automóveis**, os quais tendem a magnetizar-se e que, ao rodarem, geram campos magnéticos com frequências fundamentais de 20 Hz (às velocidades máximas legais) e com um alto

conteúdo harmónico. Ao nível do rasto dos pneus o campo chega a atingir 100 a 500 μT, enquanto ao nível dos assentos atinge de **2 a 5 μT**, havendo estudos indicativos de que os valores máximos são alcançados ao nível dos pés dos passageiros da frente e das ancas dos passageiros dos bancos traseiros, especialmente em carros pequenos…[40]

Também nos **comboios** eléctricos, especialmente nos de alta velocidade, o campo magnético é muito intenso, atingindo vários **μT**. Em algumas estações de comboios francesas chegaram a ser medidos campos de algumas **dezenas de μT** nas plataformas de espera dos passageiros.

4.4.3 MÉTODO DOS "CASOS-CONTROLOS", "WIRE CODES", ENVIESAMENTOS E INCERTEZAS ESTATÍSTICAS

A totalidade dos estudos epidemiológicos desenvolvidos no que respeita à associação entre os CEMEBG e a exposição residencial baseou-se no método denominado de "*casos-controlos*". Isto resultou deste método ser o mais exequível com recursos limitados.

No caso em apreço, de busca de uma associação entre uma patologia e a proximidade de linhas aéreas de energia, os passos deste método são os seguintes[41]:

1. É seleccionada uma amostra **D** de doentes num certo universo populacional determinado (coorte), desejável e viavelmente englobando todos os doentes quando se trata de uma patologia rara como a leucemia infantil;
2. É seleccionada uma amostra **C** de não-doentes, ou "controlos", na mesma coorte anterior, e cuja dimensão deverá ser de pelo menos igual a D (dimensão "adaptada"), mas que ganhará em ser até 4 vezes superior. Não vale a pena que C exceda D mais que 4 vezes, mas é essencial que o conjunto de controlo represente o mais rigorosamente possível a distribuição da população relativamente ao factor de exposição cuja influência se pretende avaliar.
3. É definido um limiar de classificação dos doentes de D e dos controlos de C relativamente ao factor de exposição, neste caso o campo magnético gerado pelas linhas AT, por exemplo 0.4 ou 0.3 μT. Os doentes e os controlos são então classificados em termos binários quanto a estarem ou não sujeitos a um campo superior àquele limiar, produzindo números associados, por exemplo d_E e d_{NE}, e c_E e c_{NE} conforme sejam doentes expostos ou não, controlos expostos ou não, respectivamente.

O **risco relativo** RR é então estimável pela seguinte relação:

---

40 Milham, Hatfield & Tell, "*Magnetic fields from steel-belted radial tires: Implications for epidemiologic studies*", Bioelectric Magnetism, Sep. 1999. Também Stankowski et al, "*Low frequency magnetic fields induced by car tire magnetization*", Health Physiscs, Feb. 2006.

41 http://www.saudepublica.web.pt/03-Investigacao/031-EpiInfoInvestiga/força_da_associação.htm

$$RR = \frac{\frac{d_E}{D}}{\frac{c_E}{C}} = \frac{\frac{d_E}{d_E+d_{NE}}}{\frac{c_E}{c_E+c_{NE}}} \qquad (1.1)$$

Se o número de controlos e o de casos for adaptado ("*matched*"), é D=C, e tem-se a simplificação:

$$RR = \frac{d_E}{c_E} \qquad (1.2)$$

Quando a exposição é incomum, tem-se que

$d_E << d_E + d_{NE}=D \rightarrow D \approx d_{NE}$ (1.3)

$c_E << c_E + c_{NE}=C \rightarrow C \approx c_{NE}$

A "**razão de possibilidades**", ou "*odds ratio,* ***OR***", torna-se então um bom estimador do **risco relativo**, sendo:

$$OR = \frac{\frac{d_E}{d_{NE}}}{\frac{c_E}{c_{NE}}} = \frac{d_E}{c_E}\frac{c_{NE}}{d_{NE}} \approx RR \qquad (1.4)$$

Ou seja, a **OR** mede a relação entre o número relativo de doentes expostos e o número relativo de crianças saudáveis expostas, de acordo com a definição quantificada de exposição. Se a exposição não tiver influência na patologia, naturalmente os dois números relativos serão iguais e a sua relação será unitária.

A confiança que a estimativa do OR merece é ela própria quantificável pela definição de um intervalo para a sua existência que, esse sim, merece uma confiança precisável, pelo seguinte algoritmo:

1. Estima-se a variância do logaritmo da razão de possibilidades OR:

   $$V(\ln(OR)) = \frac{1}{d_E} + \frac{1}{d_{NE}} + \frac{1}{c_E} + \frac{1}{c_{NE}} \qquad (1.5)$$

2. Um intervalo de confiança de 95% corresponde a um intervalo de ±1.96 √V em torno de ln(OR), na teoria clássica deste tipo de estudos e correspondendo a uma distribuição normal;
3. Os limites do intervalo de confiança de OR serão, então, os valores resultantes da exponenciação daqueles limites.

O aumento do número de controlos c_{NE} e c_E diminui, obviamente, a variância atrás indicada, mas ela será então dominada pelo inverso do número de doentes expostos d_E e daí que, como afirmado atrás, não valha a pena aumentar o número de controlos muito acima do de doentes (4 vezes é considerado o máximo justificável); mais importante é que os controlos representem adequadamente a exposição da população em geral, como discutiremos adiante.

A título de ilustração do método, considere-se, por exemplo, os resultados de **Draper *et al*** no Reino Unido, em 2005:

d_E= 5; d_{NE}= 9695; c_E= 3; c_{NE}= 9697; para o critério de exposição de d< 50 metros das linhas AT.

Tem-se, obviamente, OR= 5/3 * 9697/9695 ≈ 5/3.

Porém, dada a pequenez destes números, é:

V(ln(OR)) = 1/5+1/3+1/9695+1/9697≈ 1/5 + 1/3,

e, portanto, tem-se para os logaritmos dos limites do intervalo de confiança a 95%:

$\ln(Or_{min}) = \ln(OR) - 1.96\sqrt{V} = -0.921 \rightarrow Or_{min} = e^{-0.921} = 0.4$

$\ln(Or_{max}) = \ln(OR) + 1.96\sqrt{V} = +1.942 \rightarrow Or_{max} = e^{+1.046} = 7.0$

valores que coincidem exactamente com os indicados por Draper.

Já para a distância de 200 a 600 metros, tem-se d_E= 258; d_{NE}= 9442; c_E= 214; c_{NE}= 9486, e similarmente:

OR≈ 258/214 = 1,21; e ainda: V(ln(OR)) ≈ 1/258 + 1/214= 0.0085,

e, portanto, tem-se para os logaritmos dos limites do intervalo de confiança a 95%:

$\ln(Or_{min}) = 0.004 \rightarrow Or_{min} = e^{+0.004} = 1.00$ (ainda permitindo, pois, a hipótese de **não** associação entre campos magnéticos gerados pelas linhas AT e a leucemia infantil);

$\ln(Or_{max}) = 0.370 \rightarrow Or_{max} = e^{+0.370} = 1.45$

Entretanto, importa sublinhar que estas técnicas de estimação, baseadas em **interpretações frequencistas** da teoria das probabilidades, só são na verdade de grande confiança nas ciências físicas da natureza. Nas ciências sociais a intervenção humana pode introduzir factores de enviesamento que podem alterar a perfeição aleatória dos acontecimentos, o que no caso vertente tem sido amplamente discutido por múltiplos autores, como no seguimento se mostrará.

Um dos primeiros problemas destes estudos é que a sua qualidade é directamente dependente da das amostras populacionais. Se a consideração dos casos de doença não oferece muitos cuidados, já a dos controlos é mais problemática. Com efeito e dependente dos países e dos métodos de avaliação, os estudos que requereram um contacto com os estudados, e que foram todos menos o de Draper, defrontaram-se sempre com uma incompleta colaboração. Apenas nos países nórdicos e Alemanha a participação lograda se aproximou dos 100% mas, em contrapartida, os números de casos expostos é tão pequeno que todos os resultados têm aí uma elevada incerteza. Por outro lado, nos melhores casos dos estudos americanos, que contribuíram com a maioria das populações expostas para os estudos de conjunto, a taxa dos que aceitaram participar foi, nos melhores estudos, de perto de 90%, enquanto a dos controlos foi da ordem dos 75%; em muitos casos, porém, a percentagem de casos colaborantes foi da ordem dos 80%, enquanto a dos controlos foi de 60 a 70%.

Ora é um facto estabelecido que quanto mais baixo for o estrato social dos participantes, menor é a sua adesão à participação neste tipo de estudos. Por outro lado, foi também verificado que as populações vivendo na proximidade de linhas aéreas tende a pertencer a estratos sociais mais baixos. Por estas razões, admite-se que **a população de controlos expostos** (c_E, nos exemplos acima) **possa estar sub-representada**, o que obviamente aumentará a relação de risco estimada, enviesando-a para cima.

Vários autores estudaram o efeito sobre os resultados dessa possível sub-representação dos controlos expostos (populações não-doentes vivendo perto das linhas AT), já desde meados dos anos 90. O seus resultados apontam para que o efeito dessa sub-representação produza um enviesamento sobre os OR estimados que poderá ir desde **1.15**[42,43] até valores algo superiores.

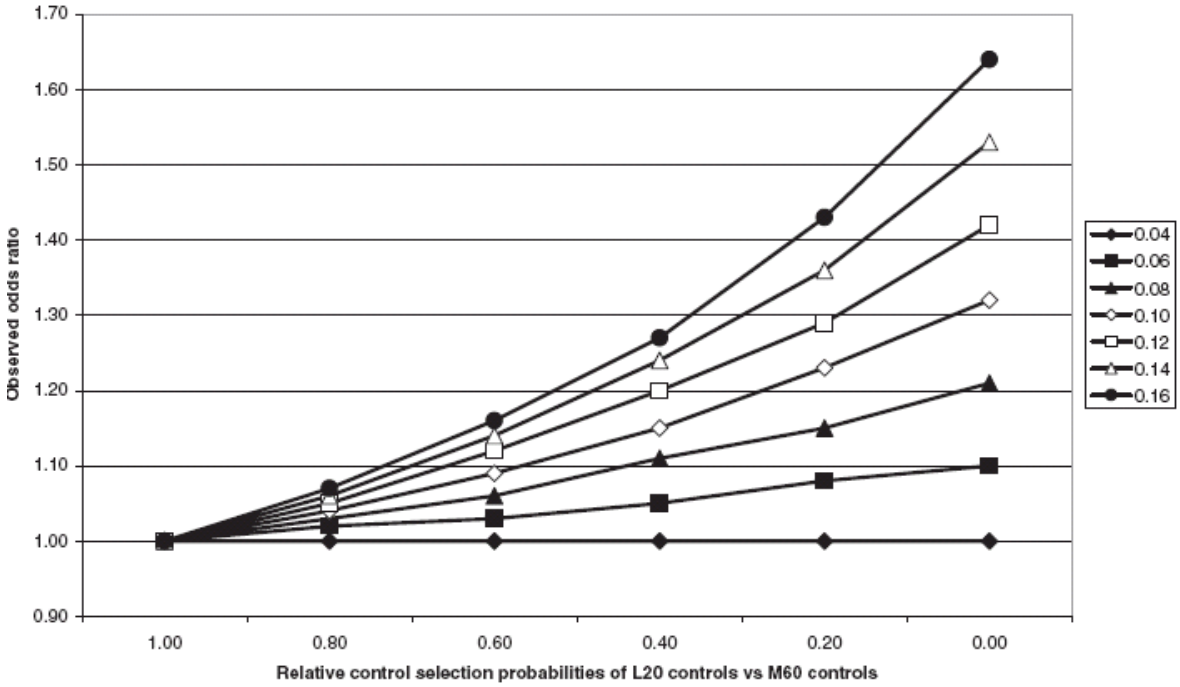

Figura 4.5: Risco relativo observado em resultado do enviesamento derivado de diferentes taxas de participação e de exposição em função do estrato socioeconómico.

Na figura 4.5[44] ilustram-se Riscos Relativos observáveis como puro fruto do enviesamento resultante de, numa população hipotética em que se supõe uma estratificação social de 20% em classes alta e baixa (H20 e L20) e 60% em classe média (M60), e em que se admite que o grau de exposição das classes alta e média é

42 Gurney et al, "*Childhood cancer occurrence in relation to power line configurations: a study of potential selection bias in case-control studies*." American Journal on Epidemiology, 143, 1996.

43 Hatch et al, "*Do Confounding or Selection Factors of Residential Wiring Codes and Magnetic Fields Distort Findings of Electromagnetic Fields Studies?*", Epidemiology, 2000.

44 Mezei et al, "*Selection bias and its implication for case-control studies: a case study of magnetic field exposure and childhood leukemia*", Int. J. Epidemiology, Nov. 2005.

de 4% mas que a da classe baixa pode variar de 4% a 16% (parâmetro), por ser mais provável viver perto das linhas AT. A variável independente (abcissas) é a participação relativa da classe baixa (L20) na população de controlo, versus a das outras. Se, por exemplo, a **exposição** média da classe baixa for tripla da das outras (parâmetro 0.12) e a sua **participação** relativa nos estudos de controlo for de apenas 50%, isso só por si produzirá um Risco Relativo (enviesado) de **1.17**.

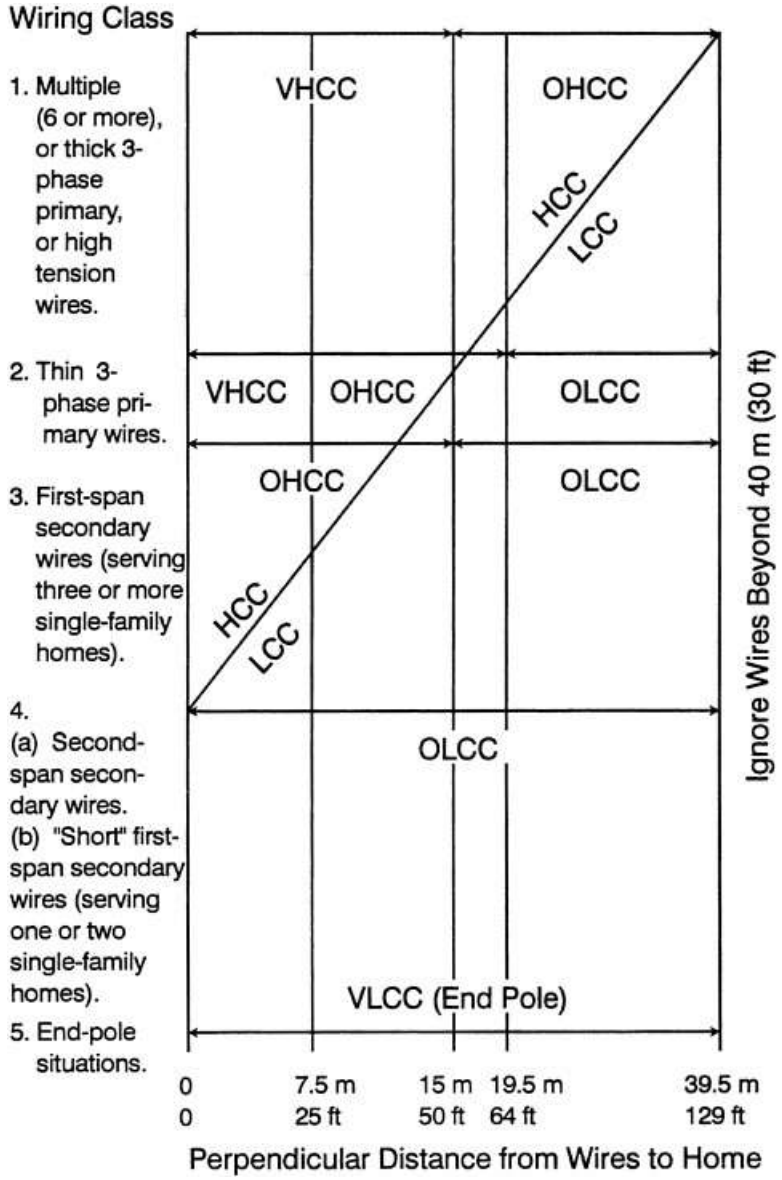

Figura 4.6: Classificação dos "wire codes" em função das características dos condutores e da sua distância às residências.

Outro aspecto que tem sido amplamente discutido como factor de enviesamento e/ou incerteza é a da correspondência entre "*wire codes*" e intensidade de campo magnético. É certo que nos estudos europeus esse método não foi utilizado mas, mais uma vez, com excepção dos estudos britânicos, os estudos europeus sofrem do problema da grande incerteza associada ao pequeno número de casos expostos observados. E quanto aos estudos britânicos, recorde-se que o único que pretende ser taxativo sobre a existência de uma associação entre a proximidade das linhas

AT e o risco relativo de leucemia infantil é o de Draper, ao qual voltaremos adiante. Na figura 4.6 mostram-se os critérios de classificação dos "*wire codes*". Como atesta a tabela 4.17, a associação existente entre os "*wire codes*" e a intensidade magnética real é relativamente imprecisa, o que abre caminho a erros de classificação dos casos e dos controlos quanto ao seu grau de exposição.

	Campo médio medido (μT)			
Estudo	**VLCC**	**OLCC**	**OHCC**	**VHCC**
Wertheimer e Leeper 1982	<0.05	μ0.05	0.12	0.25
Savitz et al. 1988	0.03	0.051	0.09	0.216
London et al. 1991	0.043	0.058	0.066	0.107
1000 Homes Study (EPRI 1993a,b)	0.04	0.06	0.08	0.12
EMDEX Study (EPRI 1993c)	0.063	0.09	0.124	0.205
Média	**0.044**	**0.065**	**0.096**	**0.180**

Tabela 4.17 – Associações entre "wire codes" e intensidades de campo magnético

Naturalmente, a medida directa dos campos nas residências é, em princípio, um indicador muito superior aos "*wire codes*" no que respeita ao grau de exposição. Porém, os autores dividem-se sobre o que medir: amostras temporalmente curtas ("*spot*"), ou médias diárias, ou semanais? E serão as medidas actuais representativas das existentes quando da iniciação da doença, tanto para doentes como para controlos? Um problema mais grave associado às medidas, sobretudo às prolongadas, é que se defrontam com a recusa de colaboração de grandes sectores da população, o que nos remete para os problemas de enviesamento discutidos anteriormente…

Apesar de todos estes problemas, é uma posição comum, inclusivamente por parte da OMS, a de considerar improvável ("*unlikely*") que a predominância de associações positivas entre altos níveis de campo magnético na proximidade das linhas AT e o aumento de incidência relativa da leucemia infantil seja fruto do acaso. Tal posição, porém, acrescenta ao puro resultado dos números (que em todos os casos, como se viu, têm um intervalo de incerteza compatível com a não-associação, excepto nos 2 estudos de conjunto que fundamentaram a posição da OMS mas que sofrem, por outro lado, do problema de serem dominados pelos estudos norte-americanos e de estes serem particularmente susceptíveis de enviesamento), um elemento de crença ("*belief*"). Ora a introdução de elementos de crença na interpretação dos puros resultados **frequencistas** permite que os estudos estatísticos sejam estudados de uma outra perspectiva, muito mais complexa, **bayesiana**.

A perspectiva bayesiana foi efectiva e muito recentemente adoptada por Sander Greenland[45], o professor da UCLA que dirigiu um dos dois estudos de conjunto publicado em 2000 e que suportaram a decisão da IARC/OMS em 2002, na revisão dos resultados obtidos. E, com efeito, começando por alargar os resultados que obtivera em 2000 com a inclusão do estudo britânico da UKCCS de 1999, mas tratando agora as inúmeras fontes de incerteza e de enviesamento possíveis de forma rigorosa, com recurso a métodos de Monte Carlo, Greenland reafirma basicamente

45 Greenland et al, "*Leukemia Attributable to Residential Magnetic Fields: Results from Analyses Allowing for Study Biases*", Risk Analysis, Vol. 26, nº2, Novembro 2006.

a possibilidade de existência de uma associação entre exposição prolongada a campos com B> 0.3 μT e leucemia infantil (com um risco relativo de 1.70), mas com um intervalo de confiança uma ordem de grandeza mais largo que os calculados pelas técnicas puramente frequencistas! Ou seja, a conclusão de Greenland é que a referida associação entre CEMEBF até pode ser superior ao referido valor calculado, mas que também pode não existir de todo, e que basicamente **os estudos epidemiológicos efectuados são inúteis para a produção de qualquer evidência**!

O único estudo remanescente destas críticas é o de **Draper *et al*** (2005), devido tanto à extensão das suas amostras como aos métodos objectivos utilizados. Porém, a forma como foram classificados os casos no seu estudo, quanto à escolha dos intervalos (em distância às linhas) e especialmente quanto ao agrupamento dos controlos, tem sido criticada[46]. Na figura 4.7 mostramos como, de acordo com os intervalos de classificação de Draper, evolui o risco relativo de leucemia com a distância às linhas… e como evolui o de cancro no cérebro!

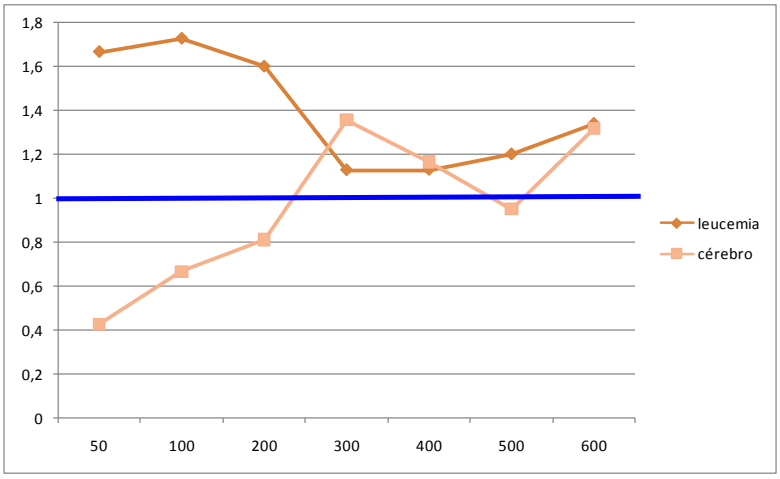

Figura 4.7: Riscos relativos de leucemia e de cancro no cérebro em função da distância às linhas AT no estudo de Draper (2005). OR calculados com controlos "adaptados" em Draper et al.

Obviamente, a argumentar que deste estudo resulta claro o incremento de leucemia infantil com a proximidade das linhas AT, ter-se-á também de aceitar que em contrapartida as linhas AT são imunizantes contra o cancro do cérebro…!

Na verdade, a "adaptação" realizada por Draper *et al* dos números de casos e de controlos para as várias formas de cancro estudadas (tabela 4.14, pag. 49), se facilita o cálculo numérico do **risco relativo** de acordo com a equação (1.2) que apresentámos na pag. 60, por outro lado perde a informação que resulta da consideração do

46 Keyfhets et al, "*Childhood cancer and power lines results depend on chosen control group*" (Letter – discussão do artigo de Draper), BMJ Setembro 2005. Esta importante discussão foi amavelmente remetida ao autor deste relatório por David Jeffers (mencionado na nota de rodapé 32, pag. 51). Também Broch et al, "*Lignes électriques à haute tension et cancer chez lénfant: ce que certains… oublient*", www.unice.fr/zetetique, Março 2006.

total de controlos considerados e cuja principal virtude deve ser, como vimos, a de representar o melhor possível a exposição da população em geral. Acresce ao exposto que as proporções dos controlos seleccionados por Draper *et al* para cada tipo de cancro são estranhamente diferentes, como se ilustra na figura 4.8.

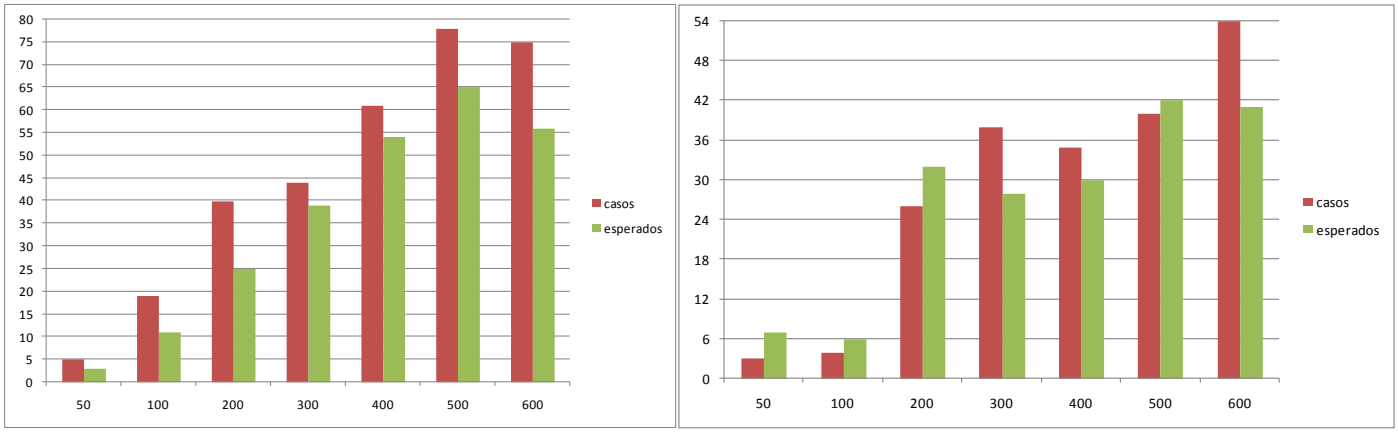

Figura 4.8: Número de casos (castanho) e de controlos (verde) respectivamente para a leucemia infantil (esquerda) e o cancro do cérebro (direita), no estudo de Draper (2005). As abcissas representam a distância ao eixo das linhas

Na verdade, sendo o propósito dos controlos a representação da exposição geral da população, seria de esperar que as porções de população residentes nas diversas zonas a diferentes distâncias do eixo das linhas fossem as mesmas para ambas as doenças, o que não se verifica, como é evidente na figura (as colunas a verde deveriam ser proporcionais, entre os dois gráficos, para as mesmas distâncias às linhas).

Este estranho facto tem particular importância por que Draper *et al* agrupam no seu *paper* (identificado na nota de rodapé nº 31 na pag. 48) os casos de leucemia infantil, ilustrados na figura 4.7, em dois grupos: os situados até 200 metros das linhas, e os situados de 200 a 600 metros. É notório na fig. 4.7 que os OR são similares em cada um destes grupos, e isso permite a Draper *et al* afirmarem que os OR para a leucemia infantil são respectivamente **1.69** e **1.22** para d<200 m e para 200m<d<600m, com estreitos intervalos de confiança que não contêm a unidade: respectivamente [**1.13, 2.53**] e [**1.02, 1.49**]. Aparentemente, portanto, os resultados de Draper *et al* parecem confirmar em definitivo a associação entre proximidade das linhas AT e leucemia infantil! Infelizmente Draper *et al* não apresentam no seu *paper* agrupamento similar para o cancro do cérebro, que "provaria" o carácter imunizante das linhas em relação a esta doença…

Por estas razões, os autores da *letter* já mencionada de discussão do *paper* de Draper *et al* propõem que se revejam os resultados produzidos por esta investigação considerando todos os controlos, abandonando a comodidade da "adaptação" dos números de controlos aos de casos mas permitindo utilizar toda a informação que os controlos contêm. Os resultados assim corrigidos, correspondentes aos da fig. 4.7, estão ilustrados na fig. 4.9.

Como é patente, há dois aspectos que de imediato se evidenciam: a) os OR tornam-se muito mais próximos da unidade, reduzindo-se os excessos de leucemia mas também as anómalas reduções de cancro do cérebro; b) os OR evidenciam uma grande irregularidade perto das linhas AT, fruto da natural dispersão resultante da (ainda) pequenez do número de casos de cancro infantil nessas proximidades.

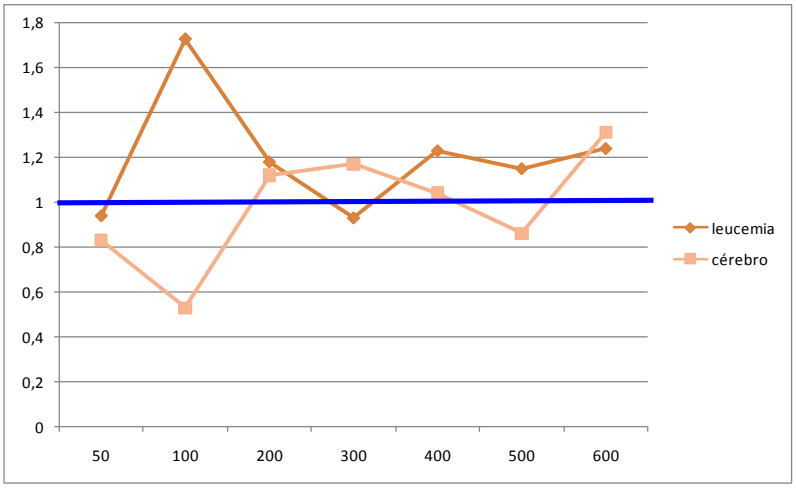

Figura 4.9: Revisão da fig. 4.7 considerando todos os controlos.

De modo a reduzir a dispersão evidenciada na maior proximidade das linhas, os críticos do estudo de Draper em referência propõem então que se considere o comportamento do **conjunto de todos os cancros infantis** com a distância às linhas, produzindo os resultados muito mais regulares ilustrados na fig. 4.10.

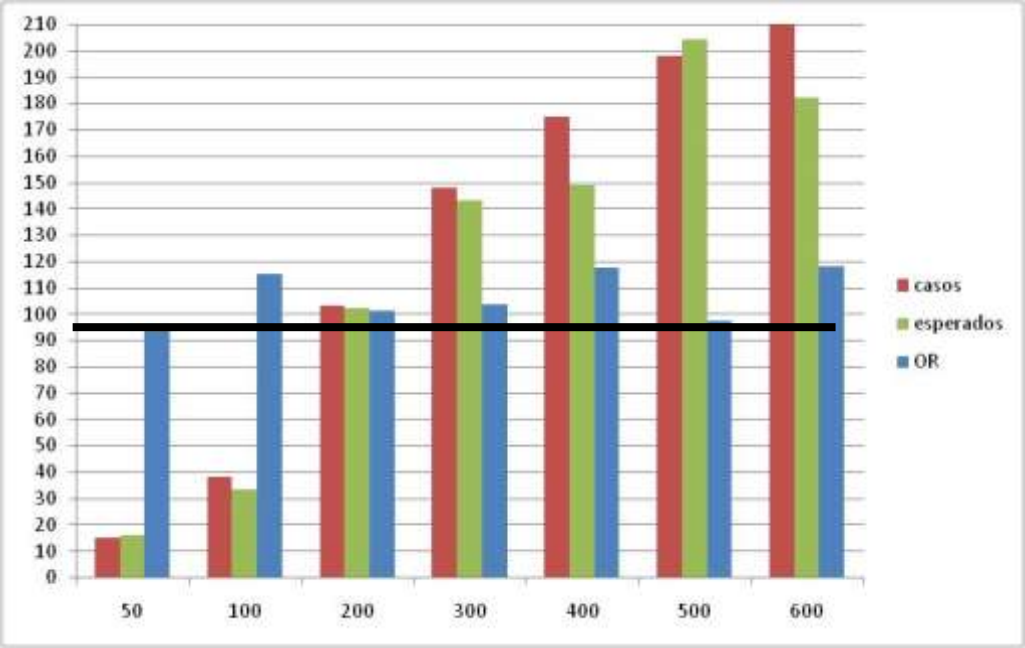

Figura 4.10: Número total de cancros infantis (castanho), número total de casos esperados (verde) e Risco Relativo em % (azul), segundo os dados do estudo de Draper (2005). A conclusão torna-se evidente: não há qualquer relação entre a proximidade às linhas AT e o cancro infantil!

O RR geral oscila agora entre os extremos de 0.94 e 1.18, **não se manifesta nenhuma tendência de crescimento do risco relativo com a maior proximidade às**

linhas AT, e os intervalos de confiança associados são também muito mais estreitos, contendo sempre a unidade. Parece óbvio que este estudo objectivo, contabilizando 9700 leucemias e o triplo dos controlos, numa população de 59 milhões de pessoas ao longo de 33 anos, poderá ter sido de facto o estudo epidemiológico "definitivo"… mas para a prova da inexistência de qualquer relação entre cancro infantil e CEMEBF, e não para as conclusões alegadas pelos seus próprios autores!

Curiosamente, considerando que os controlos devem representar apenas a distribuição da população em geral à distância às linhas, e que a "adaptação" do seu número ao número de casos de cada patologia visa essencialmente uniformizar cálculos, verifica-se que os controlos dos três tipos de cancro ficam todos rigorosamente proporcionais entre si e ao seu total, como será correcto, se se procederem aos seguintes ajustes:

Até 50 metros: 3 controlos do cancro do cérebro forem transferidos para a leucemia (2) e para os "outros cancros" (1);

50 a 99 metros: 1 ou 2 controlos dos "outros cancros" forem transferidos para o cancro do cérebro;

100 a 199 metros: 9 controlos do cancro do cérebro forem transferidos para a leucemia;

200 a 299 metros: 12 ou 13 controlos dos "outros cancros" forem transferidos para a leucemia (9) e para o cancro do cérebro (3 ou 4);

300 a 399 metros: 4 controlos da leucemia e outros 4 do cancro do cérebro forem transferidos para "outros cancros";

400 a 499 metros: 7 controlos dos "outros cancros" forem transferidos para a leucemia (3) e para o cancro do cérebro (4);

500 a 599 metros: 5 controlos dos "outros cancros" forem transferidos para a leucemia.

Não parece implausível que a classificação de 29 mil controlos possa ter sofrido de erros destes, tendo em conta que no 12º ano do período de 33 anos coberto pelo estudo ocorreu uma grande reestruturação dos centros de registo de nascimentos que pode ter afectado a correcção da escolha dos controlos (*email* de Jeffers ao autor).

4.4.4 POSSÍVEIS ASSOCIAÇÕES CONFUSORAS DA LEUCEMIA INFANTIL

Dada a inexistência de qualquer mecanismo fisiológico capaz de explicar como poderiam os CEMEBF de baixa intensidade causar ou promover mutações genéticas de tipo cancerígeno, tem sido colocada a hipótese de, aceitando o resultado dos estudos epidemiológicos de conjunto, existir de facto alguma causa de aumento da incidência relativa da leucemia na proximidade de linhas AT, mas não os CEMEBF. Essa hipótese tem-se materializado em várias sugestões, mas sem comprovação até

ao momento (Janeiro de 2008): a maioria tem a ver com outros dados conhecidos sobre a leucemia infantil e depende em grande parte da evolução de investigações específicas dessa doença para que se confirmem, mas há uma outra que suscitou um projecto de apreciável dimensão nos EUA, a "teoria da banheira leucémica".

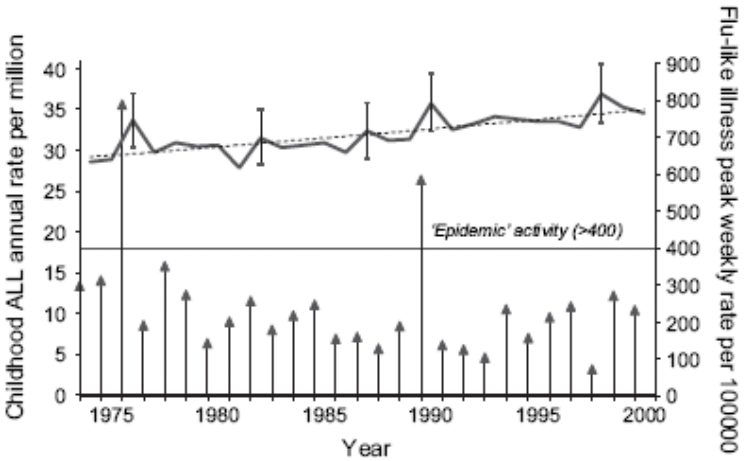

Figura 4.11: Correlação entre surtos de constipações e de leucemia infantil linfoblástica aguda (ALL).

Os referidos factores de confusão associados á etiologia da leucemia infantil baseiam-se na ideia de que, tendo-se verificado que esta doença ocorre por surtos espácio-temporais correlacionáveis com surtos de constipações e gripes, como se ilustra na figura 4.11[47], poder-se-ia mostrar que as populações vivendo na proximidade das linhas AT teriam características sociais que as predisporiam a uma maior taxa de infecções epidémicas. Porém, a própria sociologia das constipações é também matéria de investigação recente, pelo que não é previsível a confirmação desta hipótese em futuro imediato[48].

A "teoria da banheira leucémica" surgiu nos EUA e é intelectualmente estimulante, mas não merece grande crédito por **os seus pressupostos não poderem ser aplicados à Europa[49]**. Baseia-se no facto de, nos EUA, e dadas as práticas de electrificação lá usuais, haver uma considerável probabilidade de fortes campos magnéticos produzidos por linhas AT poderem induzir tensões de alguns mV nas canalizações de água. Essas tensões induzidas gerariam correntes de algumas dezenas de μA nas crianças em banho, talvez suficientes para irritarem a medula óssea.

Mesmo que esta teoria pudesse ser aplicável nos EUA e na Europa do Norte onde foram realizados os estudos epidemiológicos sobre leucemia infantil, não o é garantidamente em Portugal, devido às práticas e Regulamentos existentes.

---

47 Kroll et al, "*Childhood Leukemia incidence in Britain, 1974-2000: Time trends and possible relation to influenza epidemics*", Journal of National Cancer Institute, Março 2006.

48 Viboud et al, "*Synchrony, Waves, and Spatial Hierarchies in the Spread of Influenza*", Science, Vol. 312, Abril 2006.

49 Kavet, "*Contact current hypothesis: summary of results to date*", Bioelectromagnetics Suplement, 2005.

5. A POSIÇÃO EM 2007 DA OMS SOBRE OS EFEITOS CRÓNICOS DOS CEMEBF: ATITUDE PRECAUCIONAL E APELO A MAIS INVESTIGAÇÃO

A posição da OMS sobre os eventuais efeitos cancerígenos do campo magnético e, em geral, dos CEMEBF, é a seguinte (extraída da monografia publicada recentemente, em **Junho de 2007**):

*"Para além dos efeitos agudos estabelecidos, há incertezas sobre a existência de **efeitos crónicos** por parte dos Campos ElectroMagnéticos de Baixa Frequência (CEMEBF), devido às limitadas provas existentes sobre a relação entre a exposição aos campos magnéticos da corrente e a leucemia infantil. Por conseguinte, autoriza-se o uso de medidas precaucionais. Contudo, não se recomenda que os valores-limite nos guias de exposição se reduzam a qualquer nível arbitrário em nome da precaução. Tal prática mina o fundamento científico sobre o qual os limites são baseados e é provável que seja uma maneira dispendiosa, e não necessariamente eficaz, de fornecer protecção.*

É razoável e autoriza-se que se realizem outros procedimentos precaucionais apropriados à redução da exposição. No entanto, a energia eléctrica comporta óbvios benefícios para a saúde, sociais e económicos, e as medidas precaucionais não os devem comprometer. Além disso, dada a fraqueza das provas de uma ligação entre a exposição aos campos magnéticos da corrente e a leucemia infantil, assim como o seu impacto limitado na saúde pública se houver essa ligação, os benefícios para a saúde da redução da exposição não são claros. Por conseguinte, os custos das medidas precaucionais devem ser muito baixos. Os custos da redução da exposição variarão de país para país, tornando muito difícil promover uma recomendação geral que equilibre os custos com o potencial risco dos CEMEBF.

Considerando o exposto, são feitas as seguintes recomendações:

- *Os políticos devem estabelecer **guias para a exposição aos campos electromagnéticos de baixa frequência** tanto para o público em geral, como para os trabalhadores. A melhor fonte de orientação, tanto para os níveis de exposição como para os princípios de avaliação científica, são os guias internacionais.*
- *Os políticos devem estabelecer um programa de protecção contra os CEMEBF que inclua **medições dos campos** de todas as suas fontes, de modo a garantir que os limites de exposição não sejam excedidos tanto para o público em geral, como para os trabalhadores.*
- *É razoável e autoriza-se a implementação de **procedimentos precaucionais de muito baixo custo para reduzir a exposição**, contando que os benefícios para a saúde, sociais e económicos da energia eléctrica não sejam postos em causa.*
- *Os políticos, os planificadores e os fabricantes devem implementar medidas de **muito baixo custo** ao construírem novas instalações e ao projectarem equipamento novo, inclusive electrodomésticos.*

- *Devem ser consideradas mudanças nas **práticas de engenharia** para reduzir a exposição aos CEMEBF gerados por equipamentos e dispositivos, desde que elas rendam benefícios adicionais, tais como uma maior segurança, ou um custo pequeno ou nulo.*
- *Quando se considerarem mudanças nas fontes existentes de CEMEBF, a redução dos CEMEBF deve ser considerada em simultâneo com os aspectos de segurança, fiabilidade e economia.*
- *As autoridades locais devem reforçar os regulamentos que tratem de cablagens, de forma a reduzir correntes à terra involuntárias na construção de novas instalações ou na recablagem de existentes, ao mesmo tempo que mantêm a segurança. Medidas pró-activas para identificar violações ou problemas em cablagens existentes seriam caras e provavelmente não justificadas[50].*
- *As autoridades nacionais devem realizar uma estratégia eficaz e aberta de **comunicação** para permitir a tomada de decisões informadas por todas as partes interessadas; isto deve incluir informação sobre como podem os indivíduos reduzir a sua própria exposição.*
- *As autoridades locais devem **melhorar a planificação de instalações emissoras de CEMEBF**, incluindo uma melhor consulta entre a indústria, o governo local e os cidadãos, ao localizarem as fontes principais de emissão de CEMEBF.*
- *Os Governos e a indústria devem promover programas de investigação para reduzir a incerteza das provas científicas dos efeitos sobre a saúde da exposição aos CEMEBF."*

A OMS elenca também o conjunto de pesquisas científicas que considera prioritários como objecto dos programas de investigação recomendados, das quais se retiram as seguintes, a que é atribuída a importância primeira:

- Estudos epidemiológicos:
  - Actualização das **análises estatísticas de conjunto** da incidência de leucemia infantil;
  - **Análises estatísticas de conjunto** sobre incidência de cancro infantil no cérebro;
- Outros estudos:
  - Desenvolvimento de modelos de ratos transgénicos para uso em estudos com Campos Magnéticos;
  - Avaliação de efeitos carcinogénicos com estudos *in vitro;*
  - Determinação de **limiares de resposta** dos campos eléctricos induzidos pelos CEMEBF **em sistemas multi-celulares**, usando estudos teóricos e *in*

50 Esta recomendação aplica-se mais, sem dúvida, aos EUA, dada a natureza monofásica com regime de neutro distribuído que é ali usual nas redes de distribuição em Média Tensão.

vitro.

Como se vê, a OMS não parece, presentemente, na disposição de rever a posição que a IARC tomou em 2002, ao apontar o campo magnético como um agente físico possível de eventuais aumentos de incidência da leucemia infantil, apesar da controvérsia gerada pelo estudo de Draper em 2005. Pelo contrário, parece considerar que os resultados deste último estudo devem ser combinados com os dos anteriores, numa análise alargada que não poderá deixar de se basear nos mesmos pressupostos.

Por outro lado, também a União Europeia possui organismos com posições definidas e revistas anualmente sobre esta questão. Assim, e por exemplo, o SCENIHR[51] reafirmou recentemente (Março de 2007) no seu relatório "*Possible effects of EMF on Human Health*" a opinião de que se mantém a conclusão de que os CMEBF são possivelmente carcinogénicos, essencialmente no que respeita à leucemia infantil, mas que no entanto as investigações mais recentes permitem concluir pela improbabilidade da sua associação a doenças cardiovasculares e ao cancro mamário.

Está anunciado para Maio de 2008 um *Workshop* da OMS e da ICNIRP que pretende reavaliar as evidências existentes e, sobretudo, reorientar os estudos futuros, à luz das novas provas científicas que incluem a identificação das mutações genéticas associadas à leucemia infantil linfoblástica aguda. Parece ser possível esperar que nos próximos anos se clarifique completamente a relação (eventualmente inexistente) entre os CEMEBF e a leucemia infantil.

51 SCENIHR: *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks*. Pertence à Direcção-Geral de Protecção dos Consumidores e da Saúde da União Europeia. O presidente do SCENIHR é Ahlbom, que também dirige vários Grupos de Trabalho da OMS sobre os CMEBF.

6. TENDÊNCIAS DAS DECISÕES JURÍDICAS EM CASOS DE LITIGAÇÃO E MEDIDAS EM ADOPÇÃO EM VÁRIOS PAÍSES

Independentemente das posições de instituições responsáveis pela saúde pública, como a OMS e outras, e da realidade científica sobre a nocividade ou não do campo electromagnético, existe um problema universal de **opinião pública** que se manifesta num crescendo de litigações contra as empresas de electricidade. Este problema é, antes de mais, um **problema político e** potencialmente **económico** e, portanto, interessa analisar as tendências mundiais na sua gestão.

Presentemente existe documentada, nos EUA, uma preocupação pública crescente de que os campos electromagnéticos causem danos pessoais ou a bens. Este preocupação tem-se expresso em litigações com acusações de toxicidade, nas transacções de propriedades e em penalizações pelas companhias de seguros[52].

É patente que um grande número de pessoas encara o campo electromagnético como um risco potencial. Em 1999, o jornal *USA Today* realizou um inquérito a 4.567 leitores e concluiu que o campo electromagnético era a preocupação ambiental número um na América. Em 25 de Agosto de 2000, a popular revista de tecnologia *ZD net* publicou um artigo intitulado, "*Estará o seu telemóvel a fritar-lhe o cérebro?*" e foi perguntado aos leitores da *ZD net*: "*Pensa que o uso do telemóvel é perigoso para a sua saúde?*". Das 11.000 pessoas que responderam, 54% disse que sim, 24% que não, e 23% que esperaria pela conclusão dos estudos do Governo para se decidir. Quase todos os meses algum jornal ou revista tem um significativo artigo sobre as possíveis ligações entre o campo electromagnético e impactos adversos para a saúde, e os conflitos sobre antenas e linhas de Altas Tensão gozam de grande publicidade nos *media*.

A maioria dos casos de litigação associados ao campo electromagnético inclui reclamações de danos pessoais ou de danos ou desvalorização de propriedades. As reclamações de danos pessoais baseadas na exposição aos campos electromagnéticos não têm tido bom acolhimento nos tribunais norte-americanos, principalmente porque ninguém apresentou provas científicas persuasivas de que os campos electromagnéticos causem efeitos à saúde particularmente adversos. Porém, as reclamações de danos a propriedades têm sido muito mais bem sucedidas. A maioria das reclamações relativas a propriedades tem-se baseado em que os campos electromagnéticos diminuem o respectivo valor, visto os medos públicos relativamente aos campos reduzirem o valor que os eventuais compradores estariam dispostos a pagar pelas propriedades. A **opinião judicial maioritária** nos EUA, considerada

52 Vd a publicação da empresa de advogados norte-americana JENNER & BLOCK, "*EMF Conflicts in Toxic Torts, Property Transactions and Insurance*", de Winter 2002 (disponível na Internet). O raciocínio apresentado no seguimento segue em boa parte o dessa publicação.

"liberal", defende que os proprietários de terrenos podem ser compensados pela desvalorização da sua propriedade resultante dos medos públicos, quer esses medos sejam razoáveis ou não. Tem havido, por isso, casos de indemnizações milionárias pagas por companhias de electricidade[53].

A opinião judicial "intermédia" nos EUA é exemplificada pelo caso *Dunlap v. Loup, 284 N.W. 742 (Neb. 1939*), envolvendo a construção de uma linha aérea numa quinta. O Supremo Tribunal do Nebraska estabeleceu o valor dos danos, indicando que embora não devam ser compensados medos genéricos, se esses medos forem razoáveis e afectarem o preço que um comprador de terrenos estiver disposto a pagar, essa perda deve ser compensada. Praticamente todas as opiniões judiciais "intermédias" têm admitido a alegação de danos económicos por desvalorização dos terrenos devida aos medos públicos dos campos electromagnéticos gerados pelas linhas de energia. Por conseguinte, a opinião "intermédia" produz o mesmo resultado que a "liberal" para casos destes.

A opinião judicial minoritária ("conservadora") defende que a perda de valor devida a medos públicos nunca é compensável. A maioria dos casos decididos "conservadoramente", porém, foi-o antes da actual publicidade e da publicação dos estudos científicos relativos aos campos electromagnéticos, e claramente a tendência das decisões mais recentes nos tribunais tem sido no sentido das da maioria.

Estes casos de desvalorização de propriedades são importantes por causa dos significativos potenciais impactos por todo o país. No número de Julho de 1992 da revista *Science*, um autor estimou que "*para cima de um milhão de casas e de 10 milhões de acres de terra nos EUA estão suficientemente perto de linhas de transmissão para que os níveis dos campos electromagnéticos excedam o que é considerado normal*." Uma perda de 1% no valor dessas propriedades poderia resultar em um bilião de dólares dos EUA em danos. Alguns avaliadores de propriedades nos EUA estimam em 20% a sua desvalorização média resultante de CEMEBF e de linhas aéreas, e no Reino Unido um estudo recente menciona valores entre **5% e 25**%, tanto maiores quanto mais próxima estiver a linha do terreno.

Postas estas considerações, decerto extrapoláveis para Portugal com as devidas adaptações, será interessante avaliar como se têm as companhias de electricidade e os legisladores dos vários países posicionado face a este problema mundial.

Uma síntese recente[54] aponta para a seguinte situação em diversos países, no que respeita à protecção contra os campos electromagnéticos e por ordem crescente de exigência:

---

53 A *San Diego Gas & Electric Co*, pagou, numa acção versus *Daley* (1988), 486 milhões de USD, na decisão de apelação (na 1ª instância fora condenada apenas a pagar 1 milhão por desvalorização de propriedade)!...

54 S. Kandel, da Universidade de Jerusalém, "*ELF Polices worldwide – Protection of General Public*", Workshop da OMS em Genebra, Suíça, 20 e 21 de Junho de 2007.

1. **Países sem política oficial definida**: Arménia, Uzbequistão, Cazaquistão, Mongólia, Bahrain, Índia, Malásia, Tailândia, EUA e Canadá;
2. **Países que estão a estudar a adopção das recomendações da ICNIRP:** em geral os da América Latina - Colômbia, Uruguai, Chile…
3. **Países que adoptaram de facto as recomendações da ICNIRP, mas que as não obrigam por lei**: Austrália[55], Nova Zelândia, Singapura, Coreia do Sul, Taiwan, Venezuela, Brasil, África do Sul, Lituânia, Bulgária, Dinamarca, Suécia, Luxemburgo, Malta, Bélgica, Irlanda, Holanda, Alemanha, França, Reino Unido e Espanha;
4. **Países que incorporaram as recomendações da ICNIRP na sua legislação nacional**: Áustria, Finlândia, Grécia e Portugal;
5. **Países que já tinham restrições mais severas que as recomendadas pela ICNIRP mas que se ajustaram a estas**: Estónia, Hungria, Noruega, Croácia e República Checa;
6. **Países com políticas mais exigentes que as recomendadas pela ICNIRP**: Rússia, Polónia, China, Japão e Argentina.

As listas anteriores referem-se ao posicionamento internacional no que diz respeito às recomendações quantitativas da ICNIRP de 1998 (portanto, contra os efeitos **agudos** dos campos electromagnéticos de baixa frequência), sendo de salientar que em alguns dos países referidos existem regiões com práticas diferenciadas, como é em particular o caso dos EUA. É também notável o vanguardismo de Portugal na **formalização legislativa** das recomendações da ICNIRP, à frente de países como a Espanha, França, Alemanha e Reino Unido[56]...

Entretanto e indo mais longe, alguns países adoptaram também, ou estão em vias de adoptar, **políticas precaucionais** contra os eventuais efeitos **crónicos** dos campos electromagnéticos, ajustando-se à orientação da OMS exposta no capítulo anterior. Ou seja, políticas que visam acautelar o alegado risco de **cancro** atribuído às linhas de Alta Tensão ou, pelo menos, corresponder aos medos públicos que lhe estão associados.

Um rápido levantamento permite elencar os seguintes países e respectivas medidas:

---

55 A Austrália tem em consulta pública e está em vias de aprovar (2007) um *standard* nacional sobre os limites de exposição aos CEMEBF. Trata-se de um compromisso aparentemente equilibrado entre as recomendações da ICNIRP, nomeadamente quanto ao campo magnético, e as do *standard* IEEE, quer quanto à fundamentação científica, quer quanto ao campo eléctrico e às excepções menos gravosas previstas para o público de passagem pelos corredores das linhas.

56 Na Alemanha existe uma ordem ministerial, a ordem BMT 306/97, que incorpora as recomendações da ICNIRP. A diferença entre tais recomendações estarem em normas técnicas ou em legislação governamental manifestar-se-á no potencial de litigação que poderão suscitar em tribunal.

Suíça (1999): Definiu um limite fixo para instalações em áreas sensíveis **-1 μT**. Adoptou limites precaucionais baseados no menor nível possível de exposição, tendo em conta considerações técnicas e económicas e isentando as novas instalações que tenham para isso razões técnicas ou económicas, e não é aplicável a instalações antigas que **optimizem a geometria dos condutores de fase**.

Israel (2001): Definiu a orientação, para **novas** instalações, de o campo magnético não ultrapassar em média diária, o valor de **1 μT**.

(2005): Definiu que "*sejam tomadas medidas para reduzir significativamente o número dos residentes, em geral, e de crianças em particular, que são contínua ou mesmo temporariamente expostos a campos magnéticos da rede eléctrica que excedam os valores citados na literatura profissional como possíveis causadores de riscos acrescidos para a saúde*". Na prática: redução dos níveis para **0.3-0.4 μT**!

Holanda (2005): Requer-se o aumento da distância de novas instalações, de modo que a exposição média de crianças ao campo magnético não ultrapasse os **0.4 μT**. Não se recomendam alterações às instalações existentes.

Itália (2003): Definiu um limite fixo para **novas** instalações relativamente a habitações existentes, e para novas habitações próximas de linhas existentes - **3 μT**.

Para instalações pré-existentes, adoptou um limite que garanta, para áreas sensíveis, que o campo magnético não ultrapassa, durante mais do que 4 horas/dia, o valor de **10 μT**.

Eslovénia (2006): Definiu um limite fixo para todas as **novas** instalações acima de 1 kV - **10 μT**.

Note-se que qualquer destes países estabeleceu limites arbitrários para o campo magnético na vizinhança de locais públicos, o que a própria recomendação precaucional da OMS de Junho de 2007 considera não se justificar, face ao estado do conhecimento científico na matéria.

No entanto, um conjunto de outros estados tem em elaboração planos para diversas medidas precaucionais, ou está já no processo da sua implementação. Como exemplos muito significativos, são de mencionar:

Suécia (1996, 2005): Aderiu ao princípio de reduzir exposições ao campo magnético "*que se desviem radicalmente do que seria considerado normal*" com "*custos e consequências razoáveis em todos os aspectos*".

Noruega (2005): Aderiu ao princípio de reduzir exposições a níveis tão baixos quanto o praticamente realizável – tomando o nível de **0.4 μT** como referência.

Um certo número de estados, entretanto, optou ou está em vias de optar por limitações nas **distâncias** de construção das instalações, nomeadamente:

- Em **Israel,** não são concedidas licenças de construção para novas linhas a menos que estejam a pelo menos uma distância de: **35 m** para 400 kV; **20 m** para 161 kV; **3 m** para 110 kV e para de 11 a 36 kV; transformadores interiores: **3 m** de paredes partilhadas por quartos residenciais.
- Na **Califórnia**, foram definidas distâncias mínimas para a construção de novas linhas na proximidade de escolas (e vice-versa), para tensões acima de 50 kV (por exemplo: de 50 a 133 kV, **33 m**; para 220-230 kV, **50 m**; para 500-550 kV, **120 metros**).
- Na **Irlanda**, a Companhia de Electricidade não constrói novas linhas de transmissão ou subestações a menos de **22 metros** de edifícios pré-existentes nem permite a ninguém construir a menos dessa distância. Além disso, as autoridades locais não dão autorizações de construção para novas instalações de energia eléctrica na vizinhança de escolas ou de centros de saúde.
- No **Luxemburgo**, o Ministério dos Negócios internos recomenda que não se criem novas áreas residenciais na vizinhança das linhas aéreas de Alta Tensão (**30 metros**). Esta recomendação não restringe a construção em áreas residenciais já existentes.
- No estado norte-americano do **Connecticut**, são requeridas zonas tampão para as novas linhas aéreas de transmissão de 345 kV ou superiores.

Outras medidas avulsas que têm sido, ou estão em vias de ser, adoptadas, são:

- O evitar construir novas linhas, que se está a verificar nos EUA, nomeadamente nos seguintes estados: **Califórnia, Colorado, Connecticut, Maryland, New Jersey, Hawaii, Ohio** e **Pennsylvania**;
- O envolvimento público na localização de futuras instalações: **Holanda, Irlanda, Reino Unido e Itália**;
- A exigência de acordo entre as empresas de electricidade, o Governo e as municipalidades locais, na localização de futuras instalações: **Holanda e Reino Unido**.

Alguns estados têm adoptado soluções técnicas que passam por modificações na geometria das linhas e/ou pela elevação dos respectivos postes de sustentação, como o **Japão, a Califórnia e Israel**. Dois estados resolveram dedicar até **4%** do custo das instalações a medidas que reduzam a exposição pública aos CEMEBF: **Austrália** e **Califórnia**.

Um único país anunciou a adopção de uma política generalizada de passagem a cabo subterrâneo das linhas de Alta e Muito Alta Tensão, incluindo desde 2006 as de 400 kV: **a Turquia**.

Entretanto, em alguns países tem-se procurado desenvolver **análises de custo-benefício** que suportem uma escolha optimizada entre as opções existentes de medidas precaucionais, sendo de realçar os casos da **Holanda e do Reino Unido**.

É à luz destas análises de custo-benefício que se apresentarão, no próximo capítulo, soluções técnicas que têm sido investigadas para a redução da exposição pública aos CEMEBF no cumprimento das recomendações da OMS.

7. REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO PÚBLICA AOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE EXTREMAMENTE BAIXA FREQUÊNCIA GERADOS PELAS LINHAS DE ALTA TENSÃO

7.1. SOLUÇÕES TÉCNICAS PARA A REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO PÚBLICA AOS CAMPOS MAGNÉTICOS GERADOS POR LINHAS AÉREAS E SUBTERRÂNEAS

O campo magnético produzido por uma linha de energia em Alta Tensão, medido à altura, relativamente ao solo, de um ser humano, depende da sua distância ao solo e da geometria da sua disposição trifásica, e é proporcional à corrente que a percorre. A distância ao solo da linha, por outro lado, varia ao longo do percurso entre postes (vão) e atinge um mínimo, definido regulamentarmente por razões de segurança, perto do ponto médio do vão. Para linhas trifásicas, o campo magnético é aproximadamente proporcional à distância entre condutores, e inversamente proporcional ao quadrado da distância do condutor ao ponto de medida.

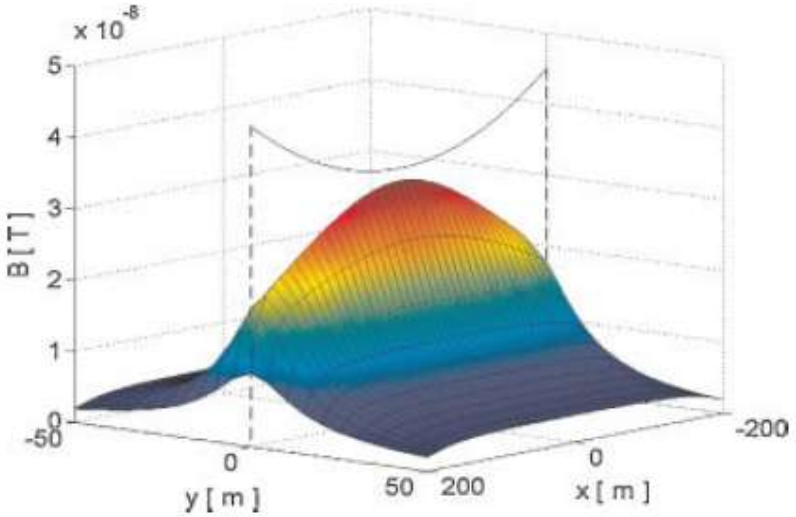

*Figura 7.1: Distribuição espacial do campo **magnético** sob uma linha aérea de energia.*

A figura 7.1 ilustra uma distribuição tridimensional do campo **magnético**, medido à mesma distância do solo e evidenciando que, de acordo com o que foi dito, ele é mais intenso ao longo do vão sob os condutores, e sob o vão é máximo no ponto inferior da catenária que descreve a curva do condutor.

Uma distribuição espacial similar se verifica para os campos eléctricos, conforme se ilustra na figura 7.2.

Destas considerações básicas podem apontar-se de imediato algumas orientações que permitem reduzir a intensidade dos campos a uma determinada distância do solo, tais como a elevação das linhas, usando postes mais altos, ou a redução da distância entre os condutores de fase. Estas opções, porém, defrontam como vere-

mos custos adicionais e dificuldades técnicas.

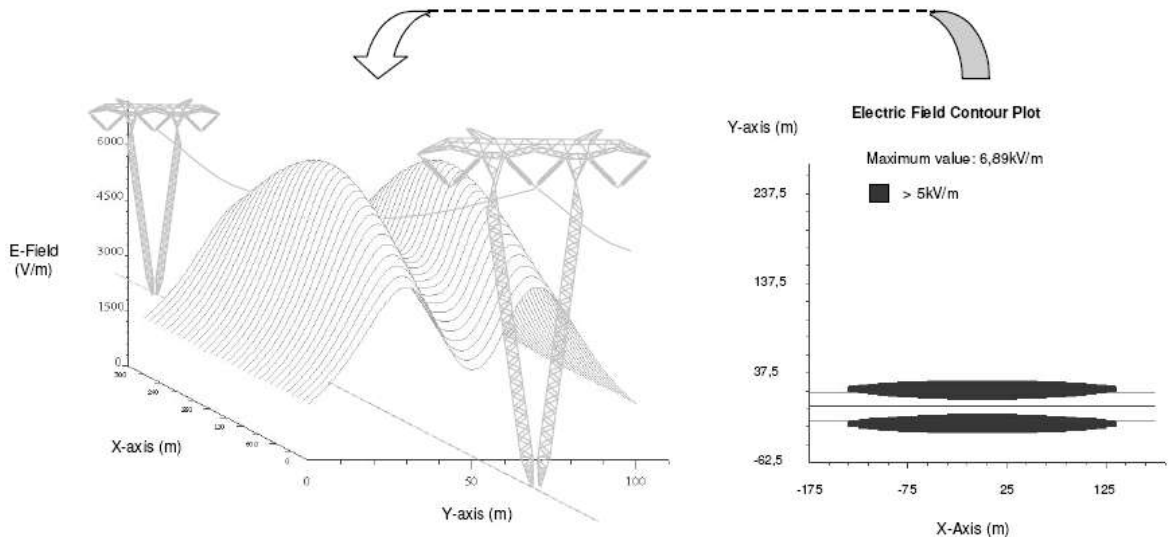

*Figura 7.2: Distribuição espacial do campo **eléctrico** sob uma linha aérea de energia.*

Entretanto, é útil adquirir desde já uma ideia das distâncias relativamente às linhas aéreas a que o campo magnético poderá chegar com valores da ordem de grandeza de 0,4 μT, valor que tem sido tomado como referência por muitos autores, na sequência do polémico estudo epidemiológico de conjunto conduzido por Ahlbom em 1999 (já que **para o valor de referência de 100 μT definido por lei não há quase nunca, recorde-se, necessidade de qualquer medida ou alteração técnicas**).

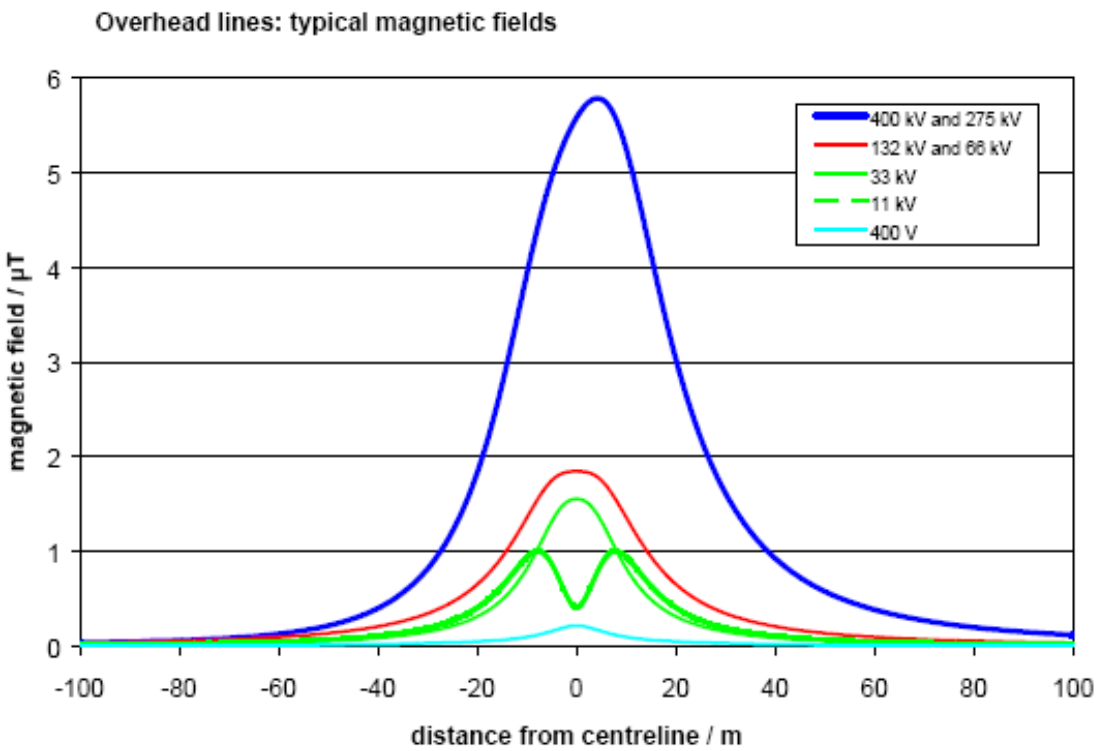

Figura 7.3: campo magnético em função do afastamento do plano vertical entre apoios, para vários níveis de tensão com geometrias e cargas típicas do Reino Unido

Estes valores de campo diferem consoante se considere a corrente máxima

transmissível pelos condutores das linhas, a corrente máxima de carga efectivamente observável em serviço, ou a corrente média de carga. Na figura 7.3 ilustra-se a distribuição de intensidade do campo magnético para linhas usadas no Reino Unido e diferentes níveis de tensão, com cargas **típicas** (com as **máximas** o diagrama correspondente é o da figura 7.4).

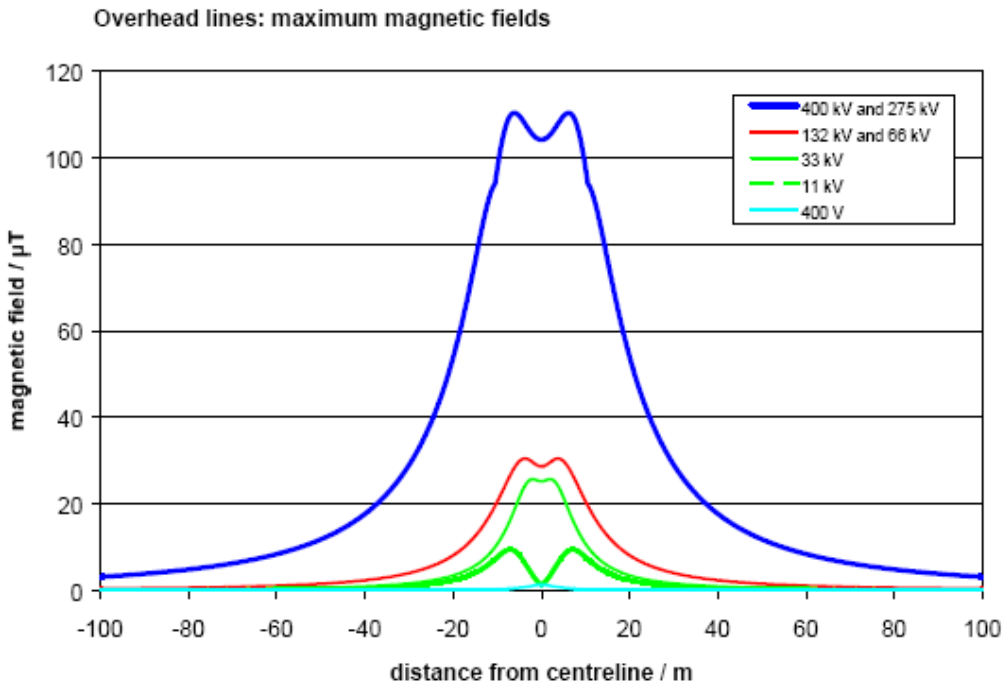

Figura 7.4: como na figura anterior, mas para cargas máximas

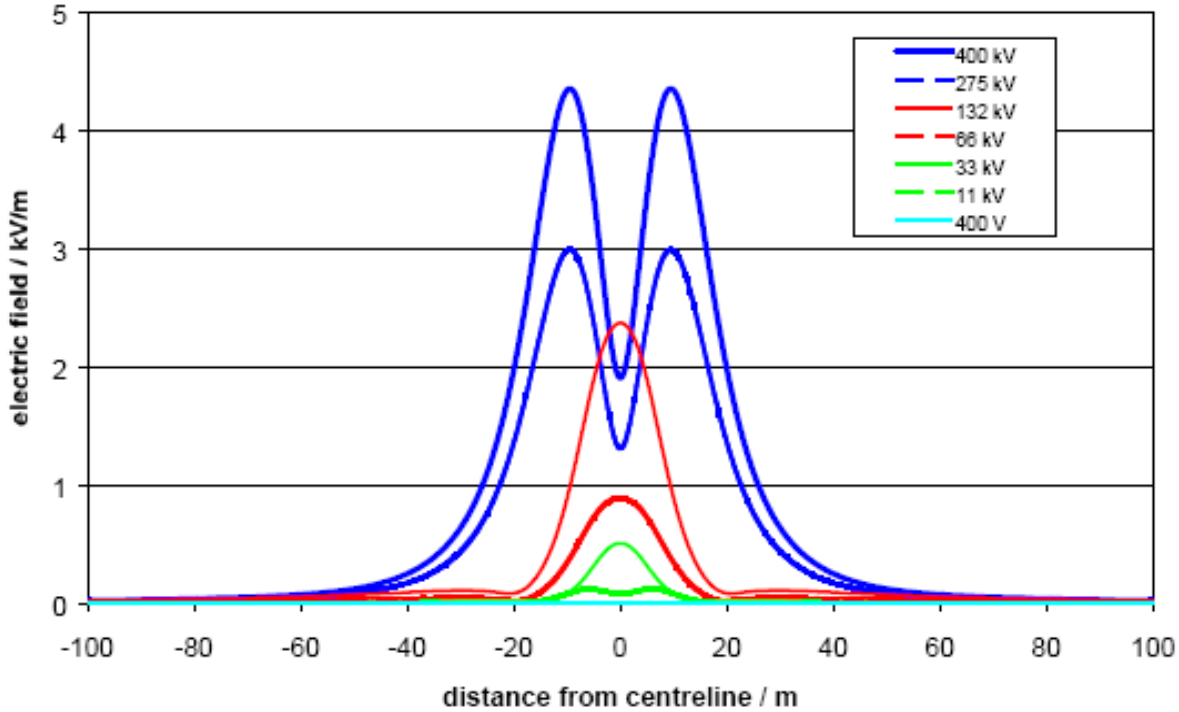

Figura 7.5: campo eléctrico em função do afastamento do plano vertical da linha entre apoios, para vários níveis de tensão com geometrias típicas do Reino Unido

Como se pode ver, para garantir a redução da exposição ao campo magnético a

valores inferiores a 1 μT (um valor arbitrário adoptado para referência por vários países, como se viu), serão em geral necessários **corredores de interdição**, sob as linhas, com larguras de pelo menos 60 metros, **30 metros e 15 metros**, respectivamente para as tensões de 400 e 275 kV, 132 e **66 kV, e 33 kV**. As duas últimas tensões têm um interesse óbvio para a EDP Distribuição.

Entretanto, o enterramento das linhas aéreas é, geralmente, a solução para a qual existe uma maior pressão popular e, por isso, começaremos pela respectiva consideração técnica, deixando as considerações de custo e outros aspectos práticos para o próximo subcapítulo.

7.1.1 ENTERRAMENTO DAS LINHAS

O enterramento das linhas aéreas poderá eliminar o impacto visual, quiçá estético, das linhas, mas não elimina os campos magnéticos gerados por elas, como se ilustra na figura 7.6. Na verdade, sobre as valas de enterramentos dos cabos, os campos são mesmo, regra geral, muito mais intensos que os máximos resultantes das linhas aéreas (para iguais níveis de tensão e corrente), como se ilustra na figura 7.7 para valores **típicos** (os máximos poderão ser até 3 vezes maiores). De facto, os condutores poderão não se ver, mas em geral a sua distância relativa aos seres humanos é muito menor do que para as linhas aéreas!

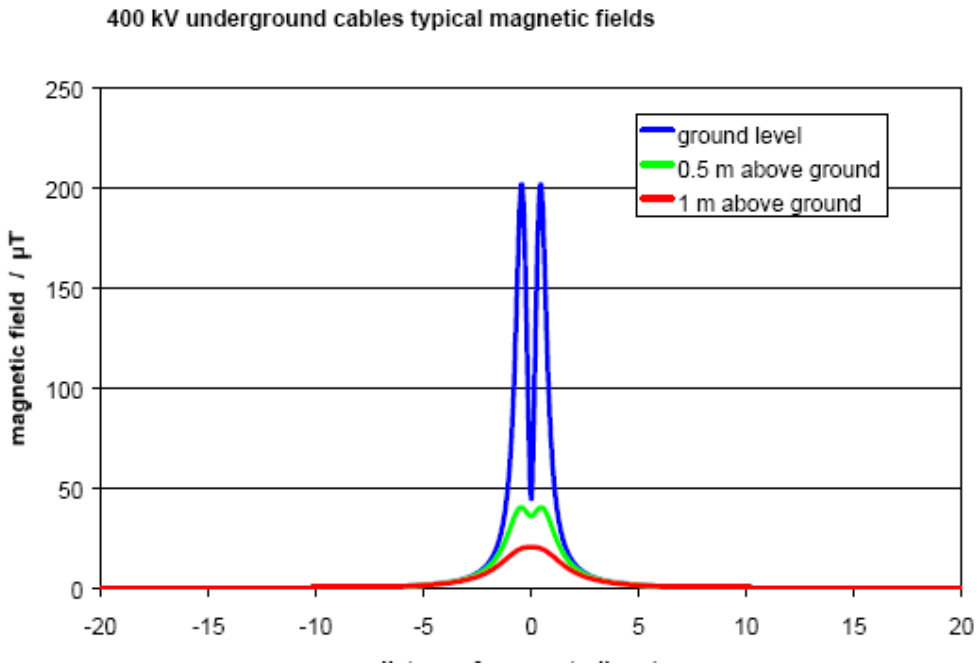

Figura 7.6: campo magnético a diferentes alturas relativamente ao solo para um cabo subterrâneo.

A procurar-se garantir zonas de exclusão pública para esse campo, o enterramento das linhas apenas reduz a sua extensão, mas continuará a ser necessário um corredor de exclusão que, para estes níveis de tensão e corrente, terá de ter ainda de **15 a 20 metros** de largura, a menos que os cabos sejam envolvidos por dispendiosos "*pipelines*" ou outras armaduras de ferro que funcionem como blindagens (embora algumas técnicas que optimizam a geometria de colocação dos cabos possam, como

para as linhas aéreas, melhorar a situação reduzindo para até cerca de metade a largura do corredor necessário[57]).

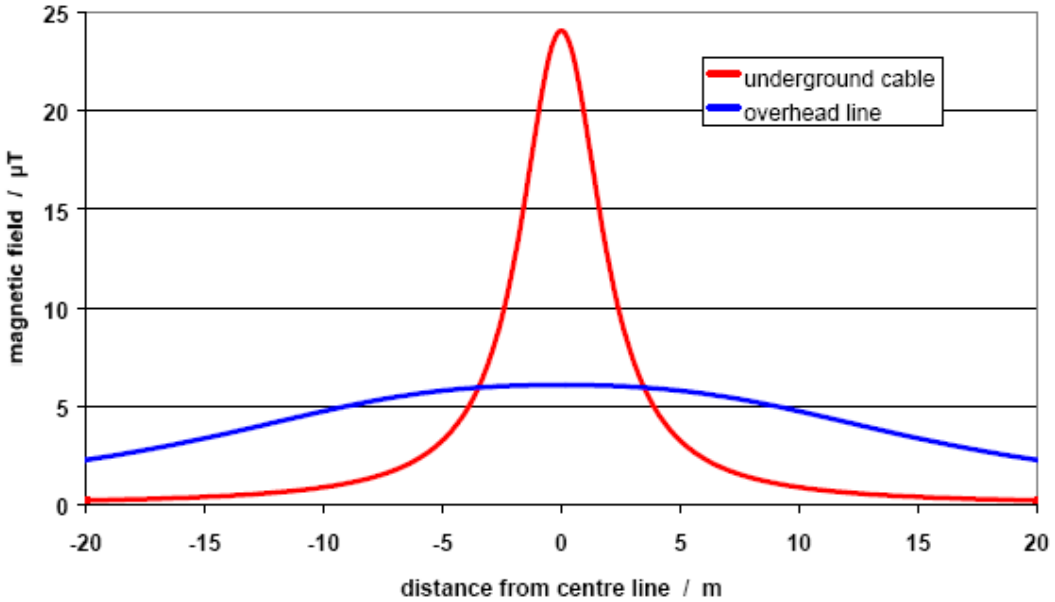

Figura 7.7: campos magnéticos a 1 metro de altura do solo para uma linha aérea (a azul) e um cabo subterrâneo (vermelho) com as mesmas tensão e corrente nominais.

Os valores apresentados foram para cabos enterrados a 1 metro de profundidade. Na distribuição são muitas vezes enterrados a menos (0,7 m sendo usual) e, devido à necessidade de deixar espaço entre os condutores que permita o escoamento de calor, o campo magnético por eles gerado é, à superfície do solo, **quase sempre superior ao das linhas aéreas de igual potência**. Na verdade e ao contrário da opinião popular comum, o enterramento das linhas aéreas só com medidas adicionais de blindagem magnética é efectivamente uma solução para o problema dos campos gerados pelas linhas.

7.1.2 ELEVAÇÃO DA ALTURA DAS LINHAS

Como se ilustrou atrás, o campo magnético atinge a intensidade máxima no ponto médio dos vãos das linhas, onde a altura destas é menor. Uma possível opção técnica seria, por isso, a elevação das linhas com postes mais altos. A figura 7.8 mostra o resultado atingido para uma linha de 400 kV.

Conforme a própria figura ilustra[58], verifica-se de facto uma forte redução do campo magnético no eixo da linha. Porém, a distância desse eixo a que o campo cai para 1 µT só se reduz de 30 para 20 metros quando a altura mínima ao solo da linha

57 R. Conti et al, "*Technical Solutions to Reduce 50 Hz Magnetic Fields from Power Lines*", IEEE Bologna Power Tech, Bologna, Italia, 2003.

58 As figuras apresentadas até aqui, neste sub-capítulo, foram retiradas do relatório "*Precautionary approaches to ELF EMFs - Supporting Papers to First Interim Assessment*", do Stakeholder Advisory Group on ELF EMFs (SAGE), Reino Unido, Abril de 2007.

é elevada de 8 para 24 metros. Notoriamente, esta é uma solução pouco eficaz, tendo em conta, ainda por cima, o agravamento de custos dos postes e do seu impacto visual.

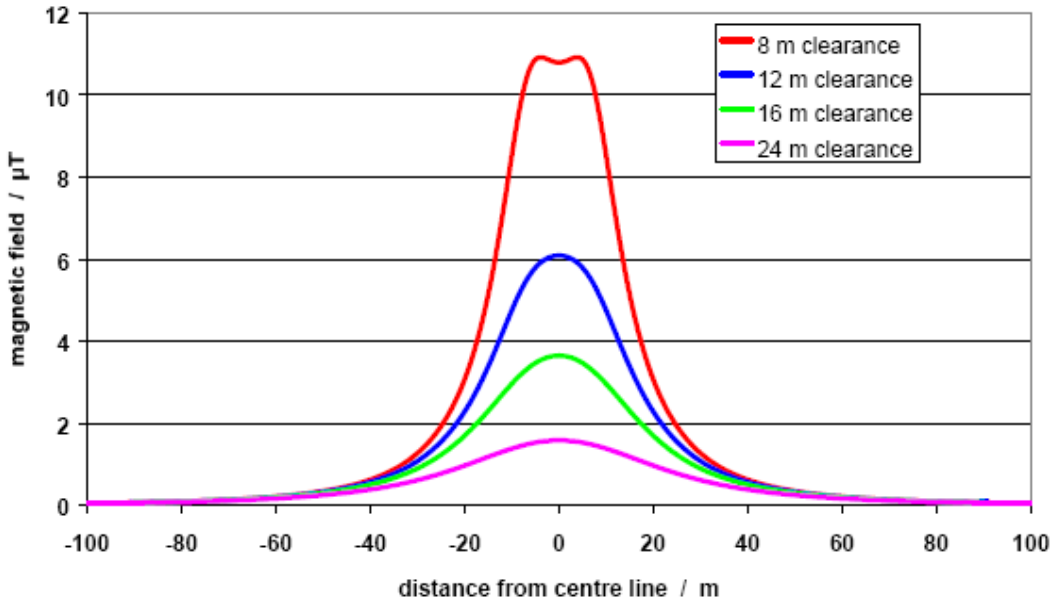

Figura 7.8: campos magnéticos a 1 metro de altura do solo para uma linha aérea com diferentes alturas do condutor relativamente ao solo. Para lá de 40 metros, o efeito é pouco significativo.

7.1.3 MODIFICAÇÃO DA GEOMETRIA DOS APOIOS DOS CONDUTORES

A escolha adequada da geometria dos apoios dos condutores tem um significativo impacto sobre o valor do campo magnético a 1 metro do solo, como se ilustra na figura 7.9, para 6 tipos diferentes de apoio[59], numa linha de 20 kV típica, com altura mínima ao solo de 6 metros.

Com excepção do caso de linhas duplas, para linhas simples as melhores soluções são as que dispensam travessas de apoio nos postes, com "compactação das linhas" (redução da distância entre condutores). No caso ilustrado, com travessas, embora a ligação em galhardete melhore a simetria de colocação dos condutores, a maior distância que requer entre eles (em metros, na figura) neutraliza em grande medida essa vantagem.

A "compactação" (redução da distância entre condutores) é uma solução eficaz, mas limitada pela necessidade de manter as necessárias distâncias de isolamento entre condutores. Além de um acréscimo do **efeito coroa** devido à intensificação do campo eléctrico resultante dessa maior proximidade, a necessidade de evitar o contacto fortuito entre condutores e as exigências de segurança para os trabalhos de

---

59 *in* p. Cruz Romero (Espanha), *"reduction of magnetic fields from overhead medium voltage lines"*, CIRED 2003

manutenção em tensão requerem, em regra, menores vãos de linha, e portanto um maior número de apoios, encarecendo-a.

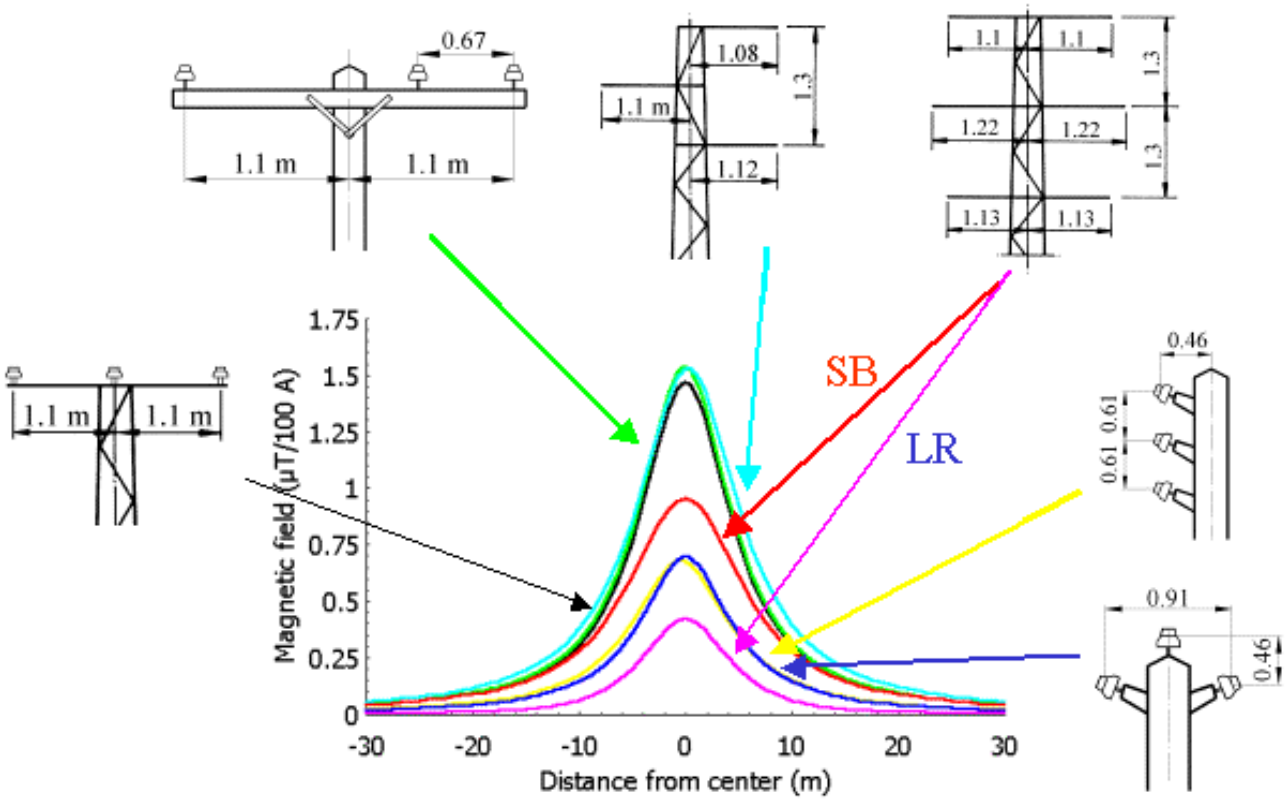

Figura 7.9: campos magnéticos a 1 metro de altura do solo para uma linha aérea com diferentes geometrias dos condutores resultantes de apoios diferentes. A esteira simples é a pior, e a linha dupla com adequada sequência de disposição das fases (LR), a melhor. A diferença entre estes dois extremos é muitíssimo significativa.

A utilização de **linhas duplas**, entretanto, permite a custo marginal uma redução radical do campo magnético. Além de transformar duas linhas paralelas, cada uma com os seus problemas de direitos de passagem e poluição magnética, numa única, o efeito combinado dos 6 condutores de fase permite, com uma geometria dos apoios que se aproxime do hexágono e a adequada sequência de fases (LR na figura 7.9, ou abc de cima para baixo à esquerda, abc de baixo para cima à direita), uma compensação mútua muito eficaz dos campos magnéticos, como se ilustra. Na verdade, a largura do corredor de interdição pode reduzir-se para cerca de **metade**, com esta solução.

7.1.4 BLINDAGEM MAGNÉTICA DE LINHAS

Para linhas já existentes e troços relativamente curtos, uma solução técnica alternativa é a respectiva blindagem magnética lograda pela instalação de condutores passivos como se ilustra na figura 7.10. Os condutores podem ser equipados com um condensador ressonante, embora isso seja uma solução dispendiosa e com pouco valor acrescentado na redução do campo. A redução é tanto maior quanto mais próximos estiverem os condutores de blindagem dos activos, mas a redução global

conseguida não é uniforme, como se ilustra na figura 7.11[60].

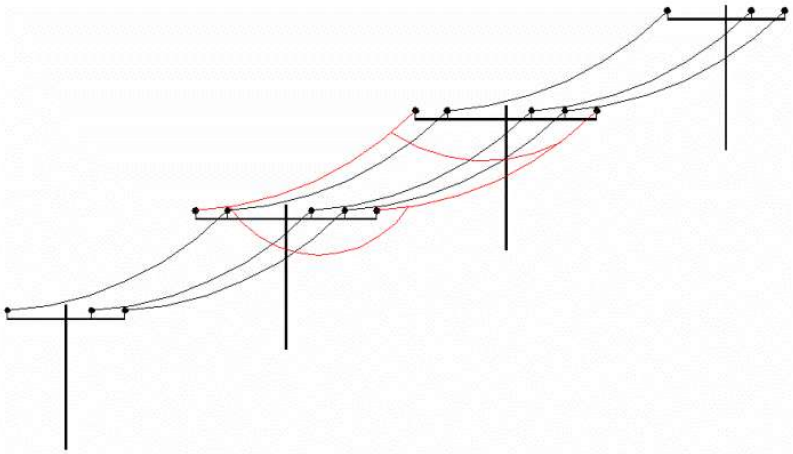

Figura 7.10: blindagem magnética (a vermelho) de um vão de linha com dois condutores passivos

Nesta figura, a curva a tracejado corresponde à distribuição espacial do campo magnético calculada sem consideração adequada da terra, e a curva 1 é que representa a distribuição correcta. A curva 2 representa o campo resultante da colocação dos condutores de blindagem, e a 3 o obtido pela montagem adicional de condensadores. Como é patente, a redução de campo é limitada, sobretudo para distâncias mais elevadas relativamente ao eixo da linha.

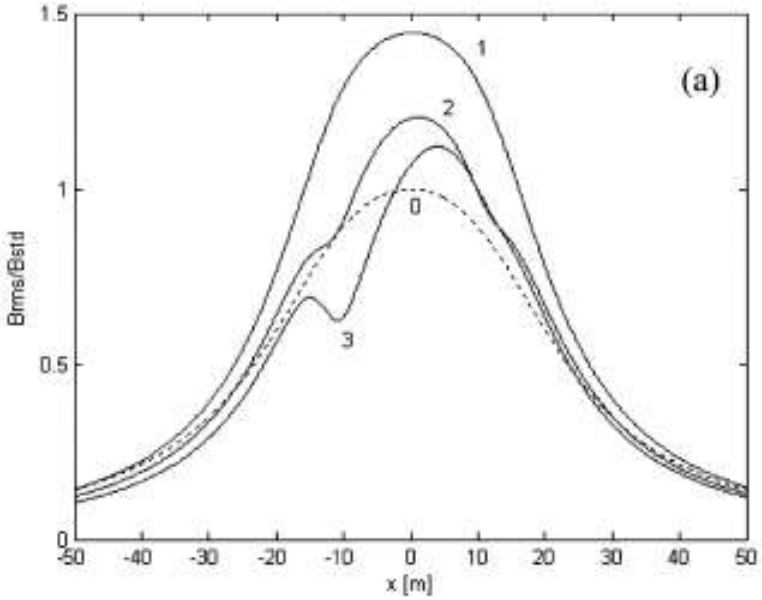

Figura 7.11: campo magnético gerado por uma linha sem blindagem passiva (1), e com (2). Em (3) foi acrescentado um condensador ressonante.

60 In Brandão Faria e Eduarda Almeida, "*Accurate Calculation of Magnetic-Field Intensity Due to Overhead Power Lines With or Without Mitigation Loops with or Without Capacitor Compensation*", IEEE Transactions on Power Delivery, April 2007.

7.1.5 DESDOBRAMENTO DE LINHAS

O desdobramento de linhas consiste basicamente em transformar uma linha em várias, por desdobramento dos respectivos condutores de fase, de modo a obter-se, para uma única linha inicial, o efeito de cancelamento mútuo dos campos magnéticos que se obtém com a adequada escolha de fases nas linhas duplas, já ilustrada em 7.1.3. (opção LR). Como se ilustra na figura 7.12, é uma solução muito eficaz, mas naturalmente requer postes com apoios adaptados. A figura ilustra três diferentes soluções de desdobramento, para uma situação inicial já de si óptima (trevo com vértice inferior), em que se realiza apenas o desdobramento de 2 fases (o que requer mais 2 condutores que os 3 de fase iniciais para as soluções a) e b), e mais quatro para a solução c)). Como é patente, a solução c) obtém reduções drásticas do campo, embora o facto de requerer 7 condutores e uma montagem invulgar a possa tornar dispendiosa.

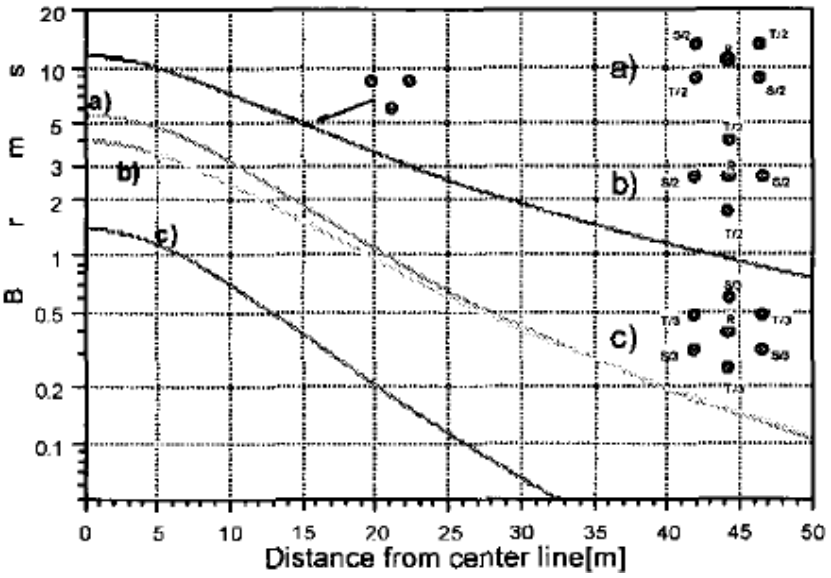

Figura 7.12: campos magnéticos gerados por uma linha desdobrada (split). A redução de campo pode atingir algumas ordens de grandeza (c)

No entanto, a necessidade de limitar o efeito-coroa e o espaço necessário para trabalhos de manutenção obriga a guardar distâncias significativas entre os condutores, o que limita os ganhos obteníveis[61]. A limitação do efeito-coroa pode também inibir a redução de secção dos condutores que o seu desdobramento permitiria, em princípio. Um estudo comparativo de diversos factores,[62] mostra que embora o desdobramento de 2 fases como ilustrado na figura 7.12 possa produzir a maior redução de campo magnético, o desdobramento em duas de cada uma das três fases é a que simultaneamente menos incrementa o efeito coroa, e com quase o mesmo grau

61 In R. Conti et al, "*Technical solutions to reduce 50 Hz magnetic fields from power lines*", IEEE Bologna Power Tech Conference, Italy, 2003

62 Romero et al, "*Optimum split-phase configurations*", 2001 Porto Power Tech Conference

de redução do desdobramento de duas fases (fig. 7.13).

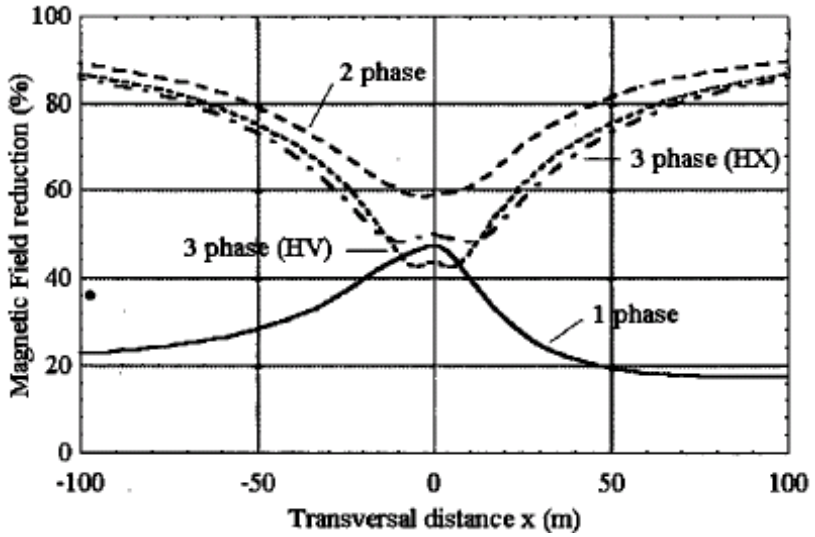

Figura 7.13: Redução do campo magnético relativamente a uma configuração em trevo invertido, obtido por desdobramento de 1, de 2 e de 3 fases, para uma linha de 400 kV

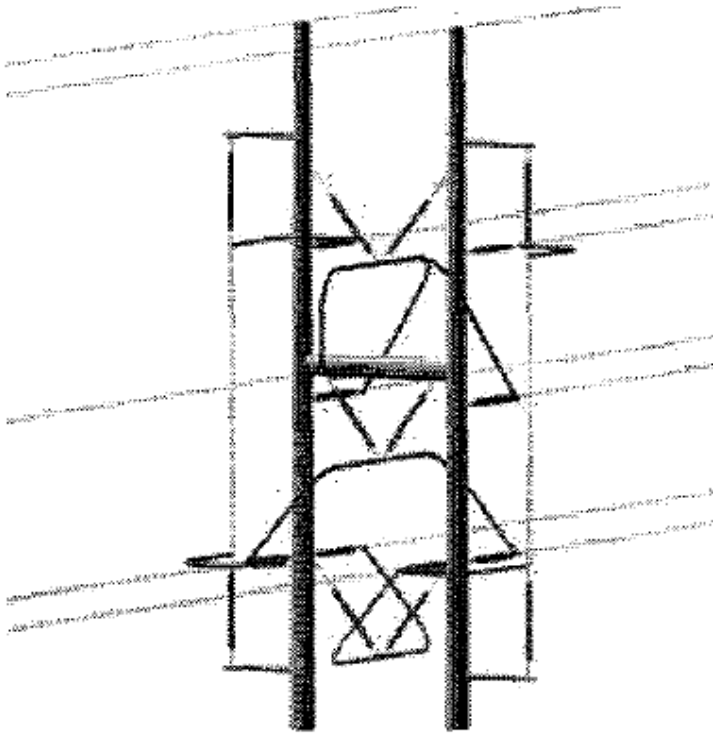

Figura 7.14: Estrutura de apoio articulada permitindo o desdobramento de uma linha trifásica (à esquerda) em 6 condutores (à direita)

A realização prática do desdobramento pode conseguir-se, para apoios com estruturas articuladas, como se ilustra na figura 7.14, onde uma linha é desdobrada. A solução indicada pode ser conveniente quando apenas interesse trabalhar um curto troço de uma linha, com alguns vãos. Caso seja economicamente interessante a duplicação de toda a linha, então poder-se-á tratá-la como uma linha dupla e explorar as vantagens simétricas já indicadas, como se ilustra na figura 7.15, em que se compara o campo gerado por uma linha de 132 kV e o resultante do seu desdobra-

mento em duas, partilhando os mesmos corredores. Como seria de esperar, a largura do corredor de interdição reduz-se praticamente para metade (de 80 para 40 metros), para o limiar de 0,4 μT. Ou, noutra perspectiva, a 20 metros de distância do eixo da linha o campo reduz-se de cerca de 1,2 para 0,4 μT.

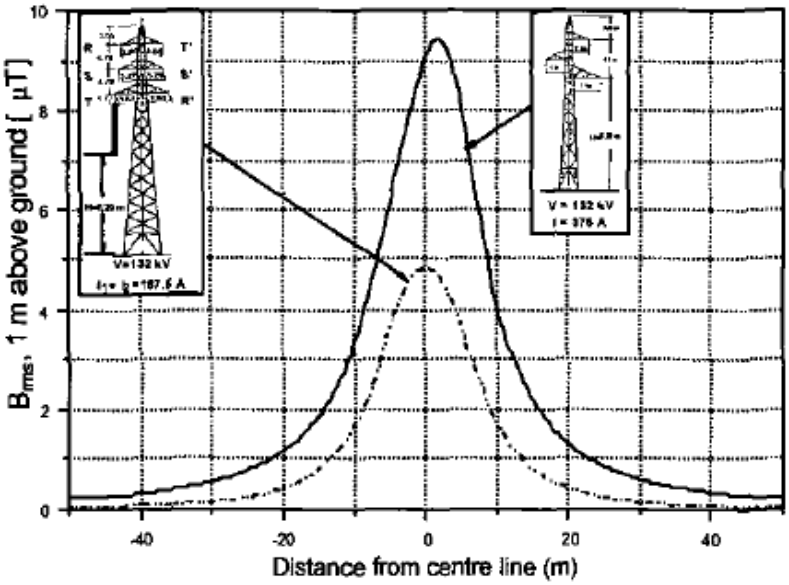

Figura 7.15: campos magnéticos a 1 metro de altura do solo para uma linha aérea simples e para o seu desdobramento em duas, paralelas e partilhando postes

A solução de desdobramento pode ainda combinar-se[63] com a da blindagem magnética.

Para linhas de Média Tensão, o desdobramento pode ser realizado com postes não metálicos, conforme se ilustra na figura 7.15, solução em que se consegue uma redução do campo magnético em cerca de 75% (redução para cerca de ¼ do valor inicial).

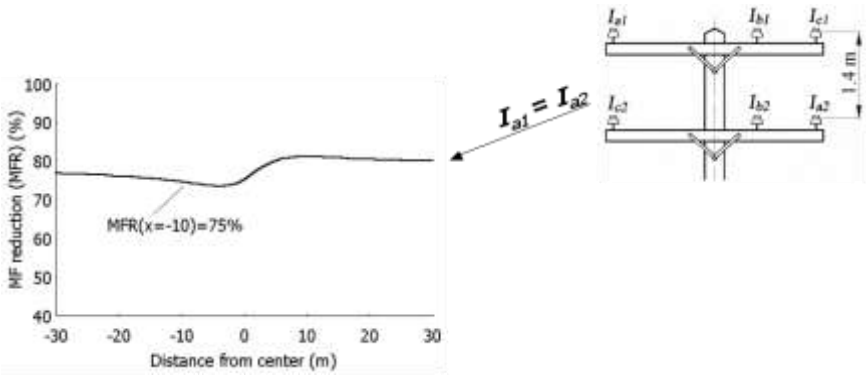

Figura 7.16: Desdobramento em duas de uma linha de Média Tensão. Pode conseguir-se uma redução do campo magnético para ¼.

63 Per Peterson, "*Principles in Transmission Line Magnetic Field Reduction*", IEEE Transactions on Power Delivery, July 1996.

7.1.6 LINHAS CABLADAS E COM ESPAÇADORES, EM MÉDIA TENSÃO

Dado que o campo magnético é proporcional à distância entre condutores de fase, uma forma de o reduzir será "compactar" as linhas, ou seja, reduzir essa distância. Porém, e como já foi mencionado, isso não só agrava o efeito-coroa, como reduz os vãos admissíveis, aumentando o número de apoios de linhas necessários e, portanto, os custos.

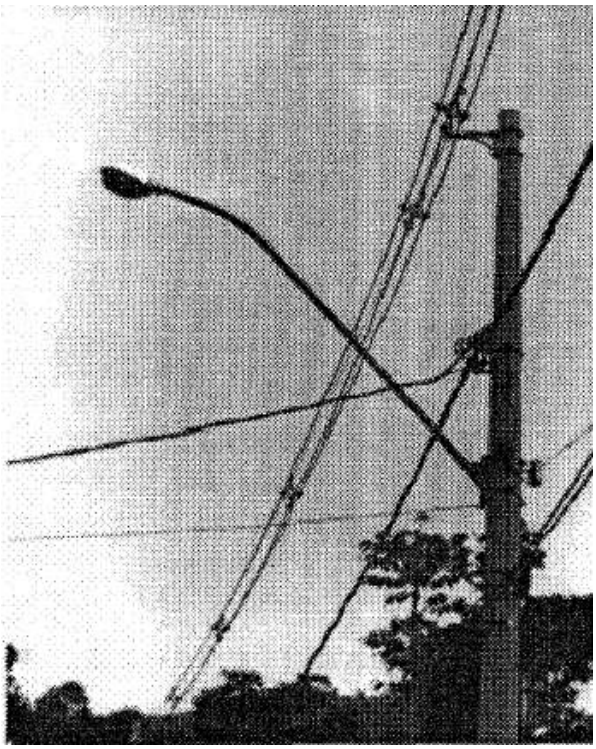

Figura 7.17: Linha de Média Tensão isolada com espaçadores, em Belo Horizonte, Brasil

Uma tecnologia que tem vindo a ser desenvolvida nos últimos anos e que tem encontrado vasta aplicação nas redes de Distribuição da Escandinávia e alguma nas das Américas, nomeadamente no Brasil, baseia-se no uso de condutores revestidas, ou cobertos, pela aplicação de um material plástico de reduzida espessura que lhe confere um isolamento parcial. Algumas das justificações correntes deste isolamento são a melhoria de comportamento em zonas densamente arborizadas e/ou com neve e gelo assim como a preservação da avifauna, mas outra é **a redução da distância entre os condutores** que ele permite, ao mesmo tempo que reduz o efeito-coroa. Na Finlândia e na Suécia este tipo de linhas é usado desde o início dos anos 90 e constitui cerca de 80% do total construído nos últimos anos, para tensões de 11 a 24 kV, com um custo total **adicional** anunciado, relativamente às linhas nuas, de 20 a 30%[64]. Em Portugal têm também sido instaladas algumas linhas com esta tec-

64 ENSTO, catálogo *on-line "Accessories for Medium Voltage Distribution Networks"*. O custo adicional resulta principalmente do custo dos condutores e dos cuidados adicionais necessários na montagem, mas há economias nas travessas de apoio, na largura dos corredores de passagem e sobre-

nologia, essencialmente visando a preservação de avifauna. No Brasil, a experiência operacional parece entusiástica[65], e há notícias do seu emprego à tensão de 69 kV nos EUA[66].

Na figura 7.17 mostra-se uma solução de linhas isoladas (em Belo Horizonte), com uma fina camada de isolamento e uso de **espaçadores** para completar o isolamento entre condutores com ar.

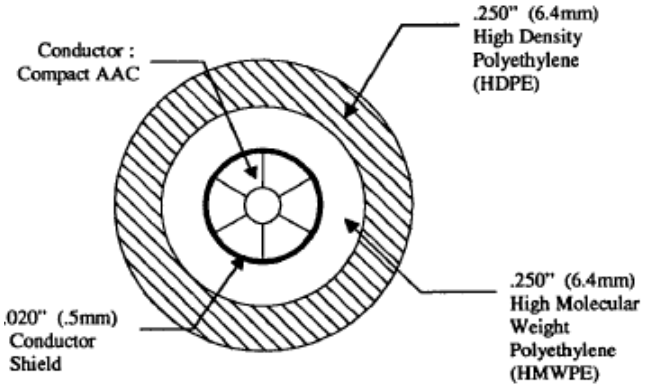

Figura 7.18: Linha de 69 kV com revestimento isolante para uso aéreo compacto com espaçadores

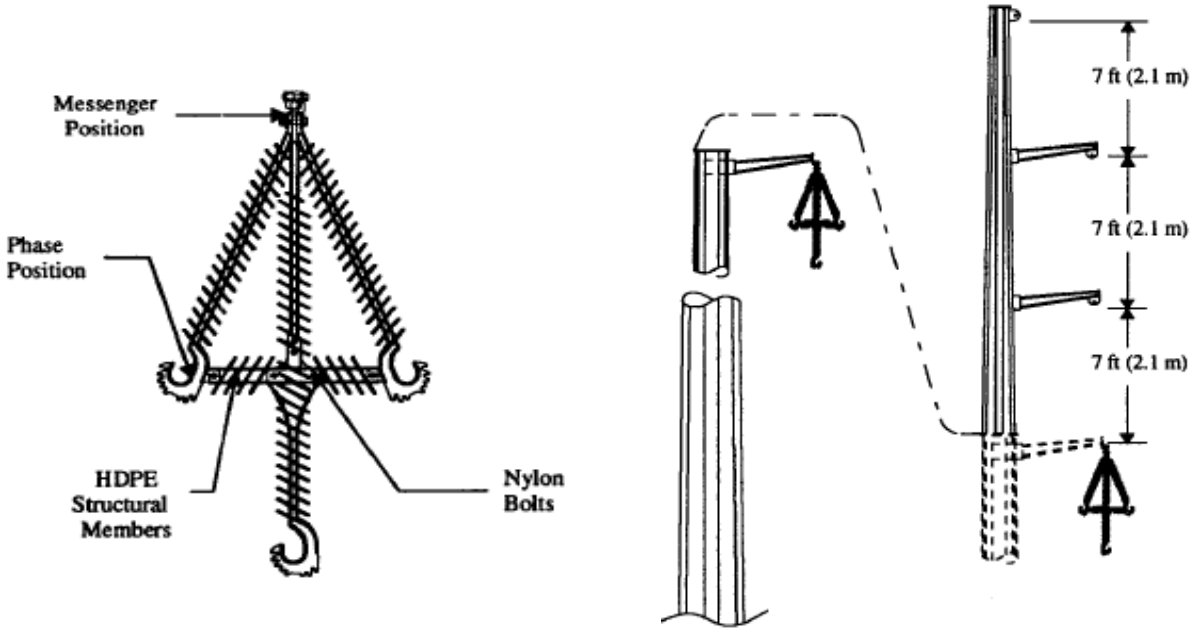

Figura 7.19: À esquerda, suporte com espaçadores para a linha da figura 7.18, e à direita modificações dos apoios necessária para montar a referida linha

As figuras 7.18 e 7.19 mostram detalhes de linhas de Alta Tensão com condutores revestidos, e a figura 7.20 mostra a aplicação do conceito em linhas de Média Tensão.

---

tudo no custo reduzido das indisponibilidades.

65 M.R. Soares et al, "*Spacer Cable and ABC Distribution Lines: A Long-Term Analysis*", IEEE, 1996.

66 M. Kuhlenengel et al, "*Development and Installation of a 69 kV Aerial Cable System*", IEEE, 1999.

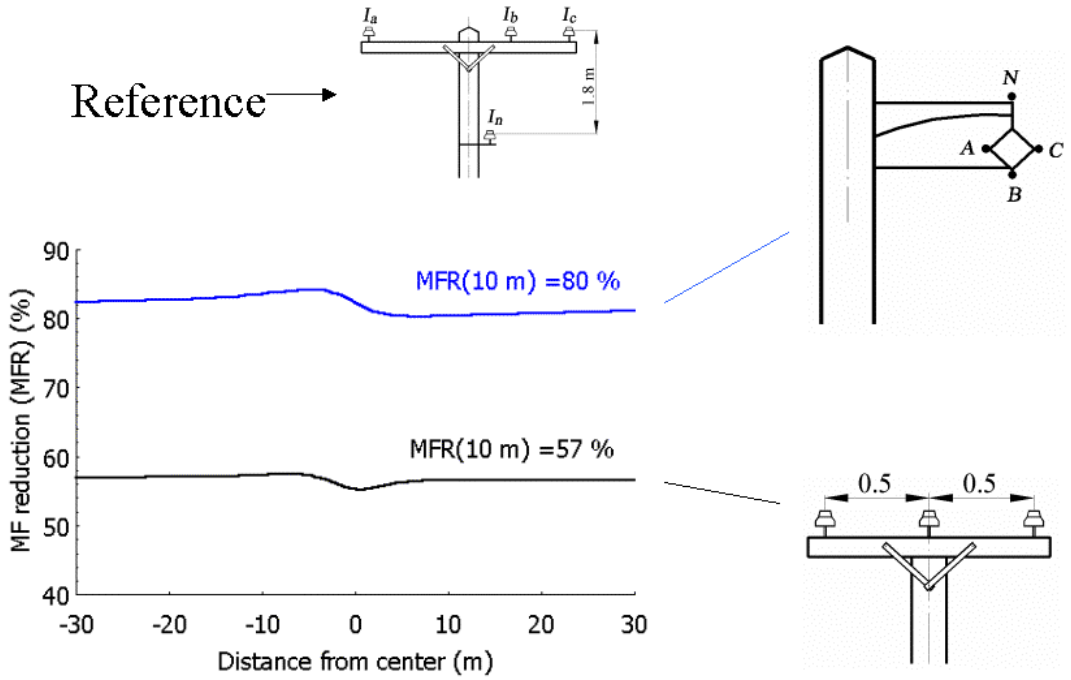

*Figura 7.20: transformação de uma linha de Média Tensão ("Reference") numa linha revestida com espaçadores. A solução de montagem em trevo permite uma redução de campo para **1/5**.*

7.2. ORDENAÇÃO DAS SOLUÇÕES TÉCNICAS DISPONÍVEIS PELAS SUAS RELAÇÕES CUSTO/BENEFÍCIO

A definição de uma abordagem genérica e única para a resolução de problemas de excesso de exposição aos campos magnéticos não é razoável, dada a diversidade de situações configuráveis, mas não deixa de ter interesse a avaliação das relações custo/benefício das várias medidas técnicas apresentadas no subcapítulo anterior. No entanto, até ao momento poucos trabalhos foram publicados que tentassem abordar esta avaliação de uma forma metódica e para grandes escalas.

Um dos poucos trabalhos publicados foi realizado na **Holanda** pela KEMA e pelo Instituto Nacional de Saúde Pública sob encomenda do Ministério do Ambiente e procurou cruzar a informação existente sobre os edifícios existentes nas vizinhanças das linhas de Muito Alta Tensão com o cálculo dos campos electromagnéticos[67]. O estudo resultou da estimativa de que, dos 110 casos **anuais** (mais do dobro do número português) de leucemia infantil na Holanda (que tem 16 milhões de habitantes), cerca de **0.2 a 1** se poderiam dever aos CEMEBF, de acordo com o resultados dos estudos que fundamentaram a posição da IARC em 2001 e assumindo uma relação causal. O desejo do Governo holandês e objectivo do estudo era saber como se poderia reduzir à escala nacional o número de edifícios expostos a campos mag-

67 Gert Kelfkens et al, "*Costs and Benefits of the Reduction of Magnetic Fields due to Overhead Power Lines*", 2002.

néticos superiores aos limites potencialmente insalubres.

Apenas 4 medidas técnicas foram avaliadas: a) o **rearranjo da sequência de fases em linhas múltiplas**, b) o **desdobramento** de linhas (apenas possível em cerca de 50 a 60% das linhas, com disposição triangular das fases), c) a **relocalização** das linhas e d) o **enterramento** das linhas. O estudo analisou os níveis de tensão dos 50 aos 380 kV (inclusive).

O estudo começou por verificar que para um certo número de linhas não havia nenhum edifício na respectiva vizinhança e, visto não serem ali necessárias nenhumas medidas de redução de campos magnéticos, essas linhas foram excluídas da análise de custos.

O **rearranjo óptimo da sequência de fases** requer alterações na montagem nos postes das extremidades da linha e nos barramentos, e por isso para essa solução o custo não depende do comprimento da linha. Para as outras três medidas os custos dependem do comprimento da secção de linha em consideração. Há também custos adicionais para a **relocalização** e o **enterramento** das linhas que dependem do grau de urbanização na vizinhança das mesmas. Os dados sobre os custos foram corrigidos, no estudo, para as correspondentes diferenças regionais. Finalmente, os custos dependem fortemente do nível de tensão das linhas. Os custos específicos para as linhas múltiplas são quatro a sete vezes maiores do que para uma linha de 50 kV. A tabela 7.1 sumariza os custos específicos considerados no estudo.

Medida		Custo (milhares de €)
Rearranjo da sequência de fases	Por linha	350 - 1300
Desdobramento (configurações em Δ)	Por km de secção de linha	70 - 300
Relocalização	Por km de secção de linha	320 - 1200
Enterramento	Por km de secção de linha	1100 - 8000

Tabela 7.1 – Custos estimados pela KEMA (2002) para diversas soluções de rearranjo de linhas

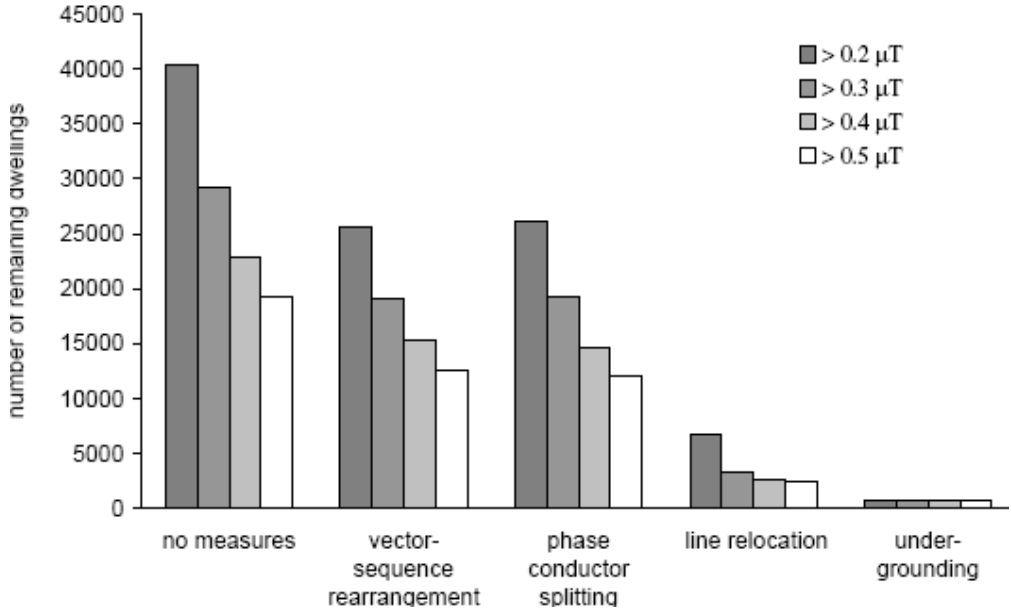

Figura 7.21: Número de habitações que continuam sujeitas aos campos magnéticos assinalados a cin-

zento, em função do tipo de soluções adoptadas (KEMA, 2002). O enterramento é o método mais eficaz e o desdobramento de linhas é-o tanto como o rearranjo da sequência de fases em linhas múltiplas

A figura 7.21 mostra a eficácia de cada uma das 4 medidas avaliadas, através do número de edifícios cuja exposição continuará a exceder os limites de campo em consideração. Considerando que nem todas as linhas podem ter a geometria dos seus condutores rearranjada, o enterramento é a solução globalmente mais eficaz.

Infelizmente, o enterramento é também, de longe, a medida mais dispendiosa. A figura 7.22 mostra os custos totais estimados para cada uma das 4 medidas. Note-se que a escala de custos é logarítmica!

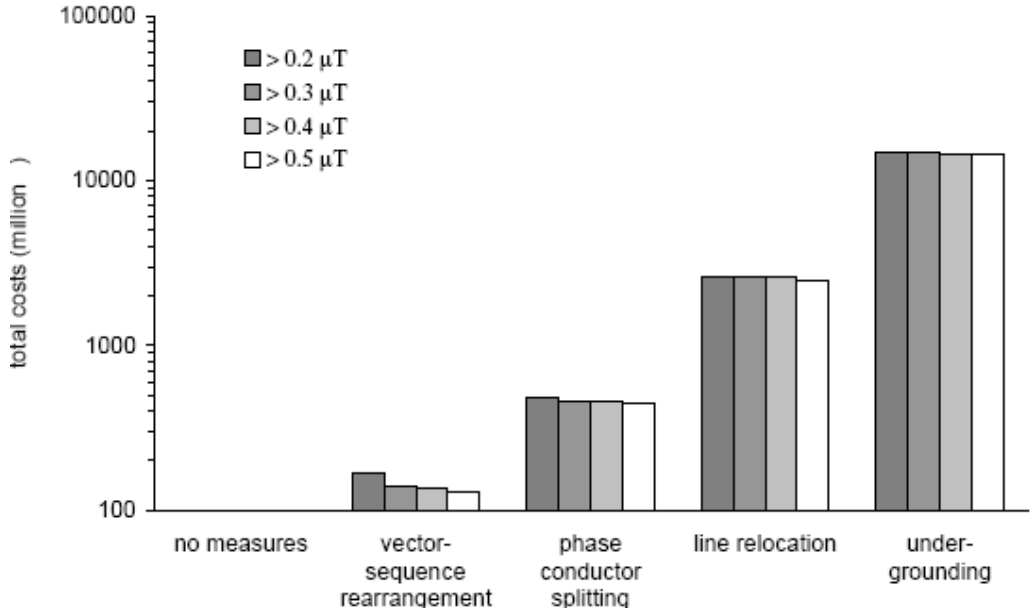

Figura 7.22: Custos totais – em escala logarítmica! - da redução da exposição para os campos magnéticos assinalados a cinzento, em função do tipo de soluções adoptadas (KEMA, 2002).

Finalmente, os **custos médios por edifício** requeridos para a redução da respectiva exposição ao limiar de **0,4 µT** do campo magnético são, para cada uma das 4 medidas:

Rearranjo óptimo da sequência de fases em linhas múltiplas: 18 mil €;

Desdobramento dos condutores das linhas: 55 mil €;

Relocalização das linhas: 128 mil €;

Enterramento das linhas: 655 mil €.

Evidentemente, nem sempre é tecnicamente viável a implementação das soluções mais baratas, mas este estudo mostra claramente que as soluções mais requeridas pela população, a relocalização e o enterramento, do ponto de vista da eficácia técnica e da optimização social de custos só deveriam ser adoptadas na impossibilidade de implementar as que apenas afectam a geometria dos condutores. Naturalmente, a densidade urbana na vizinhança das linhas é também um importante factor na determinação dos respectivos custos por habitação, para cada uma das solu-

ções.

Um outro estudo de custos e benefícios relativo às opções técnicas para a redução da exposição a campos magnéticos foi publicado muito recentemente (2007) no Reino Unido, no documento referido na nota de rodapé nº 57. Este trabalho considera por um lado os limites em que se baseou a IARC em 2002 (0,4 μT, correspondendo em média, segundo os autores, a uma distância de 60 metros às linhas de Muito Alta Tensão e a uma incidência adicional de 100% da doença), e os de Draper em 2005, que indica uma distância dez vezes superior (600 metros, mas correspondendo a uma incidência média adicional de apenas 28%). Curiosamente, verifica-se que no Reino Unido o número estimado de mortes anuais eventualmente resultantes do campo magnético das linhas de Alta Tensão será de menos de **uma**, enquanto o número médio de mortes resultantes de descargas atmosféricas ("faíscas") é de 3 a 5 e o resultante de acidentes de viação é quase centena e meia, em crianças…

Os autores deste estudo, constituído por um grupo de "interessados" (*stackholders*) com representação da *National Grid*, várias Universidades e direcção do Ministério da Saúde, mas com forte peso de associações ambientais e de proprietários de edifícios, consideraram apenas as seguintes opções de resolução:

a) Compra dos edifícios vizinhos de linhas pelas empresas de electricidade;
b) Impedimento de construção de novos edifícios na vizinhança de linhas (uma moderação da opção anterior);
c) Melhoria da localização de novas linhas (afastamento de zonas habitadas);
d) Relocalização de linhas existentes;
e) Enterramento das linhas.
f) Reconfiguração da geometria das linhas (todas as opções consideradas neste relatório);
g) Blindagem magnética dos edifícios[68];
h) Divulgação de informação sobre o assunto;
i) Não fazer nada.

O estudo aponta para os prós e os contras de cada uma destas alternativas, mas não as quantifica. Na verdade, centra-se na discussão da implementação concreta de uma medida para a qual existe, no Reino Unido, forte pressão de alguns ambientalistas, a saber a definição de uma zona de interdição de edificação, de cerca de 60 metros, em torno do eixo das linhas, mas não quantifica os custos de tal opção nem,

68 A blindagem magnética de edifícios é, em regra, obtida pela colocação de condutores percorridos por correntes geradas por meios independentes da linha a blindar mas com ela sincronizados, e que geram correntes cujo campo cancela o daquelas. Tem de ser configurada caso a caso.

infelizmente, considera sequer a opção técnica de **desdobramento e blindagem** das linhas, ao contrário do estudo holandês.

Na verdade, aparentemente a discussão do tema da exposição ao campo magnético está, no Reino Unido, muito dominada pelos interesses imobiliários apontados neste relatório como envolvidos no problema. No próximo capítulo serão referidos alguns casos concretos onde parece ter havido outra postura, mais de acordo com as recomendações da OMS.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS: COMBINAR A ACÇÃO PEDAGÓGICA COM A OPTIMIZAÇÃO TÉCNICA

As recentes recomendações precaucionais da OMS (Junho de **2007**), que transcrevemos no capítulo 5, apontam para a combinação de uma **estratégia de comunicação**, cuja responsabilidade é atribuída às autoridades nacionais e tal que "*permita a tomada de decisões informadas por todas as partes interessadas, incluindo informação sobre como podem os indivíduos reduzir a sua própria exposição*", com **medidas técnicas de baixo custo** e/ou outras vantagens adicionais que não ponham em causa os benefícios sociais da energia eléctrica.

Ora a experiência parece mostrar que, **na ausência da adequada informação científica**, os medos das populações tendem a abarcar indiscriminadamente tudo o que seja linhas aéreas, só deixando como soluções aceitáveis para essas populações as dispendiosas medidas de relocalização ou enterramento. A aceitabilidade de medidas bem mais económicas, como as de reconfiguração geométrica das linhas e/ou a sua blindagem passiva, requer sem dúvida que as reivindicações das populações se centrem em aspectos concretos e mensuráveis, concretamente a redução do valor da exposição ao campo magnético a limiares negociáveis.

Na ausência de medidas governamentais, a própria EDP poderá contribuir largamente para uma política de esclarecimento e instrução pública nesta matéria, tomando como referência, por exemplo, os *sites* da *National Grid*, assim como publicações disponíveis *on-line* da EDF, etc. Ou, de acordo com um documento-guia editado pela própria OMS[69], ter em conta que:

"*É crucial que se tenha um bom entendimento do "campo de jogo" e, em particular, dos "jogadores-chave", ou os interessados na questão CEM. Dependendo da situação em particular, a comunicação pode necessitar considerar diversos, se não todos, os participantes. Cada um desses grupos necessita ser incluído no processo de comunicação e se tornará, por sua vez, o instigador ou o recipiente da comunicação. Os papéis de alguns desses interessados-chave são discutidos abaixo.*

***A comunidade científica** é um participante importante na medida em que provê informação técnica, e é, portanto, percebido como independente e apolítica. Os cientistas podem ajudar o público a entender dos benefícios e riscos de CEM, e ajudar os reguladores a avaliar as opções de gerenciamento de risco e estimar as consequências das diferentes decisões. Eles têm o importante papel de explicar a informação científica disponível de uma maneira que ajude o público a entender o que é conhecido, onde mais informação é necessária, quais são as maiores fontes de incerteza, e quando se espera que informação de melhor qualidade seja disponibilizada. Nesse papel, eles também podem tentar antecipar bem como definir limites nas expectativas futuras.*

---

69 Organização Mundial de Saúde, "*Estabelecendo um diálogo sobre Riscos dos campos electromagnéticos*", disponível *on-line* em português do Brasil.

A indústria *- por exemplo, as companhias de electricidade e os fabricantes e os provedores de sistemas de telecomunicações - é um participante chave e é frequentemente vista como produtora de risco tanto quanto provedora de serviços. A desregulamentação dessas indústrias em muitos países aumentou o número de companhias (e, em alguns casos, o numero de fontes de CEM, à medida que as companhias disputam a cobertura). Em alguns países, integrantes da indústria, especialmente fornecedores do sector eléctrico, assumiram uma postura proactiva e positiva do gerenciamento de risco e têm enfatizado uma comunicação aberta da informação ao público. Não obstante, a motivação do lucro costuma fazer com que este mantenha desconfiança com relação às suas mensagens.*

Funcionários de governo *nos níveis nacional, regional e local têm responsabilidades sociais, tanto quanto económicas. Devido ao fato de que eles actuam em um ambiente político, o público em geral nem sempre confia neles. Em particular, os reguladores desempenham um papel crucial, na medida em que elaboram padrões e directrizes. Para cumprir essa finalidade, eles necessitam de informações completas e detalhadas dos principais interessados para que possam decidir sobre as medidas políticas referentes à protecção contra exposição a CEM. Eles devem considerar todas as novas evidências científicas que tenham solidez, o que sugeriria a necessidade de rever as medidas existentes relativas à exposição, sendo ao mesmo tempo sensíveis às demandas e às restrições sociais.*

O público em geral*, actualmente melhor educado e melhor informado sobre questões relacionadas à tecnologia do que jamais no passado, pode ser o principal determinante do sucesso ou do fracasso de um projecto tecnológico proposto. Isto é especialmente verdade em sociedades democráticas e altamente industrializadas. O sentimento público com frequência se faz ouvir através de associações altamente activas, ou por meio de outros grupos de interesse que geralmente dispõem de bom acesso aos media.*

Os ***media*** *desempenham um papel fundamental na comunicação de massa, na política e na tomada de decisões na maioria das sociedades democráticas. A cobertura dos media - jornais, rádio, televisão e agora a Internet - tem enorme impacto na maneira como um risco ambiental é percebido e, em última análise, sobre o sucesso do processo de tomada de decisões. Os media podem ser uma ferramenta eficaz para aumentar a consciência do problema, para propagar a informação através de mensagens claras, e para aumentar a participação individual. No entanto, podem ser igualmente eficazes a disseminar informações incorrectas, dessa forma reduzindo a confiança e o apoio ao processo decisório. Isto é especialmente verdade com relação à Internet, uma vez que não há controlo de qualidade. O profissionalismo da apresentação não necessariamente reflecte a qualidade do conteúdo. Os indivíduos devem decidir por conta própria quando confiar em uma fonte particular, o que nem sempre é uma decisão simples para um leigo."*

Como exemplos de aplicação bem sucedida da estratégia combinada aqui defendida, referem-se no seguimento alguns casos que se poderão tomar como exemplares.

No *paper* referido na nota de rodapé nº 56, descrevem-se três situações ocorridas no município de Milão e resultantes de acordos estipulados com as administrações das cidades, que financiaram total ou parcialmente as despesas da companhia de elec-

tricidade, TERNA.

No 1º caso (1999) haviam sido construídos, próximo de uma linha de 132 kV, várias residências, um jardim-de-infância e uma escola. Com base em recomendações de entidades de saúde locais, a administração municipal pediu à TERNA que estudasse medidas para reduzir o campo magnético na escola para 0,5 μT. A TERNA interveio elevando a linha em dois vãos próximos da escola e substituindo os seus apoios em esteira por outros em trevo, o que satisfez o pedido. Porém, um grupo de pais reclamou junto do tribunal regional, o qual acedeu impondo a redução adicional do campo para 0,2 μT. Após estudar o problema, a TERNA escolheu a solução de desdobrar a linha no vão em causa, substituindo a cabeça de dois postes de modo a realizar um circuito duplo com configuração anti-simétrica, satisfazendo a reclamação.

No 2º caso (2000) autoridades de saúde e ambientais locais pediram o encerramento de um jardim-de-infância próximo de outra linha de 132 kV, onde haviam sido medidos campos magnéticos de 0,14 a 0,70 μT. As autoridades locais promoveram a criação de um grupo de trabalho, que levou a TERNA a resolver o problema pela transposição dos condutores e pela elevação da linha no seu ponto médio, usando uma estrutura tubular com travessas isolantes.

No 3º caso (2001) as reclamações surgiram por se terem medido campos de 0,1 a 0,48 μT no interior de um jardim-de-infância, e de 1,76 μT no seu recreio, próximo de uma linha de 220 kV. A solução consistiu também aqui no desdobramento da linha próxima da escola, com a instalação de um novo apoio duplo perto do meio do vão em causa. Para se reduzir as interferências em TVs e o ruído associado ao efeito-coroa, os condutores foram duplicados, no vão em causa, e as cadeias de isoladores também substituídas.

Finalmente, um outro caso exemplar reportado[70] ocorreu na Suíça, num escritório com monitores de computador perturbados por uma linha tripla de 220 e 2x400 kV, localizada a de 8 a 17 metros dos monitores. Após se verificar que o campo magnético nos monitores excedia 1,5 μT mesmo para os mais distantes, foi efectuado um cálculo que permitiu concluir que bastava trocar duas fases da linha de 220 kV para reduzir o campo para menos de ¼ do valor anterior, o que se revelou uma intervenção muito barata.

70 D. Reichtel et al, "*Magnetic Field Reduction Measures for Transmission Lines considering Power Flow Conditions*", IEEE 1996.