

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 244

**MEDIÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS
EM ALTA FREQUÊNCIA (100 KHZ A 3 GHZ)
GERADOS POR EQUIPAMENTOS
ELETRO-ELETRÔNICOS VISANDO SEGURANÇA PESSOAL**

Vilker Germano Martins

DATA DA DEFESA: 25.02.2000

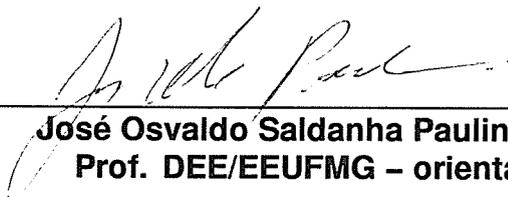
**"Medição de campos eletromagnéticos em alta frequência
(100 kHz a 3 GHz)
gerados por equipamentos eletro-eletrônicos visando segurança pessoal"**

Vilker Germano Martins

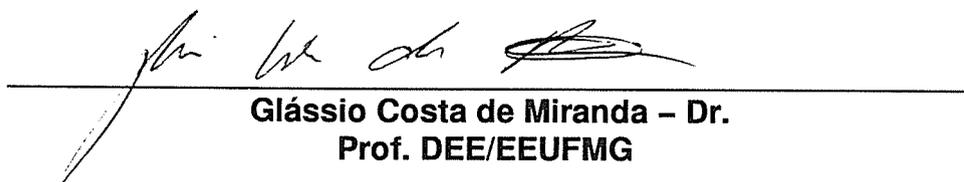
Dissertação de Mestrado submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 25 de fevereiro de 2000.

Por:



**José Osvaldo Saldanha Paulino – Dr.
Prof. DEE/EEUFMG – orientador**



**Glássio Costa de Miranda – Dr.
Prof. DEE/EEUFMG**



**Jaime Arturo Ramirez – Ph.D.
Prof. DEE/EEUFMG**



**Rodney Rezende Saldanha – Dr.
Prof. DEE/EEUFMG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
CENTRO DE PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MEDIÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS EM ALTA FREQUÊNCIA
(100 kHz a 3 GHz)
GERADOS POR EQUIPAMENTOS ELETRO-ELETRÔNICOS
VISANDO SEGURANÇA PESSOAL**

**VILKER GERMANO MARTINS
ORIENTADOR: JOSÉ OSVALDO SALDANHA PAULINO**

BELO HORIZONTE, 25 DE FEVEREIRO DE 2000

Nada de Poder

Pouco de Saber

Muito de Sabor

À Deus, à Natureza e ao Amor Universal

RESUMO

O progresso humano e o rápido desenvolvimento de novas tecnologias na área da eletricidade têm levado a um crescente aumento da exposição a campos elétricos e magnéticos das mais diversas naturezas a que estamos submetidos.

A preocupação quanto aos possíveis efeitos biológicos no corpo humano devido aos campos eletromagnéticos está cada vez maior, e mundialmente várias organizações estão num esforço contínuo de pesquisas e estudos visando conhecer melhor o ambiente eletromagnético e suas relações com o ser humano.

O conhecimento dos níveis de radiação eletromagnética nos diversos ambientes é de primordial importância para avaliação da segurança à exposição de campos eletromagnéticos e adoção de técnicas de proteção eficientes.

Este trabalho tem por objetivo principal a medição dos níveis de campos eletromagnéticos em alta frequência de alguns equipamentos, a verificação com os limites de exposição atuais, e, sobretudo, uma discussão sobre o tema, servindo de estímulo e referência para futuros e necessários trabalhos na área.

ABSTRACT

Human progress and the sudden development of new technologies in the electricity area has risen the exposure levels to electromagnetic fields to a great extent.

There is an ever-growing concern on possible effects on human health due to the exposure to the different types of the electromagnetic energy. Organizations all over the world are continuously studying and researching the electromagnetic fields and the relations with human being.

The knowledge of exposure levels due to time varying electromagnetic fields is essential to set exposure limits and to develop efficient protection techniques.

The aim of this work is the measurement of high frequency electromagnetic fields of some devices, the confrontation with the actual exposure limits, and a discussion to stimulate and to be a reference to future works in the area.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, a força maior do Universo, origem e essência de tudo e todos que existem.

Agradeço a meus pais, parentes e amigos, que durante toda minha vida estiveram presentes, possibilitando um crescimento mútuo e uma troca de energia primordial para qualquer ser humano. Em particular, à querida Tia Marilda, pelo apoio e convívio prazeroso durante minha estada em Belo Horizonte.

Sinceros agradecimentos aos professores que me ensinaram a aprender e a gostar de minha profissão, especialmente José Osvaldo Saldanha Paulino, excelente professor, orientador e grande amigo, Paulo Costa (**UFMG**), Silvério Visacro Filho (**UFMG**) e Nelson Santiago (**UFRJ**). Aos alunos e a todos aqueles que trabalham em prol de instituições de ensino gratuitas e de qualidade, como o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica da **UFMG**.

Ao **FUNDEP** - Fundo de Apoio à Pesquisa da **UFMG**, pela compra do equipamento de medição de campos eletromagnéticos.

Agradecimentos a todas as pessoas que me apoiaram e contribuíram para este trabalho, em especial Guilherme Maciel Dias, ex-funcionário da Telemig Celular, e Roger Mathes, da **ICNIRP** - International Commission on Non Ionizing Radiation Protection, que me proporcionaram uma saudável troca de informações.

Agradeço a Minas Gerais e à simplicidade de seu povo, às suas cachoeiras, suas matas e animais, à belíssima Belo Horizonte, e a todos os meus amigos.

O AUTOR



Vilker Germano Martins nasceu em Pouso Alto, MG, em 27/05/1974. É formado em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, foi engenheiro de desenvolvimento de produto na Embraer – Empresa Brasileira de Aeronáutica SA, e atualmente trabalha como engenheiro de equipamentos na Petrobras, em São José dos Campos, SP.

Contatos

Endereço: Praça José Capistrano de Paiva, 07 – Pouso Alto – MG - CEP: 37468-000

Telefones: Pessoal: 31-99757895

Petrobras: 12-3286258

Recados: 35-33641292

E-mail: Petrobras: vilker@petrobras.com.br

Pessoal: cowboyzinho@hotmail.com

O autor solicita e antecipadamente agradece futuros contatos para discussões e troca de informações a respeito do tema.

**“ Toda a potência do cérebro, toda força de vontade,
podem tornar-se poeira quando estivermos mortos,
porém o Amor é nosso, e nosso ainda o será
quando a terra e os mares não mais o forem. ”**

James Clerk Maxwell (1867)

SUMÁRIO

Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Autor	iv
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Introdução	1
1.2 O Ambiente Eletromagnético	1
1.2 Campos Eletromagnéticos	5
1.3 Preocupações com Efeitos à Saúde	6
1.4 Conteúdo do Trabalho	8
Capítulo 2 Síntese das Propriedades Físicas das Ondas Eletromagnéticas e sua Interação com o Ser Humano	10
2.1 Introdução	10
2.2 Principais Propriedades Físicas das Ondas Eletromagnéticas	10
2.3 Quantidades e Unidades	15
2.4 Faixas de Frequência	19
2.4.1 Campos Estáticos	19
2.4.2 Campos ELF - Extremely Low Frequency Fields	19
2.4.3 Radiações Óticas	20
2.4.4 Radiações Ultravioleta	20
2.4.5 Campos RF - Rádio Frequência	21
Capítulo 3 Normas de Segurança para Exposição a Campos Eletromagnéticos	26
3.1 Introdução	26
3.2 Aspectos Principais das Normas e Limites de Exposição	26
3.2.1 Norma ANSI/IEEE C95.1-1991	30

3.2.2 Norma ICNIRP	32
3.3 Alguns Resultados de Medições e Simulações Publicados	37
3.4 Considerações Finais	40
Capítulo 4 Medições e Instrumento de Medição	42
4.1 Introdução	42
4.2 Medidores de Campos Eletromagnéticos	43
4.3 Instrumento de Medição EMR-300	45
4.3.1 Princípio das Pontas de Detecção de Campo	46
4.3.2 Detalhes Operacionais do Instrumento de Medição	47
Capítulo 5 Resultados Práticos de Medições de Campos Eletromagnéticos em Alta Frequência	50
5.1 Introdução	50
5.2 Medições dos Campos Elétricos ao Redor da Antena de Transmissão da Telemig Celular do Campus da UFMG	52
5.3 Medições dos Campos Elétricos ao Redor da Antena de Transmissão da Telemig Celular de Santa Luzia, MG	70
5.4 Medições dos Campos Elétricos ao Redor da Antena Microcélula da Telemig Celular do Shopping Del Rey, em Belo Horizonte, MG	76
5.5 Medições dos Campos Elétricos Gerados por um Forno de Microondas Doméstico	79
5.6 Medições dos Campos Elétricos Gerados pela Tela de um Microcomputador	92
5.7 Medições dos Campos Elétricos Gerados pela Tela de um Televisor	105
Capítulo 6 Conclusões e Propostas para Novos Trabalhos	117
Referências Bibliográficas	120

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

Os anos recentes têm visto um aumento cada vez maior no número e diversidade de fontes de campos elétricos e magnéticos usados para propósitos comerciais, industriais e individuais. Tais fontes incluem televisão, rádio, computadores, telefones celulares portáteis, microondas, radares e equipamentos usados na indústria, medicina e comércio. Tecnologias usando o espectro eletromagnético têm providenciado imensos benefícios e melhorado sobremaneira o modo como nos comunicamos, praticamos medicina, viajamos, fazemos negócios e projetamos produtos. Todas estas tecnologias tornam nossa vida mais rica e fácil. A sociedade moderna não vive sem computadores, televisão e rádio. Telefones celulares têm enormemente aumentado a habilidade de comunicação entre as pessoas e facilitado o atendimento de emergências médicas e policiais em ambientes urbanos e rurais. Radares tornam mais seguro o tráfego aéreo. Ao mesmo tempo, estas maravilhosas tecnologias têm trazido preocupações acerca de possíveis riscos à saúde associados com os campos eletromagnéticos por elas produzidos.

1.2 O Ambiente Eletromagnético

A relação entre o Eletromagnetismo e a Vida tem sido fonte de fascinação e controvérsia por muitos anos, e hoje em dia, o interesse nas várias facetas deste relacionamento tem sido importantíssimo. O fenômeno do eletromagnetismo intrínseco do corpo humano é parte vital em diversos processos fisiológicos. A Terra tem também seu eletromagnetismo, produzido pela própria Terra e por fontes cósmicas, que é um importante fator ambiental para todas as coisas vivas. Micropulsões na faixa de frequência de 10 Hz constantemente emanam do núcleo terrestre; cientistas acreditam

que todas as coisas vivas estão num complexo relacionamento com essas micropulsões. Esse fenômeno pode ser pensado como o que ocorre quando uma mãe e seu bebê dormem juntos e suas respirações sincronizam! Nós respondemos em diversos graus à energia eletromagnética, assim como plantas respondem à luz. Todas as formas de vida estão em harmonia com estes sinais energéticos, na verdade são sinais como estes que controlam nosso ciclo cardíaco, nosso sono, nossa produção de hormônios como melatonina, e até mesmo alguns aspectos cruciais da divisão celular. As ondas do cérebro humano funcionam também em torno da frequência de 10 Hz. [20]

Não somos os únicos a sermos afetados por radiações eletromagnéticas. Diversas outras espécies animais podem estar sendo influenciadas de algum modo, levando inclusive a alterações na inter-relação de ecossistemas. Pesquisadores ao redor do mundo estão descobrindo e estudando sobre a habilidade de certos animais produzirem e sentirem a eletricidade. Algumas espécies de peixes elétricos usam a eletricidade para *ver* o que está a sua volta e para se comunicar. Alguns organismos como bactérias e tartarugas marinhas têm a habilidade de detectar campos magnéticos. Pesquisas a respeito das estruturas biológicas e sistemas que detectam campos magnéticos poderiam revelar, entre outras coisas, mecanismos através dos quais campos eletromagnéticos afetam a saúde humana. [22]

Abrindo um espaço para comentar algumas características eletromagnéticas de determinadas espécies de peixes, existem algumas espécies que emitem choques elétricos de centenas de volts para matar presas, e espécies que geram poucos milivolts de eletricidade, que funcionam não como armas, mas como geradores de sinais, que possibilitam a detecção da forma, condutividade e localização de objetos, o reconhecimento de membros da mesma espécie, o acasalamento, e outros comportamentos críticos à sobrevivência. Basicamente os peixes elétricos têm dois padrões de descarga elétrica. Alguns produzem sinais contínuos na faixa de frequência de 50 a 1000 Hz, e outros produzem pulsos elétricos de aproximadamente 1 ms, espaçados de 25 ms. A pele dos peixes elétricos é dotada com órgãos receptores sensíveis a descargas de eletricidade produzidas pelos mesmos, que convertem as tensões externas em sinais neurais para o cérebro dos peixes, onde são interpretados para formar um mapeamento eletromagnético do ambiente. Objetos com condutividades elétricas diferentes distorcem os campos. Bons condutores, como plantas e outros peixes, tendem a absorver correntes, criando pontos brilhantes de certa forma e

intensidade. Condutores ruins, como rochas, dispersam as correntes formando *sombras elétricas*. Assim, os receptores elétricos podem formar uma *imagem elétrica* do ambiente ao seu redor. Um outro detalhe que diz respeito à formação de imagens elétricas claras é que os peixes elétricos devem ser capazes não só de interpretar seus próprios sinais elétricos, mas também de separá-los dos sinais de outras fontes, como outros peixes elétricos. Isso é feito através da conhecida técnica da multiplexação por divisão de frequência. Cada peixe gera sinais elétricos numa única frequência e sintoniza seus receptores para a mesma frequência. Assim como temos divisão da faixa de rádio frequência para os diversos tipos de comunicações, peixes da mesma espécie dividem a mesma faixa de frequência. Isto possibilita a utilização de sinais elétricos em comportamentos sociais dos peixes, como agressão ou afinidade. Um peixe vizinho pode, por exemplo, subitamente aumentar ou diminuir sua carga elétrica ou parar de descarregar totalmente. Existem alguns peixes que não produzem eletricidade, mas podem senti-la, como os tubarões, que podem detectar campos elétricos tão fracos quanto 500 nV/m, que é a intensidade de campo resultante da aplicação de 1 V entre dois eletrodos distantes 2000 km! Dezenas de outras espécies animais possuem em seu interior cristais de magnetita, um óxido de ferro que tem papel vital no sentido de bactérias, peixes, aves, tartarugas marinhas, entre outros animais. Esta substância magnética ajuda estes animais a se orientarem no céu ou mar seguindo o campo magnético terrestre. Bactérias conseguem se direcionar para ambientes com baixo nível de oxigênio. Pássaros utilizam as trilhas do campo magnético terrestre para ajudar encontrar seu caminho em migrações ou em busca de comida. [22]

Poderíamos continuar relacionando uma quantidade enorme de outras características elétricas que influenciam o modo de vida de muitas espécies animais além do próprio homem. A questão fundamental é que nenhuma outra espécie animal consegue alterar o ambiente eletromagnético terrestre. O homem é o único animal que tem o poder de modificar os campos eletromagnéticos do planeta, e o está fazendo através do progresso tecnológico desmedido e impensado.

A habilidade de organismos de coexistir com o ecossistema de rápidas e profundas mudanças dos tempos atuais é um grande problema. Os organismos têm somente a alternativa passiva de sobreviver em seus ecossistemas, portanto eles adquiriram a habilidade de se adaptar a seus ambientes, que exercem o controle final ao influenciar o metabolismo e as propriedades de perpetuação dos organismos.

Muitas questões existem acerca dos efeitos das condições atmosféricas nos organismos, como a proporção de gases (oxigênio / nitrogênio) no ar, a quantidade de poluentes, as descargas atmosféricas, etc, mas foge do nosso escopo tratar destes assuntos.

Um fato importante considerando os efeitos dos campos eletromagnéticos na saúde do homem é que a anatomia humana é ressonante com as faixas de frequência **FM**, e que o cérebro atinge taxas de absorção máximas nas faixas **UHF** (Ultra High Frequency), exatamente a faixa de operação da comunicação celular. Alguns pesquisadores acreditam que não poderia ter sido escolhida faixa de frequência pior para esta tecnologia emergente considerando a anatomia humana. [25]

Desde a origem da vida na Terra até o começo do século 20, o ambiente eletromagnético era determinado pelo sol e por outras fontes cósmicas, além das propriedades geomagnéticas da própria Terra; as intensidades de campos eram extremamente baixas. Mas a partir da segunda metade do século, fontes de radiação eletromagnética produzidas pelo homem, com frequências e magnitudes as mais diversas, passaram a ser os constituintes dominantes do ambiente eletromagnético terrestre. Sem dúvida, a atividade humana tem mudado o eletromagnetismo da Terra, e existem evidências de que o presente ambiente eletromagnético anormal pode constituir um sério risco à saúde. Mas o fato é que os únicos efeitos óbvios da eletricidade são choque e aquecimento, mas podem existir conseqüências à saúde que não são tão óbvias, e portanto, podem não estar sendo corretamente protegidas pelos padrões de segurança atuais.

A única certeza atual é que a espécie *inteligente* do planeta está irreparavelmente alterando a *assinatura eletromagnética* do mundo e o está fazendo sem o entendimento claro das implicações ao próprio homem e às outras espécies.

1.3 Campos Eletromagnéticos

O termo **EMF** (Electromagnetic Field) é usado mundialmente para caracterizar campos eletromagnéticos em geral, com frequências entre 0 e 300 GHz.

Podemos dividir o espectro eletromagnético, que é o conjunto de todas as frequências, em determinadas faixas, para as quais temos diferentes aplicações, como mostrado na tabela 1.1.

Campos Estáticos (0 Hz)	Trens magnéticos, aparelhos de ressonância magnética utilizados na medicina, e equipamentos industriais que usam corrente contínua para processamento de materiais.
Campos de Baixa Frequência (0 Hz até 300 Hz)	Qualquer equipamento envolvido na geração, distribuição, transmissão e uso de energia elétrica na frequência industrial (50 / 60 Hz).
Campos de Rádio Frequência (entre 300 Hz e 300 GHz)	Telefones celulares, serviços de telecomunicações, transmissores de rádio e TV, monitores de vídeo, microondas, radares, comunicações por satélite e radiações solares.

Tabela 1.1 – Divisão do espectro eletromagnético em faixas de frequência e principais aplicações [33]

Enquanto pesquisa extensiva tem sido conduzida em possíveis efeitos na saúde devido à exposição às diversas partes do espectro eletromagnético, nem todas as frequências têm sido totalmente pesquisadas. Além do mais algumas dessas pesquisas têm sugerido que a exposição a campos eletromagnéticos pode produzir uma grande variedade de efeitos na saúde como câncer, mudanças no comportamento, perda de memória, mal de Parkinson, entre outras doenças. [12, 16, 18, 19] Apesar dos estudos atuais ainda serem insuficiente para confirmar estes efeitos, preocupações e constatações suficientes de riscos têm aumentado.

Existe também confusão acerca dos efeitos biológicos da radiação não ionizante (ondas de rádio, microondas, etc) e da radiação ionizante (raios X, raios gama, etc).

Radiação não ionizante (**NIR** - Non-Ionizing Radiation) é um termo geral para as radiações e campos que formam parte do espectro eletromagnético, não tendo energia radiante suficiente para produzir ionização no meio por onde passa. **NIR**'s incluem campos elétricos e magnéticos, campos eletromagnéticos, radiações na faixa de frequência de 0 a 300 MHz, radiações óticas (ultravioleta, luz visível, infravermelho) e ultrasons (frequências acima de 16 kHz).

Radiação ionizante designa as radiações de extremamente altas frequências características de raios **X** e raios gama, onde as partículas eletromagnéticas têm energia suficiente para produzir ionização através da quebra de ligações químicas no material genético de células.

1.4 Preocupações com Efeitos à Saúde

A exposição a campos eletromagnéticos ocorre em diferentes graus a todas as populações do planeta, e os níveis tendem a aumentar com os avanços tecnológicos desenfreados. Portanto, mesmo uma pequena consequência à saúde pode levar a um grande impacto na saúde pública.

Preocupações estão cada vez maiores quanto ao fato da exposição a campos na baixa frequência industrial (50 / 60 Hz) poder levar ao aumento na incidência de câncer em crianças e adultos. A evidência vem de diversos estudos epidemiológicos ao redor do mundo, que sugerem que pessoas expostas a campos magnéticos têm um aumento associado no risco à leucemia, tumores cerebrais e outros tipos de câncer. [12, 16, 25]

Campos de rádio frequência (**RF**) são usados no nosso dia a dia através de transmissões de rádio e TV, telecomunicações (telefones celulares), tratamentos médicos, e na indústria de materiais. Preocupações têm aumentado quanto à associação do aumento no risco de câncer e outros efeitos à saúde com a exposição a campos de rádio frequência. Com a rápida introdução dos equipamentos de telecomunicações móveis tem sido dada atenção aos problemas de *dosagem* de campos **RF**, especialmente na cabeça humana exposta à pequena antena radiante dos telefones celulares. Estudos preliminares sugerem que as taxas de absorção de energia (**SAR** – Specif Energy Absortion Rate) na cabeça excedem aquelas recomendadas pelos melhores padrões de segurança se o campo irradiado pela antena exceder certos níveis. [13, 14, 15] Um dos

maiores problemas encontrados nos estudos é a falta de métodos padronizados para avaliação da **SAR**.

O conflito entre as preocupações sobre os possíveis efeitos à saúde devido à exposição a campos eletromagnéticos e o desenvolvimento da indústria de eletricidade e dos serviços de telecomunicações tem levado a conseqüências econômicas consideráveis. Por exemplo, concessionárias elétricas em vários países têm tido que desviar linhas de transmissão de alta tensão de áreas povoadas e até mesmo suspender sua construção. A instalação de estações base de sistemas de telefonia celular tem sido atrasada ou tem tido oposição do público devido às preocupações de que os campos **RF** destas estações base podem causar câncer. Medidas para reduzir significativamente os campos elétricos e magnéticos no ambiente [10, 11] abaixo do que é comumente aceito são caras. Tem sido estimado que preocupações com **EMF** e saúde têm custado à economia dos Estados Unidos algo em torno de US\$ 1 bilhão anualmente. [25]

Para assegurar que a exposição humana a ondas eletromagnéticas não tenha efeitos danosos à saúde, e que os diversos equipamentos de geração de ondas **EMF** sejam seguros e seu uso também não interfira com outros equipamentos, muitas normas e padrões internacionais são adotadas. Tais padrões são desenvolvidos por grupos selecionados de cientistas que pesquisam toda literatura científica e recomendam normas a serem seguidas por órgãos nacionais e internacionais, estabelecendo valores máximos admissíveis de radiação eletromagnética. No presente uma das recomendações mais utilizadas no mundo é a da International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (**ICNIRP**). [1] O padrão americano, **ANSI/IEEE C95.1**, (American National Standards Institute / Institute of Electrical and Electronic Engineers) é também muito conhecido. [2] Ambos os documentos mostram os níveis recomendados em acordo com a organização não governamental World Health Association (**WHO**).

As organizações e agências internacionais precisam de um esforço conjunto e padronizado para envidar programas de pesquisa que permitam que melhores estudos quanto ao risco à saúde possam ser feitos, conduzindo cautelosa pesquisa na literatura científica e trabalhando em prol de um consenso internacional acerca das preocupações com a saúde. O desenvolvimento de padrões internacionais seguros e completos com relação aos níveis de exposição a campos eletromagnéticos é de grande importância mundial.

1.5 Conteúdo do Trabalho

Gostaríamos de salientar que o trabalho a que nos propusemos realizar está entre os primeiros realizados em Minas Gerais, e mesmo no Brasil ainda são poucos os estudos na área. A medição de campos eletromagnéticos em alta frequência é um terreno vasto mas ainda muito pouco explorado. Na **UFMG** trabalho similar foi realizado numa dissertação de mestrado em que foram medidos campos eletromagnéticos em baixa frequência emitidos por aparelhos eletrodomésticos num ambiente residencial. [29]

As dificuldades encontradas principalmente pela falta de informação foram muitas. A literatura é vasta, mas levanta ainda mais dúvidas, devido à polêmica com relação ao tema. Tivemos que enfrentar o desconhecimento das técnicas de medições de campos eletromagnéticos em alta frequência e da tecnologia celular.

A grande certeza que temos é que foi um trabalho de valor científico e social, que poderá ajudar a esclarecer algumas das muitas dúvidas que nos cercam, contribuindo como auxílio para novas pesquisas na área.

No presente trabalho foi feita uma pesquisa bibliográfica a respeito das normas e recomendações atuais sobre níveis aceitáveis de radiação eletromagnética.

Foram feitas medições e análises de campos eletromagnéticos na faixa de rádio frequência utilizando o equipamento de medição **EMR-300** da Wandel & Goltermann, um medidor de radiação eletromagnética na faixa de frequência de 100 kHz a 3 GHz. Os resultados obtidos no trabalho de campo foram analisados e confrontados com a norma da International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (**ICNIRP**), que estabelece limites à exposição a campos eletromagnéticos em alta frequência.

Durante a redação do texto tomou-se o cuidado de não se fazer uma abordagem estritamente técnica, de modo a tornar a leitura mais agradável e acessível ao público leigo e às instituições que dele se utilizarem.

O *primeiro capítulo* introduz o tema dos campos eletromagnéticos e possíveis efeitos na saúde, apresentando os principais conceitos e os objetivos do trabalho.

O *segundo capítulo* faz um resumo sucinto das principais características físicas referentes às ondas eletromagnéticas e sua interação com o ser humano, com a finalidade de tornar a leitura mais acessível principalmente para o público leigo que porventura venha utilizar-se deste trabalho.

O *terceiro capítulo* apresenta uma discussão a respeito das normas de segurança para a exposição a campos eletromagnéticos de rádio frequência, em particular à norma da **ICNIRP**.

O *quarto capítulo* mostra algumas técnicas de medição de campos eletromagnéticos em alta frequência e apresenta o instrumento de medição utilizado, **EMR-300** da Wandel & Goltermann, e suas características principais.

O *quinto capítulo* apresenta os resultados práticos de medições realizadas utilizando o equipamento medidor de campos eletromagnéticos em alta frequência **EMR-300** da Wandel & Goltermann. Foram medidos e analisados campos na faixa de rádio frequência de um aparelho de comunicação celular portátil, de algumas antenas de transmissão celulares, de um forno microondas, de um aparelho televisor, e da tela de um microcomputador.

O *sexto capítulo* apresenta algumas conclusões e propostas de futuros trabalhos relacionados ao tema.

Nas *referências bibliográficas* temos as principais fontes de informação utilizadas, inclusive alguns *Web sites* na *Internet* que poderão ser úteis para consultas e novos estudos.

CAPÍTULO 2

SÍNTESE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E SUA INTERAÇÃO COM O SER HUMANO

2.1 Introdução

Fontes naturais e artificiais geram energia eletromagnética na forma de ondas eletromagnéticas. Estas ondas consistem de campos elétricos e magnéticos oscilantes que interagem diferentemente com sistemas biológicos como células, plantas, animais e o ser humano. Para melhor conhecer estas interações, é essencial a familiaridade com as propriedades físicas das ondas que formam o espectro eletromagnético.

2.2 Principais Propriedades Físicas das Ondas Eletromagnéticas

A energia eletromagnética pode ser analisada em termos de *energia, radiação ou campos*.

Radiação refere-se de maneira geral a energia radiante, ou seja, energia que se propaga no espaço, inclusive no vácuo, sem necessidade de um suporte físico. Em particular, radiação eletromagnética é energia que se propaga sob a forma de ondas caracterizadas por campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo e no espaço.

Ondas eletromagnéticas de baixa frequência são referenciadas como *campos eletromagnéticos* e ondas de alta frequência são chamadas *radiações eletromagnéticas*. Isso porque as ondas de baixa frequência não produzem radiação, produzem apenas

campos elétricos e magnéticos; estes campos não irradiam energia no espaço e desaparecem quando sua fonte é desligada.

As ondas eletromagnéticas são caracterizadas basicamente pelo seu comprimento de onda λ (m), frequência f (Hz) e energia E (J ou V). Todos os três parâmetros estão inter-relacionados, e cada um influencia o efeito dos campos num sistema biológico.

A frequência f de uma onda eletromagnética é a razão com que o campo eletromagnético troca de direção e / ou amplitude (número de oscilações por segundo). É medida em ciclos por segundo, ou Hertz (Hz), onde 1 Hz corresponde a uma mudança de direção (ciclo) por segundo. A frequência da potência industrial no Brasil é de 60 Hz. Ondas de rádio **AM** têm frequência em torno de 1 MHz, rádio **FM** tem frequência em torno de 100 MHz, fornos de microondas têm frequência de 2450 MHz, e raios **X** têm frequência acima de 1 milhão de MHz. Telefones celulares operam entre 800 e 900 MHz e **PCS** (Personal Communication Systems) operam entre 1800 e 2000 MHz.

O período T de uma onda eletromagnética é o tempo que ela gasta para completar um ciclo. É o inverso da frequência e é dado em segundos (s).

$$T = \frac{1}{f}$$

O comprimento de onda λ é a distância em metros percorrida pela onda em um ciclo completo.

As ondas eletromagnéticas viajam no espaço à velocidade da luz e sua frequência e comprimento de onda estão relacionados pela equação:

$$v = \lambda \cdot f$$

Onde v = velocidade da luz = 3×10^8 m/s

Ondas eletromagnéticas em alta frequência têm pequenos comprimentos de onda e ondas eletromagnéticas em baixa frequência têm grandes comprimentos de onda.

Campos na frequência industrial de 60 Hz têm um comprimento de onda de 5000 km. Em contraste, fornos de microondas têm uma frequência de 2450 MHz e um comprimento de onda de aproximadamente 10 cm, e raios X têm frequências de 10^{15} Hz e comprimentos de onda de menos de 100 nm. Campos estáticos, ou campos de corrente contínua, não variam com o tempo e pode-se dizer que têm a frequência de 0 Hz e um comprimento de onda infinito.

O espectro eletromagnético, que é o conjunto de todas as frequências, inclui todas as várias formas de energia eletromagnética desde campos de baixa frequência (**ELF** - Extremely Low Frequency Fields), com grandes comprimentos de onda, até raios X e raios gama, que têm altíssimas frequências e comprimentos de onda muito pequenos. Entre esses extremos estão as ondas de rádio, microondas, radiação infravermelho, luz visível e radiação ultravioleta, nesta ordem, como pode ser observado na figura 2.1.

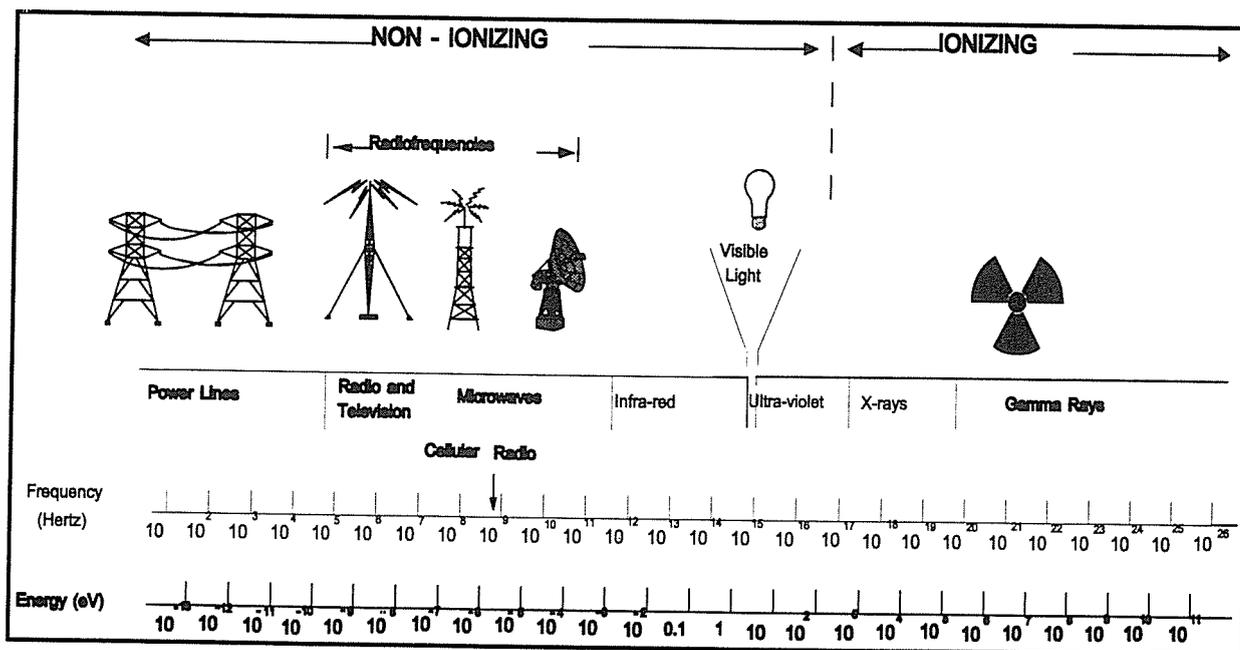


Figura 2.1 – O espectro eletromagnético [40]

Normalmente, dizemos que o espectro eletromagnético produz ondas de energia. Isto não é estritamente correto, porque algumas vezes a energia eletromagnética atua não como onda, mas como partículas (em frequências muito altas). Esta é a conhecida dualidade **onda-partícula** da energia eletromagnética. A natureza de partícula da onda eletromagnética é importante porque é a energia por partícula (ou fótons, como

são chamadas) que determina quais efeitos biológicos a energia eletromagnética provocará. A energia associada com o fóton, a unidade elementar da onda eletromagnética, depende da frequência da onda. Quanto maior a frequência maior a quantidade de energia em cada fóton.

A unidade característica do fóton de uma onda eletromagnética é o elétron-volt, eV, sendo que 1 eV é igual a 1.602×10^{-19} J (Joules). De acordo com os estudos de Einstein, a energia de um fóton é dada pela relação:

$$E = hf$$

Onde h = constante de Planck = 6.62×10^{-34} J.s = 4.136×10^{-15} eV.s

f = frequência (Hz)

Dependendo de sua frequência e energia as radiações eletromagnéticas podem ser classificadas como *radiações ionizantes* ou *radiações não ionizantes*.

Radiações ionizantes são as de extremamente altas frequências características de raios X e raios gama, onde as partículas eletromagnéticas (fótons) têm energia suficiente para produzir ionização (criar átomos ou parte de moléculas carregados eletricamente) através da quebra de ligações químicas no material genético de células, o DNA. As radiações ionizantes possuem energia do fóton superior a 10 eV, valor esse mínimo para “arrancar” elétrons de moléculas em material biológico. A parte do espectro eletromagnético composta por frequências capazes de produzir ionização é chamada ionizante.

Para efeito de comparação a energia de 10 eV corresponde à frequência de 2.4×10^{15} Hz, ou seja, na região do ultravioleta curto. Na frequência dos fornos de microondas (2.45×10^9 Hz) o fóton tem energia um milhão de vezes menor, não tendo qualquer possibilidade de provocar ionização em alimentos, animais ou pessoas expostas.

Radiações ionizantes podem causar danos severos ao DNA, matando células e resultando em danos aos tecidos. Se estes danos ocorrem em células reprodutivas, eles podem também levar à mutações genéticas. Danos menores ao DNA podem levar a modificações permanentes que podem levar ao câncer. Todos os perigos conhecidos à

saúde humana devido à exposição a radiações ionizantes são resultado da quebra de ligações químicas no **DNA** das células.

A radiação ionizante está também associada com a geração de energia nuclear, onde ela é referenciada simplesmente como *radiação*.

Radiação não ionizante é o termo usado para a parte do espectro eletromagnético em que a energia dos fótons é inferior a 10 eV, muito fraca para quebrar ligações químicas. Isso acontece com as frequências da luz visível, ondas de rádio, microondas, campos estáticos elétricos e magnéticos e campos de baixa frequência **ELF**. Esta parte do espectro eletromagnético é chamada então de não ionizante. Em 300 GHz (fronteira entre microondas e infravermelho), a energia do fóton está em torno de 10^{-3} eV e decresce lineamente com a frequência. Para termos uma idéia de como essa energia é pequena a disrupção de uma ligação covalente tem uma energia de ativação de 5 eV. Mesmo a disrupção da ligação de uma simples molécula de hidrogênio requer uma energia de ativação de 10^{-1} eV.

As energias de fóton associadas com as várias frequências do espectro eletromagnético são mostradas na escala inferior da figura 2.1.

Ainda considerando a propagação das ondas eletromagnéticas no espaço outro aspecto interessante é quanto à distribuição da energia ao longo do espaço. A energia carregada por uma onda não está contida apenas na linha de visada direta do sinal mas fica espalhada por todo espaço ao redor dessa linha, em regiões chamadas *zonas de Fresnel*. Essas regiões são elipsóides de revolução sendo que os três primeiros são os mais importantes, pois contêm quase toda a energia da onda. À medida em que a ordem do elipsóide aumenta a contribuição em termos de energia diminui. Outro aspecto interessante é que as zonas de Fresnel são alternadamente construtivas e destrutivas, ou seja, o sinal na primeira zona está em oposição de fase com o sinal da segunda. Dessa forma quando uma obstrução bloqueia a segunda zona de Fresnel acontece na realidade um ganho no sinal pois o sinal em oposição de fase é barrado.

2.3 Quantidades e Unidades

Campos eletromagnéticos de alta frequência são quantificados em termos de intensidade de campo elétrico \mathbf{E} , expressa em volts por metro (V/m) e intensidade de campo magnético \mathbf{H} , expressa em ampères por metro (A/m). Um campo elétrico \mathbf{E} exerce força numa carga elétrica, já um campo magnético \mathbf{H} pode exercer forças físicas numa carga elétrica somente se esta carga estiver em movimento. Ambos os campos elétrico e magnético têm intensidade e direção, ou seja, são vetores de campo. Um campo magnético pode ser especificado de dois modos, através da densidade de campo magnético \mathbf{B} , expressa em Tesla (T), ou através da intensidade de campo magnético \mathbf{H} , expressa em ampères por metro (A/m). Essas duas quantidades são relacionadas pela expressão:

$$\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$$

Onde μ = permeabilidade magnética do meio (H/m), no ar ou em um material não magnético, como os biológicos, o valor de $\mu = 4 \pi \times 10^{-7}$ H/m.

Outra unidade comumente usada para caracterização de campos eletromagnéticos é a densidade de potência \mathbf{S} , que é definida como a potência por unidade de área normal à direção de propagação, e é expressa nas unidades W/m² ou mW/cm². Para ondas eletromagnéticas planas, os campos elétrico e magnético mantêm uma relação constante entre si, sendo válida a relação:

$$\mathbf{S} = \mathbf{E}\mathbf{H}$$

A densidade de corrente \mathbf{J} é definida como a corrente fluindo através de uma seção perpendicular à sua direção em um volume de condutor como o corpo humano ou partes dele, e é expressa em ampère por metro quadrado (A/m²). O campo elétrico interno \mathbf{E} e a densidade de corrente \mathbf{J} são relacionadas pela Lei de Ohm:

$$\mathbf{J} = \sigma\mathbf{E}$$

Onde σ = condutividade elétrica do meio (S/m)

Para o propósito de proteção à radiação, são necessárias quantidades físicas para descrever as propriedades de campos eletromagnéticos, bem como quantidades para caracterizar a interação de tais campos com os sistemas biológicos, sendo estas últimas chamadas de quantidades dosimétricas.

As quantidades dosimétricas são usadas então para quantificar a exposição do corpo humano à radiação não ionizante e para estimar a energia absorvida e sua distribuição dentro do corpo. Elas são relacionadas diretamente com os efeitos biológicos da exposição e são usadas como as quantidades básicas para restringir a exposição. Segundo a norma **ICNIRP** [1], para as diferentes faixas de frequência e formas de onda as quantidades dosimétricas são:

- Até 10 MHz – densidade de corrente **J**, que é relacionada com o campo elétrico através da condutividade elétrica σ . A densidade de corrente **J** é responsável pela polarização e reorientação de dipolos elétricos presentes nos tecidos. As cargas induzidas na superfície de corpos expostos a campos elétricos alternados resultam em correntes internas ao corpo, cujas magnitudes dependem da densidade de carga externa.
- Até 100 MHz – corrente elétrica **I**, responsável por efeitos indiretos como choques e queimaduras (quantidade dosimétrica básica para a faixa **ELF**).
- Para 100 kHz a 10 GHz - Taxas de absorção de energia específica (**SAR** – Specific Energy Absorption Rate), definida como a taxa em que a energia eletromagnética é dissipada num tecido normalizada sobre o corpo todo ou sobre uma pequena região de tecido humano.
- Para campos pulsantes de 300 MHz a 10 GHz – Absorção de energia específica (**SA** – Specific Energy Absorption).
- Para 10 GHz a 300 GHz - densidade de potência **S**, que melhor descreve o aquecimento de superfícies.

Ondas **RF** acima de 10 GHz são absorvidas pela superfície da pele, com muito pouca penetração de energia nos tecidos inferiores. Para esses campos, a quantidade dosimétrica básica é a densidade de potência em Watt por metro quadrado (W/m^2). Para efeitos na saúde, como cataratas e queimaduras, devido à exposição a campos **RF** acima de 10 GHz, densidades de potência acima de $1000 W/m^2$ são necessárias. Tais densidades não são encontradas usualmente, elas existem somente nas proximidades de radares muito potentes, cuja presença humana é controlada nestas áreas. Ondas **RF** entre 100 kHz e 10 GHz penetram nos tecidos humanos e produzem aquecimento devido à absorção de energia nesses tecidos. A profundidade de penetração da onda **RF** depende da frequência da onda e é maior para baixas frequências. Para tecidos musculares, a profundidade de penetração (distância na qual aproximadamente 2/3 da energia da radiação é absorvida) está em torno de 10 cm a 30 MHz e 3 cm a 1GHz. [25]

A absorção de energia das ondas **RF** nos tecidos humanos é medida através da *taxa de absorção específica* (**SAR** - Specific Energy Absortion Rate), que é a quantidade dosimétrica para ondas eletromagnéticas entre 1 MHz e 10 GHz, tendo como unidade o Watt por kilograma (W/kg).

SAR é a taxa com que a energia é absorvida num tecido do corpo, definida como a derivada (variação) no tempo do aumento da energia dW absorvida ou dissipada num elemento de massa dm contida num elemento de volume dV cuja massa específica é ρ . Analiticamente:

$$\boxed{SAR = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial m}} \text{ ou } \boxed{SAR = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial W}{\partial(\rho dV)}} \text{ (W/kg)}$$

Em outras palavras podemos dizer que a **SAR** quantifica a potência absorvida por unidade de massa.

A **SAR** é também diretamente proporcional ao aumento local de temperatura, responsável pelos efeitos térmicos das ondas eletromagnéticas, como podemos observar pela próxima equação.

$$\boxed{\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{SAR}{C_p}} \text{ (} ^\circ\text{C/s)}$$

Onde **T** = temperatura (°C)

C_p = calor específico do tecido (J/kg.°C)

Portanto a **SAR** indica a energia aplicada e o aumento de temperatura, em qualquer parte do corpo.

Para exposição de corpo inteiro utiliza-se o conceito de **SAR média**, que é definida como a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e sua massa.

Para exposição localizada, como por exemplo devido a telefones celulares portáteis irradiando campos muito próximos à cabeça do usuário, utiliza-se o conceito de **SAR local**, que é definida como a potência absorvida por uma determinado volume ou massa unitário, usualmente por uma grama de tecido.

A absorção de energia também pode ser calculada a partir da intensidade de campo elétrico no tecido, levando-se em conta as propriedades dielétricas do material.

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho}$$

Onde **E** = valor de pico do campo elétrico (V/m)

σ = condutividade elétrica (S/m)

ρ = massa específica (kg/m³)

Para fins de medições grandes problemas são enfrentados. Valores de **SAR** são muito difíceis de se medir, o que é usualmente medido é a densidade de potência da onda plana. A média de **SAR** correspondente ao corpo todo pode então ser calculada a partir da medição da densidade de potência.

Um valor de **SAR** de 1 W/kg corresponde à taxa média do metabolismo básico de um ser humano. Considerando um consumo em torno de 80 W, e fazendo a conversão para um corpo de 70-80 kg, temos a referida média de 1 W/kg.

2.4 Faixas de Frequência [25]

Visando um melhor entendimento da interação dos campos eletromagnéticos com o ser humano, vamos comentar agora alguns aspectos sobre as várias faixas de frequências, baseados em [25].

2.4.1 Campos Estáticos

Campos estáticos são campos elétricos e magnéticos contínuos de frequência nula (0 Hz), que não apresentam componente radioativa, sendo puramente campos. Campos estáticos elétricos e magnéticos atuam em sistemas biológicos através da indução de cargas e correntes elétricas. Efeitos mais danosos podem ocorrer somente a altíssimos níveis de campos.

Campos elétricos estáticos não penetram no corpo humano. Exceto no caso de descargas elétricas por campos elétricos estáticos muito fortes, eles não produzem efeitos à saúde significativos.

Campos magnéticos estáticos têm praticamente a mesma intensidade dentro ou fora do corpo humano. Campos magnéticos muito altos podem alterar o fluxo sanguíneo ou alterar impulsos nervosos. Mas esses altos campos não são encontrados usualmente. Contudo ainda existe informação insuficiente sobre os efeitos da exposição prolongada a esses campos e muitos estudos estão em andamento.

2.4.2 Campos ELF – Extremely Low Frequency Fields

Campos **ELF** são campos com frequências entre 0 e 300 Hz, que têm quase nenhuma energia radioativa. Campos elétricos **ELF** existem sempre que uma tensão está presente, mesmo na ausência de corrente elétrica. Estes campos elétricos têm pouca penetração no corpo humano, ainda assim existem estudos que sugerem que a exposição a esses campos está associada com um aumento na incidência de câncer em crianças ou outros efeitos à saúde. [12, 16] Nas frequências industriais (50 / 60 Hz) a energia do fóton é de um fator 10^{10} vezes menor que a necessária para quebrar mesmo a mais fraca ligação química.

Campos magnéticos **ELF** existem sempre que uma corrente elétrica está fluindo. Eles facilmente penetram no corpo humano sem significativa atenuação e são muito difíceis de se bloquear. Devido ao fato de campos elétricos **ELF** não penetrarem no corpo humano, é geralmente assumido que qualquer efeito biológico devido à exposição a campos **ELF** deve ser devido à componente magnética dos campos, ou aos campos e correntes elétricas que estes campos magnéticos induzem no corpo.

Em frequências abaixo das utilizadas para transmissão de rádio **AM** (em torno de 1 MHz), ondas eletromagnéticas acoplam pouco com os corpos de pessoas e animais, e portanto são muito ineficientes na indução de correntes elétricas e aquecimento. A ação de campos **ELF** em sistemas biológicos é através da indução de cargas e correntes elétricas, que são medidas como densidade de corrente em ampères por metro quadrado (A/m^2). As muitas reações químicas envolvidas no processo de **estar vivo** têm associadas correntes em torno de $10 mA/m^2$. Densidades de corrente induzida que excedem $100 mA/m^2$ podem interferir com o funcionamento normal do corpo e produzir contrações musculares involuntárias. Mas estes mecanismos ainda não são suficientes para explicar efeitos na saúde como câncer.

2.4.3 Radiações Óticas

Radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 100 nm e 1 mm é frequentemente chamada radiação ótica. Radiação ultravioleta (**UV**) está na faixa entre 100 nm e 400 nm, luz visível entre 400 nm e 760 nm e radiação infravermelho (**IR** – Infrared) entre 760 nm e 1 mm. Devido à pequena energia radiante emitida por fontes de luz convencionais e na faixa do infravermelho, somente os lasers nesta região espectral podem oferecer danos potenciais.

2.4.4 Radiações Ultravioleta

As radiações ultravioleta estão na faixa de comprimentos de onda de 100 nm (que corresponde a uma energia de fóton de aproximadamente 12 eV) até 400 nm. O limite inferior de comprimento de onda da radiação ultravioleta é tomado como a fronteira entre o espectro de radiação ionizante ($\lambda < 100 nm$) e o espectro de radiação não ionizante. Um efeito indireto da interação de comprimentos de onda pequenos

($\lambda < 240 \text{ nm}$) da radiação ultravioleta com o oxigênio da atmosfera é a produção do gás tóxico ozônio.

2.4.5 Campos RF - Rádio Frequência

Campos de rádio frequência têm frequências entre 30 kHz e 300 GHz. Uma subdivisão mais detalhada da faixa **RF** é mostrada na tabela 2.1.

Assim como campos eletromagnéticos **ELF** a energia radiante de campos **RF** é muito pequena e ainda insuficiente para quebrar ligações químicas no corpo humano.

Frequência (MHz)	Faixa	Descrição
0.03 - 0.3	LF	Low frequency (long wave)
0.3 - 3	MF	Medium frequency (medium wave)
3 - 30	HF	High frequency (short wave)
30 - 300	VHF	Very high frequency
300-3000	UHF	Ultra high frequency
3000-30000	SHF	Super high frequency
30000-300000	EHF	Extremely high frequency

Tabela 2.1 - Faixas de rádio frequência [25]

Campos **RF** mudam de característica com a distância a partir da sua fonte radiante (antena). Para o estudo dos campos de rádio frequência são definidos três campos distintos, a região de campo perto, a região de campo intermediário e a região de campo distante, que são localizadas por esferas de diferentes raios **r** ao redor da antena. A região de campo perto está numa distância de aproximadamente $r < \lambda$. A zona intermediária existe a uma distância de $r = \lambda$, e a região de campo distante se estende a distâncias de $r > \lambda$.

Longe da fonte, na região de campo distante, os campos atuam como ondas eletromagnéticas planas (figura 2.2).

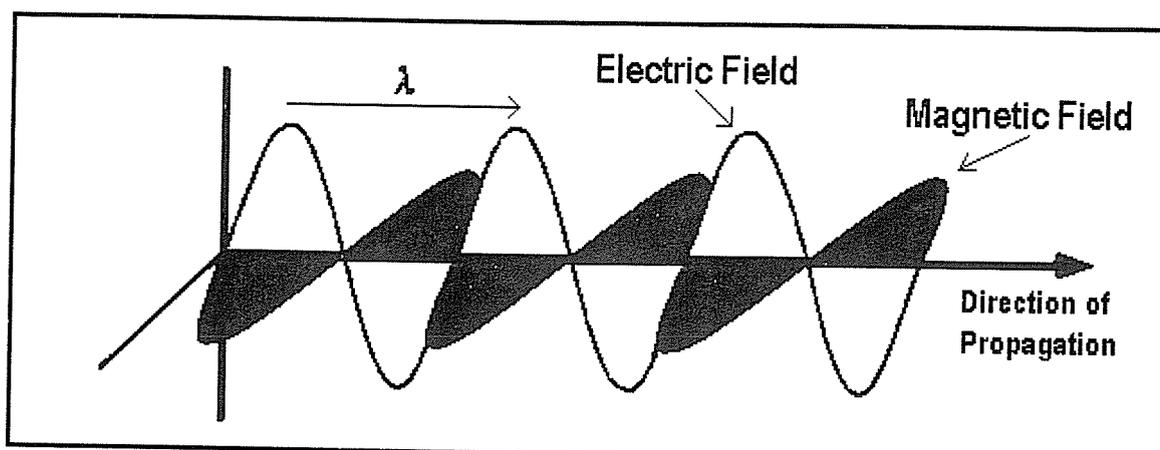


Figura 2.2 - Onda eletromagnética plana [40]

Para as ondas eletromagnéticas planas podemos definir as seguintes características:

- As frentes de onda são planas e os vetores de campo elétrico \mathbf{E} , campo magnético \mathbf{H} , e de propagação \mathbf{S} , são todos mutuamente perpendiculares.
- A razão $\frac{E}{H}$ é chamada de impedância de onda Z e para o espaço livre seu valor é de $Z_0 = 377 \Omega$.
- A densidade de potência S em qualquer ponto é calculada através do produto vetorial entre os vetores de campo elétrico e magnético, ou seja, $\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$. S é também chamado de Vetor de Poynting e representa a densidade de energia e a direção de propagação da energia.
- $S = EH$ ou $S = \frac{E^2}{377}$ ou $S = 377H^2$
- Ambos os campos elétrico \mathbf{E} e magnético \mathbf{H} variam com o inverso da distância à fonte, ou seja, $1/r$. A densidade de potência S varia com o inverso do quadrado da distância à fonte, ou seja, $1/r^2$.

Já na região de campo perto a situação é mais complicada, porque os máximos e mínimos dos campos elétricos e magnéticos não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direção de propagação, assim como no caso do campo distante. Os campos elétricos e magnéticos não são mais necessariamente perpendiculares, e não são mais caracterizados como ondas. Nesta região, a estrutura do campo eletromagnético é bastante não homogênea e podem haver variações grandes na impedância de onda plana de 377Ω . Em algumas regiões quase puramente campos elétricos podem existir, e em outras regiões quase puramente campos magnéticos. Não existe mais relação direta entre os dois campos.

As intensidades de campo na região de campo perto são difíceis de se especificar, porque ambos os campos **E** e **H** precisam ser medidos. Devido a diferenças de padrões dos campos, em alguns casos a densidade de potência pode variar inversamente com a distância à fonte, $1/r$, em vez de variar com o inverso do quadrado da distância à fonte, $1/r^2$ (como na região de campo distante), e padrões de interferência ocorrem.

A distância mínima da fonte onde o modelo de onda plana é válido, a chamada região de campo distante, depende da estrutura elétrica da fonte. O critério de Rayleigh pode ser usado para se determinar aproximadamente esta região:

$$R_{far} > 2 \frac{D_{max}^2}{\lambda_{min}}$$

Onde λ_{min} = comprimento de onda mínimo da radiação da fonte (m)

D_{max} = dimensão física máxima da antena (m)

Uma estimativa conservativa da máxima densidade de potência P_{max} (W/m²) na região de campo perto de uma fonte pode ser obtida por:

$$P_{max} = 4 \frac{P}{A_{ef}}$$

$$A_{ef} = G \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Onde A_{ef} = abertura efetiva (área) da fonte (m^2)

P = potência de saída da fonte (W)

G = ganho da antena

λ = comprimento de onda irradiado (m)

Se uma fonte irradia potência numa taxa constante uniformemente em todas as direções, a potência total fluindo através de qualquer superfície esférica com seu centro na fonte será distribuída uniformemente sobre a superfície e será igual à potência total irradiada. Tal fonte é chamada de fonte isotrópica. Se uma fonte irradia uma quantidade fixa de potência P isotropicamente, então a densidade de potência S a uma distância r da fonte será a potência total irradiada dividida pela área da esfera com seu centro na fonte, ou seja:

$$S = \frac{PG}{4\pi r^2}$$

Onde P = potência de saída da fonte (W)

G = ganho da antena

r = distância até a fonte (m)

As unidades devem ser corretamente utilizadas no emprego da equação, por exemplo, se a densidade de potência na unidade de mW/m^2 é desejada, a potência deve ser expressa em mW e a distância em cm . Notar que o ganho G é normalmente um ganho numérico, portanto se o ganho de potência for expresso em termos logarítmicos, isto é, em dB , a conversão é requerida usando a relação:

$$G = 10 \frac{dB}{10}$$

Neste capítulo fizemos uma análise das propriedades fundamentais das ondas eletromagnéticas e de alguns aspectos da sua interação com os sistemas biológicos, visando um melhor entendimento das normas de segurança que limitam a exposição a campos eletromagnéticos, que serão abordadas no próximo capítulo.

Para um aprofundamento maior no que se refere aos efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos no corpo humano sugerimos a leitura de algumas de nossas referências bibliográficas, como [1, 12, 17, 18, 20, 23, 24, 25]. A referência [25] é um livro da **ICNIRP** com um estudo detalhado e bem referenciado das radiações não ionizantes, leitura recomendada para os pesquisadores da área.

CAPÍTULO 3

NORMAS DE SEGURANÇA PARA EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

3.1 Introdução

Existem muitos trabalhos na literatura científica mundial a respeito dos possíveis efeitos biológicos resultantes da exposição a rádio frequência. Muitos dos efeitos são associados a aumentos na temperatura de tecidos do corpo humano. Estes particulares efeitos são bem entendidos e usados por várias organizações internacionais como base científica na elaboração de normas e restrições à exposição a campos eletromagnéticos.

As normas mais conhecidas e utilizadas mundialmente são a norma **ANSI/IEEE C95.1** e a norma **ICNIRP**. [1, 2] Os limites de exposição e principais aspectos de ambas as normas serão apresentadas neste capítulo.

3.2 Aspectos Principais das Normas e Limites de Exposição

As recomendações das normas são aplicáveis em dois tipos de ambientes distintos, controlados (ou ocupacionais) e não controlados (ou de público geral). Um maior fator de segurança é aplicado aos ambientes não controlados devido aos argumentos de maior sensibilidade (crianças, idosos), durações maiores de exposição (24 horas/dia contra 8 horas/dia), condições ambientais adversas (calor, humidade), exposição voluntária contra não voluntária, e fatores emocionais e psicológicos que variam de ansiedade à ignorância.

Todas as normas de segurança para exposição a campos eletromagnéticos baseiam-se em critérios físicos e biológicos que são constantemente aperfeiçoados com o tempo e são desenvolvidas através de uma completa revisão bibliográfica da literatura científica publicada. A validade dos trabalhos científicos é cuidadosamente discutida por especialistas de universidades, institutos de pesquisa e órgãos governamentais, nas mais diversas áreas, como engenheiros, biofísicos e médicos.

A preocupação com os estudos sobre os efeitos biológicos das radiações não ionizantes aumentou consideravelmente na década de 40, quando houve um grande avanço nas aplicações de microondas, sobretudo em função do desenvolvimento do radar, utilizado na segunda guerra mundial. Em 1954 teve início um amplo programa de pesquisas das forças armadas americanas, com o objetivo de estabelecer normas de segurança. Os resultados deste programa, divulgados em 1960, mais uma vez confirmaram a natureza térmica e reversível dos efeitos da exposição a **RF** e microondas e concluíram que níveis de densidade de potência acima de 100 mW/cm^2 (valor equivalente à exposição a sol forte na praia) são perigosos. Adotou-se, então, como padrão de segurança, um nível máximo dez vezes menor, ou seja, 10 mW/cm^2 . O mesmo nível de 10 mW/cm^2 , aplicável à exposição de corpo inteiro, por tempo indeterminado, para qualquer frequência **RF** ou microondas, foi adotado em 1966, nas primeiras normas de segurança (**ANSI C95.1-1966**) elaboradas pelo American National Standards Institute (na época, American Standards Association). Essa norma foi resultado de oito anos de estudos realizados por engenheiros, médicos, bioquímicos, biofísicos, biólogos. [23]

Quanto aos efeitos biológicos das ondas eletromagnéticas, as normas baseiam-se em três tipos, efeitos térmicos, efeitos não térmicos, e choques e queimaduras.

Uma extensa e diversa literatura tem aparecido durante as últimas duas décadas e uma grande variedade de efeitos biológicos tem sido atribuída à exposição à radiação de rádio frequência. A maioria destes efeitos são conhecidos por resultar em aumentos na temperatura de corpos e tecidos. Os campos elétricos induzidos nos tecidos pela radiação eletromagnética resultam em absorção de energia devido à polarização de estruturas carregadas eletricamente e fluxo de íons. O aumento na energia é rapidamente dissipado por colisões moleculares, resultando então num aquecimento. Os animais, como nós, usam vários mecanismos fisiológicos para regular a temperatura do corpo. As respostas do sistema termoregulatório à radiação são bem conhecidas, incluindo por

exemplo alteração das taxas de metabolismo e dilatação de vasos sanguíneos. Os limites para tais respostas têm sido reportados em ratos com valores de **SAR** entre 0.3 e 5 W/kg. A execução de determinadas tarefas por ratos e primatas também é afetada pela radiação **RF**. Limites para a alteração de certos parâmetros de análise têm sido reportados entre 2.5 e 8 W/kg. A exposição a radiação **RF** pode também modificar a ação de drogas, cujo efeito pode ser alterado pela mudança de temperatura no corpo. A maioria das pessoas tolera aumentos na temperatura do corpo de 1°C, contudo, a exposição prolongada com temperaturas acima de 38 °C é danosa, reduzindo até mesmo a capacidade mental. [25]

Os efeitos não térmicos são por exemplo efeitos bioquímicos ou eletrofísicos causados diretamente pelos campos eletromagnéticos induzidos, e não indiretamente por um aumento localizado ou distribuído de temperatura. Alguns efeitos não térmicos reportados na literatura incluem efeitos nos sistemas nervoso, cardiovascular e imunológico, bem como no metabolismo e em fatores hereditários. Entretanto, nestas áreas os resultados ainda são polêmicos, não existindo conclusões definitivas, o que poderá ainda demorar muitos anos. [24]

Existem poucos estudos epidemiológicos considerando os efeitos na saúde em populações expostas à radiação de rádio frequência. As principais dificuldades incluem a identificação de populações para estudo com exposição adequada, o controle destas populações, e a correta avaliação da exposição. Por não serem experimentais, antes de quaisquer conclusões, devem ser analisados com cuidado fatores como intensidade da associação, presença de outros possíveis agentes, consistência dos resultados perante outros estudos e grau de certeza que a exposição realmente ocorreu.

Os estudos experimentais são mais fáceis de serem analisados e controlados. Como os estudos são inviáveis no ser humano, a maioria é feita com pequenos animais, como ratos. As dificuldades encontradas incluem as diferentes respostas aos campos eletromagnéticos de cada espécie e a composição e tamanho dos corpos. Os resultados podem não ser representativos para o ser humano, como podemos concluir a partir da figura 3.3 que mostra a variação da **SAR** média, em função da frequência, para três espécies animais, expostas a uma onda plana uniforme com polarização vertical, ou seja, campo elétrico paralelo ao eixo maior do corpo, e de densidade de potência de 1 mW/cm².

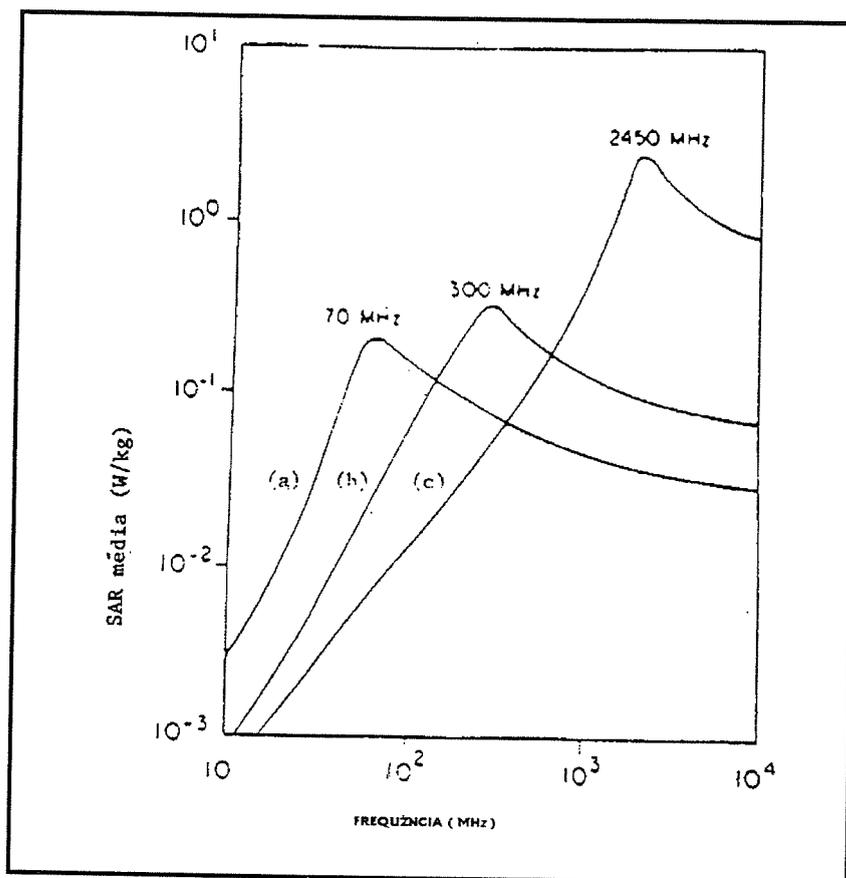


Figura 3.3 - Variação da **SAR** em função da frequência para três espécies animais expostas a uma densidade de potência de 1 mW/cm^2
(a) - homem (b) - macaco (c) - camundongo [23]

Observamos que há claramente uma frequência de máxima absorção de energia, ou de **ressonância**, em cada caso. Para o homem, essa frequência situa-se próxima a 70 - 80 MHz, enquanto para um camundongo o máximo de absorção ocorre em 2450 MHz. Nessa mesma frequência (que é por sinal a frequência utilizada nos fornos microondas), a **SAR** média, para o homem, é cerca de cem vezes menor do que para um camundongo exposto à mesma radiação. Portanto, para que tenhamos, a uma dada potência em 2450 MHz, em um homem um aumento de temperatura idêntico ao observado num camundongo, os níveis de potência devem ser muito mais altos. [23]

Além das dificuldades em se correlacionar os resultados práticos de estudos em animais com o ser humano, devido às diferentes respostas ao campo eletromagnético de cada espécie, temos também o problema do nível de dosagem e do período de

exposição. O que é normalmente feito na grande maioria dos estudos é a aplicação de altas dosagens de campos eletromagnéticos em curtos períodos. O resultado obtido não reflete sobremaneira a situação da exposição prolongada a dosagens menores de radiação.

No estado atual do conhecimento, podemos admitir que valores de **SAR** média entre 1 e 4 W/kg produzem efeitos biológicos mensuráveis, aceitando-se como 4 W/kg o valor mínimo da **SAR** média para que haja risco de saúde para o homem, sendo este valor uma base para muitas normas recentes de segurança.

3.2.1 Norma ANSI/IEEE C95.1-1991 [2]

A norma **ANSI/IEEE C95.1-1991** foi desenvolvida por um comitê especializado em radiações não ionizantes do **IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers), e submetida à aprovação prévia pelo **ANSI** (American National Standards Institute). Ela fornece recomendações para prevenir danos ao ser humano exposto a campos eletromagnéticos na faixa de frequência de 3 kHz a 300 GHz. Na norma são estabelecidos dois tipos de ambientes:

- **Controlados**, nos quais as pessoas têm conhecimento e/ou controle dos níveis de exposição, como por exemplo técnicos de laboratórios.
- **Não controlados**, nos quais as pessoas não têm conhecimento dos níveis de exposição (usualmente envolvendo o público em geral). É este o caso de aparelhos como os telefones celulares portáteis e os fornos de microondas domésticos.

Os limites de exposição permissíveis referem-se a valores obtidos por médias espaciais sobre uma área equivalente a um corte vertical do corpo humano, para caracterizar a exposição de corpo inteiro.

O conceito de limites de exposição estabelecidos em *médias temporais* significa que é permitido exceder os limites por pequenos períodos (por exemplo em exposições a campos não uniformes), desde que a exposição média sobre todo o período não exceda o limite.

Para ambientes controlados os limites referem-se a médias obtidas em um período de 6 minutos para frequências abaixo de 15 GHz. Para mais altas frequências o tempo médio é uma função da frequência, diminuindo até 10 s a 300 GHz.

Para ambientes não controlados os limites referem-se a médias obtidas em períodos de 6 e 30 minutos para frequências abaixo de 3 GHz. Para mais altas frequências o tempo médio é uma função da frequência, diminuindo até 10 s a 300 GHz.

Existem ainda limites para correntes induzidas ou de contato direto com rádio frequência, que não serão mostrados.

Os limites de exposição para ambientes controlados e não controlados em função da frequência de operação estão representados nas tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente. Para frequências acima de 300 MHz a quantidade dosimétrica utilizada é a densidade de potência **S**, que não foi reproduzida nas tabelas.

Os valores máximos mostrados são baseados em exposições a campos uniformes e limitam a taxa de absorção de energia específica (**SAR**) média de corpo inteiro (avaliados num volume equivalente a uma grama de tecido), na faixa de frequência onde a **SAR** se aplica (3 MHz a 6 GHz para exposição a campo elétrico), a 0.4 W/kg para ambientes controlados e 0.08 W/kg para ambientes não controlados. No contexto da atividade termoregulatória do corpo humano o impacto da exposição a 0.4 W/kg é praticamente o mesmo do impacto da variação de temperatura ambiente, exposição ao sol, exercícios físicos, etc.

Faixa de Frequência (MHz)	Campo Elétrico (V/m)	Campo Magnético (A/m)
0.003 - 0.1	614	163
0.1 - 3	614	16.3/f
3 - 30	1842/f	16.3/f
30 - 100	61.4	16.3/f
100 - 300	61.4	0.163

Tabela 3.1 - Limites de exposição para ambientes controlados da norma **ANSI/IEEE C95.1-1991** [2]

Faixa de Frequência (MHz)	Campo Elétrico (V/m)	Campo Magnético (A/m)
0.003 - 0.1	614	163
0.1 - 1.34	614	16.3/f
1.34 – 3	823.8/f	16.3/f
3 – 30	823.8/f	16.3/f
30 – 100	27.5	158.3/f ^{1.668}
100 - 300	27.5	0.0729

Tabela 3.2 - Limites de exposição para ambientes não controlados da norma
ANSI/IEEE C95.1-1991 [2]

Considerando campos não uniformes e exposições localizadas, os valores máximos da **SAR** entregues a qualquer uma grama de tecido podem exceder a média de corpo inteiro por um fator de até 20 vezes. Assim os limites para **SAR** máximos localizados em partes do corpo ficam em 8 W/kg para ambientes controlados e 1.6 W/kg para ambientes não controlados.

A massa de uma grama escolhida para especificação dos limites foi baseada em considerações técnicas, desde que ela corresponde ao menor valor num volume de tecido de 1 cm³ em que a exposição pode ser determinada adequadamente com os métodos disponíveis no momento. [30]

3.2.2 Norma ICNIRP [1]

A **ICNIRP** (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) é uma organização científica independente criada em 1992 como sucessora da **IRPA/INIRC** (International Radiation Protection Association / International Non-Ionizing Radiation Committee). A norma **ICNIRP**, cujos limites foram utilizados para verificação das medições realizadas neste trabalho, veio de uma cooperação entre a Divisão de Saúde Ambiental da **WHO** (World Health Organization) e o grupo de

trabalho **INIRC** (International Non-Ionizing Radiation Commitee) criado em 1977 pela **IRPA** (International Radiation Protection Association).

Na norma **ICNIRP** são estudados os efeitos diretos, resultantes da interação direta dos campos **EMF** com o corpo humano, e os efeitos indiretos, envolvendo interações com objetos a níveis diferentes de tensão com relação a o corpo.

A atual norma cobre a faixa completa de frequências de campos **EMF** (até 300 GHz). Semelhante à norma **ANSI/IEEE C.95.1-1991**, são estabelecidos dois tipos de ambientes, ocupacionais e públicos, relacionados aos controlados e não controlados já citados anteriormente.

São apresentadas duas classes de recomendações de limites:

- **Restrições básicas:** baseadas diretamente nos efeitos à saúde conhecidos. As quantidades físicas usadas são densidade de corrente **J**, taxa de absorção de energia específica **SAR** e densidade de potência **S**.
- **Níveis de referência:** são níveis de segurança derivados das restrições básicas através de medições e técnicas computacionais. Em qualquer situação de exposição, medições ou cálculos das quantidades de referência (campo elétrico **E**, campo magnético **H**, densidade de fluxo magnético **B**, e densidade de potência **S**) pode ser comparada aos níveis de referência apropriados. A adequação aos níveis de referência assegurará adequação às restrições básicas.

As restrições básicas limitam a taxa de absorção de energia específica (**SAR**) média de corpo inteiro, a 0.4 W/kg para ambientes ocupacionais e 0.08 W/kg para ambientes públicos, valores em concordância com a norma **ANSI/IEEE C-95.1-1991**.

Já os valores para **SAR** máximos localizados em partes do corpo (avaliados num volume equivalente a 10 gramas de tecido) são agora 10 W/kg para ambientes ocupacionais e 2 W/kg para ambientes públicos.

Nas tabelas 3.3 e 3.4 e nas figuras 3.1 e 3.2 reproduzimos os níveis de referência da norma **ICNIRP**. Os níveis de referência são medidos em um período de 6 minutos para frequências abaixo de 10 GHz. Para mais altas frequências o tempo médio é uma função da frequência, diminuindo até 10 s a 300 GHz.

Faixa de Frequência (MHz)	Campo Elétrico (V/m)	Intensidade de Campo Magnético (A/m)	Densidade de Campo Magnético (μ T)
Até 1 Hz	-	1.63×10^5	2×10^5
1 - 8 Hz	20000	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$
8 - 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$
0.025 - 0.82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$
0.82 - 65 kHz	610	24.4	30.7
0.065 - 1 MHz	610	$1.6 / f$	$2 / f$
1 - 10 MHz	$610 / f$	$1.6 / f$	$2 / f$
10 - 400 MHz	61	0.16	0.2
400 - 2000 MHz	$3 f^{1/2}$	$0.008 f^{1/2}$	$0.01 f^{1/2}$
2 - 300 GHz	137	0.36	0.45

Tabela 3.3 - Níveis de referência para ambientes ocupacionais da norma ICNIRP [1]

Faixa de Frequência (MHz)	Campo Elétrico (V/m)	Intensidade de Campo Magnético (A/m)	Densidade de Campo Magnético (μ T)
Até 1 Hz	-	3.2×10^4	4×10^4
1 - 8 Hz	10000	$3.2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8 - 25 Hz	10000	$4000 / f$	$5000 / f$
0.025 - 0.8 kHz	$250 / f$	$4 / f$	$5 / f$
0.8 - 3 kHz	$250 / f$	5	6.25
3 - 150 kHz	87	5	6.25
0.15 - 1 MHz	87	$0.73 / f$	$0.92 / f$
1 - 10 MHz	$87 / f^{1/2}$	$0.73 / f$	$0.92 / f$
10 - 400 MHz	28	0.073	0.092
400 - 2000 MHz	$1.375 f^{1/2}$	$0.0037 f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$
2 - 300 GHz	61	0.16	0.20

Tabela 3.4 - Níveis de referência para ambientes públicos da norma ICNIRP [1]

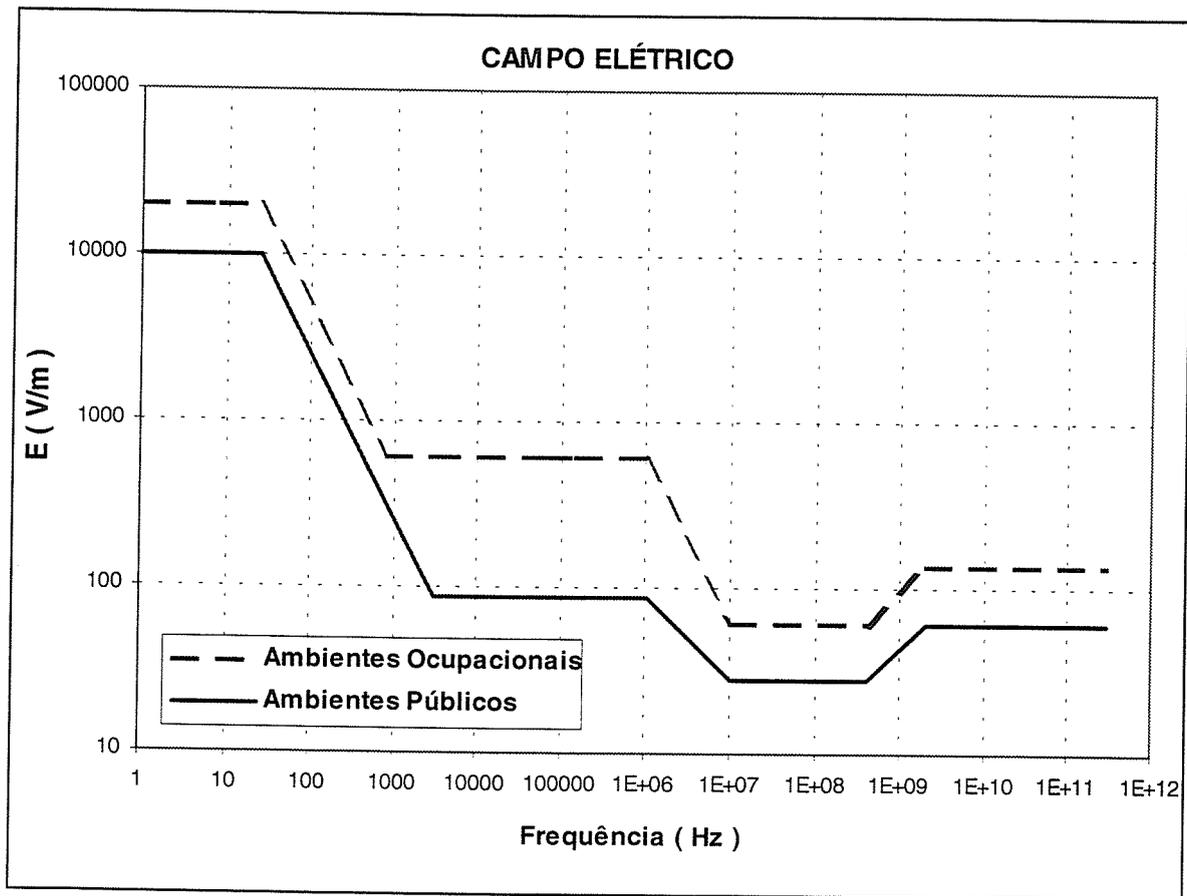


Figura 3.1 - Níveis de referência para exposição a campos elétricos variáveis da norma ICNIRP [1]

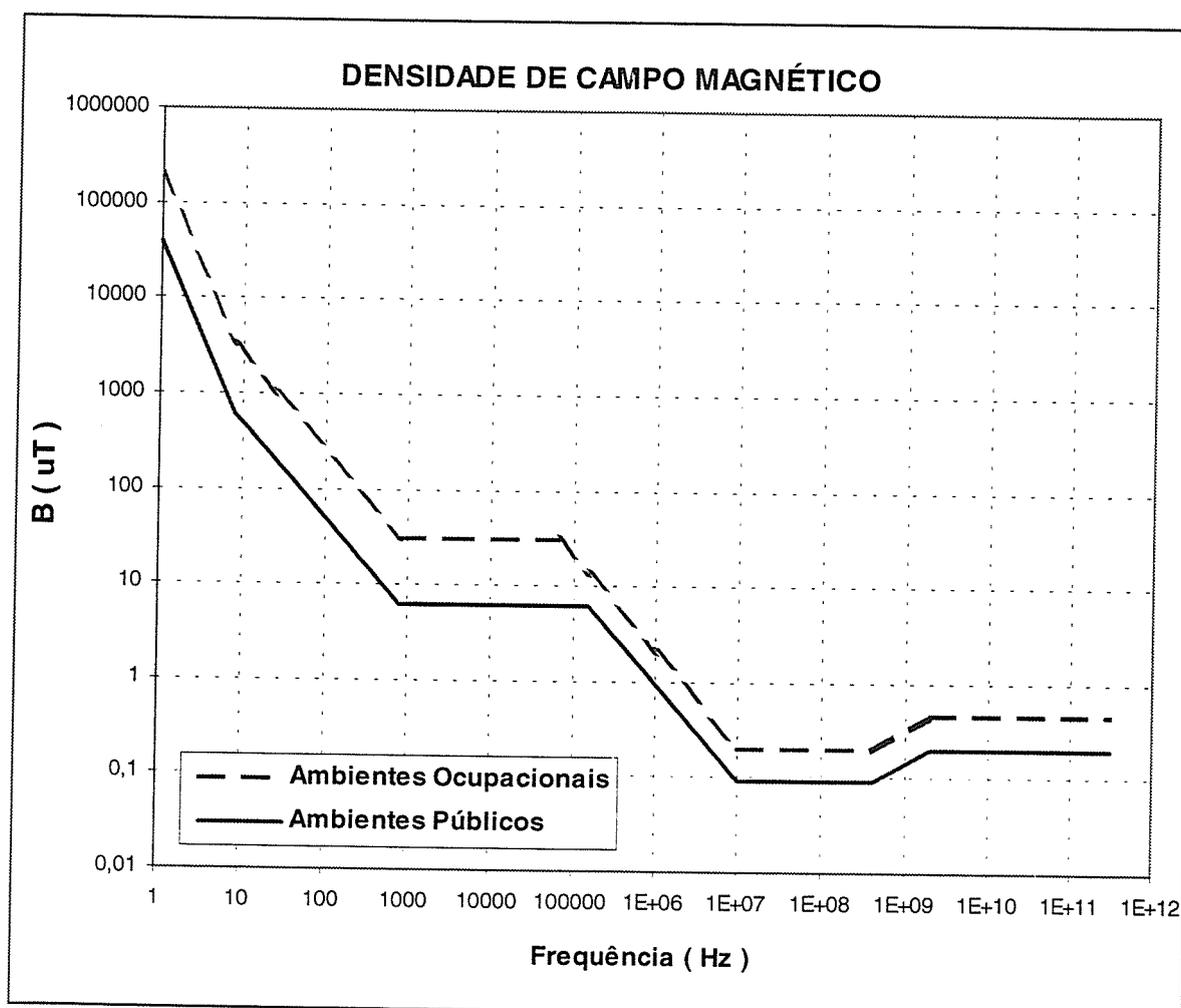


Figura 3.2 - Níveis de referência para exposição a campos magnéticos variáveis da norma ICNIRP [1]

3.3 Alguns Resultados de Medições e Simulações Publicados

Diversos trabalhos estão atualmente em andamento utilizando métodos numéricos para simular os efeitos da interação de campos próximos da antena dos telefones celulares portáteis com os tecidos da cabeça humana. Apresentamos alguns resultados típicos de simulações e medições diretas da **SAR**, reproduzidas de trabalhos publicados. [13, 14 , 15]

Técnicas computacionais e experimentais são usadas para se obter as taxas de absorção de energia específica **SAR** para a cabeça humana. Com o desenvolvimento rápido da computação atualmente já é possível calcular numericamente as distribuições de **SAR** num modelo cada vez mais realístico da cabeça humana exposta também a um melhor modelo de radiação, usando o método das diferenças finitas no domínio do tempo **FDTD** (Finite Difference Time Domain Method). A grande dificuldade consiste no modelamento dos diversos tecidos presentes na cabeça humana, cada qual com suas respectivas características elétricas (condutividade, permissividade e densidade). Na tabela 3.5 mostramos as características típicas de alguns tecidos da cabeça humana para simulações em frequências próximas a 900 MHz. [13]

Tecido	Permissividade Relativa (ϵ_r)	Condutividade (S/m)	Massa Específica (g/cm^3)
Osso	7.3	0.10	1.20
Pele	43.7	0.82	1.00
Músculo	53.5	1.38	1.05
Cérebro	55.0	1.23	1.03
Cristalino	45.0	0.75	1.05
Córnea	52.0	1.85	1.02

Tabela 3.5 - Características típicas de alguns tecidos para frequências próximas a 900 MHz [13]

Podemos perceber a elevada condutividade e permissividade de tecidos como a córnea e o cérebro, que resulta em uma elevada densidade de fluxo elétrico ($\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$), provocando uma alta densidade de corrente e conseqüentemente uma grande dissipação térmica nestes tecidos.

Através de simulações computacionais, em [13] foram calculados as taxas de absorção de energia específicas (**SAR**) num modelo da cabeça humana exposto à emissão de campos eletromagnéticos de um aparelho celular operando na frequência de 900 MHz. A presença de superfícies refletoras ao redor do telefone foi analisada, levando à conclusão de que a distribuição da potência absorvida na cabeça fica muito diferente da distribuição de potência absorvida na condição de espaço livre. Foram simulados várias posições de superfícies refletoras em relação ao telefone. Foi verificado que a presença de uma superfície condutora localizada horizontalmente acima da cabeça diminui os valores de **SAR** nas partes da cabeça diretamente expostas à antena, ao mesmo tempo em que aumenta os valores de **SAR** nas partes não diretamente expostas. Por outro lado a presença de uma superfície condutora localizada verticalmente nas proximidades do telefone e paralelas a ele aumenta os valores de **SAR** em todas as regiões da cabeça. São reproduzidas abaixo as simulações para duas situações da antena, primeiramente totalmente estendida e depois recolhida (tabela 3.6 e 3.7). Os dados são referentes a simulações sem a presença de superfícies refletoras, nas condições de espaço livre. Podemos observar que quase todos os valores encontram-se em acordo com o limite de 1.6 W/kg (segundo a norma **ANSI/IEEE C-95.1**), com exceção da distância de 1.5 cm para antena recolhida.

Distância à Cabeça (cm)	Potência Irrradiada (mW)	Potência Absorvida (mW)	SAR (W/kg)
1.5	539.3	187.9	2.94
2.0	529.9	144.1	1.47
2.5	525.0	116.7	1.12
3.0	491.8	108.5	1.02
3.5	491.5	91.5	0.83
4.0	491.8	78.1	0.68
4.5	492.5	67.4	0.60
5.0	493.4	58.8	0.51

Tabela 3.6 - Avaliação das taxas de **SAR** para várias distâncias entre a antena recolhida do celular e a cabeça humana, nas condições de espaço livre [13]

Distância à Cabeça (cm)	Potência Irradiada (mW)	Potência Absorvida (mW)	SAR (W/kg)
1.5	593.6	213.4	1.30
2.0	594.9	174.2	1.05
2.5	598.5	157.1	0.94
3.0	598.3	132.6	0.81
3.5	598.2	112.9	0.68
4.0	598.1	97.1	0.53
4.5	598.0	84.2	0.47
5.0	599.3	80.0	0.43

Tabela 3.7 - Avaliação das taxas de **SAR** para várias distâncias entre a antena estendida do celular e a cabeça humana, nas condições de espaço livre [13]

Em [15] foram feitas simulações das distribuições de **SAR** na cabeça humana e também efetuadas medições através de um modelo experimental composto de materiais equivalentes aos tecidos da cabeça com respeito às suas propriedades elétricas. Foram simuladas e calculadas várias posições do aparelho celular e do comprimento da antena em relação à cabeça. A potência irradiada foi sempre a máxima, de 0.6 W (ou 600 mW) à frequência de 835 MHz. Podemos observar na tabela 3.8 que os valores de **SAR** máximos encontram-se em acordo com o limite de 1.6 W/kg (segundo a norma **ANSI/IEEE C-95.1**), com poucas exceções.

Posição do Telefone	SAR médio no corpo inteiro Calculado (mW/kg)	SAR máximo na cabeça (para 1 grama de tecido) Medido (W/kg)	SAR máximo no cérebro (para 1 grama de tecido) Medido (W/kg)	SAR máximo na mão (para 1 grama de tecido) Medido (W/kg)
1	2.35	0.57	0.26	0.66
2	1.58	0.38	0.21	0.41
3	1.60	0.51	0.28	0.59
4	1.58	0.28	0.13	0.49
5	2.13	0.69	0.41	0.71
6	0.89	0.26	0.10	0.15
7	0.81	0.26	0.10	0.09
8	1.09	0.16	0.06	1.90
9	2.30	0.48	0.16	0.33
10	0.88	0.25	0.14	0.24

Tabela 3.8 - SAR medido e calculado para várias posições do aparelho celular e máxima potência irradiada [15]

3.4 Considerações Finais

Nos Estados Unidos entre os vários órgãos envolvidos ativamente na investigação e monitoramento da exposição a campos eletromagnéticos podemos citar como citar além da ANSI e do IEEE, a Environmental Protection Agency (EPA), a Food and Drug Administration (FDA), a Occupational Safety and Health Administration (OSHA), o National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), e o Federal Communications Commission (FCC).

As normas ANSI/IEEE têm sido amplamente utilizadas e servido inclusive como base para normas similares nos Estados Unidos e em outros países.

Muitas outras normas de segurança foram e estão sendo elaboradas em todo o mundo por diversos institutos de pesquisa e órgãos governamentais. As divergências que porventura haviam entre as diversas normas foram em grande parte eliminadas com a evolução dos critérios sobre os quais elas se baseiam, mas ainda existem algumas

discordâncias. Por exemplo, algumas normas da Rússia e alguns países do leste europeu têm sido bem mais exigentes e restritivas do que as normas existentes nos Estados Unidos e outras partes da Europa. Talvez essa discrepância seja em parte devido à possibilidade daquelas normas serem baseadas em níveis de exposição onde efeito biológico de nenhum tipo seria permitido. Esta filosofia também exclui a incorporação de margens de segurança, como é feito na maioria das outras normas.

Devido às diferenças ainda existentes nas normas internacionais, a World Health Organization (**WHO**) estabeleceu em 1996 um programa mundial (**International EMF Project**) destinado a rever toda a literatura a respeito dos efeitos biológicos de campos eletromagnéticos e recomendar pesquisas e trabalhos em prol de um consenso internacional.

CAPÍTULO 4

MEDIÇÕES E INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO

4.1 Introdução

Medir pode ser definido basicamente como o processo de se obter informações da natureza através de meios técnicos. Devido ao fato da natureza ser extremamente complexa e não ser possível tratá-la em todos seus detalhes de uma só vez, somos obrigados a fazer simplificações para analisar apenas aqueles aspectos que mais nos interessam – isso é o que chamamos de modelagem.

As medições estão sujeitas a erros devido a razões de ordem prática e teórica tais como devido à própria modelagem, aos métodos e circunstâncias da medida, às propriedades dos medidores e aos efeitos externos.

Valores de grandezas medidas são muitas vezes obtidos a partir de um grupo de resultados. Para se reportar corretamente esses valores, a melhor estimativa da grandeza deve ser feita na faixa que engloba os valores obtidos. Daí temos o conceito de *valor médio*, que é a média dos valores obtidos, e *incerteza* ou erro da medição, que é a faixa de variação provável das medições.

Tipos de erros associados às medições:

- **Erros Aleatórios:** ocorrem devido a fatores incontroláveis e que podem ser removidos (ou diminuídos) aumentando-se o número de medições. Um exemplo é a reação humana ao se utilizar um cronômetro para medir intervalos de tempo. Nos aparelhos elétricos os ruídos eletromagnéticos muitas vezes são também causadores de erros aleatórios.

- **Erros Sistemáticos:** influenciam a grandeza medida em uma só direção e o tempo todo. Um exemplo é um cronômetro defeituoso. Outro tipo é o ponteiro indicador de um medidor analógico fora do ponto zero.
- **Erros Grosseiros:** abrangem principalmente erros humanos nas leituras de escalas, utilização errônea de instrumentos, erros de cálculos, etc.

Dado um conjunto de valores obtidos através de medições, em que os erros sistemáticos foram eliminados, a média dos valores medidos representa a melhor estimativa da grandeza. [26]

4.2 Medidores de Campos Eletromagnéticos

Sensores de campos elétricos e magnéticos são usados numa grande variedade de aplicações como pesquisa médica e testes de compatibilidade eletromagnética. Uma das mais interessantes aplicações no momento é a proteção humana contra os efeitos dos campos elétricos e magnéticos.

Considerando a exposição humana aos campos eletromagnéticos diferentes padrões definem valores máximos de campos que precisam ser confirmados através dos sensores de campo.

Embora uma grande variedade de sensores de campo e medidores esteja disponível no mercado os erros de medição destes sensores são usualmente maiores que os indicados na documentação técnica do fabricante. Portanto a calibração dos sensores de campo é muito importante.

Para a calibração dos sensores de campos magnéticos e elétricos muitos problemas são levados em conta, como a influência de campos externos, problemas com a fonte de potência elétrica, e a influência de objetos perto do sistema de calibração, principalmente metálicos. Ressaltamos que a presença de objetos metálicos durante medições de campos elétricos e magnéticos pode localmente aumentar ou também diminuir os campos em determinadas regiões.

Para propósitos de proteção à radiação procedimentos de medição padronizados ou cálculos são necessários para testar a compatibilidade com limites e recomendações existentes.

Os requerimentos básicos de qualquer medida ou cálculo resultam das próprias normas de proteção. Para uma completa avaliação técnicas devem ser utilizadas para se medir correntes internas e energias absorvidas pelo corpo. Atualmente isso é possível somente para alguns problemas capazes de se modelar e para situações de laboratório. **SAR** (taxa de absorção de energia específica) é difícil de se medir fora de um laboratório. As medições de **SAR** são principalmente para prover uma visão da distribuição espacial da energia absorvida no corpo. Geralmente métodos aceitáveis incluem a medição da taxa de aumento da temperatura dentro do corpo em exposição ou a medição da intensidade de campo elétrico interno. O aumento de temperatura pode ser caracterizado por uma média de corpo inteiro, uma medida pontual, ou uma análise através de câmeras termográficas. A intensidade de campo elétrico interno pode ser medida com a implantação de pontas de prova específicas.

A maioria dos instrumentos disponíveis para propósitos de proteção à radiação e avaliação de exposição medem intensidades de campos elétricos ou magnéticos. O uso de medidores de *banda larga*, que medem a soma dos campos de uma determinada faixa de frequência, é muito comum.

No espaço livre os campos eletromagnéticos não são exclusivos de uma determinada fonte, geralmente são resultados da soma dos campos de muitos transmissores em diferentes direções. Para conseguir-se medições direcionais, ou seja, exclusivas de uma determinada fonte, em laboratórios de testes são utilizadas câmaras próprias, chamadas anecóica e semianecóica, que através de isolações evitam as múltiplas reflexões das ondas eletromagnéticas e a influência de campos externos. As câmaras anecóicas são totalmente isoladas (teto, paredes e chão) e as câmaras semianecóicas são apenas parcialmente isoladas (teto e paredes).

A antena geralmente usada nos instrumentos de medição é um pequeno dipolo elétrico. Para conseguir uma resposta isotrópica, as pontas de prova se consistem de três antenas mutuamente ortogonais. A detecção do sinal é então condicionada por diodos ou termopares. Circuitos com diodos provêm uma faixa de resposta dinâmica maior mas são sujeitos a maiores erros. A vantagem de instrumentos baseados em termopares é a correta resposta a campos de múltiplas frequências e a correta indicação do valor médio de campos modulados por pulso.

Para avaliação de uma situação de exposição particular existem métodos de cálculo que são úteis. Nas condições de campo distante os campos irradiados da antena

podem ser calculados a partir de relações geométricas simples. A única informação técnica necessária são o ganho da antena **G** e a potência irradiada total **P** (W).

$$E \approx \sqrt{30 \frac{GP}{r}}$$

Onde **P** = potência de saída da fonte (W)

G = ganho da antena

r = distância até a fonte (m)

Um detalhe quanto a instrumentos de medição de campos eletromagnéticos é que se um medidor de banda larga mostra a densidade de potência **S** além dos campos **E** e **H**, esta densidade de potência é geralmente baseada em conversões simples considerando a região de campo distante. Para as regiões de campo perto estas equações não se aplicam, e portanto os campos elétrico e magnético devem ser ambos medidos para correta avaliação.

4.3 Instrumento de Medição EMR-300 [31]

O instrumento utilizado nas medições realizadas neste trabalho é o aparelho de medição de intensidade de campos eletromagnéticos de banda larga (100 kHz até 3 GHz) série **EMR-300** da Wandel & Goltermann, na atualidade um dos mais modernos instrumentos de medição de campos eletromagnéticos até a frequência de 3 GHz. (figura 4.1)

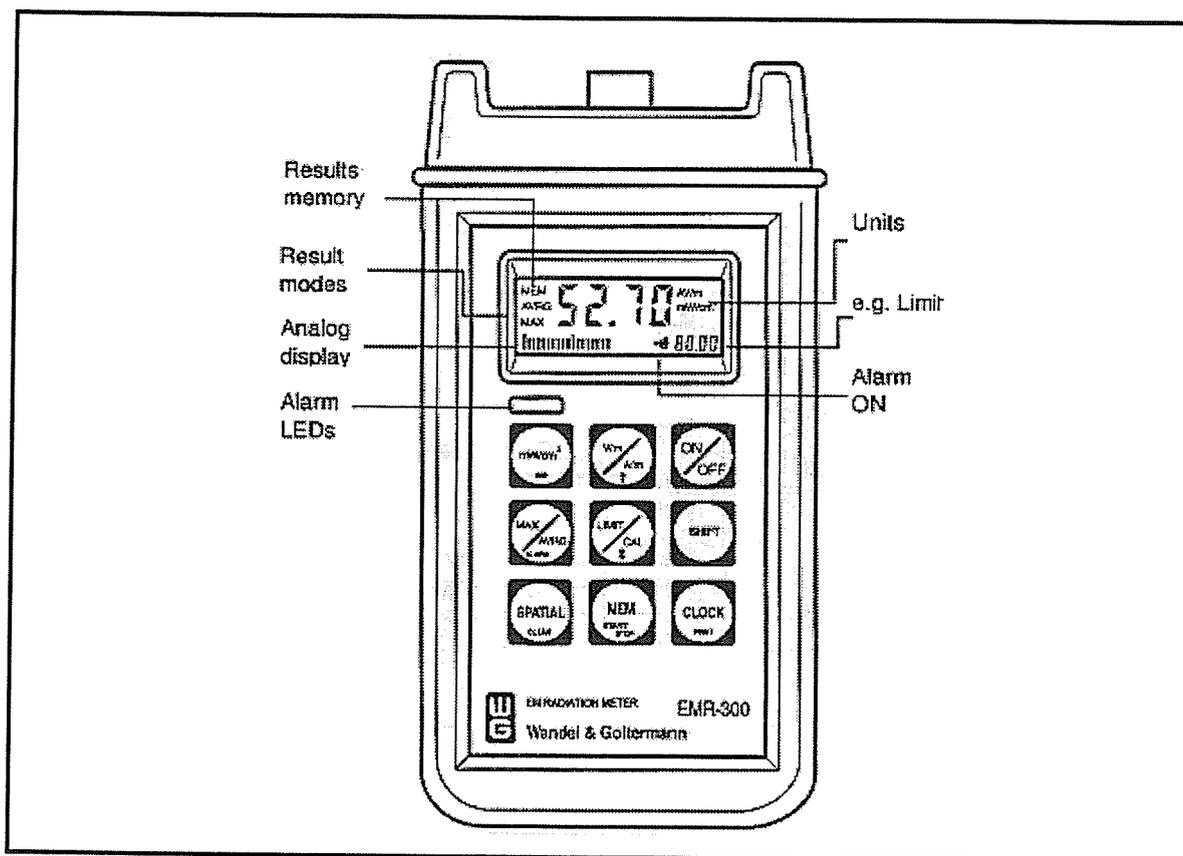


Figura 4.1 - Equipamento de medição de campos eletromagnéticos em alta frequência **EMR-300** da Wandel & Goltermann [32]

O referido equipamento é uma combinação ideal de alta precisão, facilidade de operação e funções diferenciadas. As pontas de prova de detecção de campos são isotrópicas, ideais para a determinação da intensidade de campo independentemente da direção e polarização da fonte de radiação. Devido às distâncias físicas entre as pontas de prova e o instrumento de medição (30 cm), os efeitos da carcaça do equipamento nas medições são reduzidos a níveis insignificantes.

4.3.1 O Princípio das Pontas de Detecção de Campo

As pontas de prova para operação do equipamento **EMR** fazem uso de dipolos para detectar a componente campo elétrico **E** do campo eletromagnético, medindo as tensões recebidas. Os sensores para medição de campo magnético usam bobinas para medir correntes induzidas.

Diodos convertem os valores **rms** (valores eficazes) das componentes de campo detectadas para uma tensão **dc**. Usando diodos ao invés de termopares, é possível se conseguir uma maior faixa dinâmica de intensidade de campo de tipicamente 60 dB. Termopares podem ser também mais facilmente danificados do que os diodos em altos níveis de potência.

A tensão **dc** resultante é transmitida por um canal até a unidade de condicionamento do sinal. As pontas de prova isotrópicas têm detectores de campo separados e canais de transmissão **dc** para cada uma das três dimensões espaciais. O sistema de detecção é ortogonal, com os três diodos montados a 54.7° de distância, em forma de prisma. Esta geometria garante que os três eixos dos diodos estão bem próximos, o que é um requerimento básico para comportamento isotrópico.

A intensidade de campo equivalente é computada no interior do instrumento de medição através da raiz quadrada da soma dos quadrados das três componentes. As pontas de prova convencionais somam as tensões **dc** analógicas ainda na cabeça da ponta de prova. Contrariamente a este método de adição analógico, é possível se garantir um erro de linearidade muito menor na faixa dinâmica de 60 dB. Ao mesmo tempo, a calibração do instrumento não é mais necessária, o que significativamente reduz o custo dos testes de produção e utilização do equipamento.

4.3.2 Detalhes Operacionais do Instrumento de Medição

Em operação normal o instrumento efetua um ajuste de zero automático a cada seis minutos, mesmo em exposições a altas intensidades de campo. Esta alta precisão do ajuste de zero resulta numa maior sensibilidade da ponta de prova.

Todos os instrumentos **EMR** são equipados com uma interface ótica de controle remoto, tornando-os ideais para medições automatizadas em laboratórios **EMC**. Tudo o que é necessário para o controle remoto são um computador com uma interface serial, em conjunto com um kit de transferência que inclui um cabo ótico de 20 m acoplado a um conversor eletro-ótico. A sintaxe de comandos é estruturada de forma simples e permite uma fácil programação do instrumento.

A memória do instrumento é capaz de registrar até 1500 valores de medições, o que permite uma monitoração de longo tempo de exposição, sem necessidade de conexão a um computador. Os dados gravados podem ser posteriormente transferidos para um computador e trabalhados por exemplo via planilha de dados como **Excell**.

Existem diferentes tipos de pontas de detecção de campo intercambiáveis para permitir adaptação a diferentes aplicações em várias faixas de frequência. As pontas de prova são conectáveis ao instrumento de medição, sendo que a cabeça da ponta, onde localizam-se os detetores de campo, fica a uma distância de aproximadamente 30 cm do instrumento. (figura 4.2)

As três diferentes pontas de prova são:

- Ponta de prova de campo elétrico **E** para a faixa de frequência de 100 kHz a 3 GHz.
- Ponta de prova de campo elétrico **E** para a faixa de frequência de 3 MHz a 18 GHz.
- Ponta de prova de campo magnético **H** para a faixa de frequência de 27 MHz a 1 GHz.

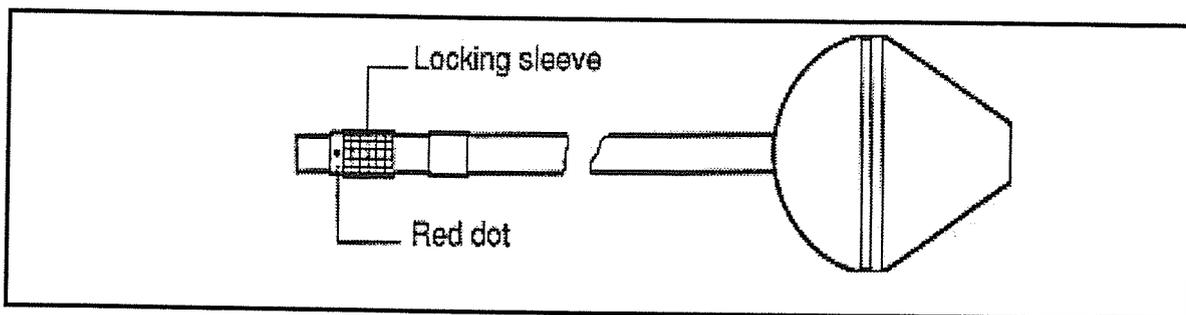


Figura 4.2 - Antena para acoplamento ao medidor de campo [32]

A ponta de prova de campo elétrico tipo 8.2 na faixa de frequência de 100 kHz até 3 GHz cobre praticamente o espectro completo das aplicações de telecomunicações e uso industrial de RF.

O processador do equipamento tem conjuntos de parâmetros configurados para cada tipo de ponta de prova, para a correção da característica do detector e correta calibração para as intensidades de campo. A sensibilidade da ponta de prova é determinada individualmente durante a calibração.

Como já registrado no capítulo 2, relações simples entre os campos eletromagnéticos são encontradas na região de campo distante. Os vetores de campo elétrico e campo magnético são perpendiculares entre si e transversos à direção de propagação da onda eletromagnética. Os vetores de campo estão em fase e suas

intensidades são perfeitamente relacionadas através da impedância característica do espaço livre, que é $Z_0 = 377 \Omega$. Então, por exemplo, a intensidade de campo magnético assim como a densidade de potência poderiam ser calculadas através da medição única do campo elétrico, como feito ao longo do nosso trabalho. Relações muito mais complexas são encontradas na região de campo perto, ou seja, na vizinhança da fonte de radiação. Ambas as componentes de campo mostram diferenças de fase e a relação E/H pode desviar fortemente acima ou abaixo da impedância característica do espaço livre Z_0 . Por esta razão, em certos casos ambos os campos elétricos e magnéticos precisam ser medidos para correta avaliação.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS PRÁTICOS DE MEDIÇÕES DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS EM ALTA FREQUÊNCIA

5.1 Introdução

Devido à crescente preocupação com os níveis de poluição eletromagnética nos ambientes urbanos, e considerando a proliferação sem controle de antenas de transmissão celulares nos mais diversos locais, foi feito um mapeamento dos campos elétricos ao redor de algumas antenas. Em conjunto, foram realizadas também medições dos campos emitidos por um aparelho celular operando a várias distâncias das antenas.

Foi efetuado um mapeamento dos campos elétricos gerados por um equipamento celular operando em cinco regiões de Belo Horizonte, sendo três localidades cobertas pela antena da Telemig Celular do Campus da UFMG, uma localidade coberta pela antena da Telemig Celular de Santa Luzia, MG, e uma localidade coberta por uma microcélula da Telemig Celular, dentro de um shopping center.

O aparelho portátil de comunicação celular utilizado nas medições foi o da marca Nokia modelo 6120.

São várias as fontes de campos eletromagnéticos de alta frequência nos ambientes urbanos e domiciliares. Do ponto de vista de utilização podemos afirmar que três das principais fontes presentes no nosso dia a dia são as telas dos microcomputadores e dos televisores e os fornos de microondas domésticos. Foi

realizado um mapeamento dos campos elétricos em alta frequência emitidos por essas três fontes separadamente.

Os valores de campo elétrico medidos foram confrontados com os níveis máximos permissíveis em ambientes públicos segundo a norma da **ICNIRP**.

Todas as medições foram feitas com o instrumento de medição **EMR-300** da Wandel & Goltermann, seguindo todos os procedimentos de medição e todas as recomendações de operação, para evitar ao máximo qualquer tipo de interferência.

Em todas as medições o sensor foi colocado num tripé de material isolante e sobre uma mesa de madeira a aproximadamente 1 metro de distância do chão.

Foram medidos somente campos elétricos. Considerando que a grande maioria das medições referem-se a situações de campo distante (vide capítulo 2) a medição dessa única grandeza é suficiente para a caracterização da onda eletromagnética.

As medições foram de campos elétricos em alta frequência. Para consulta de medições de campos em baixa frequência sugerimos a leitura da dissertação de mestrado da **UFMG** - Medição dos Campos Elétrico e Magnético de Baixa Frequência - 5 Hz a 30 kHz - Visando Segurança Pessoal. [29]

Os dados gerados pelo instrumento de medição foram transportados para a planilha de dados da Microsoft **Excell** e foram então elaborados gráficos para melhor visualização das variações dos campos elétricos medidos. Para algumas situações são mostrados gráficos de decaimento, onde pode ser vista a diminuição dos valores de campo elétrico à medida que nos afastamos da fonte de irradiação.

Como já comentado no capítulo 4, o preciso mapeamento dos campos devido à cada fonte individual só é realmente conseguido em câmaras próprias (anecóicas e semi-anecóicas) e se possível com antenas especialmente calibradas para a faixa de frequência a ser medida em conjunto também com analisadores de espectro.

No nosso trabalho utilizamos um medidor de *banda larga*, que mede a soma dos campos de uma determinada faixa de frequência. Além disso as medições foram realizadas no espaço livre, ou seja, os campos elétricos medidos são os campos totais no ambiente, resultado da soma dos campos de várias fontes. Para uma análise preliminar e considerando que o campo elétrico ambiente medido para as várias situações foi sempre muito pequeno, podemos inferir que quase a totalidade do campo medido é devido à fonte mais próxima em questão.

5.2 Medições dos Campos Elétricos ao Redor da Antena de Transmissão da Telemig Celular do Campus da UFMG

Para as medições no campus universitário da **UFMG**, os locais escolhidos foram ao redor da base da antena da Telemig Celular, na reitoria da universidade e na região atrás do prédio do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica (**CPDEE**) da **UFMG**.

A reitoria foi escolhida por ser o local acessível com melhor faixa de visada na direção da antena celular do campus da **UFMG**, e a região atrás do prédio do **CPDEE** por oferecer alguns obstáculos significativos à faixa de visada do sinal de comunicação com a antena.

A escolha desses locais para a realização das medições foi totalmente aleatória e um mapeamento mais detalhado do campus seria necessário para conclusões mais precisas.

Foi feito um mapeamento do campo médio ao redor da antena e a verificação dos campos elétricos gerados por um telefone celular portátil operando em três situações distintas, na base da antena, em frente ao prédio da reitoria e atrás do prédio do **CPDEE**.

Para todas as condições de operação analisadas foram feitos gráficos de decaimento, onde pode ser vista a diminuição dos valores de campo elétrico à medida que nos afastamos do equipamento celular.

A norma de segurança da **ICNIRP** indica como campo elétrico máximo para frequências entre 400 e 2000 MHz o valor igual a $1.375 \sqrt{f}$. A frequência de operação da Telemig Celular está entre 824 MHz e 894 MHz. Tomando como pior caso a frequência de 894 MHz, temos um campo elétrico máximo permissível de 41.11 V/m.

O valor máximo do mapeamento de campo em um raio de até 100 metros ao redor da antena foi de 0.87 V/m, valor muito pequeno para oferecer riscos à saúde considerando os valores das normas de segurança hoje existentes.

Considerando agora os campos elétricos gerados por um telefone celular portátil operando em algumas regiões ao redor da antena pode-se observar nas medições realizadas que os valores de campo estão bem abaixo do limite máximo de 41.11 V/m segundo a norma da **ICNIRP**.

A 30 metros da base da antena o valor máximo de campo elétrico medido foi de 2.67 V/m. A 10 metros da base da antena foi de 6.41 V/m. Esses valores estão muito abaixo das normas de segurança atuais.

Na reitoria os campos elétricos gerados pelo equipamento celular operando também foram pequenos em relação ao limite permissível; o valor máximo medido foi de 2.31 V/m.

Na região atrás do prédio do **CPDEE** vemos uma situação diferente, com medições de campos elétricos altos em relação ao limite permissível.

Um detalhe com relação à região do **CPDEE** é a obstrução da faixa de visada do sinal de comunicação com a antena celular do campus pela estrutura metálica do Laboratório de Extra Alta Tensão (**LEAT**) da **UFMG**, entre outros obstáculos. Comparando com as medições realizadas na base da antena celular e na região em frente ao prédio da reitoria da **UFMG** podemos claramente observar que a comunicação fica menos eficiente, tornando necessário maiores níveis de potência de transmissão do aparelho celular. Como pode ser verificado nos gráficos de medições no **CPDEE**, o aparelho fica *chaveando* entre vários níveis de potência devido à oscilação do sinal. Este é um importante aspecto da telefonia celular, conhecido por *controle de potência adaptativo*, que é usado para assegurar que as comunicações são feitas a um nível de sinal adequado e sem interferências com chamadas em células adjacentes, que reduzem a capacidade da rede. Telefones celulares analógicos irradiam 600 mW de potência máxima e muitos modelos digitais, 125 mW. Contudo, através do controle de potência adaptativo efetuado pela estação rádio base (**ERB**) os equipamentos celulares constantemente ajustam sua potência para prover o mínimo sinal necessário para a comunicação com a estação transmissora. Para propósitos de estudos dos perigos de exposição é assumido que a potência irradiada é sempre a máxima, embora isso não ocorra na prática.

A 30 cm de distância do aparelho celular o campo elétrico máximo medido no **CPDEE** foi de 7.63 V/m, a 20 cm foi de 9.76 V/m e a 10 cm foi de 10.24 V/m, todos abaixo do campo elétrico máximo permitido pela norma da **ICNIRP**.

Mas a distâncias menores que 10 cm, que são justamente as distâncias a que a cabeça do usuário fica mais exposta, podemos perceber campos elétricos muito altos com relação às normas de segurança. Os campos médios ainda se situam abaixo do campo elétrico máximo permitido, mas a 5 cm de distância do instrumento de medição o campo elétrico máximo medido foi de 60.13 V/m, excedendo em 46.3 % o valor máximo de campo elétrico permitido pela norma **ICNIRP**. Com o celular encostado no instrumento de medição o campo elétrico máximo encontrado foi de 72.33 V/m, valor 75.9 % maior que o campo elétrico máximo permitido.

Outro detalhe importante que devemos ressaltar é que campos **RF** mudam de característica com a distância a partir da sua fonte radiante (antena). Longe da fonte, na região de campo distante, os campos atuam como ondas planas, mas na região de campo perto, a situação é mais complicada, porque os máximos e mínimos dos campos elétricos e magnéticos não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direção de propagação, assim como no caso do campo distante. Os campos elétrico e magnético não são mais necessariamente perpendiculares, e não são mais caracterizados como ondas. Nesta região, a estrutura do campo eletromagnético é bastante não homogênea e podem haver variações grandes na impedância de onda plana de 377Ω . Não existe mais relação direta entre os dois campos e ambos os campos E e H precisam ser medidos.

Lembramos mais uma vez que a escolha dos locais para as medições foi totalmente aleatória e um mapeamento mais detalhado do campus seria necessário para análises mais precisas.

Apenas para maiores informações a respeito da tecnologia de comunicação celular atualmente existente no Brasil transcrevemos abaixo a divisão das faixas de frequência atualmente utilizadas.

Os sistemas celulares surgiram para aumentar a capacidade de tráfego dos sistemas de comunicação móveis convencionais (centralizados). A arquitetura do sistema celular permite a utilização dos mesmos canais de rádio em localidades diferentes através da divisão de toda a área do sistema em áreas menores chamadas células. Essas serão cobertas por torres de transmissão de pequena potência, sendo que o grupo de canais que cada torre receberá para operação pode ser reutilizado por outras

torres, desde que elas estejam suficientemente distantes para que a interferência entre elas seja tolerável. O primeiro sistema de telefonia celular no Brasil foi implantado no Rio de Janeiro em 1991. Dentre os vários sistemas celulares mundiais o escolhido pelo Ministério das Telecomunicações foi o padrão norte-americano **AMPS** (Advanced Mobile Phone System). A comunicação de um usuário pelo sistema **AMPS** se realiza através de dois canais, um para comunicação no sentido **ERB** - móvel (transmissão) e outro para comunicação no sentido móvel - **ERB** (recepção). A largura de cada canal é de 30 kHz com uma distância fixa entre eles de 45 MHz. O antigo sistema **AMPS** é constituído por 666 canais de 30 kHz, em uma faixa de frequência de 825 a 845 MHz para o canal de transmissão e 870 a 890 MHz para o canal de recepção (com 45 MHz de separação). Por sua vez a faixa de frequência é dividida em duas bandas, chamadas de A e B, que devem ser utilizadas por operadoras diferentes, para estimular a concorrência. A partir de 1986 a faixa de frequências do **AMPS** foi expandida em 14 MHz, sendo 10 MHz para utilização imediata das operadoras e 4 MHz para reserva futura. O novo sistema, agora com 832 canais, passou a chamar-se **EAMPS** (Extended **AMPS**). [26]

As figuras 5.1 e 5.2 mostram as divisões das frequências utilizadas para o padrão de comunicação celular **EAMPS**.

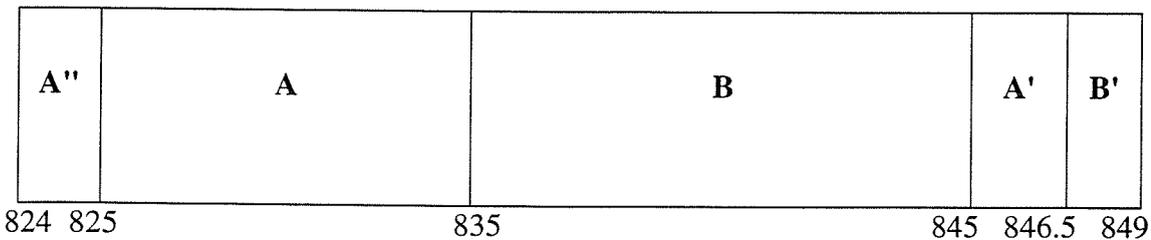


Figura 5.1 - Canal de recepção do padrão de comunicação celular **EAMPS** [26]

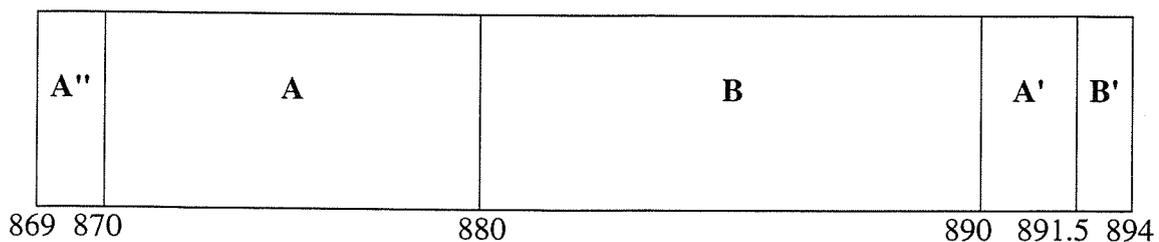


Figura 5.2 - Canal de transmissão do padrão de comunicação celular **EAMPS** [26]

5.2.1 Medições dos campos elétricos gerados por um aparelho celular operando a 10 metros da base da antena de transmissão da Telemig Celular do Campus da UFMG

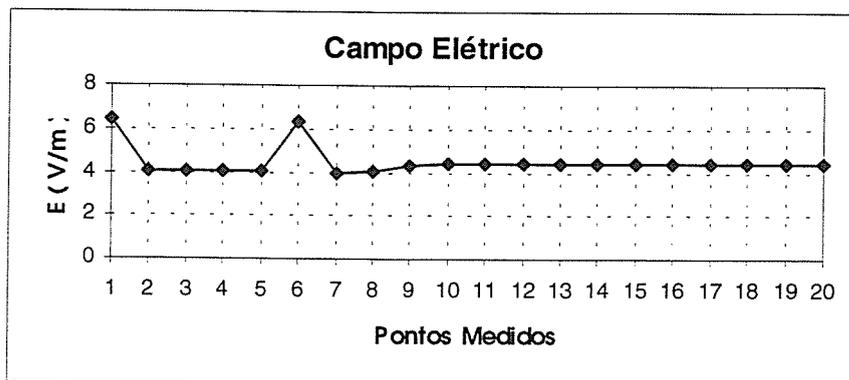


Gráfico 5.1 – Instrumento de medição encostado no aparelho celular

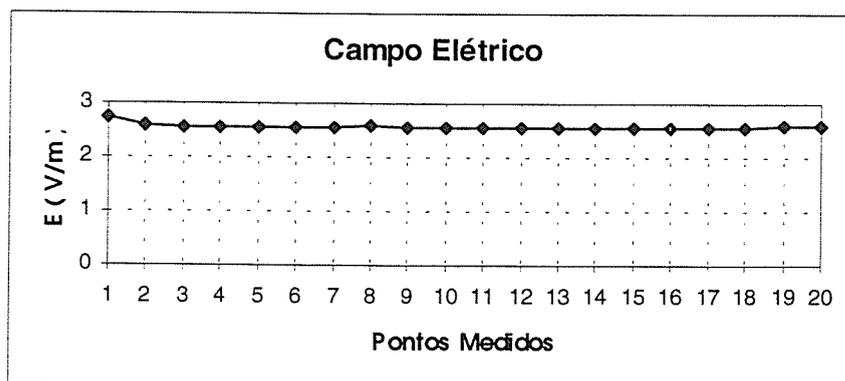


Gráfico 5.2 - Instrumento de medição a 5 cm do aparelho celular

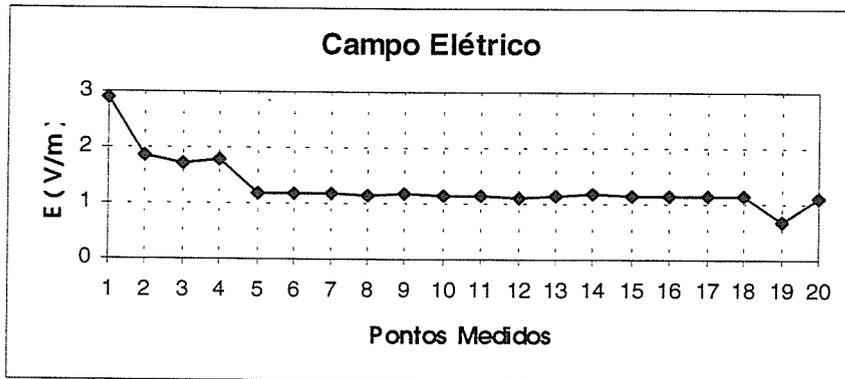


Gráfico 5.3 - Instrumento de medição a 10 cm do aparelho celular

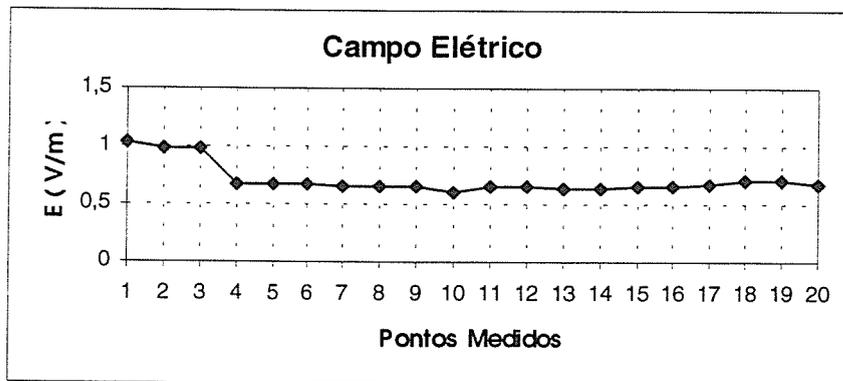


Gráfico 5.4 - Instrumento de medição a 20 cm do aparelho celular

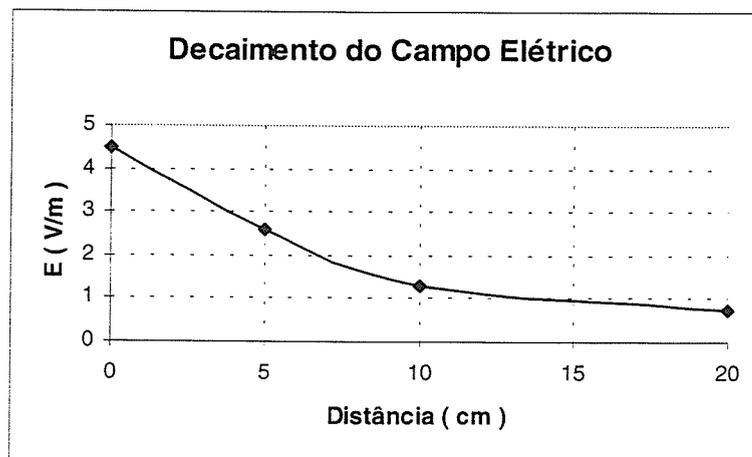


Gráfico 5.5 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.2.2 Medições dos campos elétricos gerados por um aparelho celular operando a 30 metros da base da antena de transmissão da Telemig Celular do Campus da UFMG

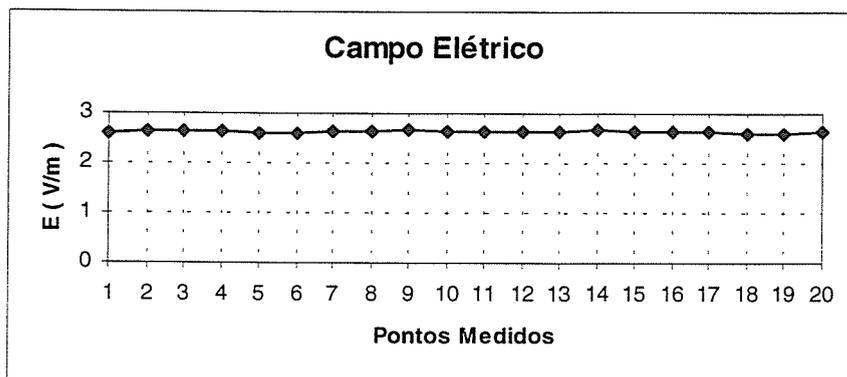


Gráfico 5.6 - Instrumento de medição encostado no aparelho celular

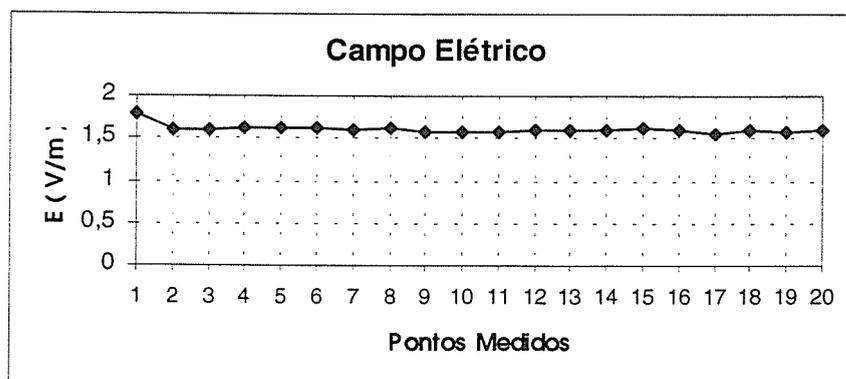


Gráfico 5.7 - Instrumento de medição a 5 cm do aparelho celular

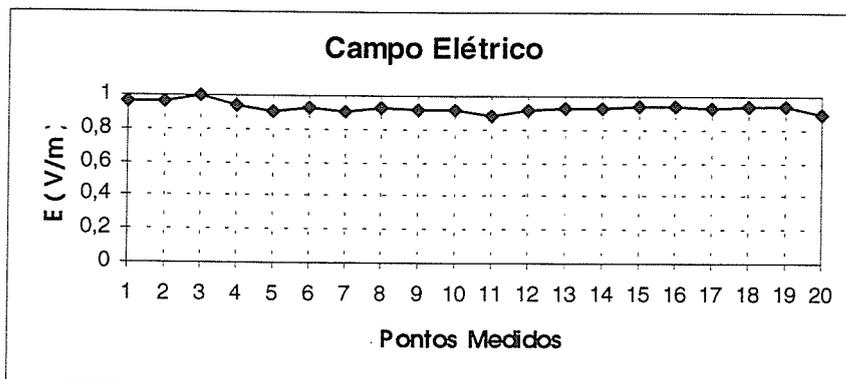


Gráfico 5.8 - Instrumento de medição a 10 cm do aparelho celular

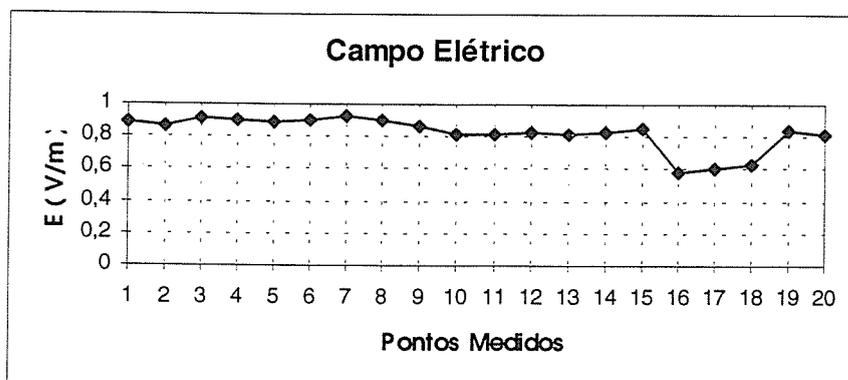


Gráfico 5.9 - Instrumento de medição a 20 cm do aparelho celular

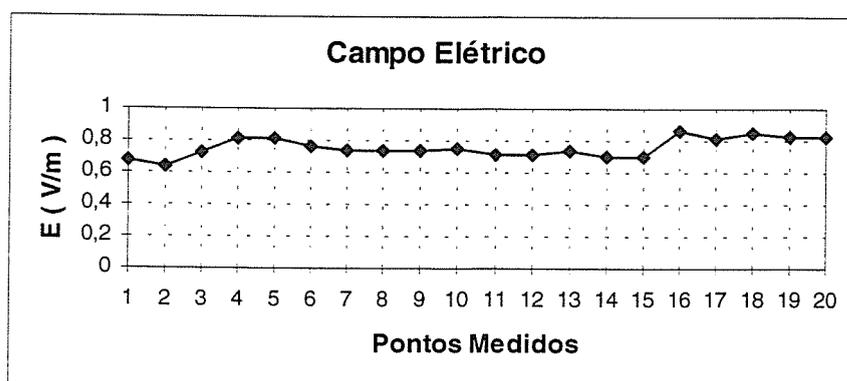


Gráfico 5.10 - Instrumento de medição a 30 cm do aparelho celular

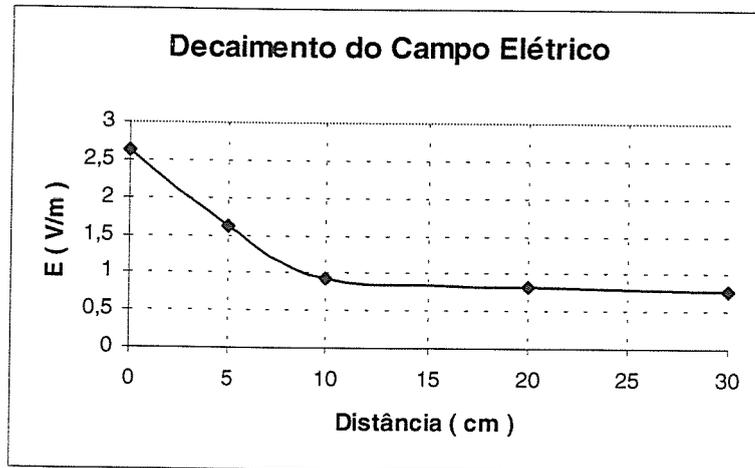


Gráfico 5.11 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.2.3 Medições dos campos elétricos gerados por um aparelho celular operando a cerca de 1 km da base da antena de transmissão da Telemig Celular do Campus da UFMG, na região em frente ao prédio da Reitoria

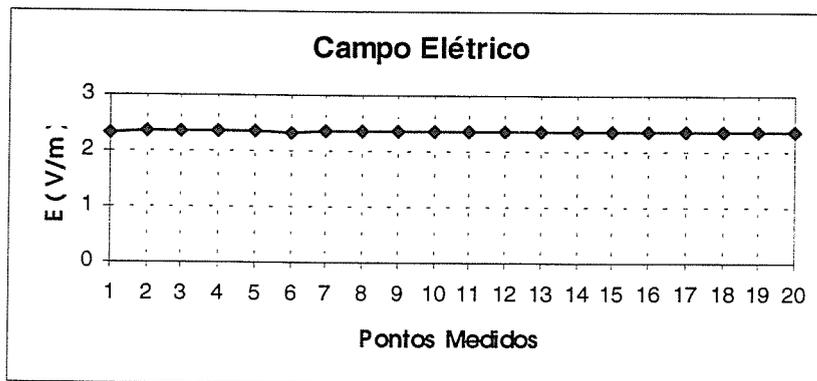


Gráfico 5.12 - Instrumento de medição encostado no aparelho celular

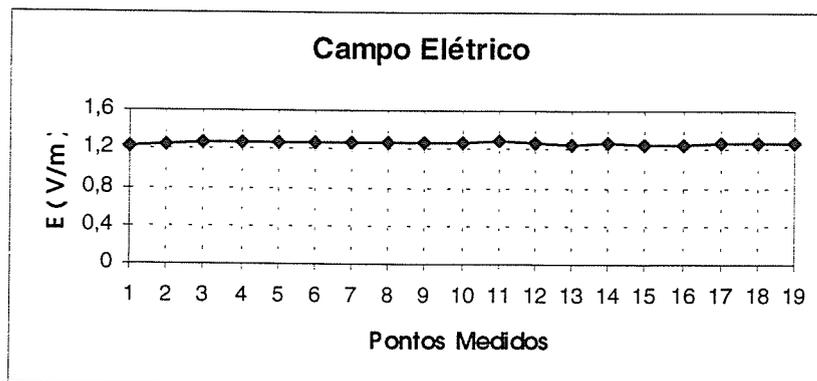


Gráfico 5.13 - Instrumento de medição a 5 cm do aparelho celular

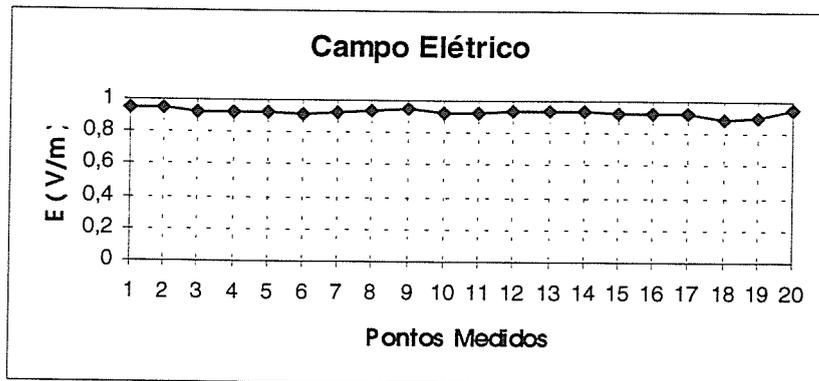


Gráfico 5.14 - Instrumento de medição a 10 cm do aparelho celular

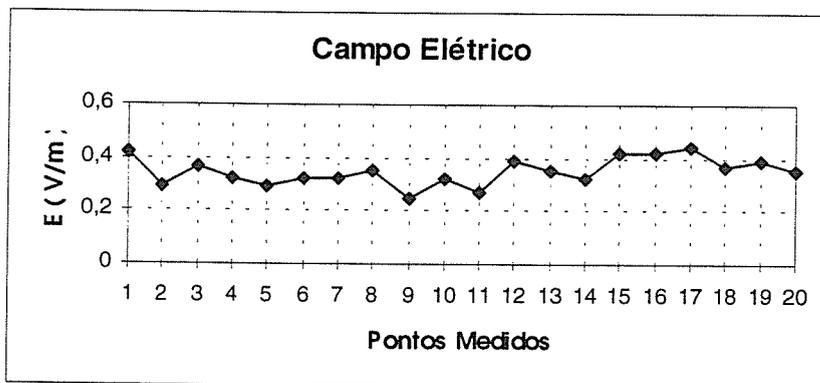


Gráfico 5.15 - Instrumento de medição a 20 cm do aparelho celular

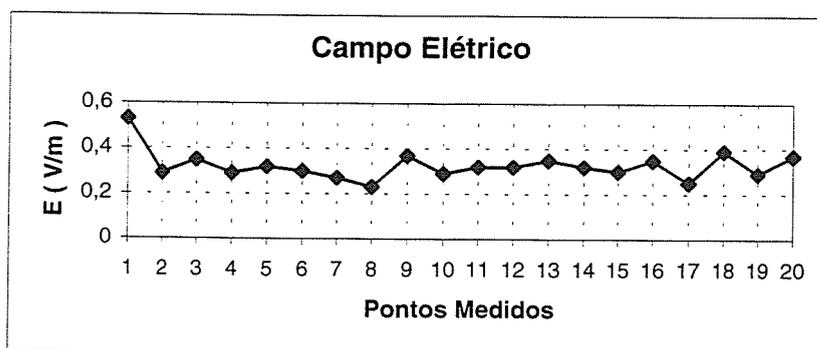


Gráfico 5.16 - Instrumento de medição a 30 cm do aparelho celular

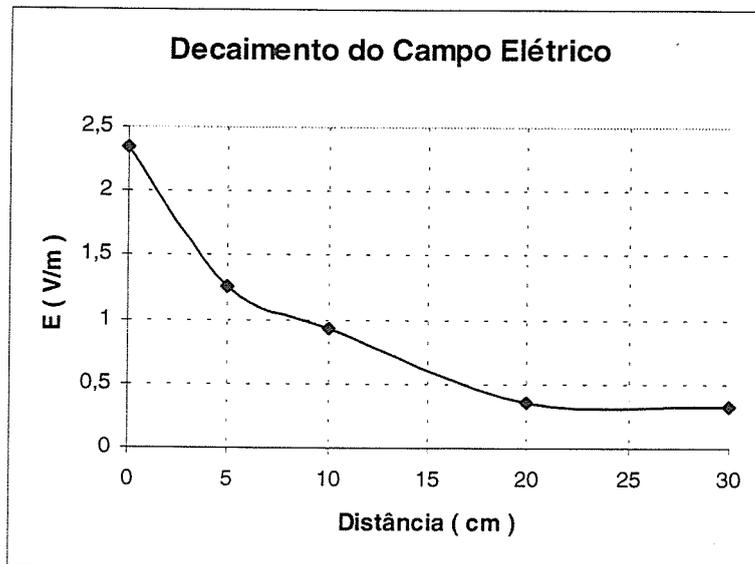


Gráfico 5.17 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.2.4 Medições dos campos elétricos gerados por um aparelho celular operando a cerca de 1 km da base da antena de transmissão da Telemig Celular do Campus da UFMG, na região atrás do prédio do CPDEE

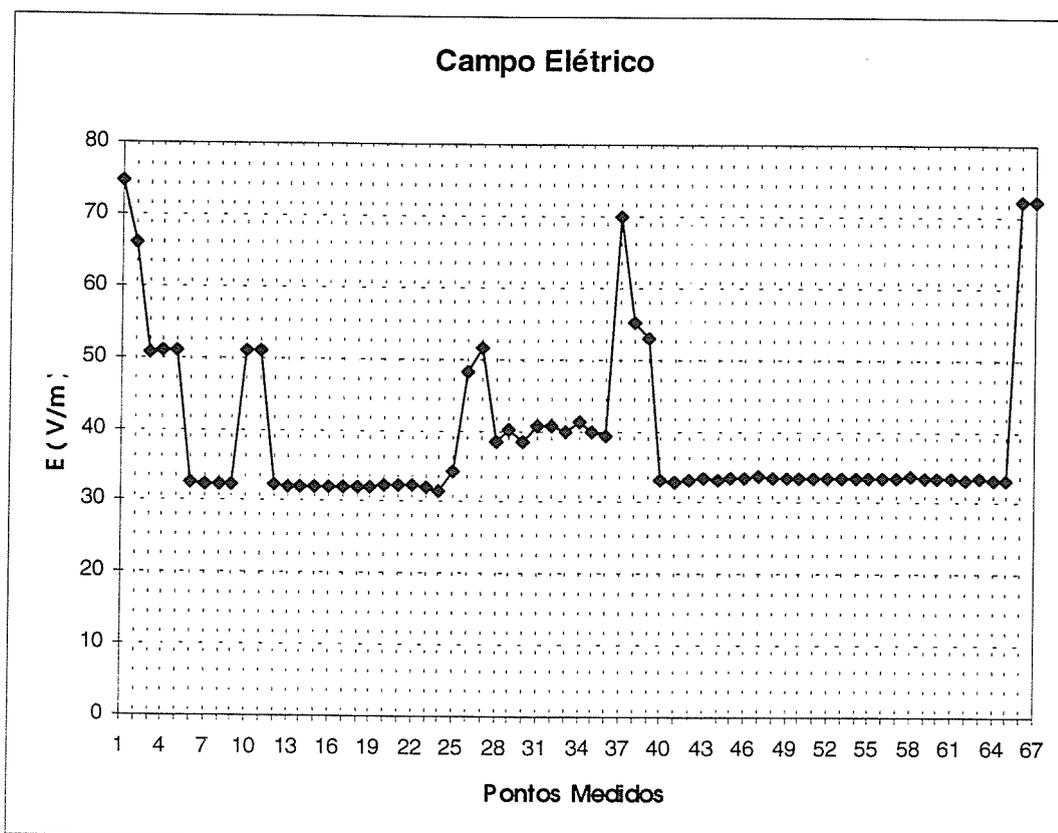


Gráfico 5.18 - Instrumento de medição encostado no aparelho celular

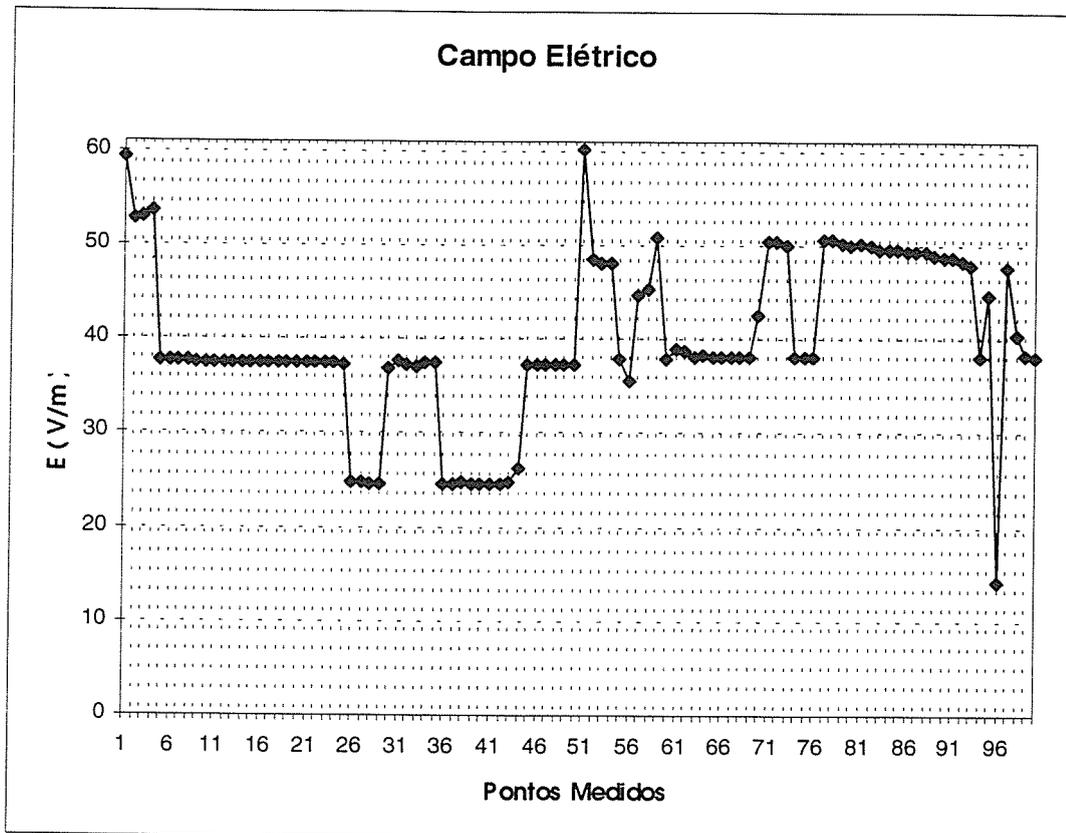


Gráfico 5.19 - Instrumento de medição a 5 cm do aparelho celular

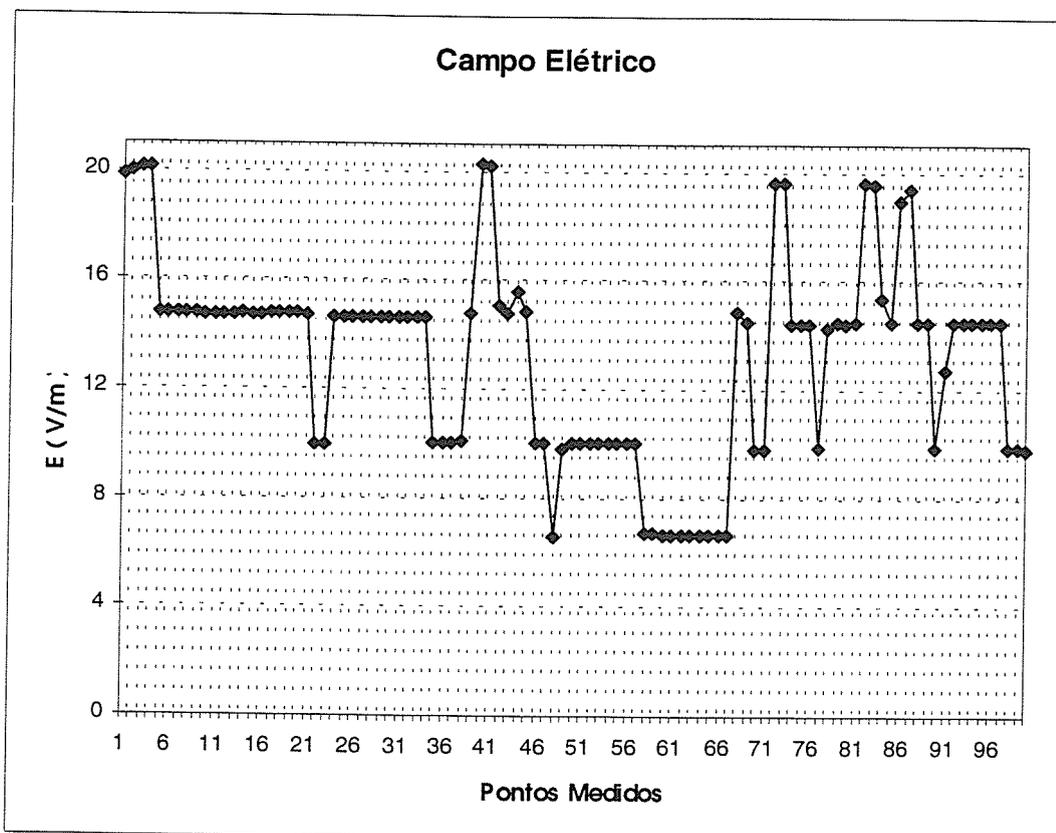


Gráfico 5.20 - Instrumento de medição a 10 cm do aparelho celular

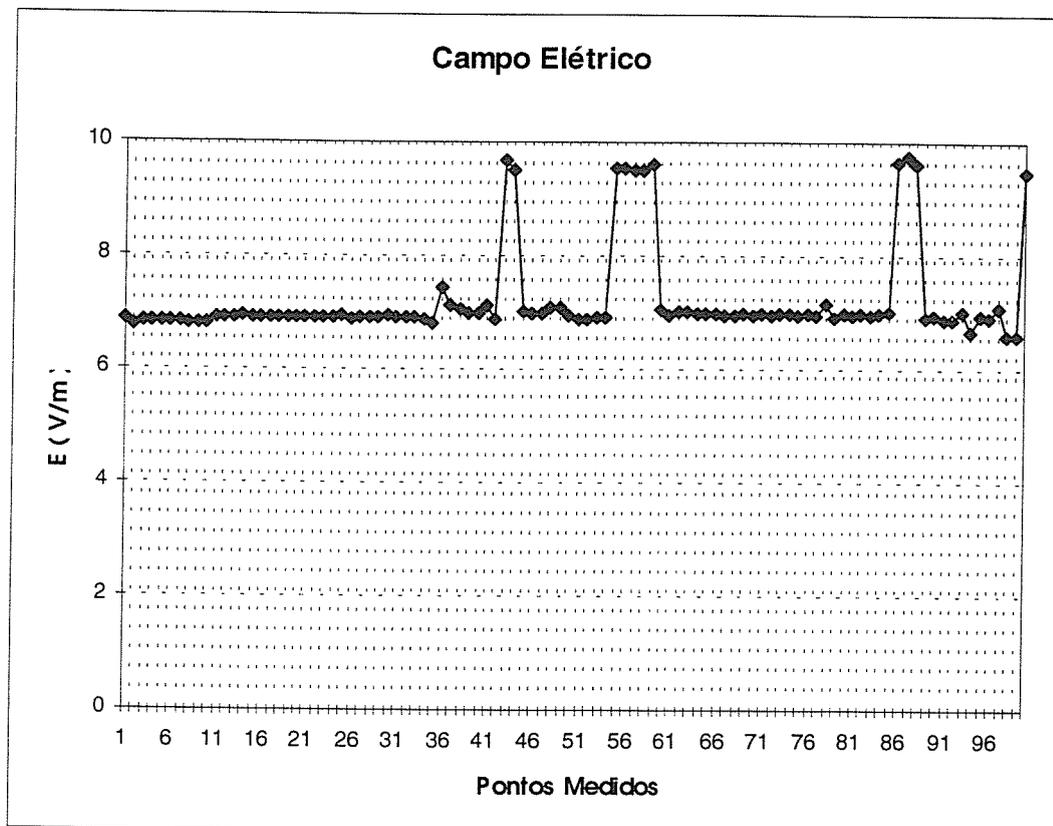


Gráfico 5.21 - Instrumento de medição a 20 cm do aparelho celular

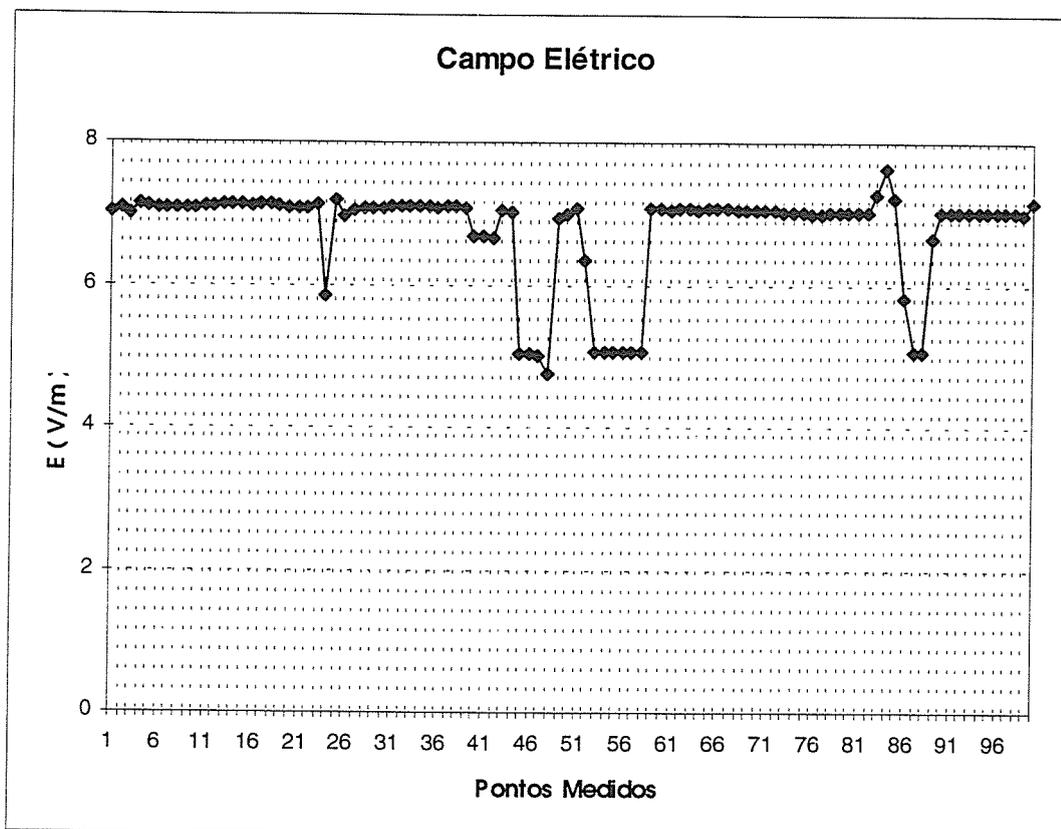


Gráfico 5.22 - Instrumento de medição a 30 cm do aparelho celular

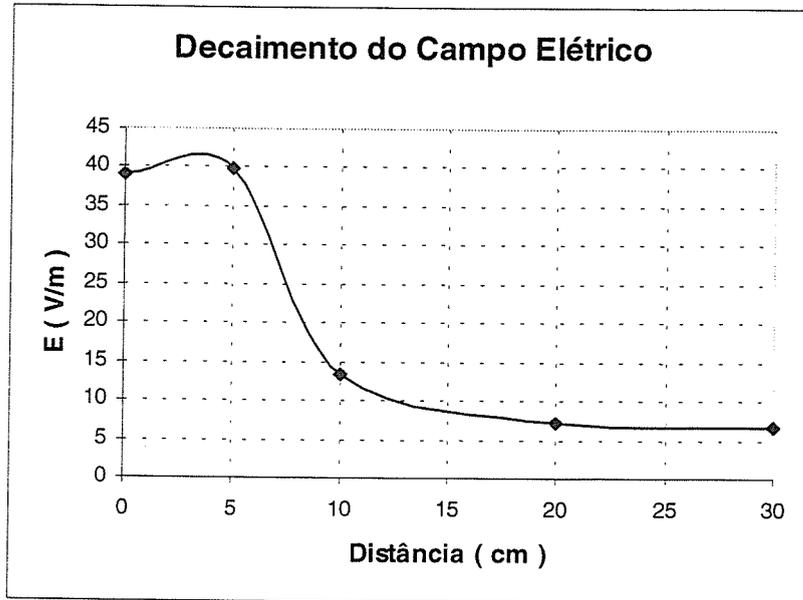


Gráfico 5.23 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.3 Medições dos Campos Elétricos ao Redor da Antena de Transmissão da Telemig Celular de Santa Luzia, MG

A antena da Telemig Celular localizada em Santa Luzia, MG foi escolhida para efetuar algumas medições devido à potência total emitida pela antena, que chega a pouco mais que 40 W, potência típica usadas no Brasil para estações rádio base do sistema celular.

Foram efetuadas várias medições do equipamento celular operando em pontos distintos num raio de 100 metros a partir da base da antena, sendo que apresentaremos somente as medições referentes ao pior caso registrado, ou seja, na localidade em que o aparelho celular gerou os maiores campos elétricos.

O campo máximo encontrado foi de 59.14 V/m, valor 43.9 % maior que o campo elétrico máximo permitido pela norma da **ICNIRP**.

Podemos notar uma contradição da análise inicial com o celular operando ao redor da base da antena do campus da **UFMG** com o presente caso. Como os campos lá encontrados foram pequenos em relação aos limites permitidos tenderíamos a pensar que perto de qualquer antena os campos seriam baixos, mas o que acontece é que mesmo próximo a antenas podemos encontrar áreas de sombra, que aparecem em função do diagrama de irradiação da antena, que pode apresentar regiões com baixa intensidade de sinal. Vide capítulo 2.

Novamente lembramos que um mapeamento mais completo exigiria um estudo mais detalhado e dedicado.

Para registro apresentamos também os campos elétricos medidos com o equipamento celular operando em pontos aleatórios em torno da antena num raio máximo de 100 metros, cujos valores estão todos bem abaixo do limite permitido pela norma da **ICNIRP**.

5.3.1 Medições dos campos elétricos gerados por um aparelho celular operando a 30 metros da base da antena de transmissão da Telemig Celular de Santa Luzia, no local de máximos valores de campo encontrados

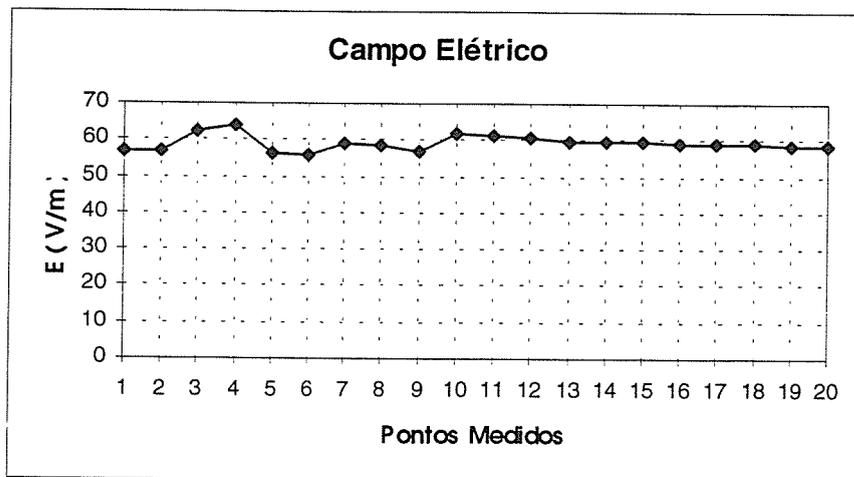


Gráfico 5.24 - Instrumento de medição encostado no aparelho celular

5.3.2 Medições do campo elétrico ambiente a 30 metros da base da antena de transmissão da Telemig Celular de Santa Luzia, no local de máximos valores de campo encontrados

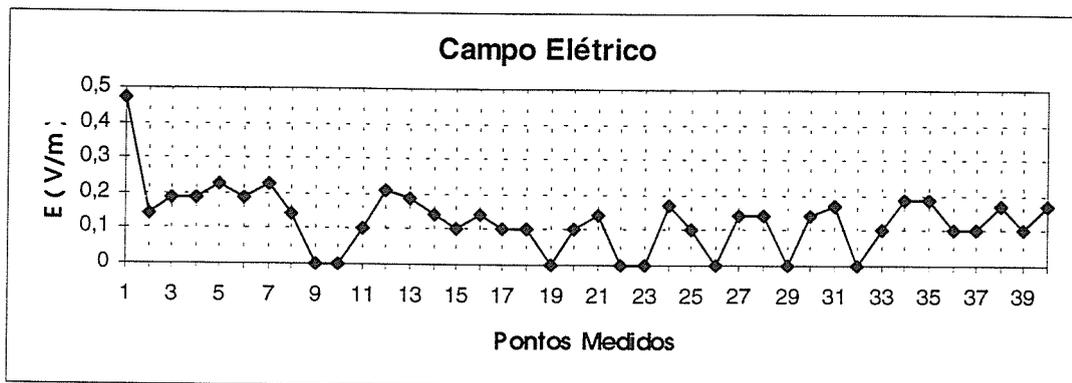


Gráfico 5.25 – Campo elétrico a 30 metros da base da antena

5.3.3 Medições dos campos elétricos gerados por um aparelho celular operando em pontos aleatórios em torno da antena de transmissão da Telemig Celular de Santa Luzia, num raio máximo de 100 metros da base da antena.

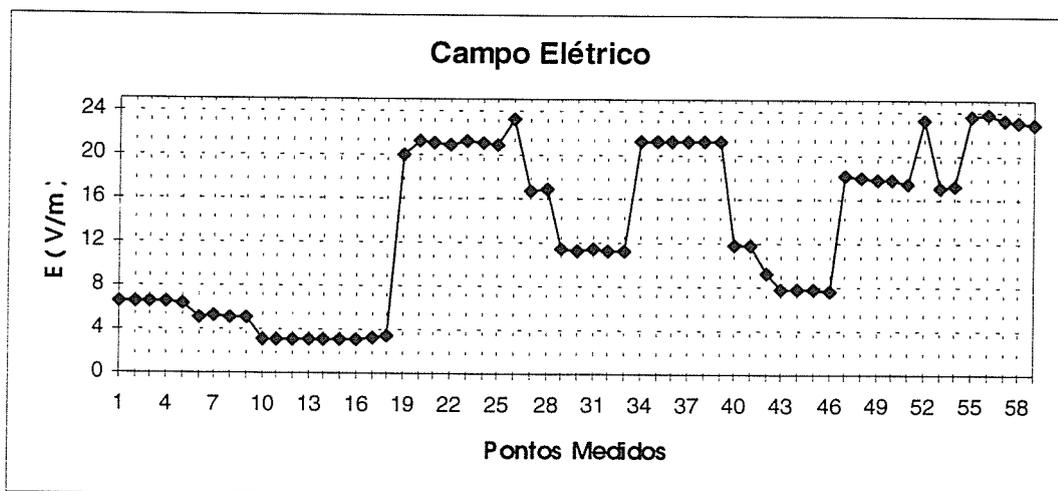


Gráfico 5.26- Instrumento de medição encostado no aparelho celular

5.3.4 Medições do campo elétrico ambiente a 200 metros da base da antena de transmissão da Telemig Celular de Santa Luzia

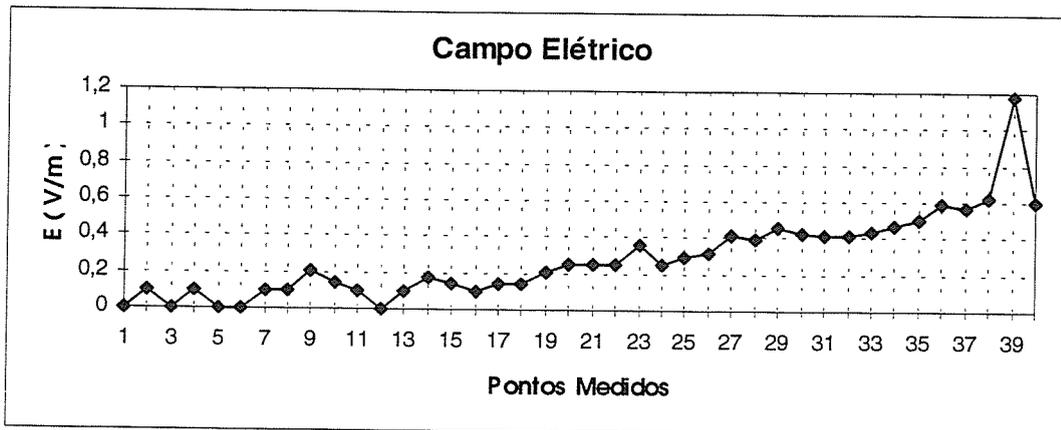


Gráfico 5.27 - Campo elétrico a 200 metros da base da antena

5.3.5 Medições do campo elétrico ambiente a 500 metros da base da antena de transmissão da Telemig Celular de Santa Luzia

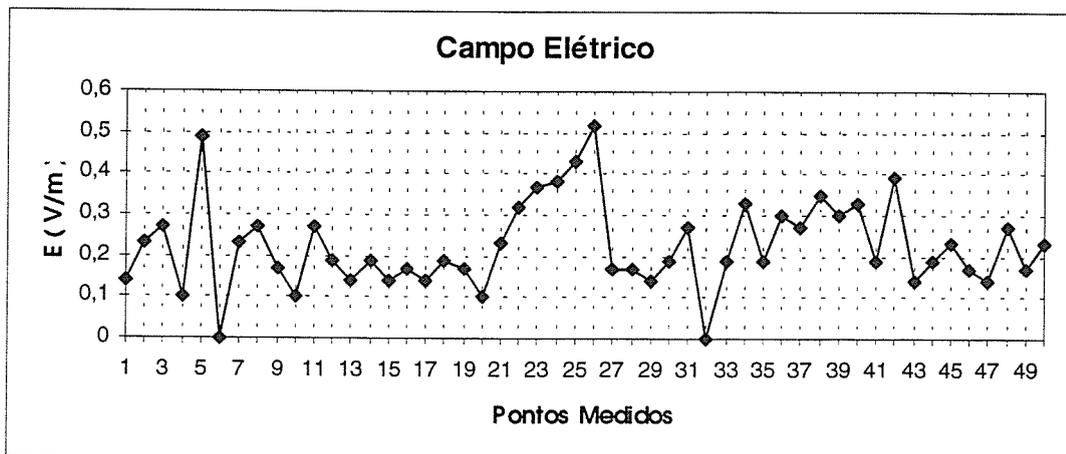


Gráfico 5.28 – Campo elétrico a 500 metros da base da antena

5.4 Medições dos Campos Elétricos ao Redor da Antena Microcélula da Telemig Celular do Shopping Del Rey, em Belo Horizonte, MG

A microcélula da Telemig Celular utilizada para medição foi a localizada no segundo pavimento do Shopping Del Rey, em Belo Horizonte, MG. A potência total emitida pela antena chega a pouco mais de 1 W. Foi feito um mapeamento do campo elétrico ambiente ao redor da antena e a verificação dos campos elétricos gerados por um telefone celular portátil operando nos arredores da antena.

Foram efetuadas várias medições do equipamento celular operando em pontos distintos ao redor da microcélula, sendo que apresentaremos somente as medições referentes ao pior caso registrado, ou seja, na localidade em que o aparelho celular gerou os maiores campos elétricos. O valor máximo encontrado foi de 17.12 V/m, valor bem abaixo do limite máximo segundo a norma da **ICNIRP**. O campo elétrico ambiente do pior local ao redor da antena foi de 1.01 V/m, lembrando que, por ser no interior do shopping, a região recebia irradiação de várias outras fontes de ruído.

5.4.1 Medições dos campos elétricos gerados por um aparelho celular operando a cerca de 2 metros da base da antena microcélula do Shopping Del Rey, em Belo Horizonte, no local de máximos valores de campo encontrados

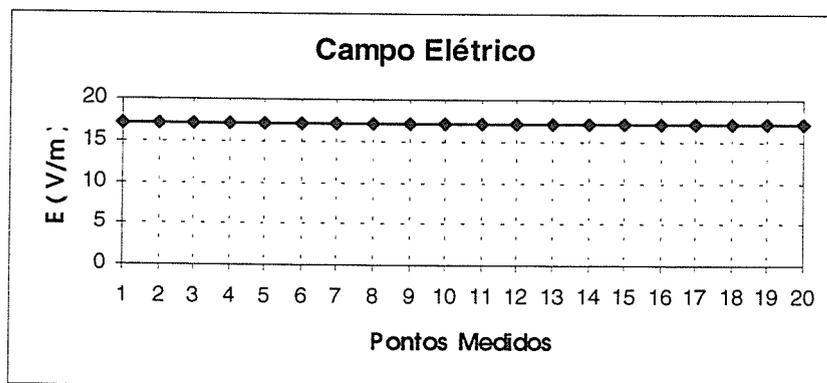


Gráfico 5.29 - Instrumento de medição encostado no aparelho celular

5.4.2 Medições do campo elétrico ambiente a 2 metros da base da antena, no local de máximos valores de campo encontrados

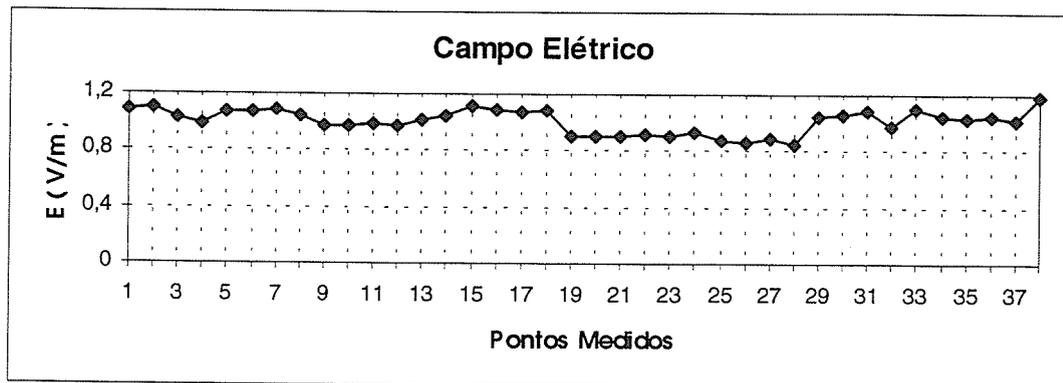


Gráfico 5.30 – Campo elétrico a 2 metros da base da antena

5.5 Medições dos Campos Elétricos Gerados por um Forno de Microondas Doméstico

O forno utilizado foi da marca Sharp. Foram realizadas medições em vários pontos à frente do forno, em sua lateral direita, 60° à esquerda da frente, 60° à direita da frente, e 60° abaixo do forno.

Foram feitos gráficos de decaimento, onde pode ser vista a diminuição dos valores de campo elétrico à medida que nos afastamos do forno de microondas.

Encontramos campos relativamente altos com relação ao valor permitido pela norma da **ICNIRP**. Nas piores regiões os campos oscilam em torno da média de 27.51 V/m. O maior campo encontrado foi de 51.93 V/m. Mas mesmo com valores altos em relação à norma todos os campos situam-se abaixo do limite máximo permitido que nesse caso é diferente do limite máximo anteriormente utilizado considerando as frequências da comunicação celular. Para frequências acima de 2000 MHz, que é o caso do forno de microondas que opera a cerca de 2450 MHz, o valor máximo permitido pela norma da **ICNIRP** é de 61 V/m.

5.5.1 Medições dos campos elétricos gerados à frente de um forno de microondas doméstico

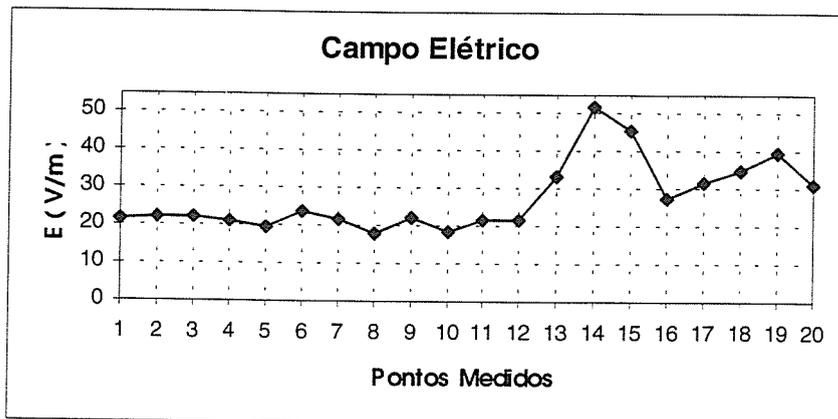


Gráfico 5.31 - Instrumento de medição posicionado encostado no centro do forno

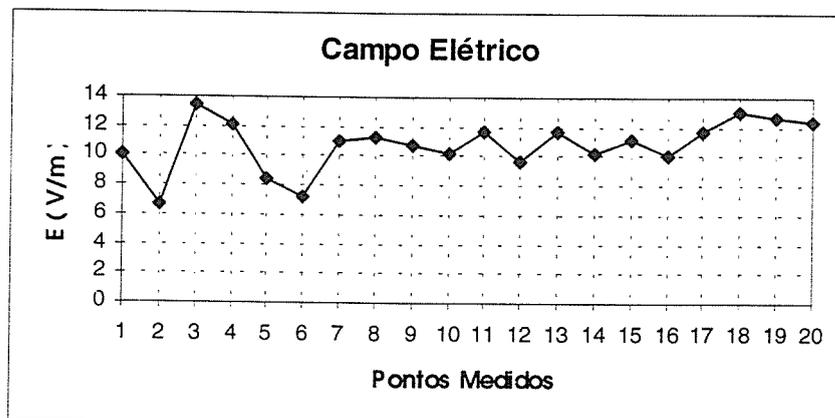


Gráfico 5.32 - Instrumento de medição a 10 cm do centro do forno

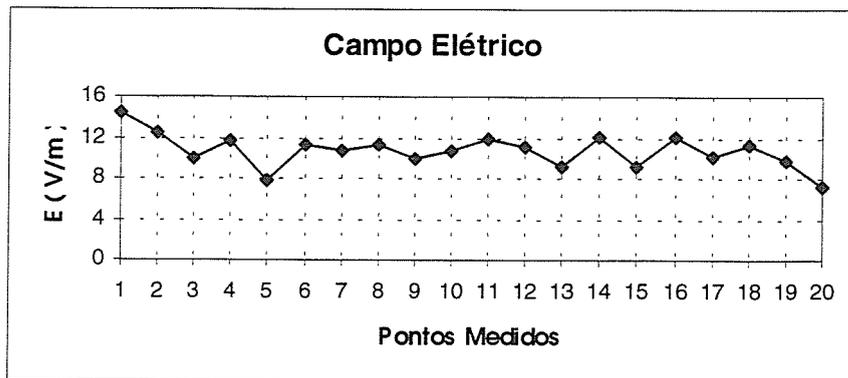


Gráfico 5.33 - Instrumento de medição a 30 cm do centro do forno

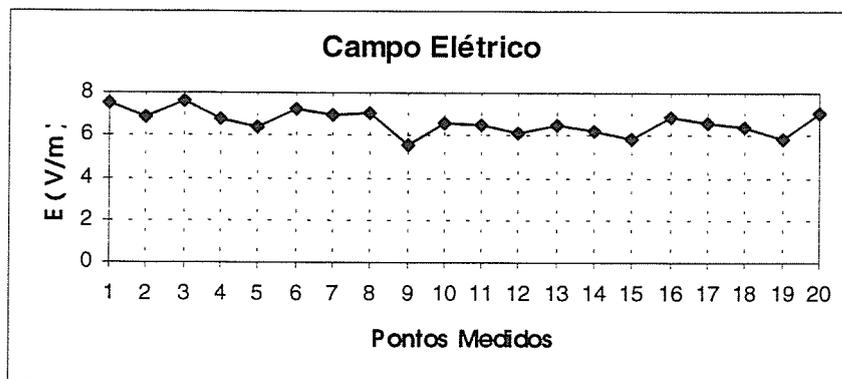


Gráfico 5.34 - Instrumento de medição a 60 cm do centro do forno

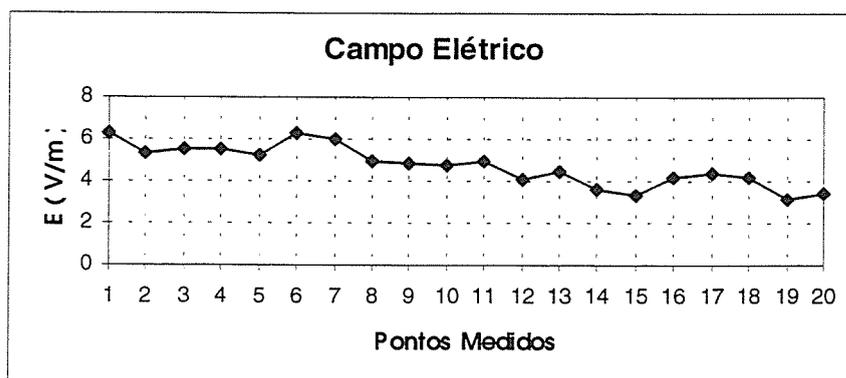


Gráfico 5.35 - Instrumento de medição 90 cm do centro do forno

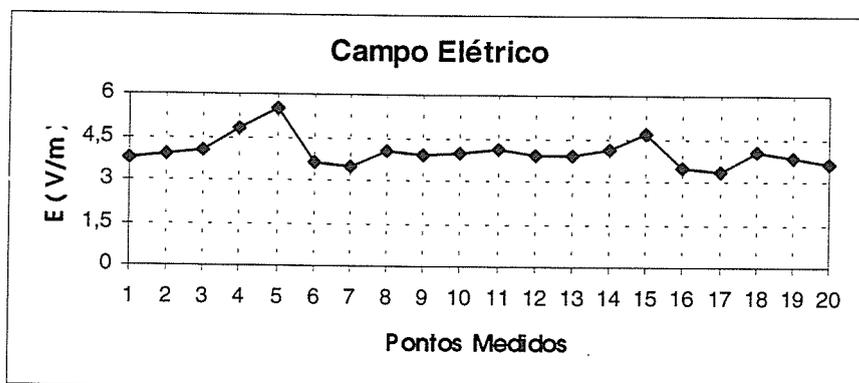


Gráfico 5.36 - Instrumento de medição a 120 cm do centro do forno

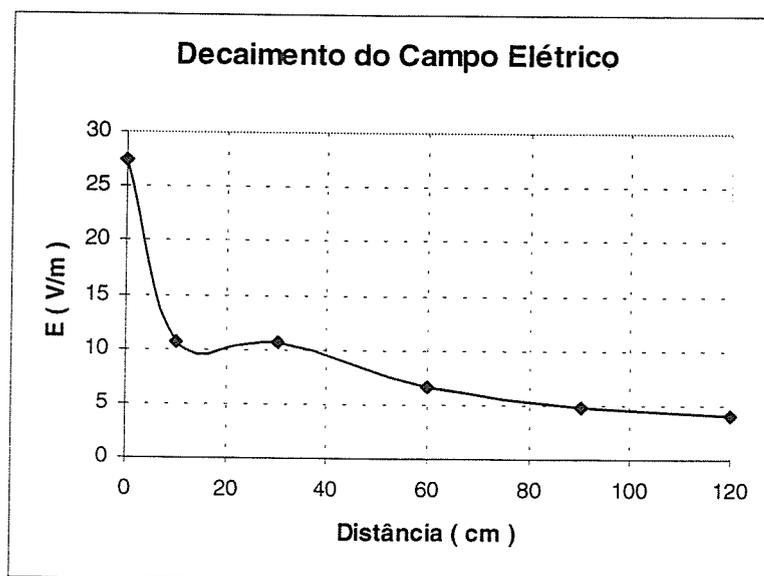


Gráfico 5.37 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.5.2 Medições dos campos elétricos gerados numa direção de 60° à esquerda da frente de um forno de microondas doméstico

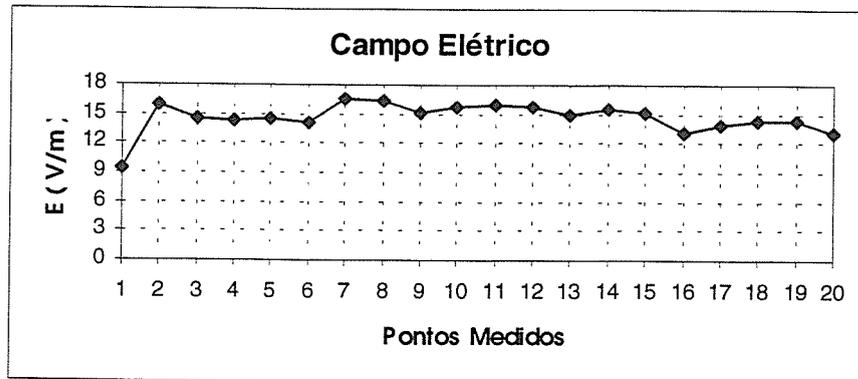


Gráfico 5.38 - Instrumento de medição a 10 cm do forno

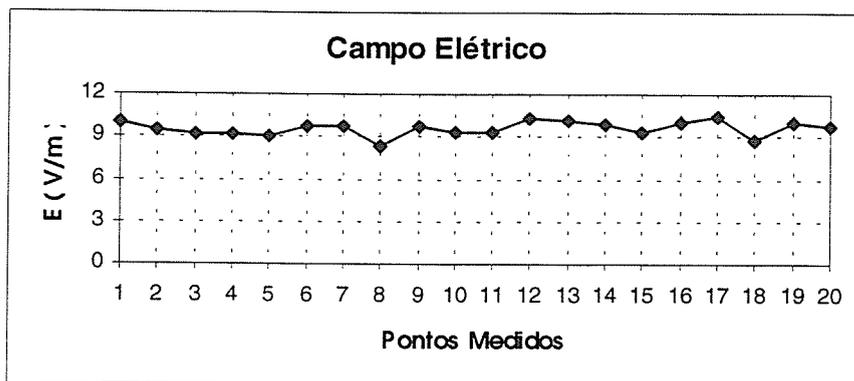


Gráfico 5.39 - Instrumento de medição a 30 cm do forno

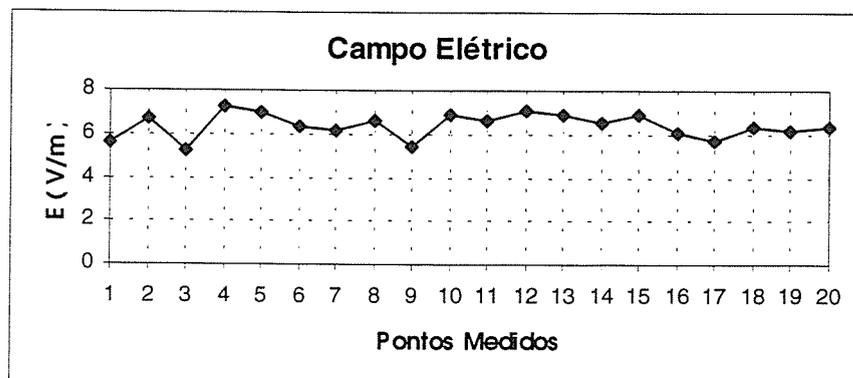


Gráfico 5.40 - Instrumento de medição a 60 cm do forno

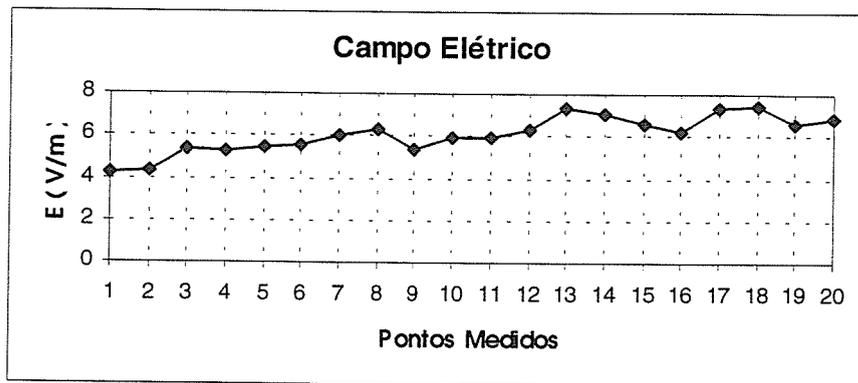


Gráfico 5.41 - Instrumento de medição a 90 cm do forno

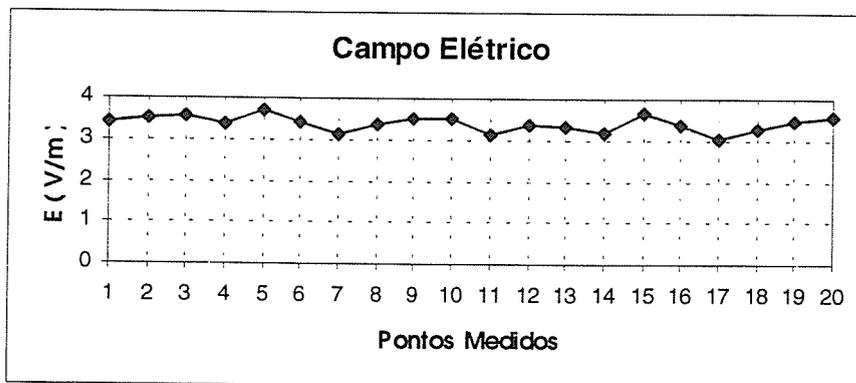


Gráfico 5.42 - Instrumento de medição a 120 cm do forno

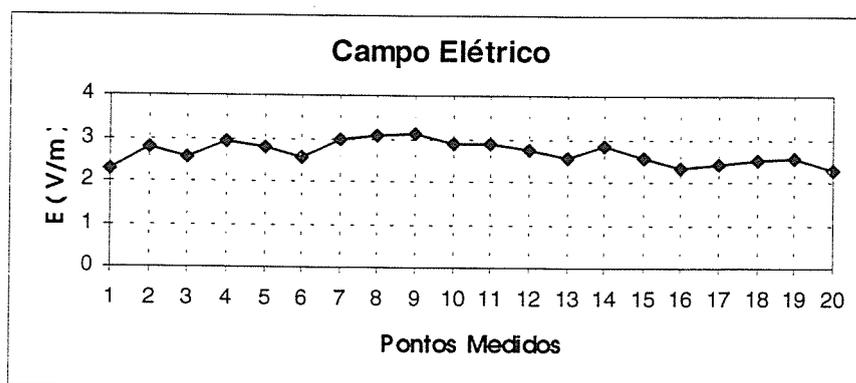


Gráfico 5.43 - Instrumento de medição a 150 cm do forno

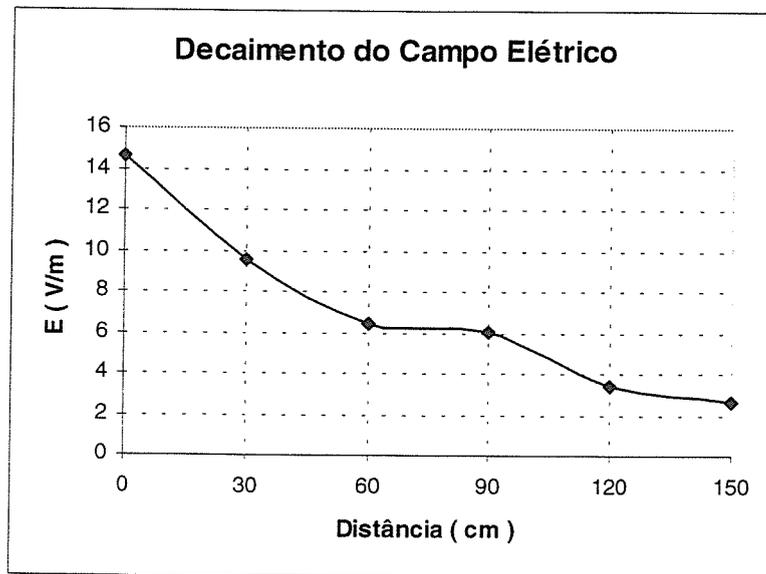


Gráfico 5.44 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.5.3 Medições dos campos elétricos gerados numa direção de 60° à direita da frente de um forno de microondas doméstico

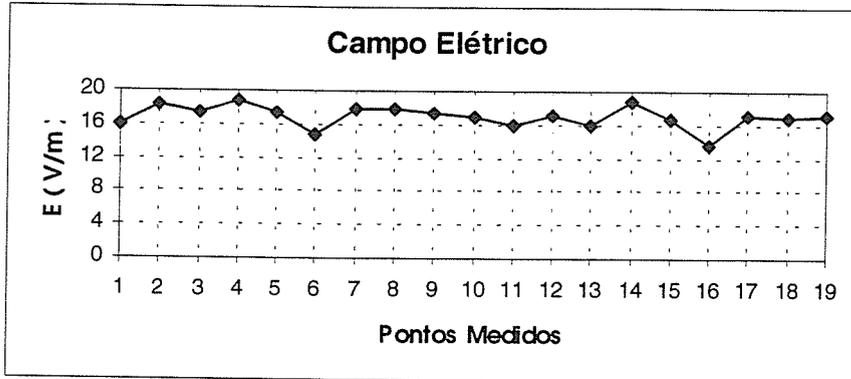


Gráfico 5.45 - Instrumento de medição a 10 cm do forno

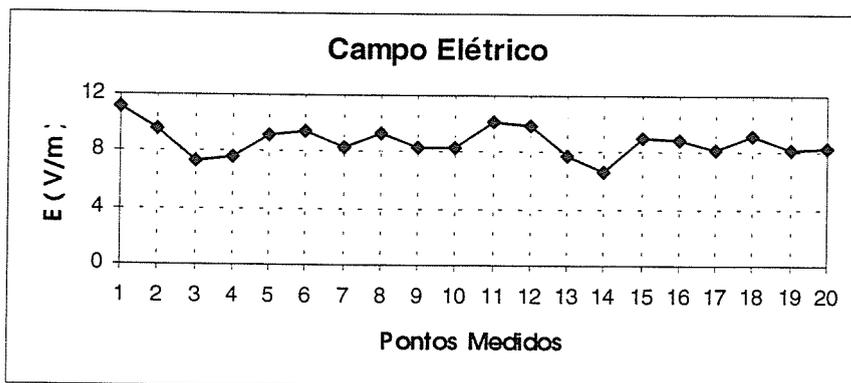


Gráfico 5.46 - Instrumento de medição a 30 cm do forno

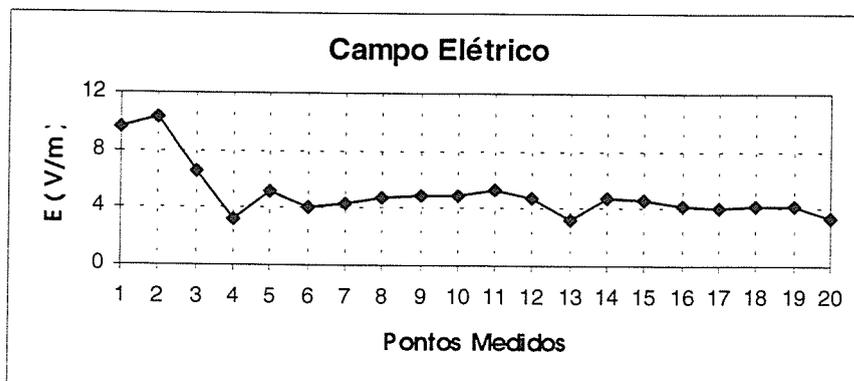


Gráfico 5.47 - Instrumento de medição a 60 cm do forno

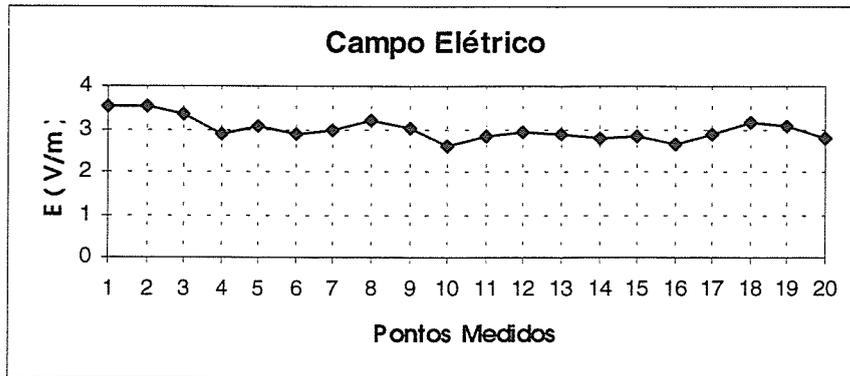


Gráfico 5.48 - Instrumento de medição a 90 cm do forno

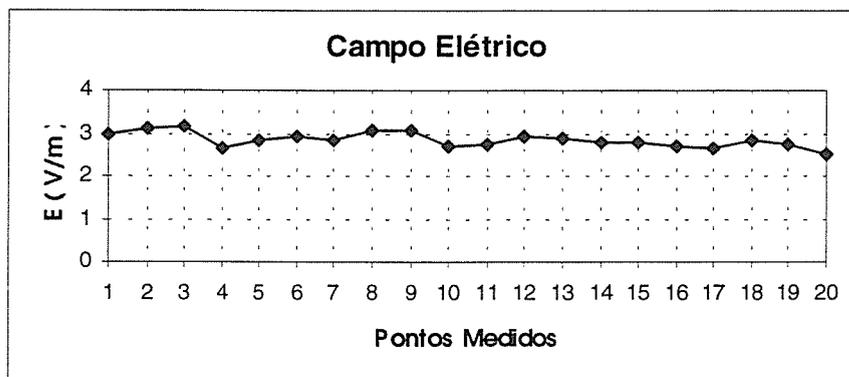


Gráfico 5.59 - Instrumento de medição a 120 cm do forno

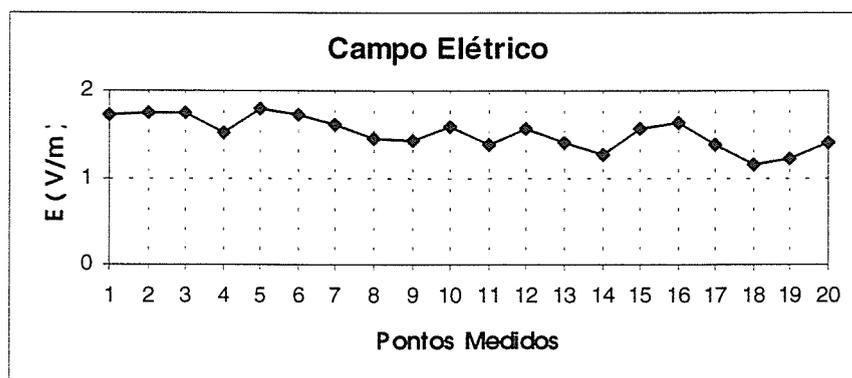


Gráfico 5.50 - Instrumento de medição a 150 cm do forno

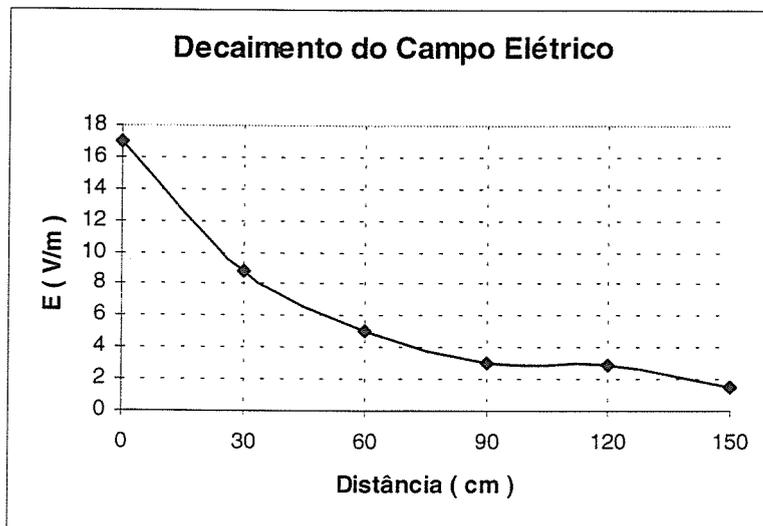


Gráfico 5.51 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.5.4 Medições dos campos elétricos gerados numa direção de 60° abaixo de um forno de microondas doméstico

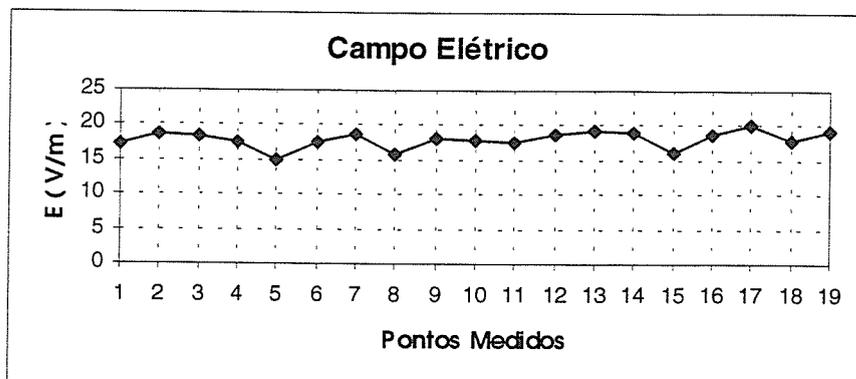


Gráfico 5.52 - Instrumento de medição a 10 cm do forno

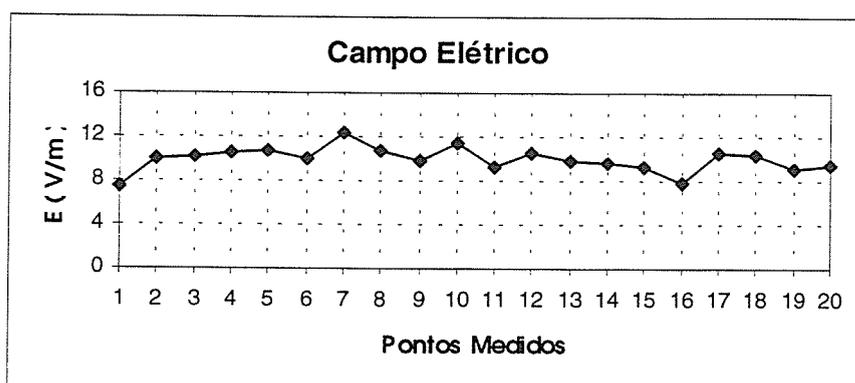


Gráfico 5.53 - Instrumento de medição a 30 cm do forno

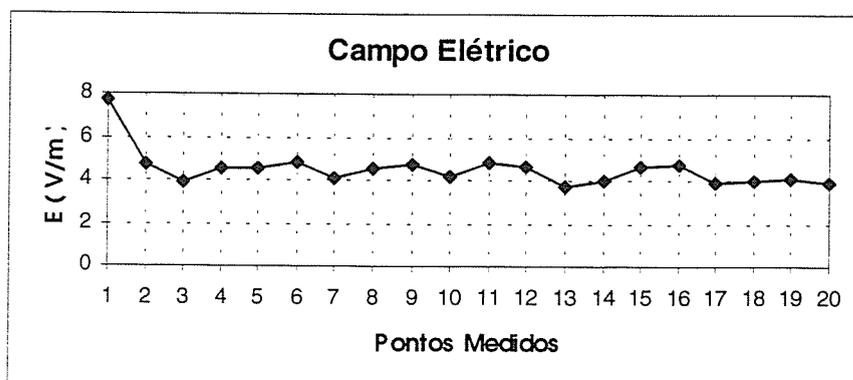


Gráfico 5.54 - Instrumento de medição a 60 cm do forno

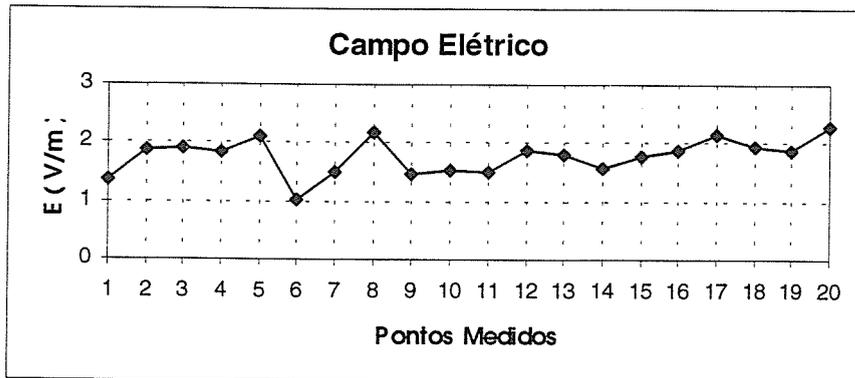


Gráfico 5.55 - Instrumento de medição a 90 cm do forno

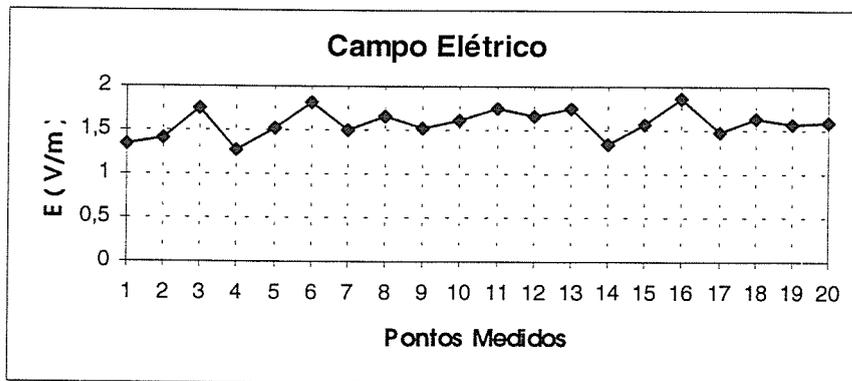


Gráfico 5.56 - Instrumento de medição a 120 cm do forno

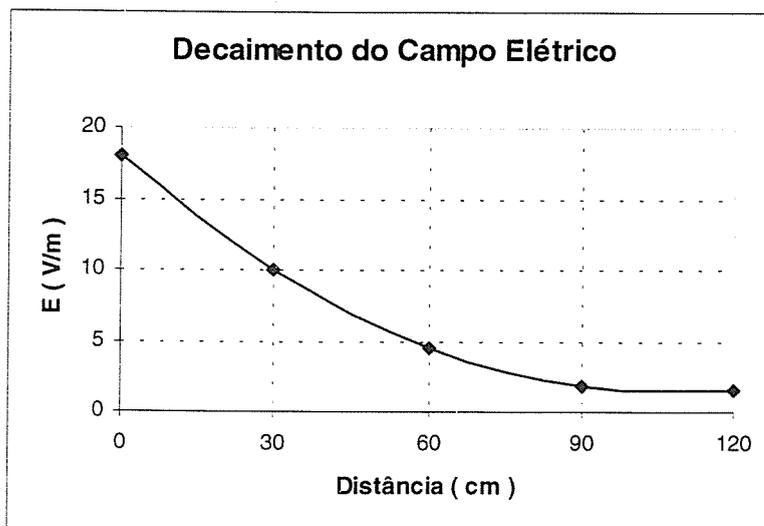


Gráfico 5.57 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.5.5 Medições dos campos elétricos gerados na lateral direita de um forno de microondas doméstico

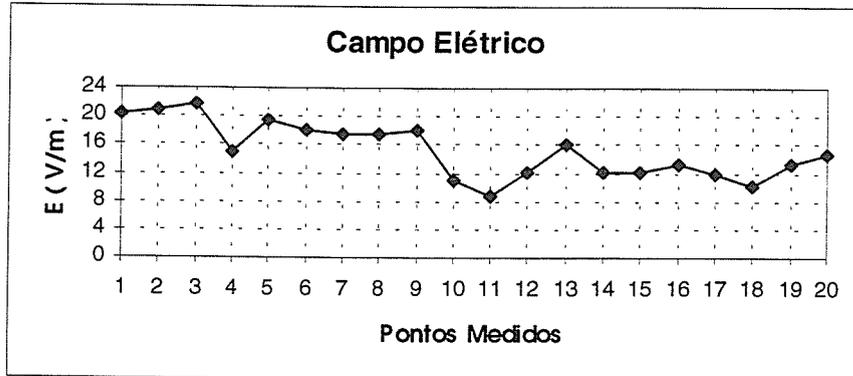


Gráfico 5.58 - Instrumento de medição encostado na lateral

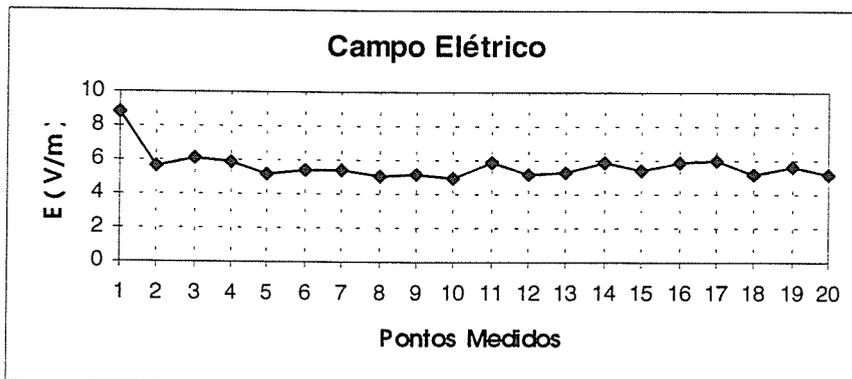


Gráfico 5.59 - Instrumento de medição a 30 cm do forno

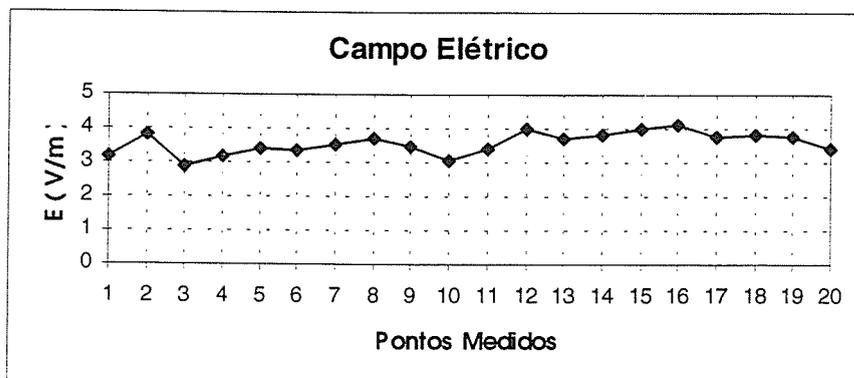


Gráfico 5.60 - Instrumento de medição a 60 cm do forno

5.6 Medições dos Campos Elétricos Gerados pela Tela de um Microcomputador

O monitor utilizado foi da marca Sony-Trinitron. As medições foram feitas em vários pontos à frente da tela, em sua lateral esquerda, acima e atrás da tela.

Foram feitos gráficos de decaimento, onde pode ser vista a diminuição dos valores de campo elétrico à medida que nos afastamos da tela.

Os campos elétricos encontrados foram todos abaixo do limite máximo de 61 V/m segundo a norma da **ICNIRP**. O valor máximo encontrado foi de 15.6 V/m.

5.6.1 Medições dos campos elétricos gerados à frente da tela de um microcomputador

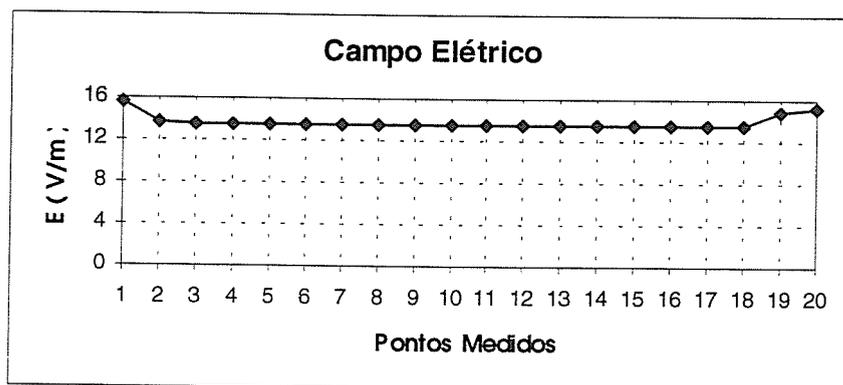


Gráfico 5.61 - Instrumento de medição encostado no centro da tela

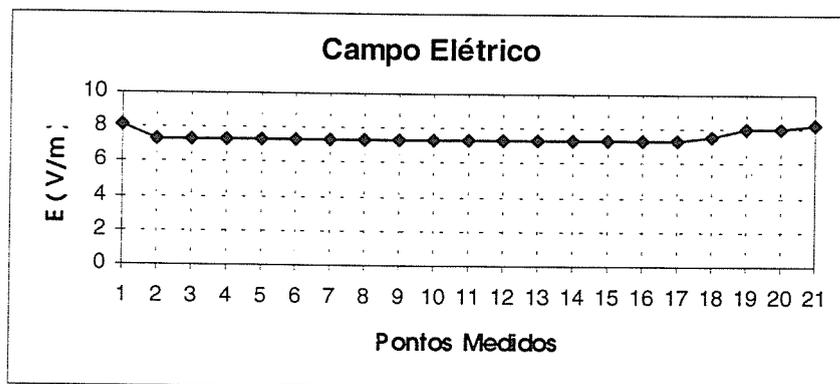


Gráfico 5.62 - Instrumento de medição a 10 cm do centro da tela

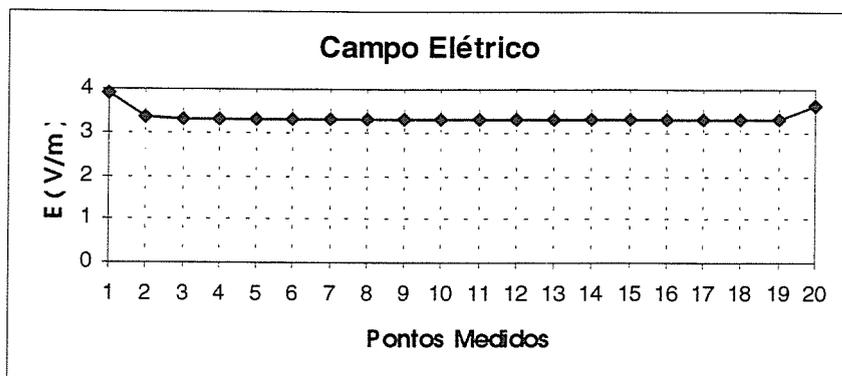


Gráfico 5.63 - Instrumento de medição a 20 cm do centro da tela

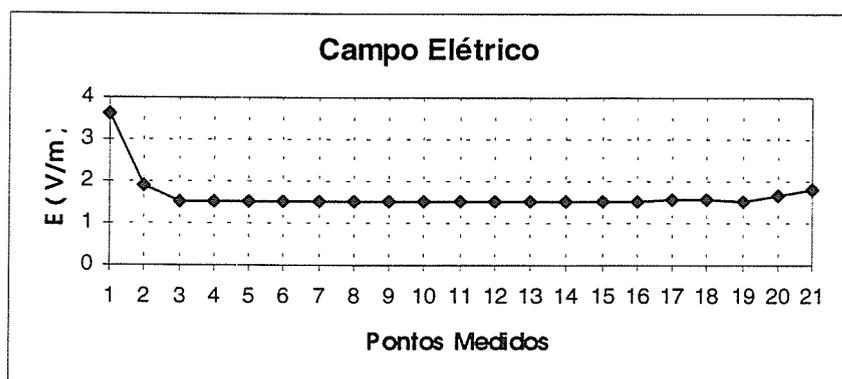


Gráfico 5.64 - Instrumento de medição a 30 cm do centro da tela

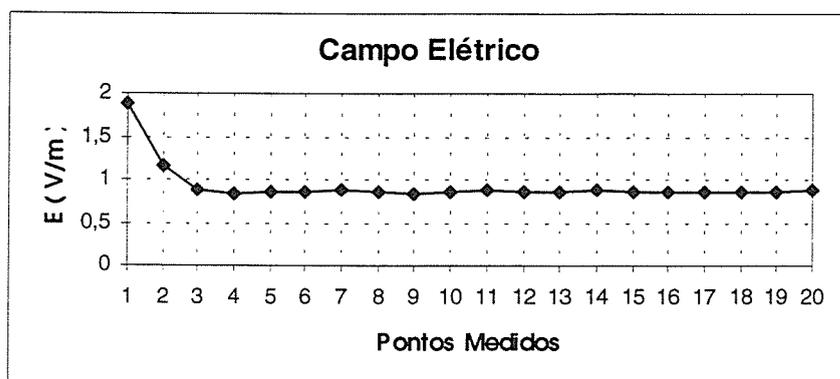


Gráfico 5.65 - Instrumento de medição a 40 cm do centro da tela

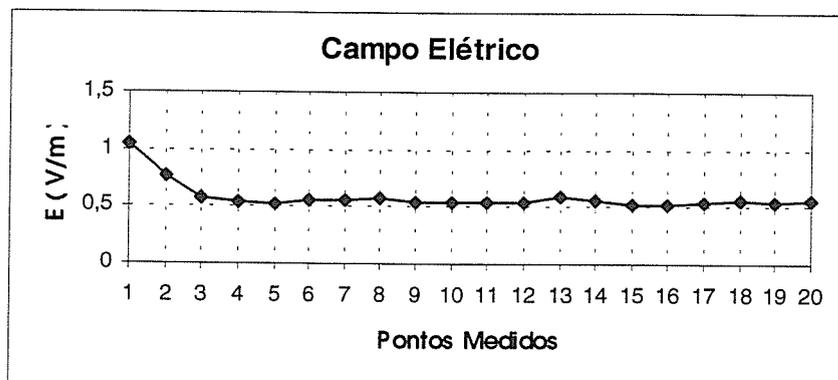


Gráfico 5.66 - Instrumento de medição a 50 cm do centro da tela

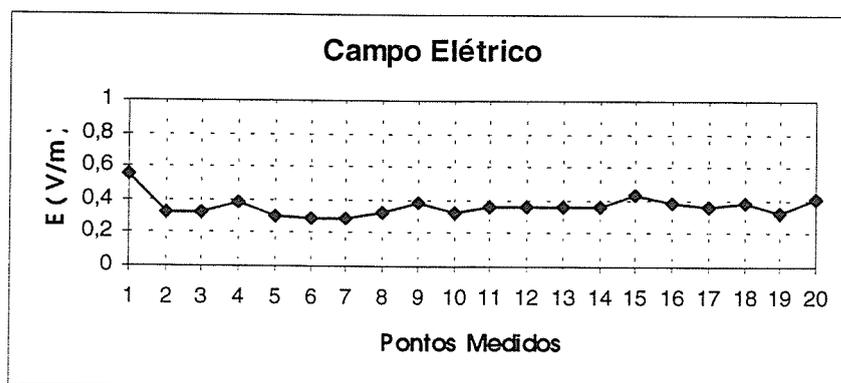


Gráfico 5.67 - Instrumento de medição a 60 cm do centro da tela

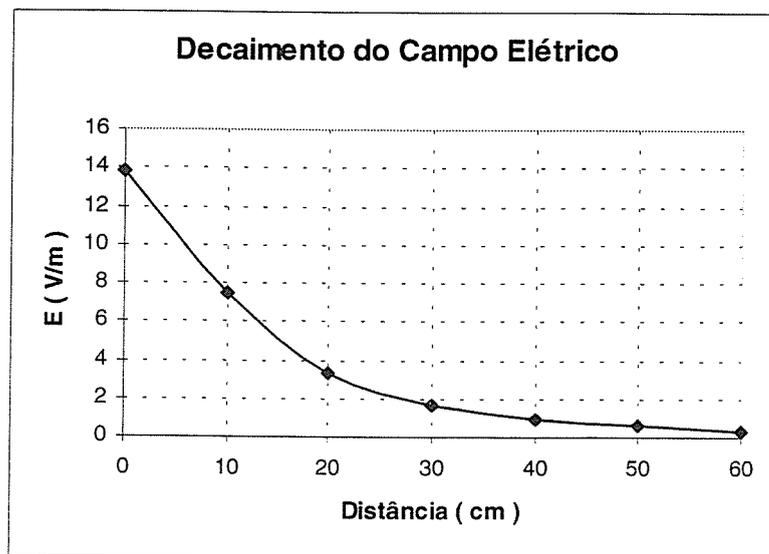


Gráfico 5.68 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.6.2 Medições dos campos elétricos gerados na lateral esquerda da tela de um microcomputador

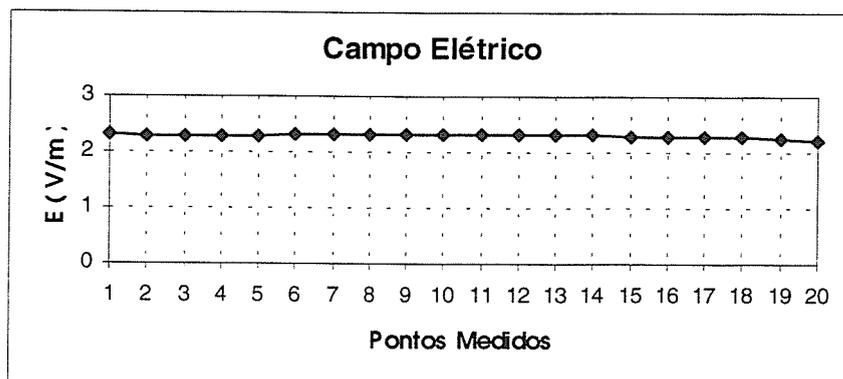


Gráfico 5.69 - Instrumento de medição encostado na lateral esquerda da tela

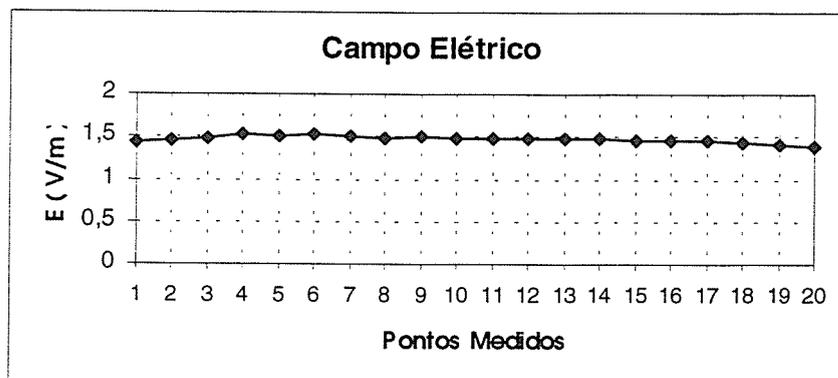


Gráfico 5.70 - Instrumento de medição a 5 cm da lateral

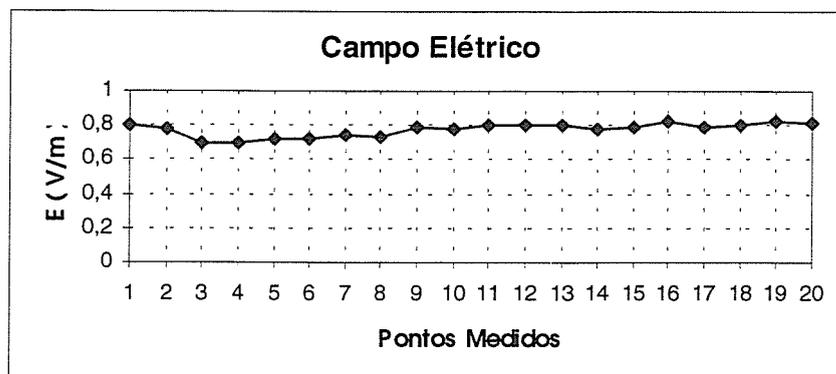


Gráfico 5.71 - Instrumento de medição a 10 cm da lateral

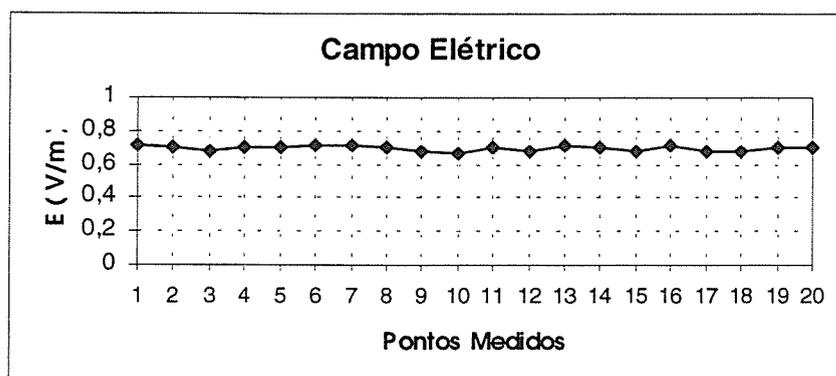


Gráfico 5.72 - Instrumento de medição a 20 cm da lateral

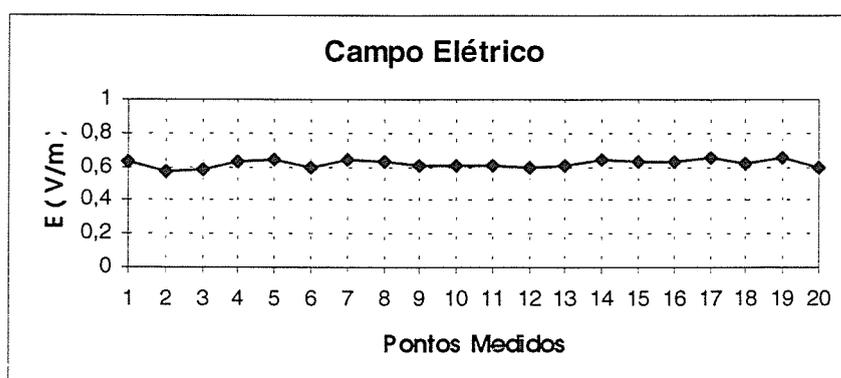


Gráfico 5.73 - Instrumento de medição a 30 cm da lateral

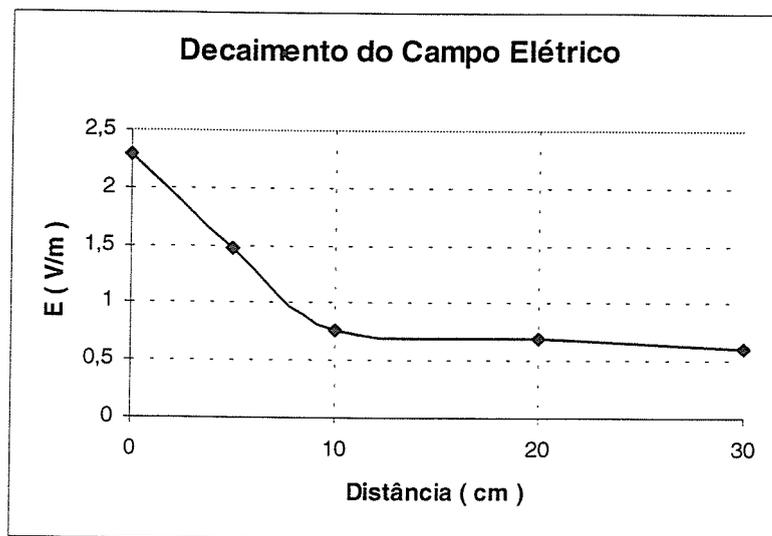


Gráfico 5.74 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.6.3 Medições dos campos elétricos gerados acima da tela de um microcomputador

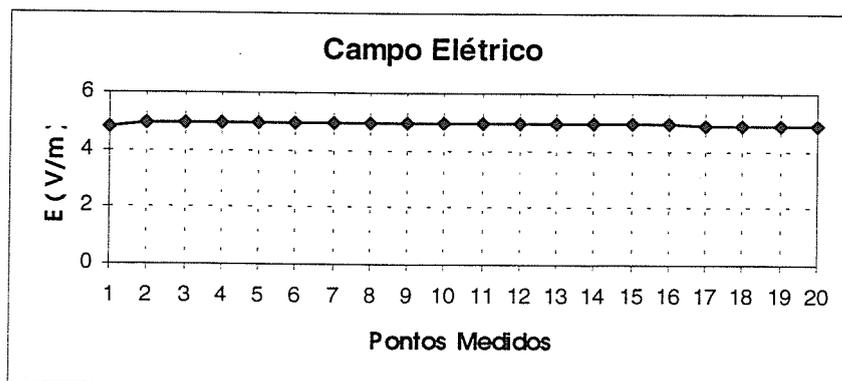


Gráfico 5.75 - Instrumento de medição encostado na parte superior da tela

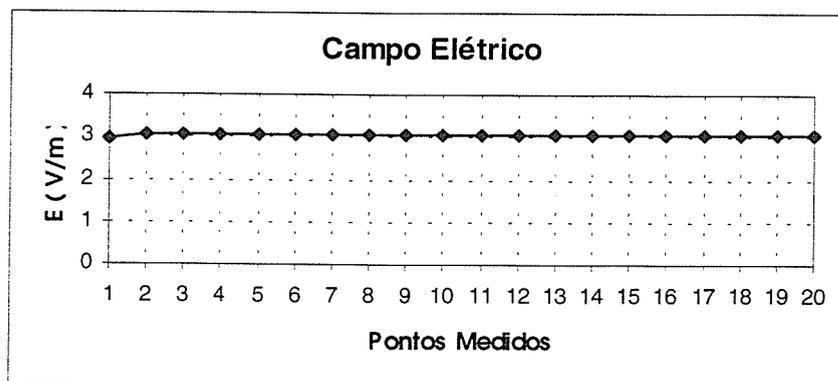


Gráfico 5.76 - Instrumento de medição a 5 cm da parte superior da tela

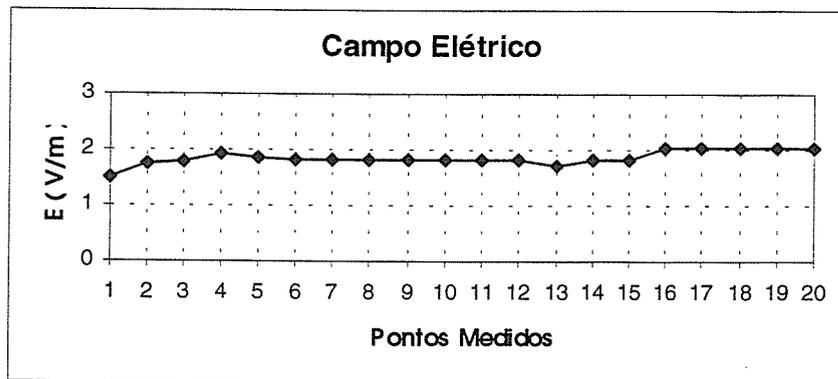


Gráfico 5.77 - Instrumento de medição a 10 cm da parte superior da tela

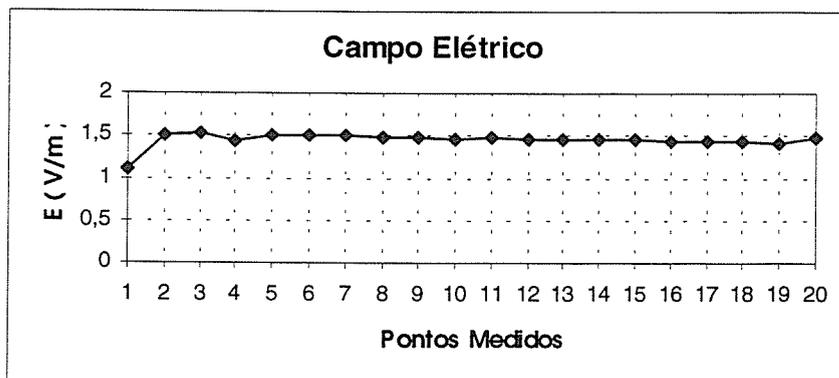


Gráfico 5.78 - Instrumento de medição a 30 cm da parte superior da tela

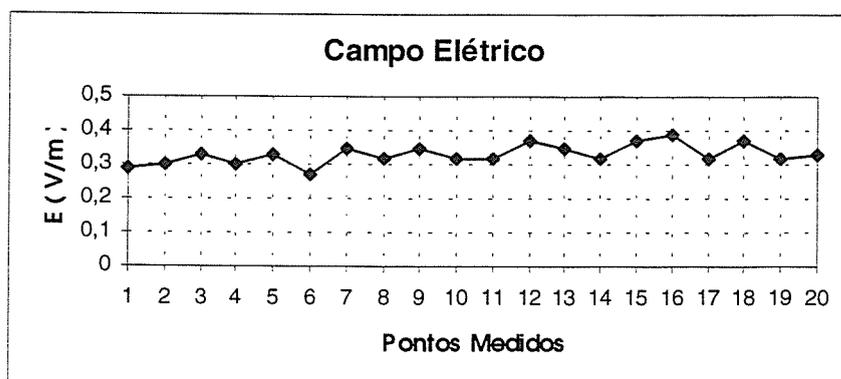


Gráfico 5.79 - Instrumento de medição a 40 cm da parte superior da tela

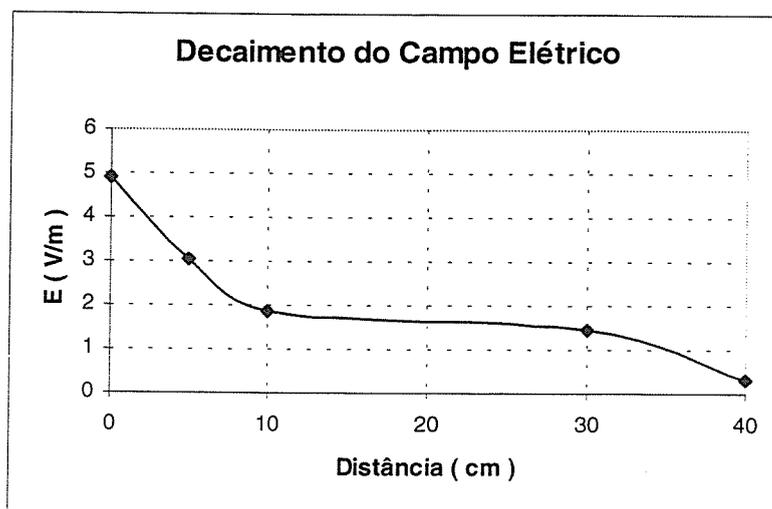


Gráfico 5.80 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.6.4 Medições dos campos elétricos gerados atrás da tela de um microcomputador

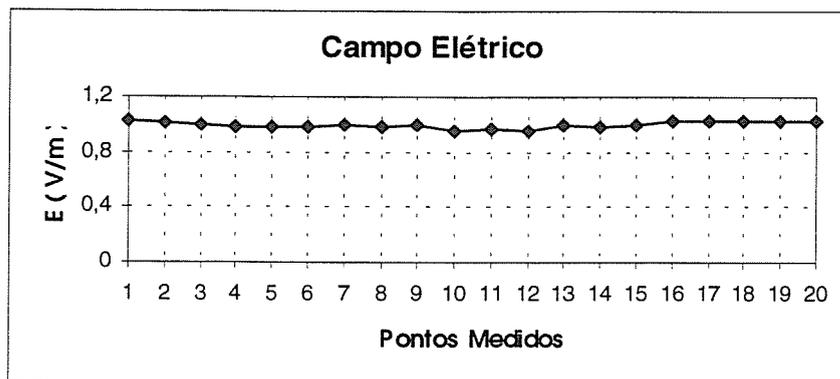


Gráfico 5.81 - Instrumento de medição encostado na parte traseira da tela

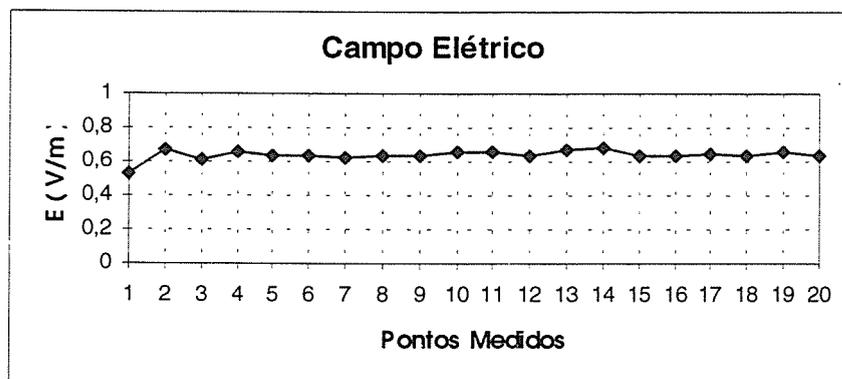


Gráfico 5.82 - Instrumento de medição a 5 cm da parte traseira da tela

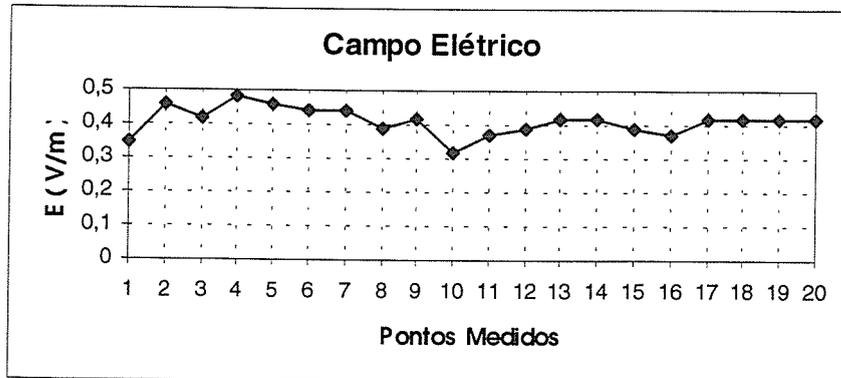


Gráfico 5.83 - Instrumento de medição a 10 cm da parte traseira da tela

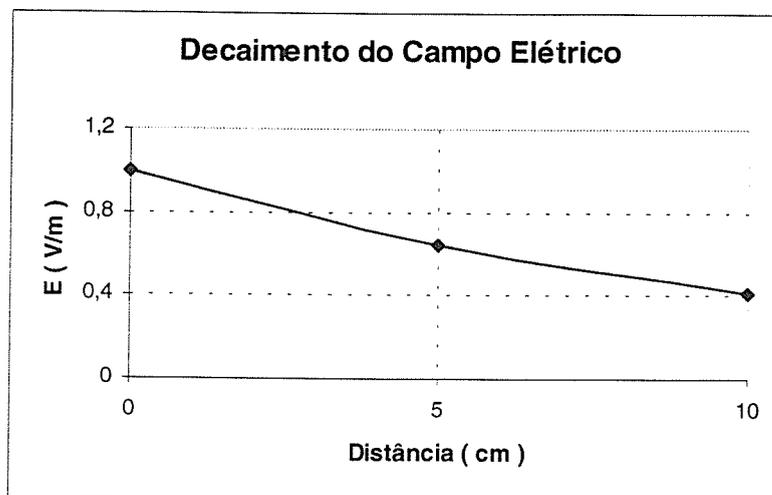


Gráfico 5.84 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.7 Medições dos Campos Elétricos Gerados pela Tela de um Televisor

Foram utilizados dois televisores de 14'', marcas Tokay e Kirey. As medições foram feitas em vários pontos à frente da tela, em sua lateral direita, 60° à direita da frente da tela, e 60° abaixo da tela.

Foram feitos gráficos de decaimento, onde pode ser vista a diminuição dos valores de campo elétrico à medida que nos afastamos da tela.

Os campos máximos encontrados foram de 17.25 V/m para uma marca e de 28.23 V/m para outra, ambos com o instrumento de medição encostado à tela.

Tendo por base as medições realizadas notamos que os campos elétricos em alta frequência presentes ao redor da tela de um aparelho televisor, mesmo estando abaixo dos limites de segurança atuais, são significativos.

5.7.1 Medições dos campos elétricos gerados à frente da tela de um aparelho televisor (marca Tokay)

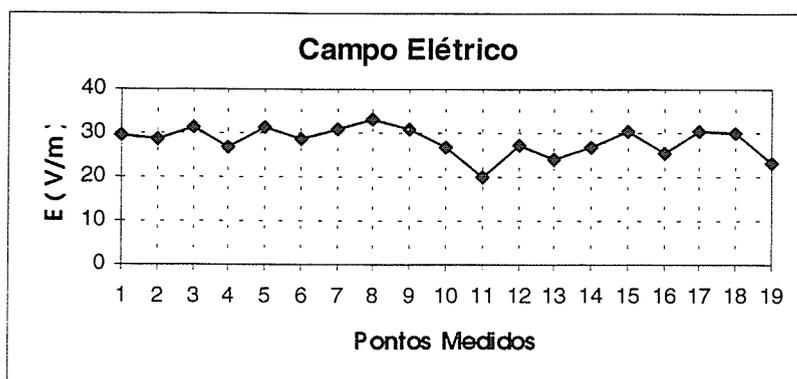


Gráfico 5.85 - Instrumento de medição encostado no centro da tela

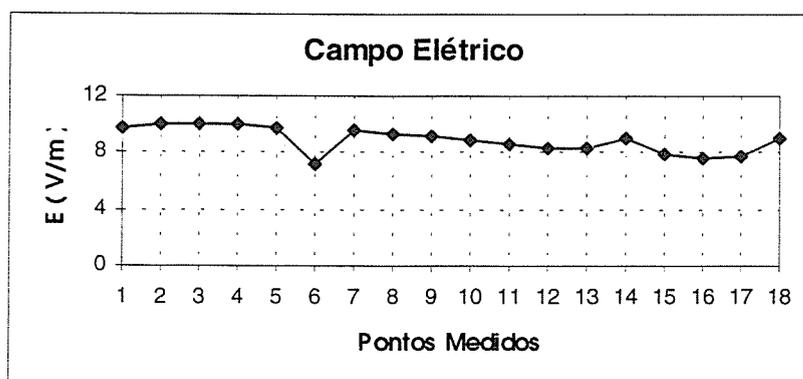


Gráfico 5.86 - Instrumento de medição a 10 cm do centro da tela

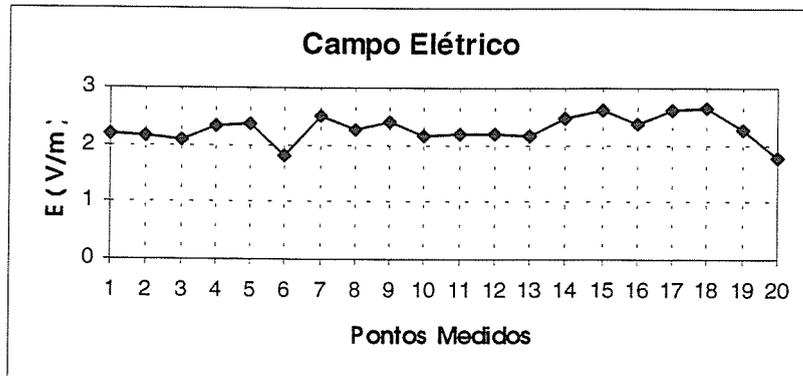


Gráfico 5.87 - Instrumento de medição a 30 cm do centro da tela

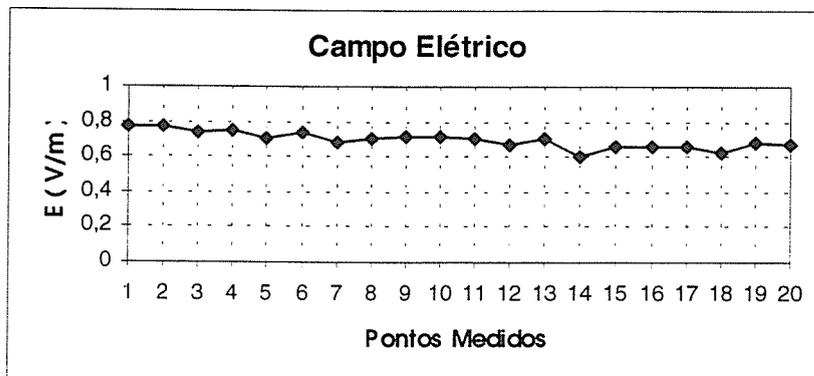


Gráfico 5.88 - Instrumento de medição a 60 cm do centro da tela

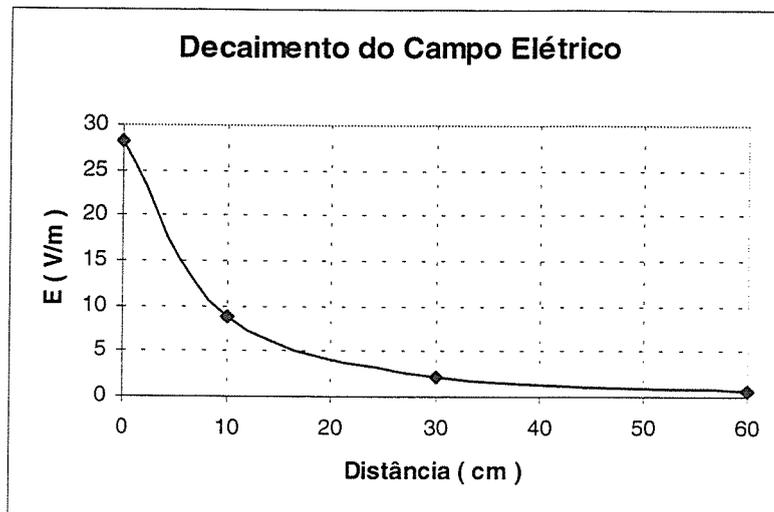


Gráfico 5.89 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.7.2 Medições dos campos elétricos gerados numa direção de 60° à direita da tela de um aparelho televisor

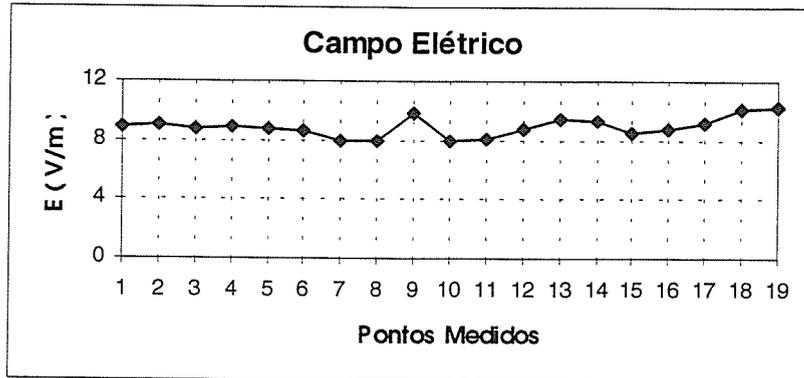


Gráfico 5.90 - Instrumento de medição a 10 cm

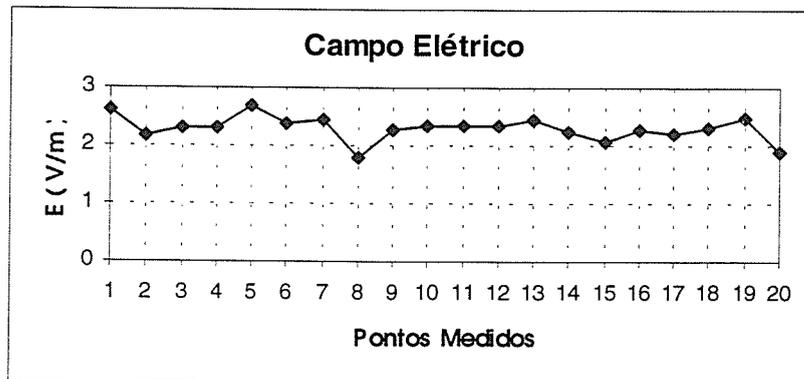


Gráfico 5.91 - Instrumento de medição a 30 cm

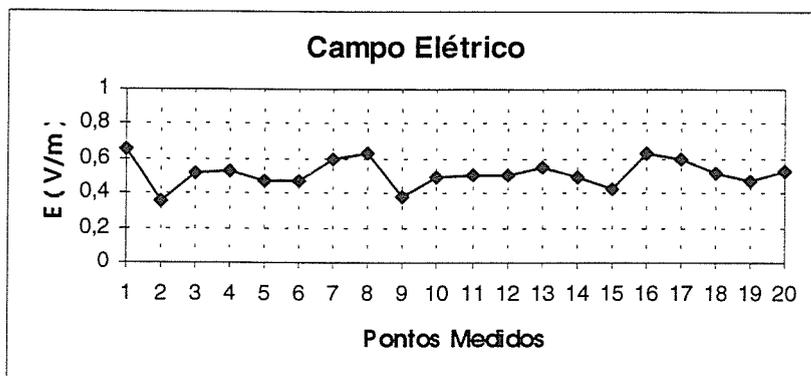


Gráfico 5.92 - Instrumento de medição a 60 cm

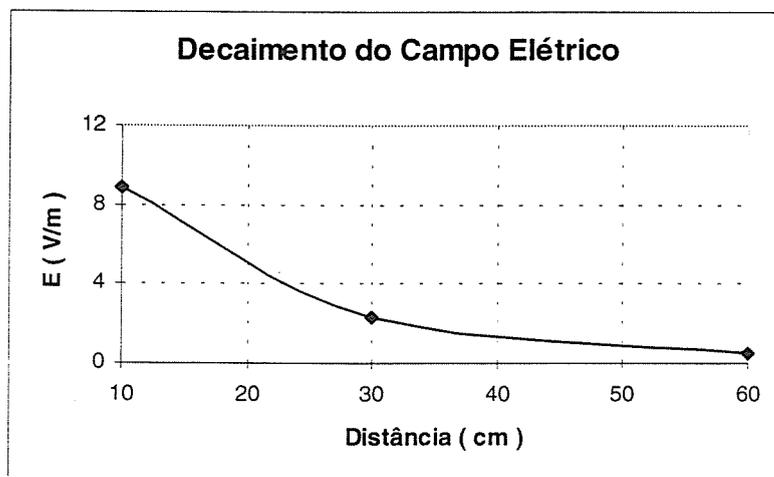


Gráfico 5.93 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.7.3 Medições dos campos elétricos gerados na lateral direita da tela de um aparelho televisor

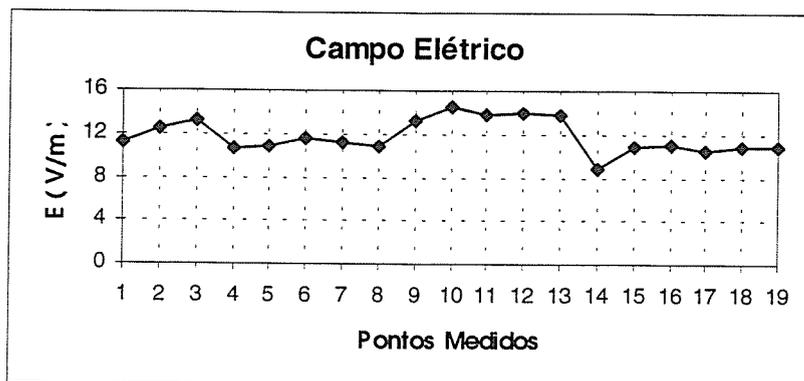


Gráfico 5.94 - Instrumento de medição encostado na lateral

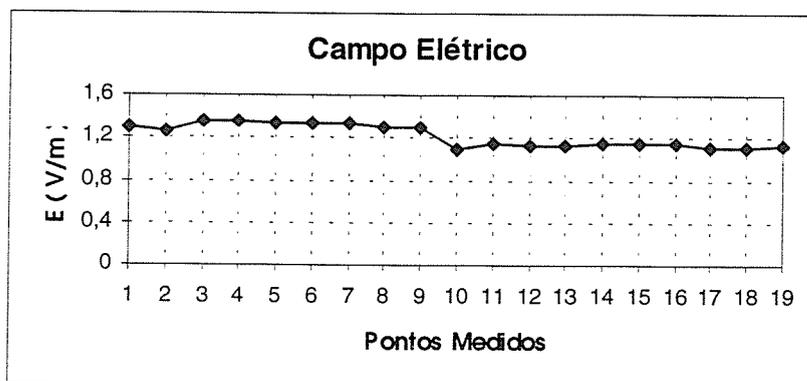


Gráfico 5.95 - Instrumento de medição a 30 cm da lateral

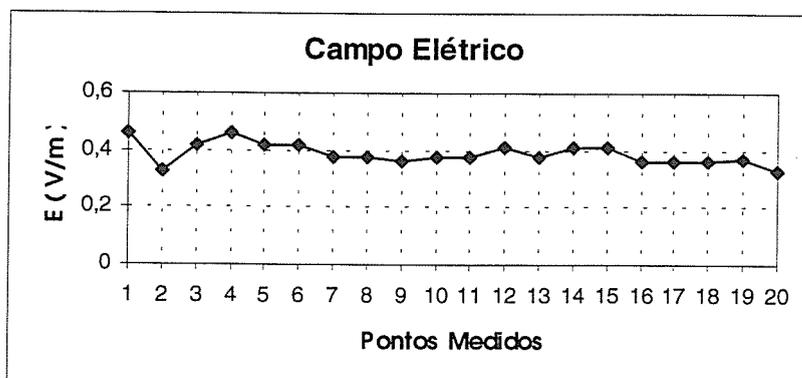


Gráfico 5.96 - Instrumento de medição a 60 cm da lateral

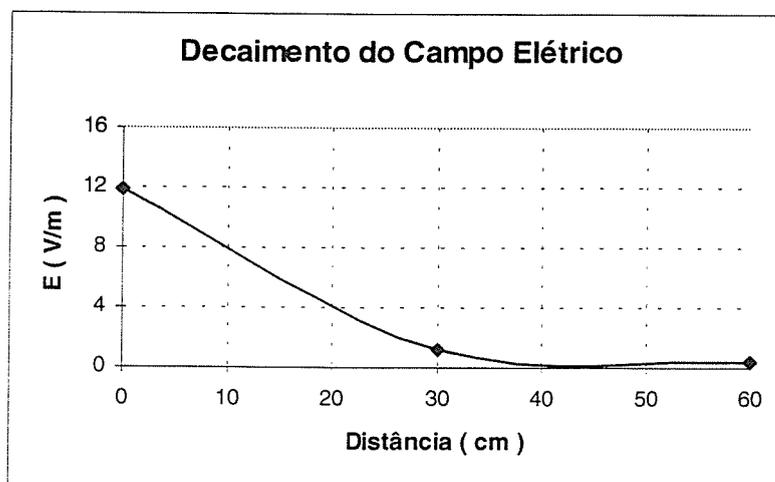


Gráfico 5.97 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.7.4 Medições dos campos elétricos gerados numa direção de 60° abaixo da tela de um aparelho televisor

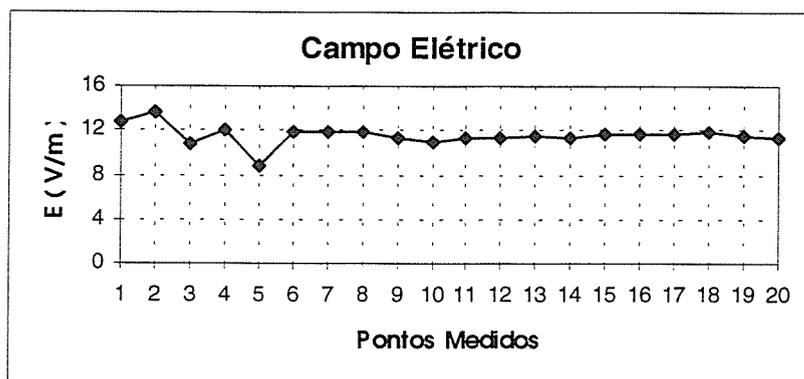


Gráfico 5.98 - Instrumento de medição a 10 cm

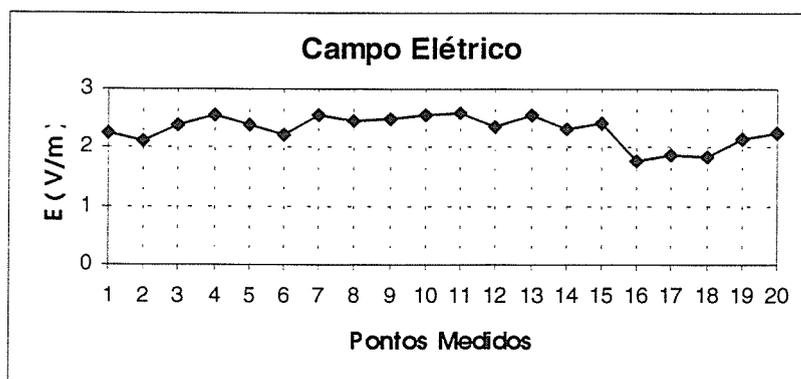


Gráfico 5.99 - Instrumento de medição a 30 cm

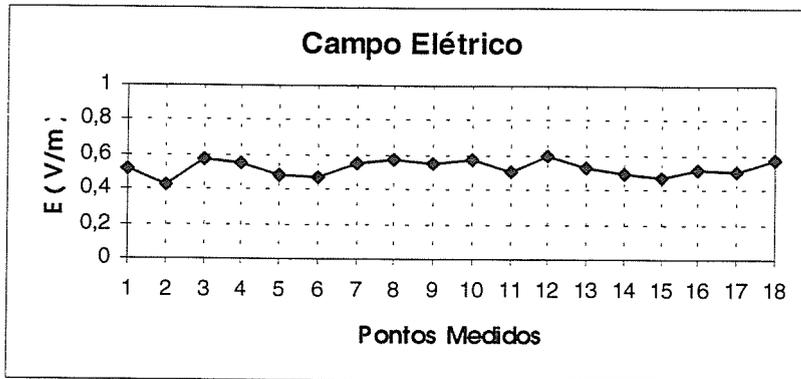


Gráfico 5.100 - Instrumento de medição a 60 cm

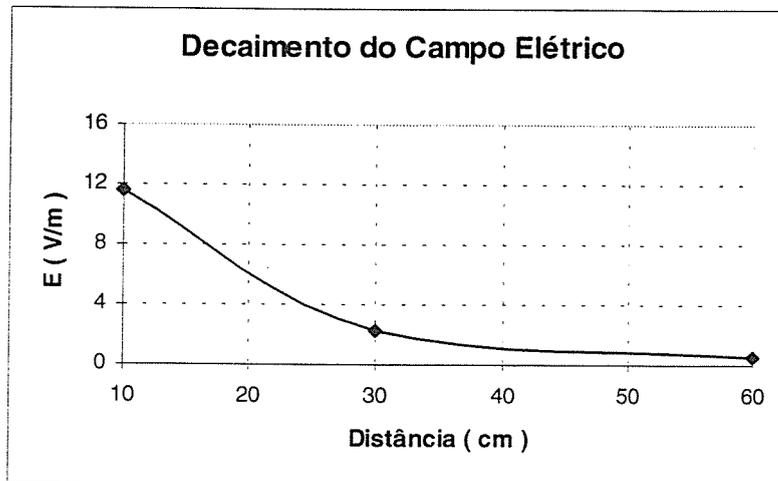


Gráfico 5.101 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

5.7.5 Medições dos campos elétricos gerados à frente da tela de um aparelho televisor (marca Kirey)

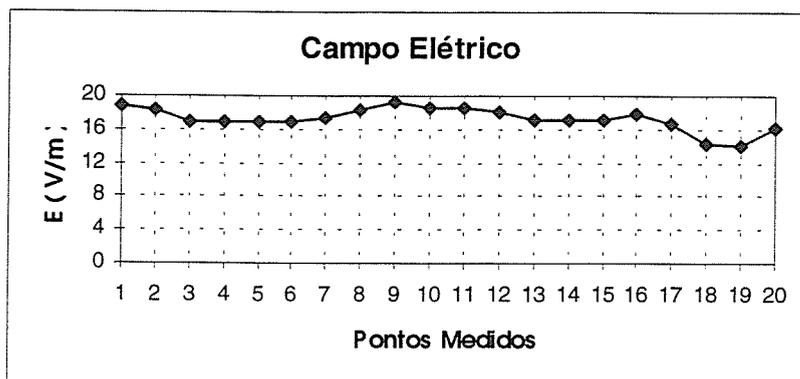


Gráfico 5.102 - Instrumento de medição encostado no centro da tela

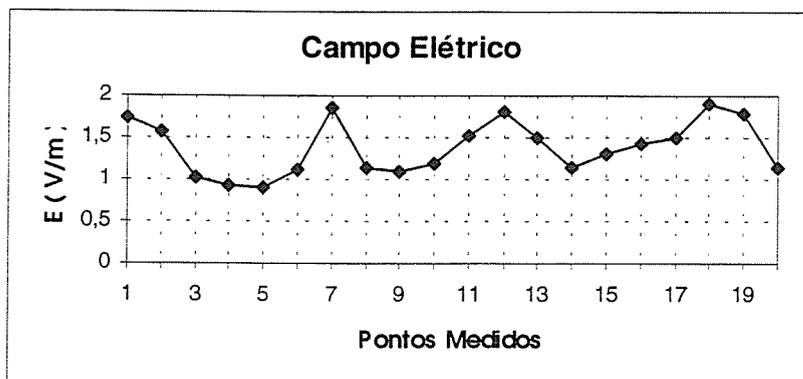


Gráfico 5.103 - Instrumento de medição a 30 cm do centro da tela

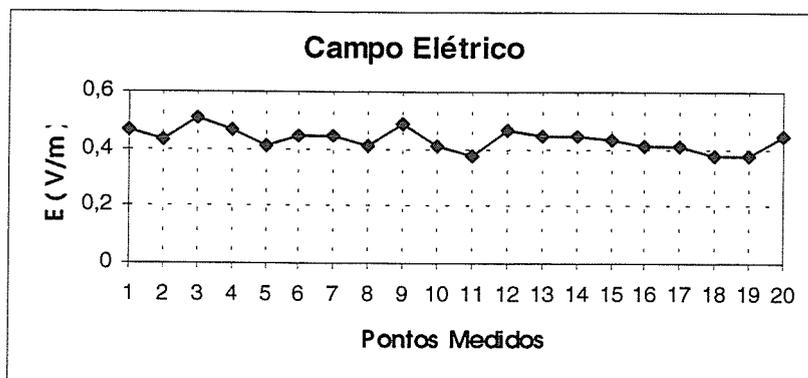


Gráfico 5.104 - Instrumento de medição a 60 cm do centro da tela

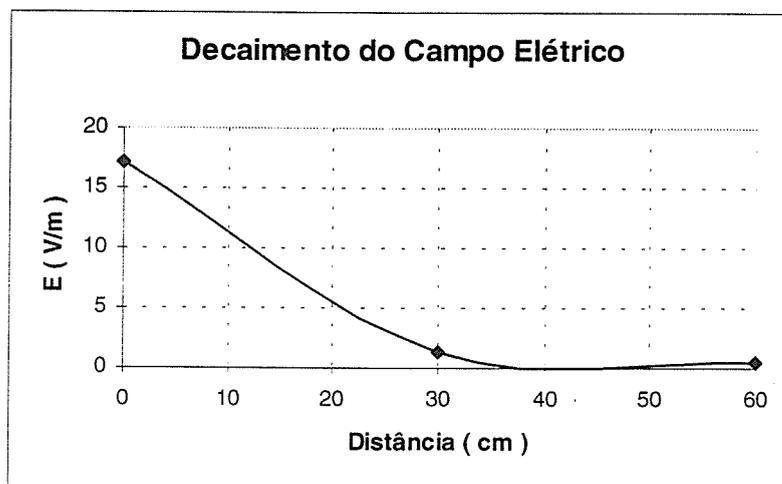


Gráfico 5.105 - Decaimento do campo elétrico em função da distância

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

A proliferação de avançadas tecnologias ajuda o homem em sua eterna evolução mas não deixa de levantar questões científicas e filosóficas acerca do real benefício de sua utilização. A atividade humana tem mudado desordenadamente o eletromagnetismo da Terra e existem evidências de que o presente ambiente eletromagnético anormal pode constituir um sério risco à saúde. O homem está alterando a *assinatura eletromagnética* do mundo e o está fazendo sem o entendimento claro das implicações a si próprio e às outras espécies.

Até hoje ainda não existem evidências concretas do perigo supostamente cancerígeno associado à exposição a campos eletromagnéticos associados com o uso de aparelhos elétricos nas mais variadas faixas de frequência.

Os possíveis danos à saúde são objetos de estudo pela comunidade científica mundial a vários anos e uma certeza é que estes campos têm uma certa influência no organismo humano, como através da elevação da temperatura e da alteração das taxas de metabolismo celular.

Visando a minimização dos efeitos biológicos no corpo humano, vários institutos de pesquisa e órgãos internacionais em todo o mundo estabelecem normas e limites de exposição a campos eletromagnéticos.

No presente trabalho, embasados com um estudo das principais questões acerca dos riscos à saúde devido à exposição a campos eletromagnéticos, fizemos várias medições de campos elétricos em alta frequência de alguns equipamentos e confrontamos essas medições com os limites da norma **ICNIRP**. Contribuindo para levantar o problema no âmbito da comunidade acadêmica da **UFMG**, esperamos que a experiência acumulada e repassada na forma desta dissertação de mestrado ajude em futuros trabalhos.

Entre as observações mais importantes pudemos concluir que os níveis de sinais no ambiente produzidos pelas antenas de transmissão celular estão bem abaixo dos limites estabelecidos pelas normas de segurança atuais e, considerando as mesmas, não oferecem qualquer risco à saúde. A única região que poderia oferecer algum risco seria no alto das torres, onde técnicos poderiam ser expostos a níveis mais altos de radiação. Para antenas celulares montadas no topo de uma construção ou edifício, por exemplo, é necessário o controle do acesso às áreas em torno da antena e a imposição de distâncias limites que as pessoas devem manter de modo a assegurar obediência às normas de limites de exposição a campos eletromagnéticos.

A grande questão considerando os riscos à saúde constatada nas medições fica com relação aos usuários de telefones celulares portáteis, emissores de altos campos eletromagnéticos (em comparação às normas de segurança) em regiões críticas da cabeça humana. Comprovamos que altos níveis de campos elétricos podem ser emitidos por equipamentos celulares operando em determinadas situações.

Observamos também altos níveis de campos elétricos em torno do forno microondas que, apesar de estarem dentro das normas de segurança, levantam preocupações quanto à utilização do eletrodoméstico.

Os campos elétricos medidos em torno das telas dos televisores e do monitor de um microcomputador foram todos abaixo dos limites máximos permitidos pelas normas de segurança.

Quanto ao que foi exposto a respeito dos telefones celulares portáteis, observa-se que ainda não há comprovação definitiva de que a utilização dos mesmos faça mal à saúde. Entretanto já existem evidências suficientes (algumas foram reportadas neste trabalho) mostrando que, dependendo das condições de operação (especialmente quando a antena estiver muito próxima da cabeça), os limites de absorção estabelecidos pelas normas internacionais são superados. E uma vez que a comprovação definitiva, especialmente para os efeitos não térmicos das ondas eletromagnéticas, pode demorar ainda vários anos, é importante que os usuários sejam alertados para os riscos, e que em paralelo alternativas adequadas sejam desenvolvidas visando reduzi-los.

Esperamos que este trabalho sirva de estímulo para a busca mais detalhada de conhecimentos sobre o tema, que ainda levanta mais dúvidas que certezas.

Orgulhamo-nos por termos enfrentados um campo polêmico e ainda pouco conhecido (apesar dos esforços da comunidade científica mundial) e termos conseguido realizar um trabalho consistente de valor social e científico, que poderá servir de auxílio para futuras pesquisas e discussões sobre o tema.

Algumas propostas para futuros trabalhos seriam:

- Análise do nível de **poluição eletromagnética** principalmente nas grandes cidades, através de medições utilizando antenas calibradas e analisadores de espectro.
- Verificação e análise mais detalhada dos níveis de campos eletromagnéticos em alta e baixa frequência em regiões críticas, como nas proximidades de torres de transmissão de rádio, televisão e telefonia celular, linhas de transmissão de energia e subestações elétricas.
- Mapeamento, medições e análise detalhada dos campos eletromagnéticos gerados por antenas e equipamentos de comunicação portáteis.
- Simulação computacional da geometria do telefone e da antena celulares, modelagem da cabeça humana, e simulação da presença de possíveis obstáculos como superfícies refletoras.
- Estudos para se minimizar a interação das antenas dos equipamentos de comunicação portáteis com a cabeça dos usuários de forma a diminuir a absorção de energia.
- Medições dos níveis de campos eletromagnéticos em ambientes industriais.
- Estudos e/ou implementação de medidas de proteção e mecanismos de segurança para reduzir os riscos de exposição principalmente em ambientes industriais.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection: “Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)”, Health Physics 74, 494-522, 1998.
- [2] ANSI/IEEE C95.1-1991, “IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz”, Institute of Electrical and Electronic Engineers, USA, 1992.
- [3] IEEE C95.3-1991, “IEEE Standard Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields - RF and Microwaves”, Institute of Electrical and Electronic Engineers, USA, 1992.
- [4] Kunsh, B., The European Pre-Standard ENV 50166 “Human Exposure to Electromagnetic Fields” in Perspective, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 17-20, Rome, Italy, 1996.
- [5] Vellano Neto, V., “Characterization of the Electromagnetic Emissions From Radio-Base Stations of the Celular Telephony System Regarding Safety”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, São Paulo-SP, Brasil, December 05-09, 1994 .
- [6] Kolher, W., “Calibration of Low Frequency Electric and Magnetic Field Probes, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, September 17-20, Rome, Italy, 1996.

- [7] “Measurement and Calculation of Low Frequency Electric and Magnetic Fields”, 9th International Symposium on High Voltage Engineering, Graz, Austria, August 28 - September 01, 1995.
- [8] “Electric Power Transmission and the Environment: Fields, Noise and Interference”, CIGRÉ Working Group, 1991.
- [9] Henschel, M. and Zemann, E., “Large Scale Measurements of Low Frequency Electromagnetic Fields in Berlin and Field Reducing Activities in Power Stations”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Rome, Italy, September 17-20, 1996.
- [10] Conti, R., “A Review of Recent European Research into Techniques to Control ELF Magnetic Fields”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Rome, Italy, September 17-20, 1996.
- [11] Sebo, S., Caldecott, R. e Kasten, G., “Magnetic Field Reduction Options and Techniques for AC Substations”, Ninth International Symposium on High Voltage Engineering, Graz, Austria, August 28 – September 01, 1995.
- [12] Sussman, S.S., “EMF Exposure Assesment”, CIGRÉ, Electric Power Research Study, Palo Alto-CA, US, August 28 – September 03, 1994.
- [13] Bernardi, P., Cavagnaro, M. and Pisa, S., “Evaluation of SAR Distribution in the Human Head for Cellular Phones Used in a Partially Closed Environment”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.38, N^o.3, August 1996.
- [14] Lazzi, G. and Gandhi, P., “Numerical and Experimental Procedures for SAR Distributions Due to Mobile Telephones: na Overview”, Tutorials from the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Rome, Italy, September 17-20, 1996.

- [15] Gandhi, O.P., and Chen, J.Y., “Electromagnetic Absorption in the Human Head for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Rome, Italy, September 13-16, 1994.
- [16] Ahlbom, A., “Cancer and Residential Exposure to Weak Extremely Low Frequency Magnetic Fields”, CIGRÉ, Karolinska Institute - Sweden, August 28 - September 03, 1994.
- [17] Epstein, M. and Gordon, O., “The Interaction of Static and Alternating Electric Fields with Biological Systems”, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 1976.
- [18] King, R., “The Interaction of Power Line Electromagnetic Fields with the Human Body”, IEEE Engineering in Medicine and Biology, Nov/Dec, pp. 67-78, 1998.
- [19] Ashley, J.R., “The Safety of Overhead Power Lines”, IEEE Engineering in Medicine and Biology, vol 16 - Jan/Feb, pp. 25-28, 1997.
- [20] Becker, R. e Marino A., “Electromagnetism and Life”, State University of New York, Albany, 1982.
- [21] Coray, R. e Gassmann, F., “RF Exposure in a Shortwave Transmitter Environment Including the Influence of Building Structure and Human Body”, International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Rome, Italy, September 13-16, 1994.
- [22] Wickelgren, I., “The Strange Senses of Other Species”, pp. 32-37, IEEE Spectrum, 1996.
- [23] Senise, José Thomaz, “Efeitos Biológicos das Radiações Não Ionizantes: Normas de Segurança para a Exposição a Campos de Rádio Frequência e Microondas”, Instituto Mauá de Tecnologia, Revista Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Vol 11, nº1, Dez-1996.

- [24] Salles, Álvaro Augusto A., “Efeitos Biológicos dos Telefones Celulares Portáteis”, Dept.Eng.Elétrica da UFRGS, Revista Sociedade Brasileira de Telecomunicações, Vol 11, nº1, Dez-1996.
- [25] ICNIRP, R. Matthes, “Non Ionizing Radiation”, Proceedings of the Third International Non-Ionizing Radiation Workshop, Baden, Austria, 1996.
- [26] Vasconcelos, F., “Notas de Aula da Disciplina Medidas Elétricas”, UFMG, 1995.
- [27] Kin, César, “Telefonia Móvel Celular”, Apostila do Cedetec - Inatel, 1997.
- [28] Schwan, H.P., “Biological Effects of Non-Ionizing Radiations: Cellular Properties and Interactions”, Annals of Biomedical Engineering, 16, pp. 245-263.
- [29] Guerra, L.A., “Medição dos Campos Elétrico e Magnético de Baixa Frequência - 5 Hz a 30 kHz - Visando Segurança Pessoal”, Dissertação de Mestrado, CPDEE-UFMG, 1998.
- [30] Foster, K. and Moulder, J., “Are Mobile Phones Safe?”, pp. 23-28, IEEE Spectrum, Vol.37, nº 8, 1999.
- [31] Bitzer, R., “Broadband Field Strength Measuring System Up to 18 GHz”, EMC-Journal, EMV Kompendium 97, pp. 264-267, Germany, 1997.
- [32] “Manual de Operação”, Equipamento de Medição de Campos Eletromagnéticos EMR-300 da Wandel & Goltermann, 1996.
- [33] “International EMF Project”, World Health Organization, 1998 – (www.who.ch/peh-emf)

- [34] University of Missouri-Rolla Electromagnetic Compatibility Laboratory, “John Moulder FAQ’s on Power Frequency Fields and Cancer, Cellular Phone Antennas and Human Health and Static Electric and Magnetic Fields and Human Health” - (www.emclab.UMR.edu/powfaq.html)
- [35] “Bridlewood Electromagnetic Fields Information Service” - (www.ncf.carleton.ca/bridlewood-eminfo)
- [36] Cherry, N., “Cellphones – A Boon to Modern Society or a Threat to Human Health”, 1999 – (www.nzine.co.nz/features/cellphones.html).
- [37] Cherry, N., “The Electromagnetic Radiation Health Threat”, 1999 – (www.nzine.co.nz/features/neilcherry.html).
- [38] “Assessment of Health Effects from Exposure to Power Line Frequency Electric and Magnetic Fields”, Working Group from NIEHS - National Institute of Environmental Health Sciences, 1998 - (www.niehs.nih.gov/emfrapid/html/WGReport/WorkingGroup.html).
- [39] “Cell Phones and Cancer: What is the evidence for a Connection?”, Radiation Research, vol 151, n°5, pag. 513-31, Maio, 1999 - Radiation Research Society (www.radres.org).
- [40] US Federal Communications Commission (FCC), “ Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields”, OET Bulletin 56, 4th edition, August, 1999 (www.fcc.org/oet/rfsafety).
- [41] ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (www.icnirp.de)
- [42] American National Standards Institute (www.ansi.org)

- [43] Institute of Electrical and Electronic Engineers (www.ieee.org)
- [44] Bioelectromagnetics Society (www.bioelectromagnetics.org)
- [45] European Bioelectromagnetics Association (www.ebea.org)

“ Que a grande Energia do Universo sempre contribua com nossa incessante busca do crescimento espiritual, tornando nossos singelos momentos humanos de conquista e graça em fontes de energia positiva que tragam mais Alegria e Amor a tudo aquilo que conosco compõe o Cosmos. ”

Vilker Martins (1997)