

**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL  
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA ORIUNDA DE  
TELEFONES CELULARES**

**Robinson da Silva Vicente**

**Trabalho de Conclusão de Curso para Obtenção do Título de  
Engenheiro Eletricista**

**Canoas  
2001**



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL  
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA ORIUNDA DE  
TELEFONES CELULARES

Robinson da Silva Vicente

Trabalho realizado no Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Luterana do Brasil - ULBRA, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Canoas  
2001

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista, e aprovado em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dalton Luiz Rech Vidor

Banca Examinadora:

Prof. Leo Weber

Prof. Luis Fernando Espinosa Cocian

Prof. Dalton Luiz Rech Vidor

Prof(a). Marilia Amaral da Silveira (Co-Orientadora)

Prof. M. E. Luis Fernando Espinosa Cocian  
Diretor do Curso de  
Engenharia Elétrica - ULBRA

Este trabalho é dedicado à minha avó,  
a qual sempre rezou e abençoou-me,  
para que tivesse paz e proteção.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais Osvaldo e Geneci da Silva Vicente; a minha namorada, Zilandra Martins; aos meus parentes, amigos e professores; a Deus; enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse realizado em tempo hábil.

Aos engenheiros do Laboratório de Interferência Eletromagnética da CIENTEC, Márcio Hugo Caloy e Leandro Nunes de Sousa, que tiveram papel importante em minha formação profissional e pessoal.

À professora Marília Amaral da Silveira que, no decorrer do semestre, mostrou-se uma excelente e dedicada orientadora, colaborando sobremaneira para a adequação desta publicação aos padrões técnicos exigidos.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XII
RESUMO.....	XIII
ABSTRAT.....	XIV
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 – CONCEITOS SOBRE TELEFONIA CELULAR E INTERFERÊNCIA .....</b>	<b>.....</b>
<b>ELETROMAGNÉTICA .....</b>	<b>22</b>
2.1 – Estrutura do Sistema de Telefonia Celular .....	24
2.2 - Componentes Básicos.....	26
2.3 – Funcionamento .....	27
2.4 - Técnicas de Acesso .....	29
2.4.1 – FDMA.....	30
2.4.2 – TDMA.....	31
2.4.3 – CDMA.....	32
2.5 – Padrões .....	32
2.5.1 - IMTS ( <i>Improved Mobile Telephone System</i> ).....	32
2.5.2 - AMPS ( <i>Advanced Mobile Phone System</i> ).....	33
2.5.3 - TDMA ( <i>Time Division Multiple Access</i> ) .....	36
2.5.4 - CDMA ( <i>Code Division Multiple Acesss</i> ) .....	38
2.5.5 - GSM ( <i>Global System for Mobile Communications</i> ).....	42
2.6 – Interferência Eletromagnética.....	46
2.6.1 – Interferência e Compatibilidade Eletromagnética .....	46
2.6.2 - Imunidade Eletromagnética .....	50
2.6.3 - Supressão de interferências .....	52
2.6.4 - Generalidades sobre os ambientes eletromagnéticos.....	52
2.6.5 – Objeto a ser controlado em EMC .....	53

2.6.6 - Formas de Propagação das Perturbações .....	54
2.6.7 – Dispositivos Radiantes Acidentais .....	55
2.6.8 – Radiantes Não Intencionais .....	56
2.6.9 – Radiantes Intencionais .....	56
2.6.10 – Perturbações Conduzidas .....	57
2.6.11 – Normas Internacionais de EMI/EMC .....	57
2.6.11.1 – FCC ( <i>Federal Communications Commission</i> ).....	61
2.6.11.2 – VDE( <i>Verband Deutscher Elektrotechniker</i> ) .....	62
2.6.11.3 – Norma Brasileira .....	63
<b>3 – ENSAIOS INTERLABORATORIAIS EM TELEFONES CELULARES ..</b>	<b>65</b>
3.1 - Designação das Amostras Ensaadas .....	65
3.2.1 Local de Ensaios .....	66
3.3 – Ensaio para Verificação do Campo Elétrico.....	48
3.3.1 – Equipamentos utilizados.....	66
3.3.2 – Execução do ensaio .....	68
3.3.3 – Resultados obtidos.....	72
3.4 – Ensaio para Verificação da Densidade de Potência Eletromagnética Irradiada por Telefones Celulares .....	74
3.4.1 – Equipamentos utilizados .....	74
3.4.2 – Execução dos ensaios .....	76
3.4.3 – Resultados obtidos .....	78
3.5 – Intercomparação entre os resultados do ensaio com o receptor de banda larga e o receptor de banda seletiva .....	79
3.5.1 – Resultados calculados .....	81
<b>4 – ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA     ELETROMAGNÉTICA ORIUNDA DE ERB's .....</b>	<b>83</b>
4.1 – Equipamentos utilizados .....	83
4.2 – Execução do ensaio .....	84
4.3 – Resultados obtidos.....	88
<b>5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>91</b>
5.1 – Níveis de intensidade de campo elétrico .....	91

5.2 – Níveis da densidade de potência.....	95
ANEXO I .....	100
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>107</b>

## LISTA DE FIGURAS

1 – Diagrama em bloco de um telefone celular.....	16
2 – Disseminação do campo elétrico e magnético gerados por antenas de telefones celulares.....	17
3 – Diagrama em blocos de um marcapasso.....	18
4 – Divisão do espectro de frequência para a telefonia móvel.....	23
5 – Representação gráfica das células do sistema de telefonia celular.....	24
6 – Representação de um sistema de telefonia celular.....	25
7 – Alocação dos canais no espectro de frequência no padrão FDMA.....	31
8 – Alocação dos canais no espectro de frequência no padrão TDMA.....	31
9 – Alocação dos canais no espectro de frequência no padrão CDMA.....	32
10 – Interferência recíproca por múltiplos caminhos.....	38
11 – Diagrama em blocos das etapas necessárias para ocorrer uma situação de EMC.....	47
12 – Faixas de abrangências das principais normas de EMI/EMC.....	58
13 – <i>Set-up</i> para verificação da intensidade de campo irradiado (horizontal).....	69
14 – <i>Set-up</i> para verificação da intensidade de campo irradiado (vertical).....	69
15 – Sistema de teste utilizado para a verificação do campo elétrico.....	70
16 – Foto da disposição da antena e telefone celular durante o ensaio.....	71
17 – Foto da monitoração do campo elétrico verificado.....	71
18 – Gráfico Valores medidos da intensidade de campo elétrico emitido pelas amostras.....	73
19 – Seqüência de parâmetros utilizados para a obtenção dos resultados da intensidade de campo elétrico.....	74
20 - Orientação dos dipolos (ortogonais) de maneira a interagir e indicar medições nos planos X, Y e Z.....	76
21 – <i>Set-up</i> do ensaio para medição da densidade de potência eletromagnética gerada por telefones celulares.....	77
22 – Valores medidos da densidade de potência eletromagnética a partir de telefones celulares	79
23 – Valores calculados da intensidade de campo elétrico a partir dos respectivos valores de densidade de potência eletromagnética emitida pelos telefones celulares.....	82
24 - Valores calculados da densidade de potência eletromagnética a partir dos respectivos valores de intensidade de campo elétrico medidos nos telefones	83
25 – Desenho esquemático dos pontos de medição próximos a ERB.....	86

26 – Diagrama horizontal de irradiação de densidade de potência pela distância ...	87
27 – Diagrama vertical de irradiação de densidade de potência pela distância.....	87
28 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 5 cm. ....	91
29 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 10 cm. ....	91
30 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 20 cm. ....	91
31 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 30 cm. ....	91
32 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 5 cm .....	96
33 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 10 cm .....	96
34 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 20 cm .....	97
35 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 30 cm .....	97
35 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 30 cm .....	98
36 – Limites estabelecidos pela norma ANSI C95.1-1991 .....	98

## LISTA DE TABELAS

1 – Padrão para os modos de estimulação de marcapassos.....	20
2 – Modos de transmissão disponíveis para os telefones celulares.....	29
3 – Características dos telefones ensaiados .....	65
4 – Equipamentos utilizados no ensaio para verificação do campo elétrico oriundo dos telefones celulares .....	67
5 – Valores medidos da intensidade de campo elétrico emitido pelas amostras .....	72
6 – Equipamentos utilizados no ensaio para verificação da densidade de potência eletromagnética oriunda dos telefones celulares .....	75
7 – Valores medidos da densidade de potência eletromagnética a partir dos telefones celulares utilizados como amostras.....	78
8 – Valores calculados da intensidade de campo elétrico a partir dos respectivos valores de densidade de potência eletromagnética emitida pelos telefones celulares.....	82
9 - Valores calculados da densidade de potência eletromagnética a partir dos respectivos valores de intensidade de campo elétrico medidos nos telefones celulares.....	82
10 - Equipamentos utilizados no ensaio para verificação da densidade de potência eletromagnética oriunda de estações rádio base.....	84
11 – Valores medidos da densidade de potência eletromagnética emitida por uma estação rádio base.....	88
12 – Comparação dos valores medidos e dos valores calculados da intensidade de campo elétrico à distância de 5 cm.....	93

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $AF$  - Fator de antena em  $\text{dBm}^{-1}$ .
- $C_1$  - Perdas no cabo coaxial em dB.
- $C_2$  - Perdas oriundas de interconexões em dB.
- $E$  - Campo elétrico em  $\text{dB}\mu\text{V/m}$  medido pelo analisador de espectro.
- $\vec{E}$  - Vetor campo elétrico
- $E_0$  -
- $E_y$  -
- $H$  - Campo magnético.
- $\vec{H}$  - Vetor campo magnético
- $H_0$  -
- $H_z$  -
- $P_1$  - Nível de potência.
- $P_2$  - Nível de potência. explicar melhor!
- $S$  -
- $\vec{S}$  -
- $V$  - Campo elétrico em  $\text{dB}\mu\text{V}$  gerado pelo equipamento sob ensaio.
- $Z$  -
- $f$  -
- $t$  -
- $W$  -
- $x$  -
- $\beta$  -
- $\lambda$  -
- $v$  -
- $\mu_0$  -
- $\epsilon_0$  -

## RESUMO

Com o progresso das telecomunicações e a generalização do uso da eletrônica digital, deverá aumentar gradativamente o universo de equipamentos altamente suscetíveis à interferência eletromagnética. Este fato é consequência do grande número de fontes de propagação de energia eletromagnética (telefones celulares) e da ausência de órgãos, entidades, ou grupos de pesquisa que exijam testes de compatibilidade eletromagnética entre estes dispositivos. A não supervisão da compatibilidade eletromagnética (EMC) entre equipamentos e dispositivos eletroeletrônicos resulta no lançamento de novos produtos que se constituem em possíveis fontes propagadoras de interferência. Este fato ressalta a importância quanto à preocupação da compatibilidade eletromagnética entre o telefone celular e outros equipamentos ou dispositivos eletrônicos, entre eles, o marcapasso. O marcapasso cardíaco também adotou em sua fabricação o uso da tecnologia digital, do tipo CMOS e microcomponentes, do tipo SMD, que entre outras vantagens, possui um baixo consumo de energia e possibilita a implantação de milhares de componentes em um único chip. Entretanto, esses circuitos são mais suscetíveis à interferência eletromagnética devido seus baixos níveis de tensões e correntes de operação. Neste trabalho foram realizados ensaios para a verificação da compatibilidade eletromagnética entre o telefone celular e o marcapasso cardíaco. Foram realizados testes para a obtenção das características eletromagnéticas dos telefones celulares e estações rádio base, os quais podem ser possíveis fontes perturbadoras e, assim, afetar adversamente o funcionamento do marcapasso. Os principais tópicos analisados foram: verificação do campo elétrico irradiado dos telefones celulares e estações rádio base; verificação da densidade de potência eletromagnética irradiada pelos telefones celulares e estações rádio base; verificação da compatibilidade eletromagnética entre o telefone celular e o marcapasso cardíaco. Com a realização deste trabalho foi possível verificar o comportamento funcional dos marcapassos, utilizados como amostras neste trabalho, quando submetido à presença de campos elétricos irradiado a partir de telefones celulares e estações rádio base. Também foi possível identificar os níveis de irradiação dos telefones celulares utilizados como amostras, sendo os resultados comparados a limites indicados por normas para testes de suscetibilidade irradiada.

## ABSTRACT

Com o progresso das telecomunicações e a generalização do uso da eletrônica digital, deverá aumentar gradativamente o universo de equipamentos altamente suscetíveis à interferência eletromagnética. Este fato é consequência do grande número de fontes de propagação de energia eletromagnética (telefones celulares) e da ausência de órgãos, entidades, ou grupos de pesquisa que exijam testes de compatibilidade eletromagnética entre estes dispositivos. A não supervisão da compatibilidade eletromagnética (EMC) entre equipamentos e dispositivos eletroeletrônicos resulta no lançamento de novos produtos que se constituem em possíveis fontes propagadoras de interferência. Este fato ressalta a importância quanto à preocupação da compatibilidade eletromagnética entre o telefone celular e outros equipamentos ou dispositivos eletrônicos, entre eles, o marcapasso. O marcapasso cardíaco também adotou em sua fabricação o uso da tecnologia digital, do tipo CMOS e o uso de microcomponentes, do tipo SMD, que entre outras vantagens, possui um baixo consumo de energia e possibilita a implantação de milhares de componentes em um único chip. Entretanto, esses circuitos são mais suscetíveis à interferência eletromagnética devido seus baixos níveis de tensões e correntes de operação. Neste trabalho foram realizados ensaios para a verificação da compatibilidade eletromagnética entre o telefone celular e o marcapasso cardíaco. Foram realizados testes para a obtenção das características eletromagnéticas dos telefones celulares e estações rádio base, os quais podem ser possíveis fontes perturbadoras e, assim, afetar adversamente o funcionamento do marcapasso. Os principais tópicos analisados foram: verificação do campo elétrico irradiado dos telefones celulares e estações rádio base; verificação da densidade de potência eletromagnética irradiada pelos telefones celulares e estações rádio base; verificação da compatibilidade eletromagnética entre o telefone celular e o marcapasso cardíaco. Com a realização deste trabalho foi possível verificar o comportamento funcional dos marcapassos, utilizados como amostras neste trabalho, quando submetido à presença de campos elétricos irradiado a partir de telefones celulares e estações rádio base. Também foi possível identificar os níveis de irradiação dos telefones celulares utilizados como amostras, sendo os resultados comparados a limites indicados por normas para testes de suscetibilidade irradiada.

## 1 – INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, verificou-se uma disseminação explosiva das fontes de irradiação eletromagnética, o que, juntamente com a grande ampliação do espectro de emissões mais elevadas, usadas principalmente pelas empresas de telecomunicações, ocasionou uma virtual saturação da atmosfera terrestre com a presença de radiações eletromagnéticas. Nos últimos anos, o telefone celular foi incorporado ao uso cotidiano das pessoas no mundo inteiro. Recentemente, o Brasil passou por um processo de modernização e ampliação no sistema de telefonia móvel, adotando sistemas digitais de telefonia e privatizando a banda B, possibilitando um aumento significativo do número de usuários e, conseqüentemente, do número de estações rádio base em todas as regiões do país. Inicialmente era utilizado apenas o sistema analógico, o AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*), e, com a reestruturação do sistema, passou-se a contar com a tecnologia digital, utilizando o sistema TDMA (*Time Division Multiple Access*) ou o CDMA (*Code Division Multiple Access*). Isto, possibilitou, segundo a ANATEL, um aumento de 7 milhões de novos usuários até o fim de 1999 e cerca de 10 milhões até o fim do ano de 2000.

Com o progresso das telecomunicações e a generalização do uso da eletrônica digital, deverá aumentar gradativamente o universo de equipamentos altamente suscetíveis à interferência eletromagnética. Este fato é conseqüência do grande número de fontes de propagação de energia eletromagnética (telefones celulares) e a ausência de órgãos, entidades certificadoras, ou grupos de pesquisa que examinem a compatibilidade eletromagnética entre estes dispositivos.

Identicamente à grande maioria dos equipamentos eletrônicos, o sistema artificial cardíaco implantável (marcapasso) também adotou em sua fabricação o uso da tecnologia digital, do tipo CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*) e microcomponentes, do tipo SMD (*Superfice Mount Device*), que entre outras vantagens, possui um baixo consumo de energia e possibilita a implantação de milhares de componentes

em um único chip. Entretanto, esses circuitos são altamente suscetíveis à interferência eletromagnética quando não prevista em projeto.

Os telefones celulares transmitem mensagens analógicas ou digitais, dependendo do tipo de aparelho ou serviço disponível. No sistema analógico as mensagens são transmitidas por modulação, variação de amplitude ou frequência, no sistema digital as mensagens são transmitidas numa seqüência de pulsos rápidos.

O telefone celular é basicamente um transceptor de rádio com recursos mais sofisticados, podendo atingir uma potência de 600 mW em seu transmissor. A Figura 1 ilustra o diagrama em bloco de um telefone celular.

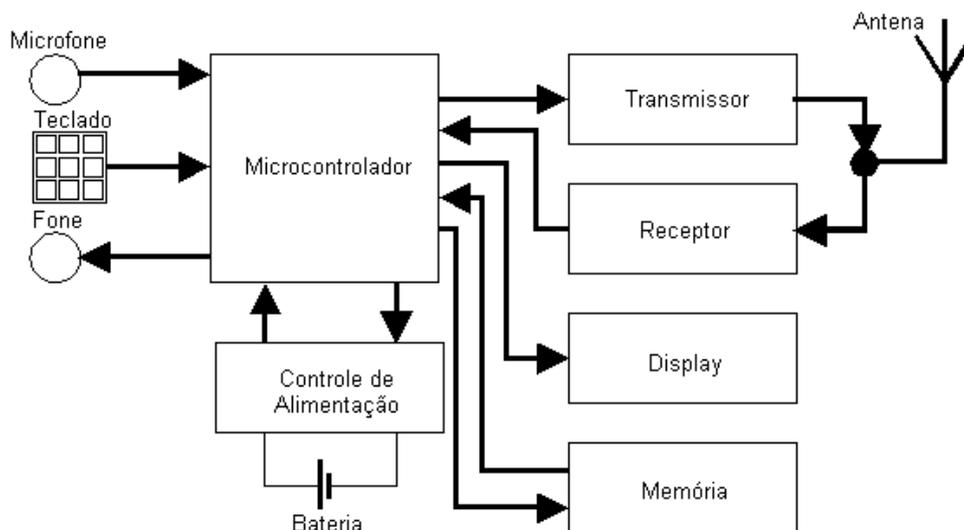


Figura 1 - Diagrama em bloco de um telefone celular.

A antena do telefone celular é a principal fonte de energia eletromagnética, onde o campo elétrico (campo E) encontra-se entre o topo e a base da antena e, o campo magnético (campo H) localiza-se radialmente a

partir do centro da antena. A Figura 2 ilustra a disseminação dos campos elétrico e magnético gerados por antenas de telefones celulares.

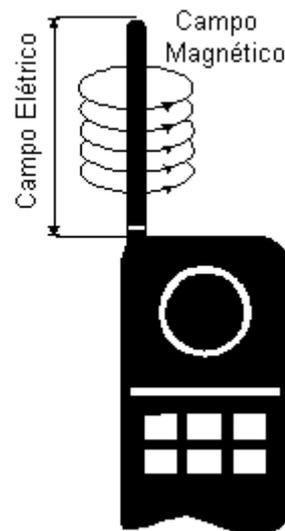


Figura 2 - Disseminação do campo elétrico e magnético gerados por antenas de telefones celulares.

Na estrutura do funcionamento do telefone celular destacam-se o componente denominado modulador de rádio-freqüência, o qual emite ondas eletromagnéticas, e o filtro SAW (*Superfície Acústica Wave*), cuja impedância de entrada é altamente capacitiva, ocasionando um acúmulo de diferença de potencial podendo, assim, provocar interferências no circuito amplificador dos marcapassos.

O marcapasso é um dispositivo eletrônico alimentado por bateria, ambos implantados no interior do corpo humano para ajudar o coração a bombear sangue suficiente para suprir as necessidades do corpo humano. Assim como o nódulo sino-atrial, o marcapasso produz pequenos impulsos elétricos com níveis suficiente para contrair e relaxar o coração. O marcapasso é constituído por duas partes: os cabos eletrodos, que são constituídos de fios metálicos, revestidos por material isolante (silicone ou poliuretano), com um (unipolar) ou dois (bipolar) pólos metálicos em sua extremidade distal, ambos conectados ao gerador de pulsos (unipolar ou bipolar) por sua extremidade proximal. Estes cabos são responsáveis pelo

transporte dos sinais gerados pelo coração até o gerador de pulsos, e/ou vice versa. A extremidade distal dos cabos-eletrodos pode estar posicionada no átrio, no ventrículo ou em ambas as cavidades, resultando em sistema de estimulação atriais, ventriculares ou bicamerais respectivamente. O gerador de pulsos é responsável pela monitoração dos sinais elétricos gerados pelo coração, realizando constantemente a comparação e verificação quanto à necessidade da emissão de estímulos elétricos. Os primeiros geradores de pulsos fabricados eram constituídos essencialmente de um circuito oscilador e um conjunto de pilhas, funcionando no modo assíncrono, isto é, competiam com os ritmos próprios do paciente. Posteriormente foram desenvolvidos novos modelos de marcapassos proporcionando maiores recursos quanto a seu modo de funcionamento. A figura 3 apresenta o diagrama em blocos de um marcapasso.

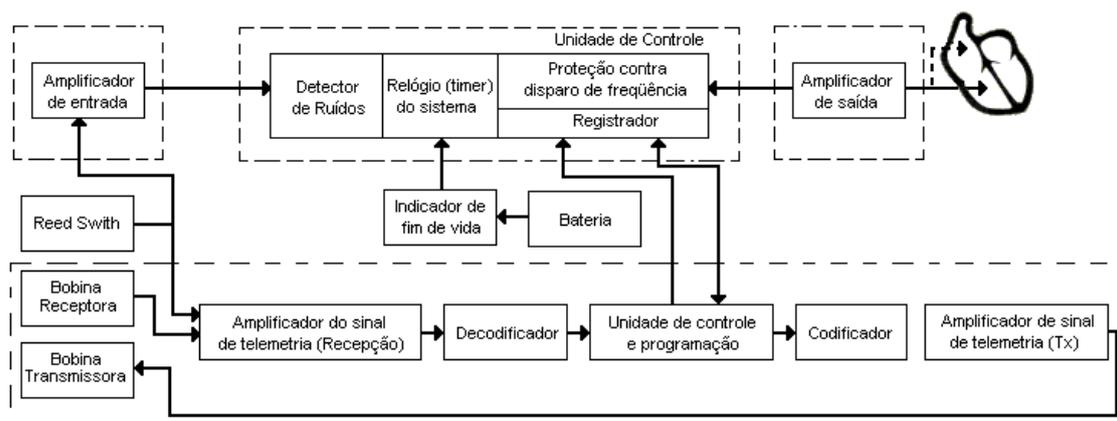


Figura 3 - Diagrama em blocos de um marcapasso.

Os marcapassos comercializados no Brasil são todos importados, pois a fabricação destes dispositivos requer sistemas de alta tecnologia e o uso de matérias prima de alta performance e confiabilidade, tornando-se, assim, inviável a fabricação com os atuais recursos tecnológicos existentes no Brasil. Os marcapassos acompanharam o processo de modernização e passaram a contar com recursos cada vez mais sofisticados.

Antigamente os marcapassos funcionavam apenas em modo assíncrono. Atualmente, além de funcionarem apenas quando o coração necessita, ainda monitoram características relacionadas à frequência de batimento, amplitude dos pulsos produzidos pelo coração, e ainda possuem vida útil muito maior quando comparados aos antigos.

Dentre as diversas características que os marcapassos podem possuir, ressaltamos as seguintes:

**câmara simples:** um marcapasso de câmara simples possui apenas um eletrodo levando os impulsos elétricos do gerador para o coração. A maioria dos geradores câmara simples estimulam a câmara inferior (ventrículo) do coração;

**câmara dupla:** um gerador dupla câmara possui dois eletrodos (um em átrio e outro em ventrículo), estimulando e/ou sentindo tanto átrio como ventrículo;

**demanda:** muitas pessoas que necessitam de um marcapasso ainda possuem alguma atividade cardíaca natural, por isto todos os marcapassos implantáveis atualmente são do tipo de “demanda”. Este tipo de marcapasso só estimulará o coração caso este pare de bater, ou frente a necessidade de estímulos, não competindo assim com o coração;

**frequência:** Os marcapassos mais modernos são conhecidos como “com resposta de frequência”. Estes geradores são capazes de aumentar ou diminuir sua frequência de acordo com a necessidade do organismo, permitindo que o coração bata a uma frequência mais baixa no repouso, e a uma frequência mais elevada durante exercícios físicos. Estes geradores possuem sensores especiais que monitoram as necessidades corporais, variando a frequência caso seja necessário;

**modo de estimulação:** em julho de 1981, foi criado um código para identificação da funcionalidade dos marcapassos cardíacos artificiais pela I.C.H.D. (*Intersociety Commission for Heart Disease*). Este código permite com o uso de cinco letras definir com precisão os diferentes tipos de marcapassos cardíacos utilizados em uso clínico. A tabela 1 apresenta a codificação criada pelo I.C.H.D.

Tabela 1- Padrão para os modos de estimulação de geradores de pulso implantáveis.

1ª Letra	2ª Letra	3ª Letra	4ª Letra	5ª Letra
câmara estimulada	câmara detectada	Modo de resposta	parâmetros programáveis	Taquiarritmias
V	V	T	P	B
A	A	I	M	N
D	D	D	O	S
S	S	O	-	E
-	O	R	-	O

**V** - ventrículo    **A** - átrio    **O** - não se aplica    **I** – inibido    **T** - deflagrado

**D** - ambas as câmaras na 1ª e 2ª letra, e deflagrado e inibido na 3ª letra.

**P** - programável em até dois parâmetros.

**M** - programável em três ou mais parâmetros.

**S** - para uma das câmaras na 1ª e 2ª letra, e resposta em varredura na 5ª letra.

**R** - inibido em ritmos lentos e ativado em ritmos elevados.

**E** - controle externo.

**N** - competição com ritmo normal do paciente.

**B** - trem de pulsos me freqüência alta.

Recentemente o artigo “A interferência do telefone celular sobre o marcapasso permanente” [1] analisou os resultados de um estudo realizado em 106 pacientes portadores de marcapassos permanentes, de vários modelos e fabricantes, submetidos a variadas programações de modo, comando, sensibilidade e polaridade. Os pacientes tiveram uma monitoração constante por meio de um cardioscópio, que registrou o funcionamento do marcapasso frente ao campo eletromagnético irradiado por um telefone celular. Nesse trabalho, o telefone celular utilizado (modelo PT550 da Motorola) foi colocado em ambos os ouvidos do paciente e sobre a loja do marcapasso. Observou-se que, dos 106 portadores de marcapasso, 7,8% deles apresentaram anormalidades quanto ao seu funcionamento. Os

problemas mais freqüentes detectados pelo cardioscópio foram pausas seguidas por aumento da freqüência do marcapasso, e reversão assíncrona. Estes problemas foram observados em outros trabalhos [2], evidenciando, assim, a interferência do telefone celular sobre o marcapasso.

Neste trabalho será analisado a compatibilidade eletromagnética entre o telefone celular e o marcapasso, porém, o marcapasso foi ensaiado de acordo com critérios estabelecidos na norma brasileira NBR 10337 (Marcapassos Cardíacos Artificiais Implantáveis - Geradores de pulso – Ensaio de verificação), onde o mesmo foi ensaiado em uma cuba com solução salina com características de impedância similar ao corpo humano. Também será apresentado o levantamento dos níveis de campo elétrico e densidade de potência eletromagnética gerados por telefones celulares e estações rádio base, o que permite compará-los a limites indicados por normas de suscetibilidade eletromagnética. A importância do conhecimento da intensidade e densidade dos campos emitidos através de telefones celulares é de grande importância, pois o universo de equipamentos eletrônicos que podem sofrer com a interferência eletromagnética através destes níveis de campo envolvem as mais diversas áreas, seja no ambiente hospitalar, industrial, científico, computacional, de pesagem, etc. Com estes dados será possível implantar sistemas de proteção em dispositivos e equipamentos eletrônicos que sejam suscetível à presença do telefone celular.

## **2 - CONCEITOS SOBRE TELEFONIA CELULAR E INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA**

A capacidade de se comunicar a qualquer hora, e de qualquer lugar é um princípio característico não somente do sistema de telefonia celular, mas também, de todo o tipo de comunicação sem fio. Este tipo de sistema tornou-se um sucesso no mundo inteiro, aumentando diariamente o número de usuários. Ele se ajustou de forma a possibilitar a agilidade necessária aos grandes centros urbanos, bem como, a facilidade de comunicação nos centros rurais.

O sistema sem fio utiliza ondas de rádio ao invés de cabos, fios, fibras ou qualquer meio físico. As comunicações de rádio são um processo relativamente simples. Uma informação, ao ser transmitida ou enviada, é imposta localmente gerando um sinal de frequência de rádio (*Radio frequency – RF*) chamado de *carrier*, ou portadora. O processo de impor um sinal de informação no *carrier* é chamado de modulação. Este sinal é emitido por uma antena transmissora, a qual irradia no ar informações sob a forma de campos eletromagnéticos. A frequência da onda de rádio é medida pela taxa de oscilação de ciclos por segundo ou hertz.

No receptor, o sinal é captado através de uma antena, a qual produz uma relação entre o campo medido e o sinal de saída em seus terminais. Após, o sinal é inserido em um receptor onde é selecionado a portadora contendo o sinal desejado. O sinal é então extraído da portadora através de um processo chamado demodulação. Estes passos retratam de maneira simplificada o processo de transmissão sem fio.

O telefone celular funciona de maneira similar a qualquer outro dispositivo de comunicação sem fio, sendo transmitidas mensagens analógicas ou digitais, dependendo do tipo de aparelho e do serviço disponível na região. No sistema analógico, as informações são transmitidas pela modulação ou variação da amplitude da onda, ou ainda, pela frequência. Isto também é chamado de transmissão de acesso múltiplo por divisão de frequência (FDMA). No sistema digital, as informações são transmitidas numa seqüência de pulsos rápidos. Uma vantagem do sistema digital é que ele aumenta o número de usuários por canais. Resumidamente, o sistema analógico transmite seus sinais utilizando ondas contínuas, enquanto o sistema digital utiliza pulsos.

Tanto o sistema digital como o analógico opera em uma faixa de frequência compreendida entre 824 e 894 MHz, onde a faixa de 824 a 849 MHz é destinada para a transmissão do telefone celular à estação rádio base, e a faixa de 869 a 894 MHz é destinada à transmissão da estação rádio base para o telefone celular. A Figura 4 apresenta a divisão do espectro de frequência destinado para telefonia celular.



Figura 4 - Divisão do espectro de frequência para a telefonia móvel.

Para haver a livre concorrência entre empresas que prestam este tipo de serviço, o espectro de 824 a 894 MHz foi dividido em duas bandas de frequência com largura de 12,5 MHz. Compreendendo um total de 832 canais com largura de 30 kHz.

## 2.1 – Estrutura do Sistema de Telefonia Celular

No sistema de telefonia celular, as células são divididas como áreas de serviço individuais, onde cada uma delas possui um grupo de canais designados de acordo com o espectro disponível. Cada célula possui uma estação rádio base, permitindo, assim, o uso de transmissores de baixa potência.

A primeira impressão, quando falamos em célula, é que sua estrutura é circular, porque em condições ideais de propagação e utilizando antenas isotrópicas, a zona de cobertura seria uniforme. Porém, quando existem muitas células, o modelo de irradiação circular tem alguns problemas, como por exemplo, as áreas de superposição e de sombra. A representação por hexágonos possibilita que essas células sejam dispostas lado a lado, sem problemas de sobreposição ou áreas de sobras. A figura 5 ilustra a representação gráfica da disposição das células no sistema de telefonia móvel.

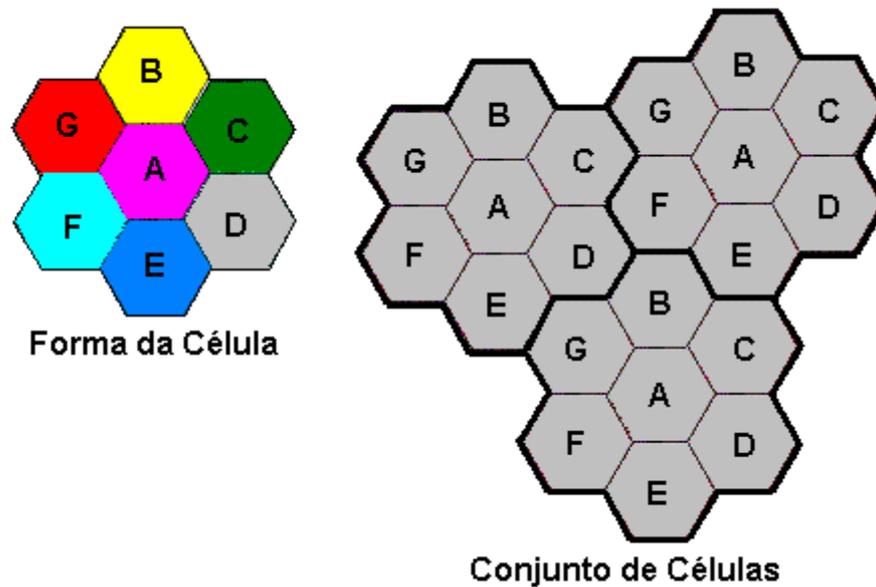


Figura 5 - Representação gráfica das células do sistema de telefonia celular.

Então, para se montar um sistema de telefonia móvel, subdivide-se uma área geográfica em células hexagonais, cada uma dispendo de uma estação rádio base, antenas direcionais, controle, e interligação com o sistema telefônico convencional.

Um telefone celular, em trânsito por determinada área, envia uma mensagem à estação rádio base quando deseja fazer uma chamada. Essa mensagem, após ser processada e aceita pelo terminal de controle, leva à conexão do telefone celular através da concessão de um canal disponível. Todas as transmissões envolvem um canal de transmissão e outro de recepção. A figura 6 representa um sistema de telefonia celular.

## ESQUEMA DA REDE CELULAR

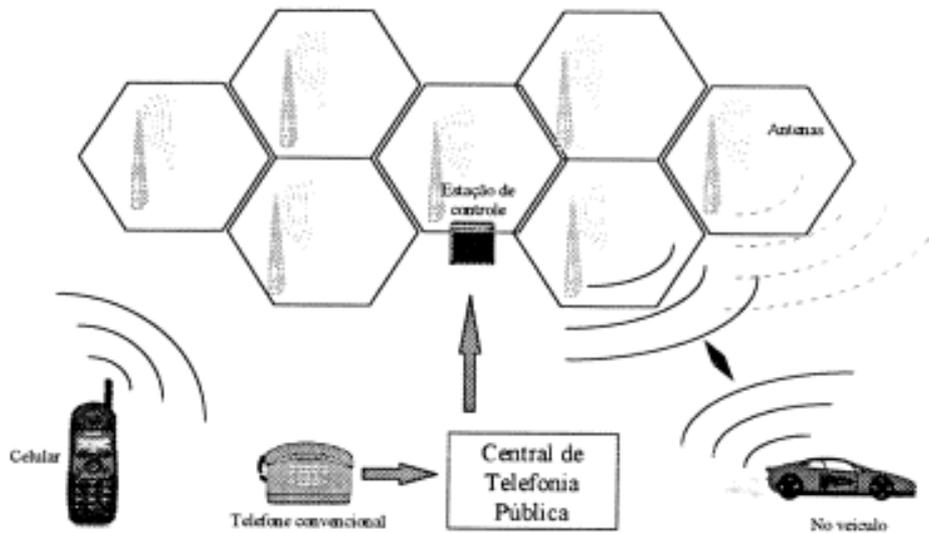


Figura 6 - Representação de um sistema de telefonia celular.

O tamanho hexagonal da célula é definido através da potência dos transmissores, e pela atenuação do sinal, sendo que o último pode ser escutado em sua célula e em outras duas células vizinhas.

Para garantir qualidade do sinal e diminuir o nível de ruído no sistema de telefonia celular, são instaladas três antenas direcionais em cada célula, dividindo-as em três setores defasado entre si de  $120^\circ$ .

A passagem de um setor para outro, dentro da mesma célula, fica a cargo dos equipamentos de controle internos à célula. E quando a movimentação trata-se de uma célula para outra o procedimento é diferente. Ao verificar a apresentação de um nível mínimo, de recepção do sinal da célula de origem, o terminal de controle comuta o telefone para um canal disponível em uma célula vizinha. O canal utilizado na célula de origem é deslocado e torna-se disponível para outra alocação. Muitos sistemas de telefonia celulares esperam em torno de 100 milissegundos após a liberação do canal de origem antes de alocar o novo canal na célula vizinha. Este atraso não interfere na comunicação de voz mas traz problemas na transmissão de dados.

## 2.2 - Componentes Básicos

Um sistema de telefonia celular típico é constituído de três componentes básicos, além das conexões entre estes elementos, os quais são:

⇒ Centro de Comutação e Controle, ou Central de Controle Celular (CCC);

⇒ Estação Rádio Base (ERB);

⇒ Estação Móvel.

O CCC é responsável pelas funções operacionais da rede móvel, sejam: comutação, controle, tarifação e conexão com a rede fixa (RTPC- Rede de Telefonia Pública Comutada).

A ERB fornece a interface entre a central de comutação e controle e as estações móveis (telefones celulares), ela estabelece o enlace radioelétrico com o terminal móvel dentro da área de cobertura de uma célula. As conexões entre ERB e CCC são feitas normalmente por troncos de linhas físicas, sendo também, possíveis conexões por ondas de rádio ou fibras ópticas.

A Estação Móvel (telefone celular) resumidamente é um transceptor de rádio, podendo possuir as configurações veiculares ou portáteis.

Quando é estabelecida uma chamada entre um assinante móvel e um assinante fixo, a transmissão dos dados será via rádio para a estação rádio base situada mais próxima do telefone celular. Depois, esses dados vão para a CCC, do serviço móvel, e então os dados são comutados para a rede de telefonia pública.

Desse mesmo jeito, um assinante fixo acessa automaticamente um telefone celular, através da busca *paging* e da

comutação automática processadas pela central de comutação do serviço móvel.

Os três componentes do sistema de telefonia celular (CCC, ERB e Estação Móvel) são conectados entre si por enlaces de rádio e enlaces de dados de alta velocidade. São realizadas conexões via rádio entre as estações móveis e estação rádio base, onde cada unidade móvel utiliza apenas um canal por vez para seu enlace de comunicação. Este canal não é fixo, podendo ser qualquer um dentro da faixa de frequência alocada pela área de serviço.

### **2.3 - Funcionamento**

A idéia básica do conceito de telefonia celular baseia-se na re-alocação da frequência, onde o mesmo subconjunto de canais pode ser utilizado em diferentes áreas geográficas suficientemente distantes uma das outras, de forma que a interferência cocanal (canal de mesmo número) esteja dentro dos limites toleráveis.

O conjunto de todos os canais disponíveis no sistema é alocado em grupo de células, que constitui um *cluster*. Para efeito de planejamento, as células assumem formato hexagonal, sendo o hexágono uma figura geométrica regular que mais se aproxima de um círculo. Os *clusters* podem acomodar apenas alguns padrões de células como 1,3,4,7,9,12,13,..., sendo os mais comuns 4 e 7.

Os níveis de interferência são calculados conhecendo-se o *lay-out* do sistema, as distâncias entre as células, e as potências das estações rádio base.

A medida em que a estação móvel se distancia da estação rádio base o sinal diminui, neste momento o CCC verifica a necessidade da troca do sinal para uma outra célula vizinha. Esse processo é chamado de *handoff* (ou *handover*).

Um grande número de estações rádio base é controlado pelo CCC. Cada unidade móvel possui um registro concedido pela CCC. Toda vez que uma unidade móvel migrar para uma área controlada por outra CCC, deverá ser concedido, por parte do CCC local, um novo registro a unidade móvel. Este processo é chamado *roading*.

O planejamento celular demanda uma grande quantidade de informação relacionada com a demografia e com o mercado. O projeto é multidisciplinar, envolvendo todas as áreas das telecomunicações.

Os principais passos dentro do Sistema Celular são: 1º) definir a área de serviço (geralmente a companhia se encarrega dessa tarefa); 2º) definição do perfil do tráfego; 3º) escolha adequada do padrão e realocação dos canais; 4º) localização das estações bases.

## 2.4 - Técnicas de Acesso

O acesso à interface rádio pode ser feito com três técnicas distintas: FDMA, TDMA e CDMA. A tabela 2 indica os modos de transmissão disponíveis para os telefones celulares [3].

Existem dois tipos de sistemas digitais, o TDMA (acesso múltiplo por divisão de tempo) e o CDMA (acesso múltiplo por divisão de código). No sistema TDMA, a transmissão dos sinais é realizada por seqüências curtas de pulsos rápidos. Atualmente existem três sistemas principais que fornecem a transmissão TDMA: a Celular Digital da América do Norte (NADC), a Sistema Global para Comunicações móveis (GSM) e a US TDMA.

Tabela 2 - Modos de transmissão disponíveis para os telefones celulares.

Modos de transmissão para os telefones celulares					
Modos	Categoria	Tipo	Siglas	Potência	Uso
Analogico	Acesso Múltiplo por Divisão de Freqüência (FDMA)	Freqüência Modulada	AMPS, NAM PS	0,6 – 3,0 W	Mundial

Digital	Acesso Múltiplo por Divisão de Tempo (TDMA)	Digital Norte Americano	NADC	0,6 – 3,0 W	USA, América Latina
	Acesso Múltiplo por códigos (CDMA)	US TDMA	US TDMA, ESMR	1,0 W	USA, Japão
		Grupo de Sistema Móvel por Código Seqüencial	GSM	2,0 – 8,0 W	Europa, Austrália
			CDMA, TDMA	0,2 W	USA

A NADC opera em freqüências entre 800 e 900 MHz, sendo os dados transmitidos em pulsos rápidos através de oscilações do sinal, ligado e desligado, 50 vezes por segundo. Os aparelhos portáteis que utilizam esta tecnologia transmitem a uma potência máxima de 0,6 W, sendo que a maior unidade transportável pode transmitir em até 3W.

O GSM opera em freqüências entre 890 e 960 MHz, utilizando uma freqüência de pulso de 217 Hz. Este sistema também utiliza uma pausa DTX de 2 a 4 Hz projetada para economizar a energia da bateria. Modelos portáteis que utilizam a tecnologia GSM transmitem a 2 W, enquanto os modelos transportáveis podem alcançar uma potência de até 8W.

A US TDMA utiliza uma combinação de tecnologia celular de troncos, e opera numa faixa de freqüência de 800 a 900 MHz, utilizando uma freqüência de pulso de 11 Hz. Suas unidades portáteis transmitem a uma potência máxima de 1W.

O sistema CDMA utiliza seqüências complexas de pulsos que, dependendo do montante de unidades vocais sendo transmitidas, pode ocupar uma transmissão em freqüência total, meia freqüência, um quarto de freqüência ou um oitavo de freqüência.

#### 2.4.1 - FDMA

No FDMA (*Frequency Division Multiple Access* - Acesso múltiplo por Divisão de Freqüência), a faixa de transmissão é dividida em um determinado número de canais, que são atribuídos aos usuários através de um processo de consignaçoão de demanda, ou seja, em uma ERB (estação

Rádio Base) o usuário pode utilizar qualquer um dos canais que esteja desocupado naquele instante. Essa técnica somente se aplica aos sistemas analógicos. A figura 7 ilustra o método de divisão de canais no espectro de frequência para o padrão FDMA.

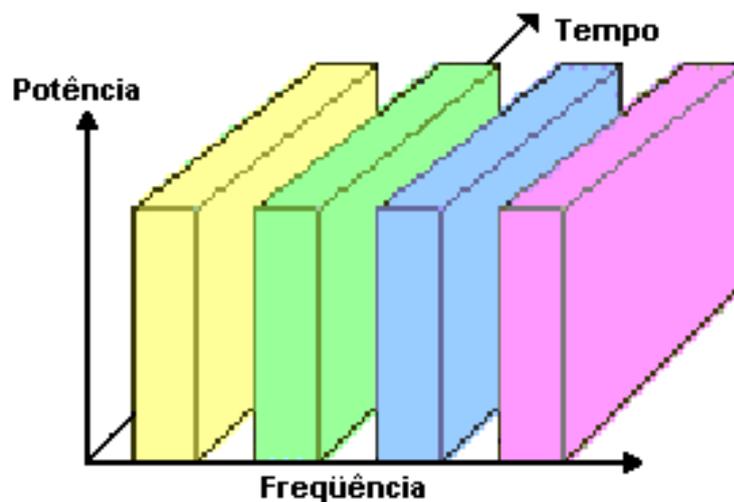


Figura 7 - Alocação dos canais no espectro de frequência no padrão FDMA.

#### 2.4.2 - TDMA

No TDMA (*Time Division Multiple Access* - Acesso múltiplo por Divisão de Tempo), cada usuário dispõe de toda a faixa de frequência durante um determinado período de tempo denominado *slot* (janela). A figura 8 ilustra o método de divisão de canais no espectro de frequência para o padrão TDMA.

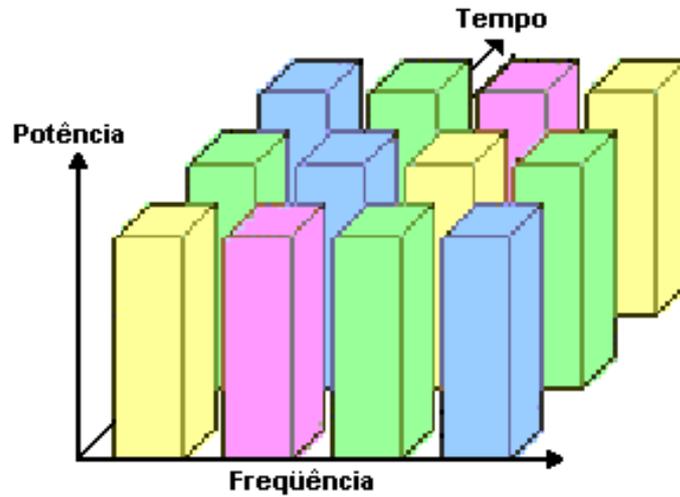


Figura 8 - Alocação dos canais no espectro de frequência no padrão TDMA.

### 2.4.3 - CDMA

No CDMA (*Code Division Multiple Access* - Acesso múltiplo por Divisão de Código), uma seqüência de código distinta é atribuída a cada usuário e todos os usuários utilizam a mesma faixa de frequência. A Figura 9 ilustra o método de divisão de canais no espectro de frequência para o padrão CDMA.

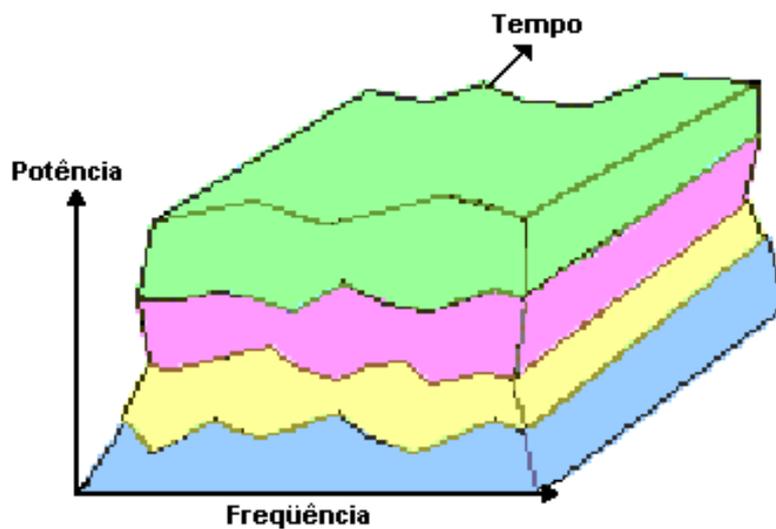


Figura 9 - Alocação dos canais no espectro de frequência no padrão CDMA.

## **2.5 - Padrões**

### **2.5.1 - IMTS (*Improved Mobile Telephone System*)**

Os radiotelefonos móveis foram largamente usados por décadas para comunicação marítima e militar. Esse tipo de tecnologia é utilizado em táxis e carros de polícia. No entanto, nos anos 60, o sistema de telefonia móvel aperfeiçoado (*Improved Mobile Telephone System – IMTS*) foi instalado. Este sistema utiliza uma estação rádio base de alta potência, e duas frequências para seu funcionamento, uma para transmitir os sinais e outra para receber as informações.

O IMTS suportava 23 canais estendidos entre 150 MHz e 450 MHz. Devido ao pequeno número de canais, os usuários normalmente tinham que esperar. Devido, também, à grande potência da estação rádio base, sistemas vizinhos tinham que estar a centenas de quilômetros de distância para não ocorrer interferência. Estes fatos tornaram o sistema impraticável.

### **2.5.2 - AMPS (*Advanced Mobile Phone System*)**

Inventado pelos Laboratórios Bell, da AT&T, este sistema foi o primeiro a ser instalado nos Estados Unidos em 1982. Serviu de base para outros sistemas no mundo inteiro, como o TACS (*Total Access Communications System*) na Inglaterra, o MCS (*Mobile Communication System*) no Japão, o NMT (*Nordiska Mobil Telefongruppen*) nos países nórdicos, o TACS (*Total Access Communication System*) no Reino Unido e o C 450 na Alemanha. No Brasil, a telefonia móvel foi introduzida em 1972, por um sistema de baixa capacidade, com tecnologia IMTS, instalado em Brasília. Entretanto, o primeiro sistema de telefonia celular AMPS somente foi instalado em 1990, pela Telerj, no Rio de Janeiro. Logo depois apareceu o sistema da Telebrasil em 1991.

Hoje, sistemas celulares baseados na tecnologia AMPS são implementadas em mais de 100 países. É interessante notar que não há

nenhum padrão no mundo inteiro sobre a implementação desses sistemas celulares. Os diferentes sistemas empregados geralmente representam tecnologias de rádio diferente, cada um baseado no conceito de AMPS. As tecnologias de rede utilizadas para juntar células também apresentam diferenças. Ou seja, o AMPS pode operar dentro de uma variedade muito ampla de tipos de rede.

O primeiro sistema de telecomunicação móvel baseada na tecnologia celular foi o AMPS. O termo celular refere-se à rede de pequenas células, cada uma fornecendo um alcance limitado de cobertura, as quais são ligadas por meio de um sistema multiplexado controlado por computador, que administra a mobilidade do assinante e conecta uma interface à rede de telefonia fixa. Neste sistema, a região geográfica é dividida em células que possuem entre 10 a 20 km.

A tecnologia é baseada na reutilização da frequência, fornecendo um sistema de alta capacidade o qual permite o acesso à rede utilizando estações móveis de baixa capacidade. O método de modulação da estação rádio base é baseada no sistema analógico FM (*Frequency Modulation*), no entanto utiliza uma frequência de alto alcance e baixa largura de banda.

No centro de cada célula está uma estação rádio base para onde todos os telefones da célula transmite suas informações. A estação rádio base é composta de um computador, um transmissor, um receptor, e uma antena. Num sistema pequeno, todas as estações rádio base estão conectadas a um MTSO (*Mobile Telephone Switching Office*) ou a um MSC (*Mobile Switching Center*). Em sistemas de grande porte, muitos MTSO podem ser necessários, cada um conectado ao outro, porém de segundo nível, e assim sucessivamente.

O processo chamado *handoff* consiste na transferência automática do canal de acesso e controle de uma célula para outra, isto ocorre durante o deslocamento do telefone móvel para fora da área de cobertura de uma célula, migrando para outra. Este processo é controlado

pelo MCS. A operação *handoff* não envolve apenas a identificação da estação rádio base, como também, faz uma requisição para que a voz e os sinais de controle sejam alocados para canais associados à nova estação rádio base. Na decisão de quando o *handoff* é importante, a estação rádio base deve monitorar o nível do sinal por um certo período de tempo. O tempo necessário para haver o *handoff* depende da velocidade em que o telefone móvel se movimenta dentro da área da célula. A estrutura hierárquica da célula usando microcélulas e macrocélulas pode ser utilizada para acomodar tráfego de altas e baixas velocidades.

O sistema AMPS, utiliza 832 canais *full-duplex*, no qual cada um consiste em um par de canais simplex, utilizando o FDM (*Frequency Division Multiplexing*) para separação dos canais. Existem 832 canais simplex para transmissão, compreendidos no espectro de frequência de 824 a 849 MHz, e 832 canais simplex para recepção, compreendidas no espectro de 869 a 894 MHz. Cada canal simplex possui 30 kHz de banda, os quais são divididos em quatro categorias, sendo elas:

- 1) **controle**: utilizado para o gerenciamento do sistema;
- 2) **paging**: utilizado para alertar os usuários das chamadas;
- 3) **acesso**: serve para organização de chamada e distribuição dos canais;
- 4) **dados**: utilizado para transferência da voz, dados ou fax.

Um grande problema para o sistema AMPS é a segurança, pois qualquer pessoa que tenha um receptor adequado, com uma banda de recepção que compreenda a faixa de frequência da telefonia celular, pode sintonizar e ouvir as conversações. Por isso os telefones celulares analógicos são totalmente inseguros. O problema se agrava quando é utilizado um receptor conectado a um computador, este processo é chamado de pirataria, e um ladrão pode monitorar o controle de canais, armazenando o número

serial de 32 bit, e o número do telefone de 34 bit. Se ele estiver dirigindo por apenas 2 horas, poderá juntar um grande banco de dados, podendo utilizar a linha do telefone móvel de outra pessoa. É possível encontrar telefones clonados no mercado paralelo, os quais operam sem contas, porém, podem ser desativados a qualquer momento. Alguns desses problemas podem ser resolvidos pela criptografia dos dados, no entanto, isso dificultaria o trabalho da polícia em colocar grampos.

### **2.5.3 - TDMA (*Time Division Multiple Access*)**

A tecnologia TDMA, ou Acesso Múltiplo de Divisão de Tempo, foi a primeira tecnologia digital implantada para celulares e, por esta razão, é a tecnologia mais difundida no mundo. Essa tecnologia consegue aumentar a capacidade de canais de tráfego de voz em 3 vezes comparado ao AMPS.

O TDMA divide cada canal em um número de *slots* de tempo, no qual cada um constitui um circuito de telefone independente. No sistema TDMA é possível mais de um usuário usarem simultaneamente o mesmo canal de acesso, sendo cada um diferenciado por alocar um *slot* diferente.

No TDMA as frequências são reutilizadas em células suficientemente distantes com o intuito de minimizar a interferência recíproca entre as células vizinhas.

Os padrões digitais TDMA incluem o *North American Digital Cellular* (conhecido pelo seu padrão número IS-54), as Comunicações Móveis para Sistemas Globais, ou GSM (*Global System for Mobile Communications*) e Celulares Digitais Pessoais ou PDC (*Personal Digital Cellular*).

O sistema TDMA normalmente começa com uma fatia de espectro chamada portadora ou *carrier*. Cada portadora é dividida em slots. Os *slots* são utilizados individualmente pelos usuários. Nenhuma outra

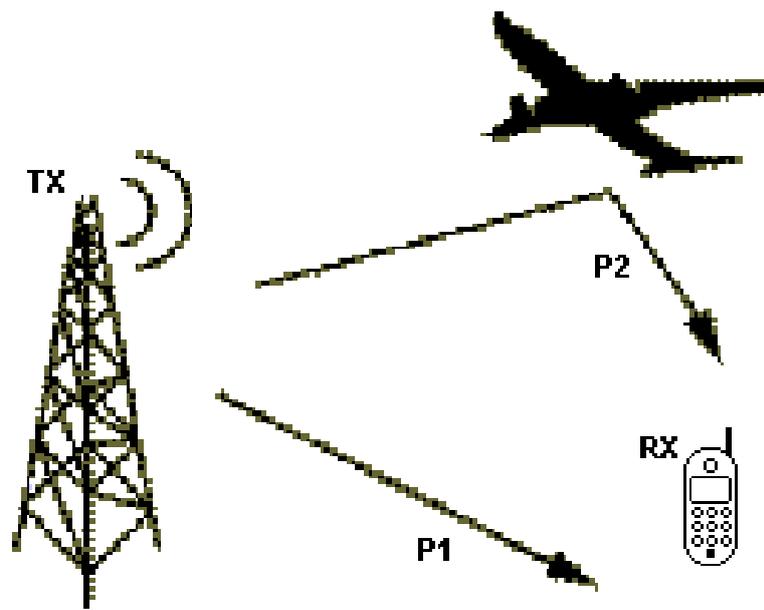
conversa pode acessar esse canal até a chamada do assinante seja finalizada, ou até a chamada original ser passada para um canal diferente pelo sistema.

Os equipamentos e componentes deste sistema são a estação móvel (telefone celular), a ERB (Estação Rádio Base), o CCC (Central de Comutação e Controle), e as conexões, ou seja, basicamente os mesmos do padrão AMPS. O TDMA tem a vantagem de poder ser combinada com esquemas de acesso múltiplo *packet-type* em aplicações integradas do tipo voz/dado.

A tecnologia TDMA é a melhor em relação ao custo, por utilizar equipamentos do sistema analógico que já estão implantados, caso existam.

Uma das desvantagens do TDMA é que cada usuário tem um slot de tempo predefinido. Entretanto, usuários mudando de uma célula para outra, não possui ainda um slot de tempo predefinido, e com isso, se todos os slots da célula estiverem ocupados a ligação será desconectada.

Outro problema com o TDMA é a distorção de múltiplos caminhos, ou seja, um canal saindo de uma torre pode percorrer vários caminhos. Se um caminho passa, por exemplo, por muitos prédios antes de chegar ao seu destino, o sinal pode sofrer interferência. Para a diminuir a interferência é colocado um limite de tempo no sistema. A Figura 10 ilustra os diferentes caminhos que um sinal pode tomar.



### **Múltiplas Interferências**

Figura 10 - Interferência recíproca por múltiplos caminhos.

Em contraste com a tecnologia CDMA, o TDMA está em operação comercial provendo uma plataforma digital de crescimento futuro. O TDMA como um método de acesso já é um padrão mundial bem estabelecido, comercializado com os sistemas GSM, PDC e D-AMPS.

#### **2.5.4 - CDMA (*Code Division Multiple Access*)**

Para a telefonia celular, o CDMA é uma técnica de acesso múltiplo digital especificada pela Associação de Indústria de Telecomunicações (TIA - *Telecommunications Industry Association*) identificada como IS-95. Em março de 1992, a TIA estabeleceu o sub-comitê TR-445 com o decreto de desenvolvimento de um padrão celular digital de espectro estendido. Em julho de 1993, a TIA aprovou o como padrão CDMA IS-95. Os sistemas IS-95 dividem o espectro de rádio em transportadores com 1,250 kHz. Um dos únicos aspectos do CDMA é que enquanto há um

certo limite de número de chamadas que podem ser manuseadas pelo carregador, esse número não é fixo. No entanto, a capacidade do sistema dependerá num número de diferentes fatores.

A tecnologia CDMA, ou Acesso Múltiplo por Divisão de Código, tem ganho uma grande aceitação internacional por parte dos operadores de sistema de rádio celulares, pois aumenta a capacidade do sistema e a qualidade do serviço.

O CDMA é uma tecnologia de espectro estendido, e por muitos anos, tem sido usada para fins militares. O princípio central do espectro estendido é a utilização de *noise-like carrier waves*, ou seja, a largura de banda é mais extensa que o necessário para a realização da comunicação ponto a ponto.

Essa tecnologia representa a expansão da informação contida num sinal particular, cujo maior interesse seja a largura de banda ao invés do sinal original. O CDMA muda a natureza da estação assinante de um dispositivo predominantemente analógico para um predominantemente digital.

Os receptores CDMA não eliminam o processo analógico inteiramente, mas separam canais de comunicação por meio de *pseudo-random modulation* que é aplicada e removido no domínio digital e não na base da freqüência.

A tecnologia CDMA encontra-se em fase de expansão no mundo inteiro e oferece serviços de alta performance para as operadoras. Proporciona um aumento na capacidade do tráfico de canais de voz em cerca de 10 vezes mais em relação ao AMPS. Esta tecnologia acaba com o conceito de reutilização de freqüência, pois, toda vez que um usuário acessa o sistema, um código é atribuído a ele, o qual o identifica no sistema, não sendo mais necessário o reconhecimento do canal e freqüência do sinal de origem (como no sistema AMPS).

O Sistema CDMA é digital, a voz dos assinantes é digitalizada, pelo processo mais comum de conversação (PCM). Essa técnica consiste em se combinar o sinal de voz com uma taxa superior. Como é usado uma largura de faixa bem maior, o espalhamento da informação tem uma vantagem, que é uma pequena quantidade de energia por banda, que garante uma maior imunidade a interferências. Essa diferença na concentração de energia, permite uma fácil diferenciação, conseqüentemente uma fácil separação, entre os sinais codificados, mesmo que usem a mesma portadora ao mesmo tempo.

Sabe-se que a largura de faixa ocupada por um sinal digital é função direta da sua taxa de bits. Quanto maior a taxa, maior a largura de banda necessária, desde que se mantenha o mesmo tipo de modulação. Existe dois padrões de interfaces aéreas CDMA:

⇒ Celular (849-894 MHz) - TIA/EIA/IS-95A

⇒ PCS (1850-1990 MHz) - ANSI J-STD-008

No padrão CDMA IS-95, o sinal PCM de 64 Kbps é comprimido para um sinal de velocidade menor. Esta compressão é feita por um componente com o nome *vocoder* (codificação de voz). Este dispositivo é importante para aproveitar melhor o espectro de freqüência, e onde caberia apenas um canal de 64 Kbps, passa a caber sete canais de 8 Kbps.

A interface aérea do sistema CDMA atende tanto às exigências do padrão digital celular IS-95 quanto às do PCS J-STD-008, e permite *roaming* com o sistema AMPS.

O Sistema CDMA tem três princípios básicos:

⇒ Quanto maior a velocidade do sinal, maior a faixa de freqüências necessárias para transformá-lo;

⇒ Na modulação, ou na codificação, quando a faixa original é expandida, mais fácil será para recuperá-lo, mesmo que ele esteja com ruído;

⇒ Códigos extensos podem ser recuperados sem erros.

Depois que o código é aplicado, os sinais expandidos dos assinantes são transmitidos todos em uma mesma frequência, ou seja, são superpostos.

Nos sistemas celulares existem diversos usuários operando ao mesmo tempo. Com isso, há uma superposição de diversos sinais espalhados dentro da mesma banda, e na recepção, a qualidade do desespalhamento relativo a um usuário dependerá da relação de níveis, entre o sinal e a soma dos espalhamentos dos demais usuários. Para isso, os códigos devem possuir as características de ortogonalidade, isto é, possuírem baixos valores de correlação cruzada entre os mesmos.

O IS-95 (CDMA) foi caro para ser desenvolvido. Era mais complicado tecnicamente, requerendo muitos *softwares* de desenvolvimento e *debugging*.

As principais vantagens do sistema CDMA são as seguintes:

⇒ Aumento de capacidade entre 8 e 10 vezes em relação a tecnologia AMPS, e de 4 a 5 vezes comparado a tecnologia GSM;

⇒ Provê qualidade na chamada, com qualidade de som melhor e mais consistente comparado ao sistema AMPS;

⇒ O sistema é planejado e todos usuários usam a mesma frequência em todo setor de todas células;

⇒ Privacidade herdada;

⇒ *Bandwidth* ou demanda;

Alem disto, o CDMA emprega um simples padrão 1:1 de reutilização de frequências. Isto, conseqüentemente, dá aos planejadores

flexibilidade para localizar ERB's, sintonizar e mudar cargas de serviços entre células sem restringir planos de frequência mais delicados.

As redes CDMA também exigem menos infra-estrutura para alcançar a mesma cobertura, em comparação com tecnologias concorrentes. A maior cobertura de cada estação se traduz na necessidade de um número menor de estações instaladas, o que resulta em um investimento inicial menor e menos infra-estrutura de apoio. A instalação da rede também é realizada de forma mais rápida e com menos infra-estrutura, o que permite que o investimento da operadora se pague em menos tempo.

### **2.5.5 - GSM (*Global System for Mobile Communications*)**

No início dos anos 80, iniciou-se rapidamente um crescimento nos sistemas de telefonia celular analógicos na Europa (em particular no Reino Unido). Cada país desenvolvia seu próprio sistema, e isso o tornava incompatível com todos os outros sistemas, tanto em equipamento quanto em operações. No início de 1982 um grupo de pesquisa formado pela CEPT (*Conference of European Posts and Telegraphs*) formou o *Groupe Spécial Mobile* (GSM) para o estudo e desenvolvimento de um sistema móvel público pan-europeu com as seguintes características:

- ⇒ Qualidade nas chamadas;
- ⇒ Terminais e serviços a baixo custo;
- ⇒ Compatível ao ISDN ;
- ⇒ Suporte para *roaming* internacional;
- ⇒ Suporte a novos serviços e facilidades;
- ⇒ Eficiência de espectro.

E em 1990, foi anunciada a primeira especificação do GSM, e em 1991 foi iniciado o serviço comercial. Depois, em 1993, o GSM

passou a *significar Global System for Mobile Communications*. O GSM é um padrão de telefonia móvel digital que abrange 25 % da população mundial fora dos Estados Unidos. A tecnologia GSM, ao contrário de outros serviços, oferece comunicação digital de ponta a ponta para transmissão de voz e dados.

A GSM é a tecnologia sem fio mais popular no mundo inteiro. A princípio, a GSM foi desenvolvido com o intuito de ser compatível com o ISDN em termos de serviços oferecidos e no controle de sinal utilizado. No entanto, as limitações da transmissão de rádio, em termos de largura de banda e custo, não permite o padrão ISDN *B-channel* com taxa de 64 kbps (*to be practically achieved*).

Utilizando definições ITU-T, os serviços de telecomunicações podem ser divididos em serviços (*bearer*), tele-serviços, e serviços adicionais. A telefonia é o serviço básico mais suportado pelo GSM.

Como todas as outras comunicações, a fala é digitalmente codificada e transmitida através da rede GSM com um *digital stream*. Uma variedade de serviços são oferecidos juntamente com este serviço. Os usuários GSM podem mandar e receber dados, na faixa de mais ou menos 9600 kbps, para usuários POTS (*Plain Old Telephone Service*), ISDN, *Packed Switched Public Data Networks* e *Circuit Switched Public Data Networks*, utilizando uma variedade de métodos de acesso e protocolos, como o X.25 e X.32.

Pelo fato do GSM ser uma rede digital, o modem não é necessário entre o usuário e a rede GSM, sendo assim, é possível conectar um telefone habilitado ao GSM com um *laptop* e mandar e receber *e-mails*, faxes, conectar a Internet, acessar seguramente a LAN, ou intranet, e utilizar outras propriedades (incluindo SMS).

A única característica do GSM que não é encontrada nos sistemas analógicos antigos, é o SMS (*Short Message Service*). SMS é um sistema bidirecional para mensagens alfanuméricas curtas (aproximadamente 160 bytes).

O serviço GSM trabalha com cartões pequenos que contém um chip eletrônico, chamado de cartão SIM (*Subscriber Identify Module*). O cartão SIM é utilizado para identificação do assinante e contém todas as informações relacionadas ao usuário GSM e os serviços fornecidos a ele. Pelo fato de usar frequências de rádio, o GSM é uma plataforma sem fio, isso significa que os usuários GSM podem ser móveis, e computar dados sem fio em qualquer lugar, sem a preocupação com adaptadores, cabos, etc.

A característica *roaming* do GSM permite que seus assinantes possam utilizar os serviços desta tecnologia em qualquer parte do mundo que exista plataforma GSM, e que seus provedores tenham autorização de *roaming*.

As redes GSM operam em três faixas de frequências diferentes:

⇒ GSM 900 – também conhecido como GSM, opera na faixa de 900 MHz e é o mais comum na Europa e no mundo.

⇒ GSM 1800 – também chamado de PCN (*Personal Communication Network*) e DCS 1800. Opera na faixa de 1800 MHz e encontrada num número crescente de países, incluindo França, Alemanha, Suécia, Irlanda e Rússia.

⇒ GSM 1900 – também chamado de PCS (*Personal Communication Service*), PCS 1900 e DCS 1900. Única frequência utilizada nos Estados Unidos e Canadá para GSM. O termo GSM é utilizado normalmente para referenciar qualquer rede celular digital operando na faixa de 1900 MHz, não apenas GSM.

A arquitetura funcional de um sistema GSM pode ser dividida em estação móvel, subsistema de estação base, e subsistema de rede. Cada subsistema possui entidades funcionais que se comunicam através de várias interfaces utilizando protocolos específicos. O GSM é semelhante ao TDMA quando se divide cada portadora de frequência num

número de slots de tempo, no entanto, o GSM possui um número maior de portadoras e slots de tempo que o TDMA.

## **2.6 – Interferência Eletromagnética**

A preocupação dos governos com as perturbações eletromagnéticas não é um assunto recente. Os primeiros problemas foram levantados no início da década de 30, quando constatou-se a difusão explosiva de dois produtos do engenho humano: o rádio e o automóvel.

Para estudar os modos de proteger a qualidade das radiocomunicações diante das perturbações causadas por motores de ignição e aparelhos eletrodomésticos, cinco países europeus uniram-se para fundar em Paris, em 1993, uma organização internacional. A organização recebeu o nome de CISPR (*Comité International Special des Perturbations Radioeltriques*) e os países patrocinadores eram: Alemanha, Bélgica, França, Holanda e Reino Unido[4].

### **2.6.1 – Interferência e Compatibilidade Eletromagnética**

Uma perturbação eletromagnética consiste em qualquer fenômeno eletromagnético que possa degradar o desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema, ou afetar adversamente a matéria viva ou inerte. A interferência eletromagnética consiste na degradação do desempenho de um dispositivo, equipamento, ou sistema ocasionado por uma perturbação eletromagnética. Ou, ainda, pode ser definida como sendo a presença de ruídos, transientes, intermitentes ou contínuos, que influenciam no funcionamento normal de um componente e/ou sistema eletro-eletrônico [6].

Para uma situação de interferência eletromagnética ocorrer são necessárias três etapas, sendo elas:

- 1 – uma fonte de energia eletromagnética;

2 – um dispositivo sensível ao tipo de energia sendo gerado;

3 – um meio favorável para acoplamento da energia entre a fonte e o dispositivo sensível (meio físico ou irradiado).

A figura 11 apresenta o diagrama de blocos das etapas que devem estar presentes para existir uma situação de interferência eletromagnética.

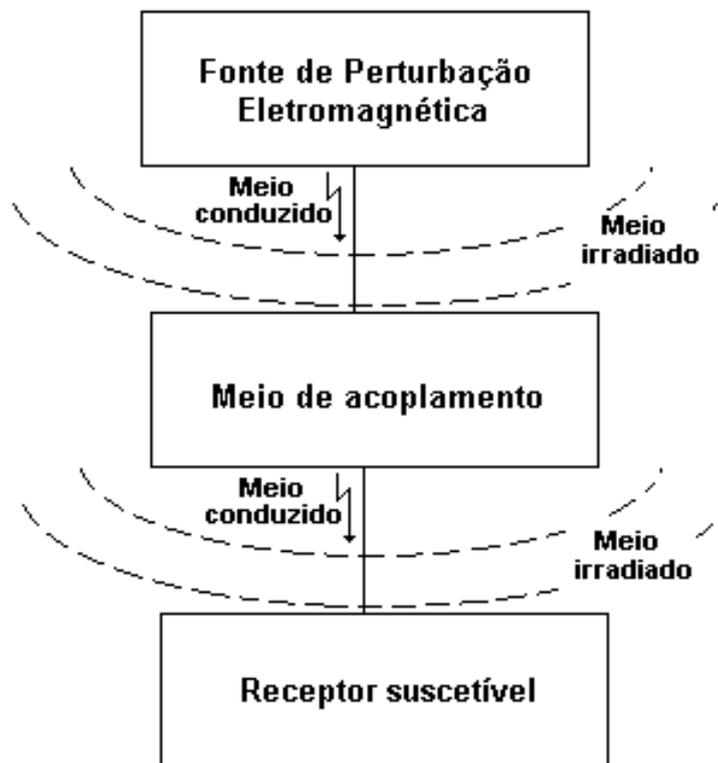


Figura 11 - Diagrama de blocos das etapas necessárias para ocorrer uma situação de EMC.

A interferência eletromagnética genericamente pode ser definida como sendo a presença de ruídos, transientes, intermitentes ou contínuos, que influenciam no funcionamento normal de um componente e/ou sistema eletro-eletrônico. Esta interferência pode ser proveniente de uma fonte de ruído interna ou externa, a qualquer destes equipamentos. Os seguintes equipamentos podem ser exemplos de fontes de ruído: transmissores, fontes de alimentação chaveada, conexões elétrica, sistemas

de ignição de veículos automotivos, linhas de transmissão, tiristores, disjuntores eletro-mecânicos, descargas estáticas, motores, etc. Tais tipos de interferência podem produzir frentes de onda na rede elétrica de várias centenas de volts, com períodos na ordem de nanos-segundos [4].

Considerando valores numéricos envolvidos, por exemplo, para cálculo da perturbação irradiada, conduzida, atenuações e ganhos de um sistema. Para facilitar a apresentação dos resultados de forma gráfica, os valores são expressos em decibel (dB). A equação 2.1 indica a expressão logarítmica para o cálculo do dB.

$$dB = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad (\text{eq.1})$$

onde  $P_1$  e  $P_2$  são níveis de potência. Na equação 1  $P_2$  é considerado o nível de referência. Quando é expresso em watts, então, a abreviação do decibel se torna dBW; se  $P_2$  é expresso em miliwatts, então, a expressão se torna dBm, e assim sucessivamente.

A potência elétrica pode ser obtida através da relação entre a tensão e a resistência, sendo expressa pela seguinte equação:

$$P = V^2/R \quad (\text{eq. 2})$$

Onde  $R$  é a resistência entre os terminais onde “V” é medido. Substituindo, na equação 1, P pela relação apresentada na equação 2 teremos a seguintes expressão:

$$dBV = 10 \cdot \text{Log}_{10} \frac{(V_1^2 / R_1)}{(V_2^2 / R_2)}$$

$$dBV = 10 \cdot \text{Log}_{10} \frac{V_1^2}{V_2^2} - 10 \cdot \text{Log}_{10} \frac{R_1}{R_2}$$

Considerando  $R_1$  e  $R_2$  como valores de impedância iguais, teremos a seguinte expressão:

$$dBV = 20 \cdot \text{Log}_{10} \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

Onde o termo do denominador é a referência da equação, podendo ser expressa em V, dBV, ou ainda dB $\mu$ V [4].

Efeitos de EMI podem resultar em dois tipos distintos de problema, sendo um do tipo intersistema e outro do tipo intra-sistema. Problemas do tipo intersistema são ocasionados pela invasão do espaço alheio quando do encontro entre o sistema perturbado e o sistema perturbador, por exemplo:

⇒ Interferência no receptor de TV doméstico devido ao uso de ferramentas elétricas portáteis;

⇒ Efeito de um transiente na rede elétrica sobre um computador pessoal;

⇒ Interferência de um celular sobre rádios automotivos ou demais equipamentos eletrônicos;

⇒ Interferência do chaveamento de inversores sobre equipamentos ligado a mesma rede comum.

Problemas do tipo intra-sistema ocorrem quando o sistema perturbador e o perturbado não foram corretamente especificados ou projetados para serem compatíveis em seu ambiente comum, como por exemplo:

⇒ Interferência em rádios automotivos causada por ruídos oriundos da ignição do automóvel;

⇒ Interferência em receptores ocasionada pelo transmissor de um transceptor;

⇒ Acoplamento entre estágios de um amplificador devido a fuga de corrente pela carcaça comum;

⇒ Interferência entre circuitos de um computador devido ao acoplamento e desproteção quanto aos harmônicos da fonte chaveada.

A compatibilidade eletromagnética diz respeito principalmente as providências para evitar problemas de interferência do tipo intersistemas, permitindo, assim, a convivência pacífica num dado ambiente. O esforço de EMC normalmente é dirigido para obtenção de ambientes eletromagnéticos adequados, sendo obtido através do uso de supressores de interferência, dispositivos com características de imunidade a interferência ou pela alocação correta no meio físico e do uso adequado de blindagens.

### **2.6.2 - Imunidade Eletromagnética**

É a característica de um componente, dispositivo, ou sistema de operar sem degradação quando na presença de perturbações eletromagnéticas. O nível máximo de uma dada perturbação eletromagnética em um dispositivo, equipamento, ou sistema, para o qual este permanece capaz de operar a um grau exigido de desempenho, é chamado de nível de imunidade eletromagnética. A falta de imunidade eletromagnética é definida por Suscetibilidade eletromagnética [5].

Uma das formas de obter-se a compatibilidade eletromagnética em um determinado ambiente é especificar as características dos equipamentos suscetíveis à interferência, de modo que possa desempenhar suas funções, sem degradação sensível à presença de níveis de perturbação eletromagnéticas conhecidas. Em ambientes militares existe um cuidado especial para a especificação correta de cada componente de acordo com seu ambiente de trabalho.

Nos equipamentos industrializados ou produzidos em série elege-se um ambiente de referência, definido em norma internacionais, quando possível ou passível de sua existência, e delega-se ao usuário a tarefa de implementar a compatibilização local.

De acordo com conceituação da Publicação CISPR [5], a imunidade de um receptor ou equipamento associado caracteriza-se pelo nível de um sinal interferente que sob condições específicas produz uma

degradação especializada. A imunidade pode ser externa ou interna ao sistema em questão.

Imunidade externa é a habilidade de um receptor ou equipamento associado desempenhar, sem degradações, na presença de perturbações eletromagnéticas, entretanto, por outra via que não seus terminais . A imunidade externa pode ser classificada ainda em:

- ⇒ Imunidade a campos ambientais;
- ⇒ Imunidade a correntes induzidas;
- ⇒ Imunidade a tensões induzidas.

Imunidade interna é a habilidade de um receptor ou equipamento associado de desempenhar, sem degradação, na presença de perturbações eletromagnética através de seus terminais.

### **2.6.3 - Supressão de interferências**

A supressão da interferência eletromagnética é uma das formas previstas para proteção do ambiente eletromagnético. Trata-se de técnicas de EMC para eliminar ou reduzir as oscilações eletromagnéticas que podem afetar outros equipamentos, ou ainda, estarem acima dos limites indicados por normas.

A maior parte das ações de EMC/EMI ocorre sobre o projeto dos emissores, buscando a supressão de interferência na fonte. Por exemplo, na Publicação CIPSR 13 [ref. 8] são descritos alguns arranjos para supressão das radiações de ruído eletromagnético ocasionados por sistema de ignição de veículos motorizados, tais como: terminais de velas blindadas, velas com resistor antiparasita, cabos resistivos, cabos reativos, rotor do distribuidor antiparasita, cobertura do distribuidor antiparasita, etc.

### **2.6.4 - Generalidades sobre os ambientes eletromagnéticos**

Nas proximidades dos grandes centros populacionais e industriais o espaço é hoje tomado por todo o tipo de sinais eletromagnéticos, desejados e indesejados, além de, perturbações de natureza eletromagnéticas não compreendidas como sinais.

Os ambientes em que acontecem as atividades, no que diz respeito a presença de campos eletromagnéticos, dividem-se em dois grandes grupos: os controlados e os não controlados. A distinção é necessária por que as normas de proteção devem estabelecer limites diferentes para os dois domínios.

**Ambiente controlado** é aquele em que o indivíduo tem o conhecimento da exposição eletromagnética a que está sujeito. O ambiente controlado pode ser classificado como ambiente industrial, profissional, e comercial. A característica dominante é a que existe risco calculado, e as pessoas envolvidas tem habilitação compatível com o ambiente.

**Ambiente não controlado:** é aquele em que as pessoas desconhecem a possibilidade de estarem expostas a qualquer nível de radiação. O sujeito situado no ambiente não controlado é a pessoa comum, sem habilitação prevista.

Outras classificações mais rigorosas de ambientes podem ser obtidos considerando outros aspectos relacionados com os meios de propagação das perturbações eletromagnéticas:

- a) a proximidade do ambiente em questão com locais ocupados por atividades perturbadoras;
- b) as características do ramal disponível da rede de suprimento de energia elétrica;
- c) o raio de ação das perturbações determinado por requisito de compatibilidade entre sistemas;
- d) o ruído eletromagnético de fundo.

### **2.6.5 – Objeto a ser controlado em EMC**

Como em qualquer ambiente ocupado heterogenicamente, o ambiente eletromagnético deverá possuir disciplina de convivência. A disciplina de convivência é a delimitação do domínio de cada elemento ativo no ambiente, coordenando, e definindo limites para supressão de perturbações e para imunidades. Assim, a compatibilidade eletromagnética deve ter a virtude de qualificar um ambiente dando-lhe características próprias de um sistema.

### **2.6.6 – Formas de propagação das perturbações**

As perturbações eletromagnéticas tem a natureza de campos eletromagnéticos variáveis. Por não serem estáticos esses campos de força tem a propriedade de se deslocar como ondas. Ondas são variações repetitivas da intensidade desses campos, com período determinado, alterando valores de picos entre valores máximos e mínimos. As ondas eletromagnéticas apresentam simultaneamente capacidade de induzir correntes ou tensões elétricas na superfície ou no entorno dos condutores ou isoladores que se interpõe em seu caminho de propagação.

Em função das duas propriedades inerentes à energia eletromagnética, que se propaga graças à dinâmica de alternância dos campos que a caracterizam, sejam o campo elétrico, ou o campo magnético, as perturbações apresentam modos preferenciais de deslocamento, compatíveis com a frequência das alternâncias e com as características do meio. Assim temos dois modos principais de transporte de perturbações: o modo irradiado e o modo conduzido.

**Interferência radiada:** são propagadas através do espaço livre, suportada mais pelas características de isolamento elétrico do

meio, o ar, por exemplo, do que por características de condutividade. Quanto mais alta a frequência, e menor o comprimento de onda, melhor a propagação sob a forma radiada.

**Interferência conduzida:** são propagadas com apoio em substâncias condutoras, por exemplo, fios e linhas de transmissão. Quando mais baixa a frequência e maior o comprimento de onda, melhor a propagação sobre a forma conduzida. O principal suporte das perturbações eletromagnéticas conduzidas é a rede de alimentação da energia elétrica utilizada pelos equipamentos.

### 2.6.7 – Dispositivos Radiantes Acidentais

Os radiantes acidentais recebem esse nome na regulamentação da gerência do espectro por que a rigor comportam-se como radiantes de energia eletromagnética, em nível perturbador, somente devido a erros de projeto, especificações ou, em resumo, falta de qualidade.

A lista de radiantes acidentais é extensa. A título de ilustração apresentamos algumas famílias:

- ⇒ Motores elétricos;
- ⇒ Bombas d'água;
- ⇒ Eletrodomésticos (barbeadores, secadores de cabelo, liqüidificadores, batedeiras, ...);
- ⇒ Sistema de ignição;
- ⇒ Controladores de luzes (dimmer);
- ⇒ Linhas elétricas de alta-tensão;
- ⇒ Lâmpadas fluorescentes;
- ⇒ Isoladores defeituosos.

### 2.6.8 – Radiantes Não Intencionais

Os radiantes não intencionais são dispositivos de radiação restrita, dimensionados para usar radiofrequências apenas localmente. Alguns desses radiantes não intencionais tem reservadas faixas de frequência espectrais, para garantir que não sejam causadores de interferência. É o caso das famílias de equipamentos ISM, destinados a uso industrial, científico e médico. Alguns exemplos de radiações não intencionais são listadas a seguir:

- ⇒ Sistema de TV a cabo;
- ⇒ Circuito fechado de TV;
- ⇒ Fornos de micro ondas;
- ⇒ Aquecedores industriais;
- ⇒ Rádio receptores;
- ⇒ Câmara de TV para monitores e receptores de TV;
- ⇒ Jogos eletrônicos;
- ⇒ Equipamentos eletrônicos digitais, tais como: computadores, balanças eletrônicas, gravadores, fontes chaveada, e etc.

### 2.6.9 – Radiantes Intencionais

Radiantes intencionais são equipamentos projetados para operara usando alguma forma de propagação de ondas de radiofrequência. Alguns radiantes intencionais são utilizados em serviços licenciados, outros são objeto apenas de autorização para fabricação. Alguns exemplos de radiações intencionais são listadas a seguir:

- ⇒ Estações de rádio;
- ⇒ *Walk talkies*;
- ⇒ Microfone sem fio;

- ⇒ Sensores de perturbação de campos;
- ⇒ Transmissores sem fio;
- ⇒ Telefones celulares.

### **2.6.10 – Perturbações Conduzidas**

Qualquer superfície é capaz de guiar ondas eletromagnéticas, conduzindo as perturbações pelos caminhos mais tortuosos imagináveis. Ao contrário das perturbações radiantes, que existem apenas em lances aproximadamente retilíneos, a perturbação eletromagnética de frequências mais baixas é predominante guiada, acompanhando todas as continuidades condutoras. Alguns exemplos de perturbações eletromagnéticas são listadas a seguir:

- ⇒ Comutadores;
- ⇒ Circuitos de aquecimento;
- ⇒ Lâmpadas fluorescentes;
- ⇒ Computadores;
- ⇒ Inversores estáticos;
- ⇒ Dispositivos de controle em sistema automotivos.

### **2.6.11 – Normas Internacionais de EMI/EMC**

Muitas normas e regulamentos foram desenvolvidos para limitar as emissões de dispositivos e para controlar os níveis de imunidade. A maioria dos países, tecnologicamente desenvolvidos, geram suas normas e controlam sua implantação através de organismos regulamentadores, tais como:

- ⇒ FCC – *Federal: Communications Commission* (Estados Unidos);
- ⇒ MIL-STD: *Military Standards* (Estados Unidos);
- ⇒ IEC: *International Electrotechnical Commission*;
- ⇒ FTZ: *Fernmeldetechnisches Zentralamt* (Alemanha);
- ⇒ VDE: *Verband Deutscher Elektrotechniker* (Alemanha);
- ⇒ DIN: *Deutsche Elektrotechnische Kommission* (Alemanha)
- ⇒ CISPR: *Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques* (Suíça).

Muitas das exigências são recentes, e elas estão evoluindo constantemente à medida que mais conhecimentos são obtidos no campo de EMI/EMC. As exigências militares de EMC são baseadas na MIL-STD 461/462, normas editadas pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos. Tais exigências diferem-se substancialmente das normas comerciais, pois tem objetivos diferenciados: operação compatível de sistemas variados sob condições complexas de campo de batalha. As normas de EMI/EMC cobrem uma faixa muito ampla de dispositivos e equipamentos eletrônicos, indo desde equipamentos para tecnologia da informação até navios de guerra. As faixas de frequências consideradas em norma se estendem desde a corrente contínua até frequências acima de 40 GHz. A Figura 12 ilustra a abrangência de algumas normas de EMI/EMC [4] para a emissão de perturbações eletromagnéticas.

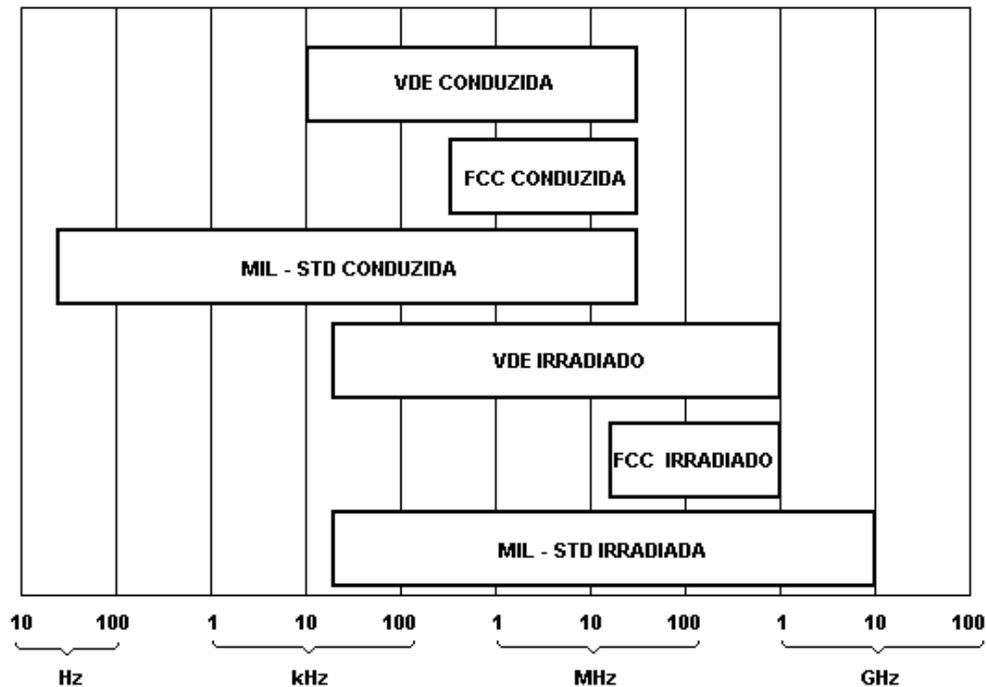


Figura 12 - Faixas de abrangências das principais normas de EMI/EMC.

O CENELEC, subcomitê do CEN (*comitê de normalização europeu*), em 1984 recebeu a tarefa da comissão europeia de elaborar uma sistemática para o controle da normalização destinada à EMC. Segundo a CENELEC as normas de EMC são divididas em três partes:

**Normas básicas:** são normas que definem e descrevem o problema de EMC quanto ao método de medição, método de ensaios, princípios de medidas, e *setup* de ensaio. As normas internacionais CISPR e IEC61000 são normas básicas de EMC (exemplo: CISPR 16 e 61000.3.3).

**Normas genéricas:** são normas ligadas ao ambiente em particular do equipamento. Estas normas especificam uma série de requerimentos e testes que são usadas para todos os produtos e sistemas em um dado ambiente em particular, contudo, que não exista nenhuma norma específica de produto ou sistema. As normas genéricas são especificadas para aplicação em ambientes residenciais e industriais.

**Normas de produto:** são normas divididas em famílias de produtos e normas de produtos especiais. A classificação mais comum usada em EMC são as normas de famílias de produtos. Elas contém os limites para emissão e imunidade para as categorias de equipamentos (exemplo: ferramentas elétricas ou receptores de rádios), como também especificam os processos de medição, e operação dos equipamentos sobensaio. Exemplo de normas de famílias de produto:

### **IEC 601-1-2 Equipamento médicos**

- ⇒ IEC 1000 – 4 – 2 (ESD – 2kV / 4kV / 6kV / 8kV);
- ⇒ IEC 1000 – 4 – 3 (RF – 3V/m 80 MHz a 1GHz);
- ⇒ IEC 1000 – 4 – 4 (EFT – 1kV / 2kV);
- ⇒ IEC 1000 – 4 – 5 (Surge – 0,5 kV/1kV);
- ⇒ IEC 1000 – 4 – 6 (CW - 3V 150 kHz a 80 MHz);
- ⇒ IEC 1000 – 4 – 8 (50 / 60 10 A/m);
- ⇒ IEC 1000 – 4 – 11 (Voltage dips 1 cicle 100%);
- ⇒ IEC 601-1-2 Equipamento médicos.

Como a complexidade das normas impede um tratamento detalhado de todas elas, serão abordadas as normas FCC (padrão americano), VED (padrão europeu), CISPR (normas utilizadas para comparação deste trabalho) e a Norma Brasileira, na parte que trata de equipamentos para tecnologia de informação e equipamentos de uso doméstico, e de ensaios sobre o marcapasso.

#### **2.6.11.1 – FCC (*Federal Communications Commission*)**

A FCC administra o uso do espectro de frequência nos Estados Unidos e, suas normas e regulamentos cobrem produtos e serviços, entre estes, estão os equipamentos para a tecnologia da informação, que a

FCC define como computadores e outros equipamentos eletrônicos que gerem e usem sinais ou pulsos de temporização a uma taxa maior que 10 kHz, e que utilizem técnicas digitais em seu funcionamento. Estes equipamentos são, ainda, classificados de acordo com o uso:

⇒ **Equipamentos classe A:** são aqueles vendidos para o uso em um ambiente comercial, industrial, ou administrativo. Os equipamentos desta classe somente atende os limites da classe A.

⇒ **Equipamento classe B:** são equipamentos vendidos para o ambiente residencial. Os equipamentos classe B também atendem aos limites da classe A.

Os procedimentos de certificação variam dependendo do tipo do equipamento. Ensaio de verificação para equipamentos Classe A devem ser executados pelo fabricante e os resultados do ensaio arquivados pelo mesmo. A FCC pode pedir o envio de uma amostra ou dados representativos desta. Para serem certificados, alguns equipamentos Classe B (jogos eletrônicos, computadores pessoais, periféricos de computadores pessoais) devem ser certificados pela FCC, isto é feito através do exame dos resultados do ensaio do fabricante e, em alguns casos, pelo ensaio de uma amostra no local de ensaio da FCC. Equipamentos Classe A devem possuir uma etiqueta avisando os usuários de que a operação em uma área residencial pode causar interferência em outros equipamentos. A etiqueta da classe B apenas estabelece que o equipamento está certificado para satisfazer os limites da Classe B.

#### **2.6.12.1 – VDE( *Verband Deutscher Elektrotechniker*)**

As exigências de EMI/EMC da Alemanha são as mais rígidas e melhores definidas da Europa, e por esta razão, os produtos projetados para satisfazer os critérios da Alemanha geralmente satisfazem as exigências na maioria dos países europeus. A FTZ (*Fermeldetechnisches*

*Zentralamt*) é uma agência técnica do Serviço Postal Alemão que tem poder para regulamentar os assuntos pertinentes à EMI/EMC. A VDE é um organismo não governamental que prepara normas e executa ensaios de certificação. As normas VDE são a base da maioria das entidades regulamentadoras da FTZ.

As norma VDE são baseadas nas recomendações da CISPR, e são similares em muitas maneiras às normas FCC, o que permite que os fabricantes desenvolvam critérios de projeto e testes que satisfaçam as exigências de ambos. A VDE 0871 trata de emissões de equipamentos industriais, científicos e médicos – ISM, do termo em inglês, que geram ou utilizam freqüências discretas ou de repetição acima de 10 kHz. As exigências são similares às da FCC Parte 15 Sub parte J, exceto que, a VDE inclui equipamentos para tecnologia da informação e equipamentos do tipo ISM, enquanto que a FCC Parte 15 exclui os equipamentos ISM.

Há três tipos de autorizações disponíveis para operar equipamentos que geram ou usem energia eletromagnética a freqüências maiores que 10 kHz. Uma “Autorização Geral” pode ser garantida para um tipo específico de equipamento se o produto satisfazer o limite VDE Classe B e umas poucas exigências adicionais baseadas em um ensaio do tipo. É necessário uma autorização individual para cada usuário para se operar produtos que somente satisfaçam a Classe A. Uma autorização individual também pode ser garantida para instalações específicas que são testadas no local. Embora os limites da Classe B sejam mais rígidos, muitos fabricantes preferem certificar seus produtos a estes limites, obtendo, assim, a liberação da responsabilidade do usuário final de completar o processo de autorização, como é o caso de produtos certificados na Classe A. Os equipamentos Classe A exigem permissão individual da FTZ, enquanto os da Classe B operam sob uma licença geral.

### **2.6.11.3 – Norma Brasileira**

Seria desejável existir uma norma internacional para emissão permissível de produtos eletrônicos, ao invés de muitas normas de diferentes nacionalidades. Assim um fabricante poderia projetar e testar um produto de acordo com uma norma de EMI/EMC e esta seria aceita em todo o mundo, porém esta não é a realidade atual.

O veículo que possui mais chances de atingir este objetivo é o Comitê Internacional Especial de Perturbações Radioelétricas – CISPR, do seu título em francês. O CISPR foi fundado em 1933, para determinar limites e métodos de medição para interferência de rádio, de maneira a facilitar o comércio internacional. O CISPR não possui poder regulamentador, mas suas normas, quando adotadas por governos, tornam-se normas nacionais. Em 1985, o CISPR adotou uma nova norma (Publicação 22) para equipamentos da Tecnologia da Informação. Muitos países europeus têm adotado tais exigências como suas normas nacionais. Os Estados Unidos, como um membro votante do CISPR, votou a favor da norma. Isto forçou a FCC a adotar as mesmas normas. Portanto, os limites da CISPR “*Publication 22*” têm chances de se tornar uma norma de EMC internacional. No Brasil, a portaria número 176 de 10 de junho de 1992, da Secretaria Nacional de Comunicações, que estabelece os limites às perturbações eletromagnéticas originadas de equipamentos ISM, adota como referência complementar as normas CISPR 11 e CISPR 16 [4]. A CISPR 11 distingue seus equipamentos e classe da seguinte forma:

⇒ **Equipamentos ISM do grupo 1:** todos aqueles nos quais a energia de radiofrequência acoplada por condução é produzida e/ou utilizada intencionalmente para o funcionamento interno do próprio equipamento.

⇒ **Equipamento ISM do grupo 2:** todos aqueles nos quais a energia de radiofrequência acoplada por condução é produzida e/ou utilizada intencionalmente sob a forma de radiação eletromagnética para o tratamento da matéria, e os equipamentos de erosão por centelhamento (eletroerosão).

⇒ **Equipamentos ISM classe A:** todos aqueles destinados a serem utilizados nos estabelecimentos não domiciliares, excluídos os estabelecimentos que, embora não se destinem ao uso doméstico, estejam conectados diretamente a uma rede de distribuição de energia elétrica de baixa tensão destinada, primordialmente, a alimentar edificações para fins domésticos.

⇒ **Equipamentos ISM classe B:** todos aqueles destinados a serem utilizados nos estabelecimentos domiciliares e nos estabelecimentos não domésticos conectados diretamente a uma rede de distribuição de energia elétrica de baixa tensão destinada, primordialmente, a alimentar edificações para fins domésticos.

### **3 – ENSAIOS LABORATORIAIS EM TELEFONES CELULARES**

Para este trabalho foi necessário a realização de ensaios para medir os níveis de intensidade de campo elétrico e densidade de potência eletromagnética oriundos dos telefones celulares. Para a execução de tais medidas foram utilizados, respectivamente, um receptor de banda seletiva e um de banda larga. O receptor de banda larga foi utilizado para a verificação da intensidade de campo elétrico, enquanto o receptor de banda seletiva foi utilizado para a obtenção da densidade de potência eletromagnética.

Após a obtenção dos valores medidos do campo elétrico e da densidade de potência eletromagnética, foram obtidos os valores correspondentes da densidade de potência e campo elétrico calculados a partir das equações de Maxwell. Os valores de campo elétrico calculados foram obtidos através dos valores da densidade de potência eletromagnética medidos. Após, foram comparados os valores de campo elétrico calculados com os valores de campo elétrico medidos com a utilização do receptor de banda seletiva. De maneira similar, foram obtidos os valores da densidade de potência eletromagnética calculados através dos valores de campo elétrico medidos e, após, comparando-os aos valores medidos com a utilização do medidor banda larga. Os valores obtidos e gerados neste trabalho são apresentados no capítulo 4.

#### **3.1 - Designação das Amostras Ensaçadas**

Os telefones celulares utilizados como amostras neste trabalho possuem suas características técnicas detalhadas no Anexo I (Ficha Técnica e Resultados dos Ensaios). As principais características são apresentadas na tabela 3.1 deste capítulo.

Tabela 3 - Características dos telefones ensaiados.

<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Sistema</b>
MOTOROLA	DPC – 650	Analógica	AMPS
MOTOROLA	M70A/700	Digital	TDMA/AMPS
NOKIA	2160	Digital	TDMA/AMPS
GRADIENTE	Concempt	Digital	TDMA/AMPS
GRADIENTE	Straike	Digital	TDMA/AMPS
NOKIA	5120	Digital	TDMA/AMPS
NOKIA	6120	Digital	TDMA/AMPS

### **3.2 Local de Ensaio**

Os ensaios foram realizados na Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), no Laboratório de Engenharia Elétrica, sala 154 do prédio 9, e na Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC), no Departamento de Eletro-Eletrônica, no Laboratório de Interferência Eletromagnética (LIEM).

### **3.3 – Ensaio para Verificação do Campo Elétrico**

#### **3.3.1 – Equipamentos utilizados**

Para a realização dos ensaios foram utilizados os equipamentos descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Equipamentos utilizados no ensaio para verificação do campo elétrico oriundo dos telefones celulares.

<b>Equipamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>
--------------------	---------------	--------------

Analisador de espectro	2712/2711	Tektronix
Antena dipolo	TDS-30-2	Electro-Metrics
Antena Log-periódica	LPA-30	Electro-Metrics
Cabo coaxial 50 $\Omega$	CAC-30	Tektronix

Com o uso do analisador de espectro é possível realizar medições seletivas em frequência. Na avaliação de radiações não ionizantes esse tipo de medição é necessária em alguns casos, quando a energia eletromagnética presente é resultante da soma de componentes de diferentes frequências, e os limites de segurança variam em função da frequência, ou quando a presença de outros sinais dificultam a análise realizada somente com um medidor de faixa larga.

O analisador de espectro apresenta os resultados das varreduras sobre uma grade calibrada de referência, em escala previamente ajustada pelo operador. No eixo horizontal tem-se a indicação da frequência em escala linear, no eixo vertical tem-se em escala logarítmica, o valor RMS das componentes espectrais do sinal medido. A escala vertical pode ser ajustada para indicação em diversas unidades de tensão ou intensidade de campo (V, dBmV, dB $\mu$ V, V/m, dBmV/m, dB $\mu$ V/m,...).

### 3.3.2 - Execução do ensaio

Para a execução do ensaio foi utilizado um analisador de espectro, ligado através de cabo coaxial a uma antena, do tipo dipolo balanceado ou log-periódica, a qual foi posicionada em relação à antena do telefone celular a diferentes distâncias, a saber, 5, 10, 20 e 30 cm. As figuras 13 e 14 ilustram o *set-up* de ensaio utilizado, sendo que na figura 13 a montagem

refere-se à medição do campo irradiado horizontalmente, enquanto a figura 14 refere-se à medição do campo irradiado verticalmente.

O analisador de espectro foi carregado com os fatores de antena e as perdas associadas ao *setup* de medição, após foi ajustado para efetuar varreduras no espectro de frequência de 775 MHz a 950 MHz.

Em primeiro momento foi efetuado uma varredura do ruído ambiente, sendo verificada a possível existência de fontes predominantes neste espectro de frequência, as quais pudessem mascarar ou interferir nos resultados. Os resultados obtido indicaram que o espectro de frequência em estudo não possuía outras fontes predominantes e, portanto, estava apto para a realização dos ensaios. O gráfico do ruído ambiente esta indicado no capítulo 4.

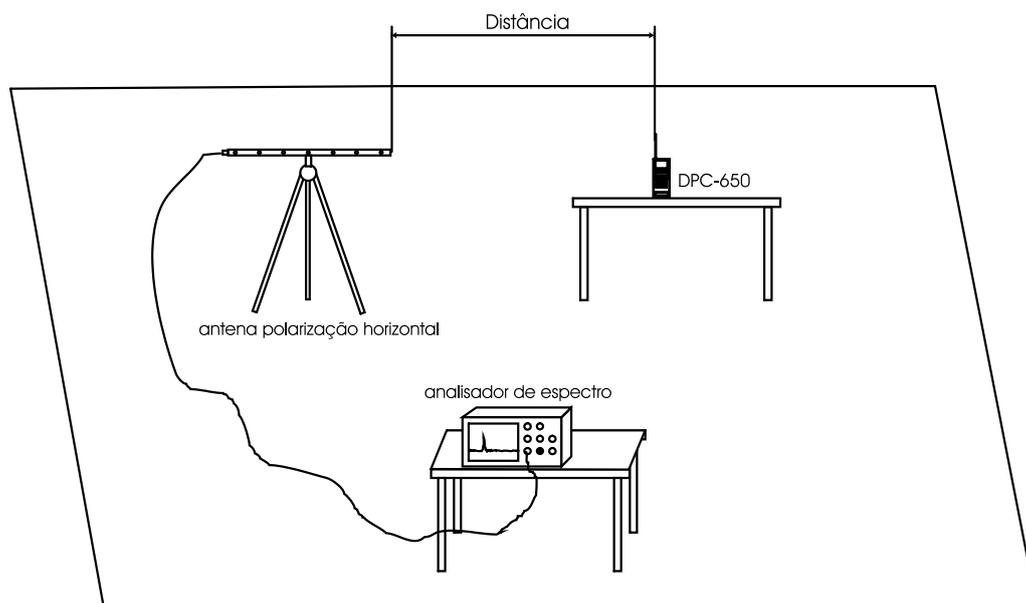


Figura 13 - *Set-up* para verificação da intensidade de campo irradiado (horizontal).

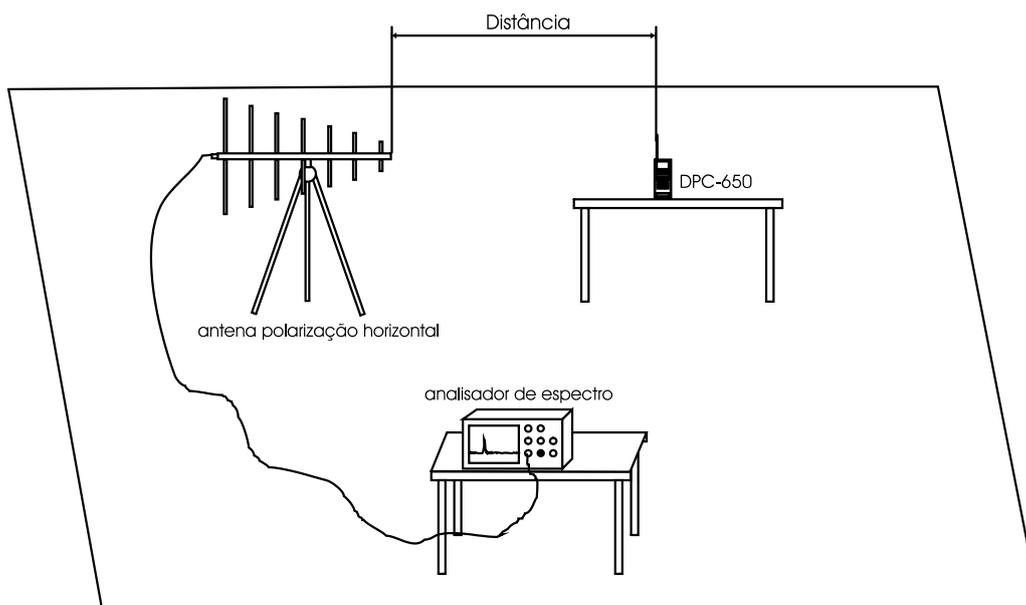


FIGURA 14 - *Set-up* para verificação da intensidade de campo irradiado (vertical).

Após a verificação do ruído ambiente deu-se início as medições de intensidade de campo elétrico gerado pelas amostras. Cada amostra foi programado para efetuar uma chamada, sendo que, após estar conectado a estação rádio base, foi possível verificar o nível do sinal irradiado. Durante a chamada foi anotado o valor máximo de campo elétrico indicado pelo analisador de espectro durante um intervalo de seis minutos. As leituras foram obtidas para distâncias de 5, 10, 20 e 30 cm entre a antena do telefone celular e antena receptora. O ensaio foi realizado em ambas as polarizações (horizontal e vertical). As figuras 15 a 17 ilustram as fotos referentes ao sistema de teste utilizado na CIENTEC, a disposição do telefone, e a monitoração do campo elétrico verificado.



Figura 15 - Sistema de teste utilizado para a verificação do campo elétrico.



Figura 16 - Foto da disposição da antena e telefone celular durante o ensaio.



Figura 17 - Foto da monitoração do campo elétrico verificado.

### 3.3.3 – Resultados obtidos

Após a execução do ensaio foi possível obter os níveis referente ao valor de campo elétrico emitido pelas amostras (telefones celulares) utilizadas neste trabalho. A tabela 5 e o gráfico ilustrado na figura 18 apresentam os valores da intensidade de campo elétrico emitida pelos telefones celulares durante os ensaios.

Tabela 5 - Valores medidos da intensidade de campo elétrico emitido pelas amostras.

Marca	Modelo	Intensidade de Campo Medido			
		Distância [cm]			
		5	10	20	30
Motorola	DPC-650	81,28	45,71	28,51	16,41

Motorola	700	82,25	48,43	29,85	19,72
Nokia	2160	71,61	51,30	33,91	16,98
Gradiente	Concempt	105,92	51,34	36,34	13,35
Gradiente	Streike	98,87	49,74	35,57	11,08
Nokia	5120	100,01	47,18	34,24	14,15
Nokia	6120	108,01	55,12	35,39	15,15

Intensidades de campo elétrico medidos

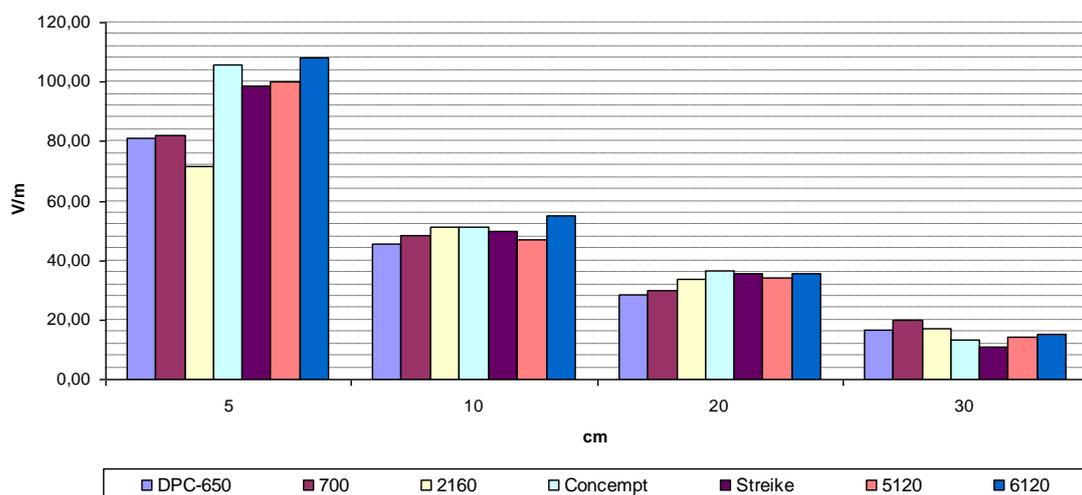


Figura 18 - Valores medidos da intensidade de campo elétrico emitido pelas amostras.

Os valores apresentados da intensidade de campo elétrico, a partir das amostras ensaiadas neste trabalho, são constituídas a partir do uso da instrumentação indicada anteriormente, e pela inserção das perdas e ganho associada ao sistema de teste junto a programação do analisador de espectro. Os parâmetros programados e previamente conhecidos são: o tamanho dos cabos utilizados, fator de antena, e o número

de interconexões utilizadas [7]. Os valores indicados como resultados podem ser expressos a partir da seguinte equação matemática:

$$E = V + C_1 + C_2 + AF$$

onde  $E$  é o campo elétrico, expresso em  $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ , medido pelo analisador de espectro;  $V$  é o campo elétrico, indicado em  $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ , gerado pelo equipamento sob ensaio;  $C_1$  é a perda associada ao comprimento e tipo de cabo utilizado, expresso em dB;  $C_2$  são as perdas oriundas das interconexões e indicadas em dB;  $AF$  é o fator de antena, indicado em  $\text{dBm}^{-1}$  [8]. A figura 18 apresenta a seqüência de parâmetros utilizados para a obtenção dos resultados de intensidade de campo elétrico.

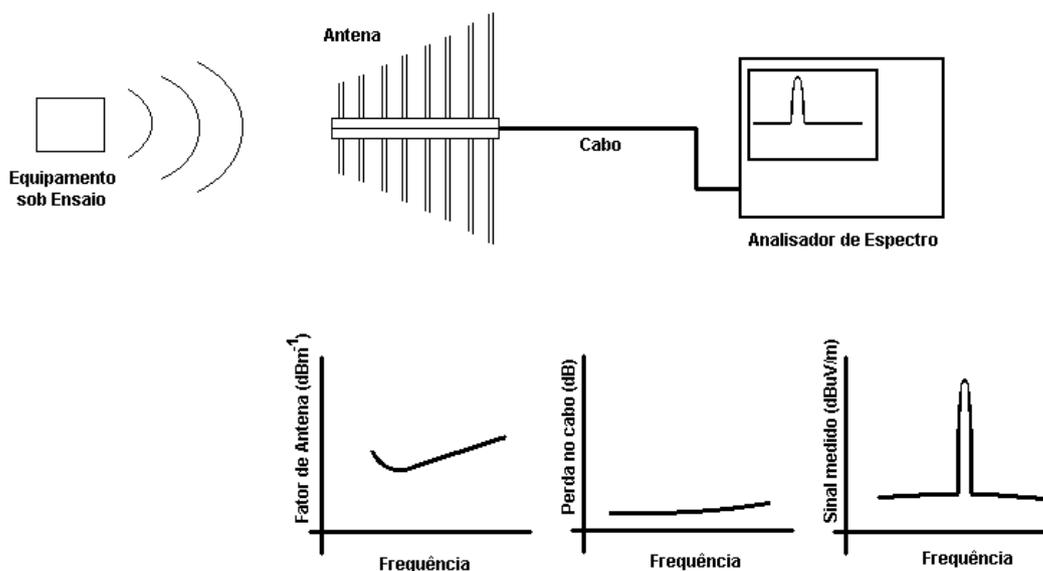


Figura 18 - Seqüência de parâmetros utilizados para a obtenção dos resultados da intensidade de campo elétrico.

### 3.4 – Ensaio para Verificação da Densidade de Potência Eletromagnética Irradiada por Telefones Celulares

### 3.4.1 – Equipamentos utilizados

Para a realização dos ensaios foram utilizados os equipamentos descritos na tabela 6. O instrumento utilizado para verificação da densidade de potência eletromagnética, trata-se de um medidor de banda larga com sonda de prova isotrópica. O instrumento é projetado para realizar medições de densidade de potência eletromagnética em uma banda de frequência, banda larga, e verificar os níveis da totalidade da energia eletromagnética presente no ambiente.

Tabela 5 - Equipamentos utilizados no ensaio para verificação da densidade de potência eletromagnética oriunda dos telefones celulares.

<b>Equipamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>
Medidor de densidade de potência eletromagnética	2741	Narda
Ponteira de densidade de potência eletromagnética	2741-B	Narda
Monitor eletromagnético EMR-300		W&G
Ponteira isotrópica (banda de até 3 GHz)	T8	W&G
Tripé de madeira	TP-2015	Electro-Metrics

O uso dos medidores de banda larga, indicados anteriormente na tabela 5, possui a característica de fornecer a média dos valores eficazes de energia captados num intervalo padronizado de 6 minutos, memorizando o valor de pico e a média neste intervalo, com isto, a utilização deste equipamento é fundamental em ensaios para a verificação dos níveis da densidade de potência eletromagnética.

O sensor de campo do monitor isotrópico é composto por três dipolos ortogonais, calibrados de modo a apresentarem, em conjunto com o dispositivo indicador, o valor RMS da densidade de potência eletromagnética incidente no local de medição. A figura 20 ilustra a disposição dos dipolos no sensor de campo.

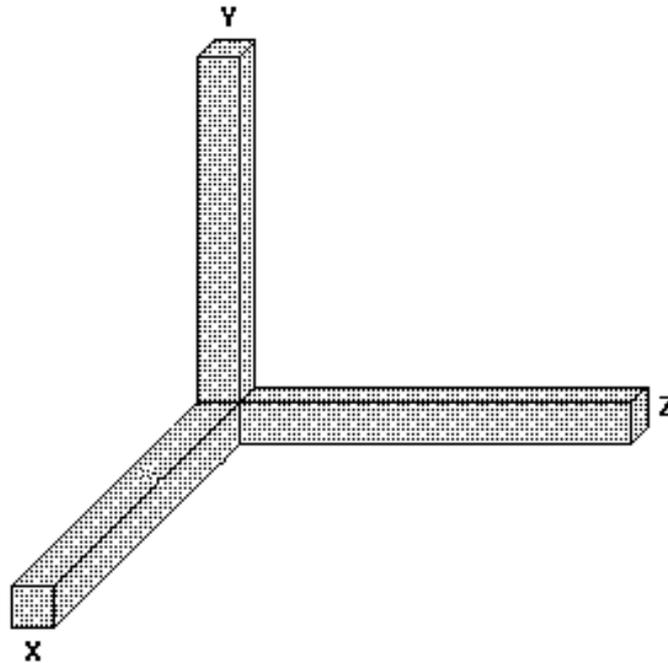


Figura 20 – Orientação dos dipolos (ortogonais) de maneira a interagir e indicar medições nos planos X, Y e Z .

### 3.4.2 – Execução dos ensaios

Para a realização do ensaio foi utilizado um medidor de densidade de potência eletromagnética, com ponteira de prova que integrasse os três planos de polarização (X, Y e Z).

O medidor de densidade de potência eletromagnética, medidor em banda larga, foi programado para efetuar leituras da densidade de potência eletromagnética num intervalo superior a 6 minutos. O monitor foi

ajustado para indicar os valores em unidades de densidade de potência expressas em  $\text{mW}/\text{cm}^2$ .

O *setup* de ensaio utilizado para a obtenção dos níveis de densidade de potência eletromagnética é apresentado na figura 21. As distâncias utilizadas entre a sonda de medição, ponteira isotrópica, e a antena do telefone celular foram de 5, 10, 20 e 30 cm. A sonda foi colocada sobre uma mesa giratória de madeira, de maneira a possibilitar a circulação ao redor da antena do telefone celular, identificando, assim, o ponto máximo de irradiação do valor medido da densidade de potência de cada amostra.

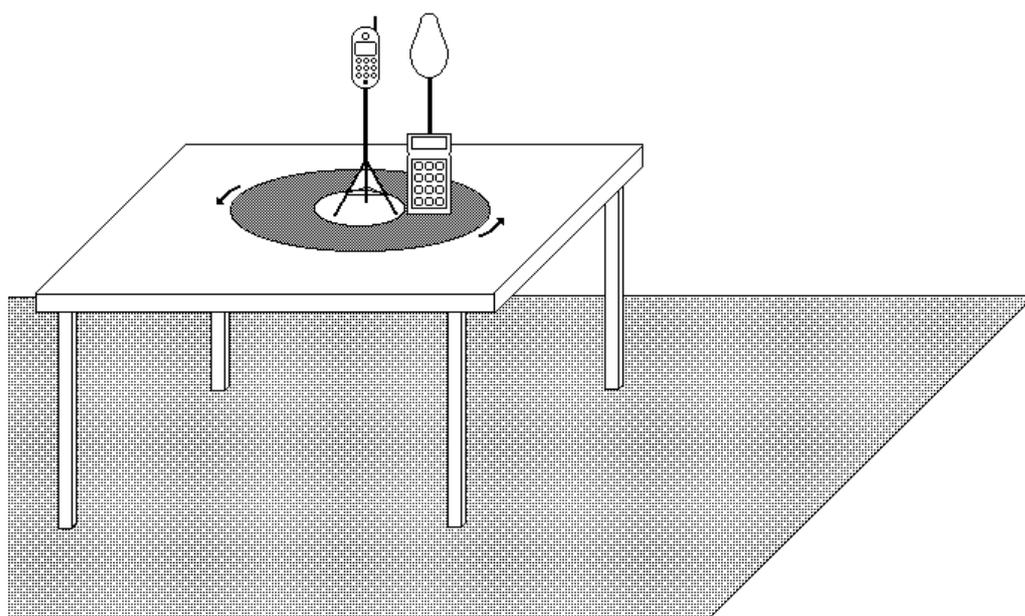


Figura 21 - *Set-up* do ensaio para medição da densidade de potência eletromagnética gerada por telefones celulares.

Inicialmente, foi verificado o valor indicado para o nível da densidade de potência eletromagnética existente no local de ensaio (ruído ambiente), de maneira a identificar possíveis valores que pudessem interferir nos resultados. Após a realização desta medida foi verificado que o ambiente estava apto para a realização do ensaio. Após a verificação do ruído ambiente, deu-se início às medições da densidade de potência eletromagnética gerada pelas amostras. Cada amostra foi programada para

efetuar uma chamada, sendo que, após estar conectada à estação rádio base, foi possível verificar a densidade de potência eletromagnética gerada pela amostra ensaiada. Durante a chamada, a sonda girou 360° ao redor do telefone celular, sendo anotado o valor máximo da densidade de potência eletromagnética indicada pelo medidor.

### 3.4.3 – Resultados obtidos

A realização deste ensaio possibilitou o conhecimento dos níveis referentes a densidade de potência eletromagnética irradiada por unidades móveis de telefonia celular. A tabela 7 e o gráfico ilustrado na figura 22 apresentam os valores referentes a densidade de potência eletromagnética emitida pelas amostras durante a realização do ensaio.

Tabela 7 - Valores medidos da densidade de potência eletromagnética a partir dos telefones celulares utilizados como amostras.

Marca	Modelo	Densidade de potência medida			
		Distância [cm]			
		5	10	20	30
Motorola	DPC-650	2,02	0,63	0,24	0,08
Motorola	700	2,01	0,69	0,27	0,11
Nokia	2160	1,58	0,78	0,34	0,09
Gradiente	Concempt	3,33	0,77	0,38	0,06
Gradiente	Streike	2,98	0,53	0,4	0,04
Nokia	5120	2,94	0,71	0,34	0,07
Nokia	6120	3,43	0,89	0,37	0,07

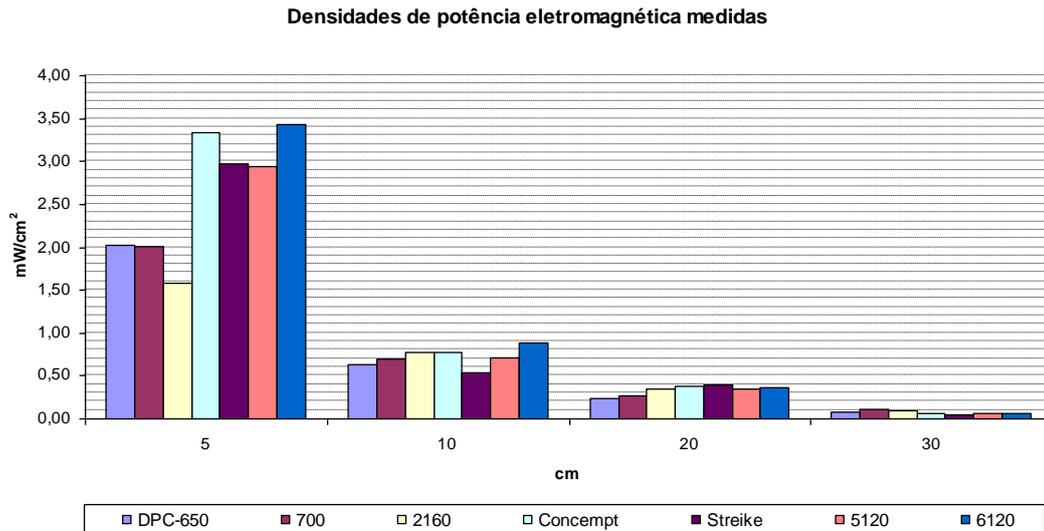


Figura 22 - Valores medidos da densidade de potência eletromagnética a partir de telefones celulares.

Os resultados apresentados para obtenção dos níveis da densidade de potência eletromagnética são obtidos através da metodologia de ensaio descrita anteriormente, e indicado pela ABRICEM (Associação Brasileira de Radiointerferência e Compatibilidade Eletromagnética) no I Seminário de Exposição Ambiental e Ocupacional a Campos Eletromagnéticos [9].

### 3.5 – Intercomparação entre os resultados do ensaio com o receptor de banda larga e o receptor de banda seletiva

Após a realização dos ensaios foram realizadas comparações dos resultados obtidos para as duas topologias distintas de ensaio, onde em uma foi utilizado um medidor de banda larga, para a medida da densidade de potência eletromagnética, e em outra, um receptor de banda seletiva, para obtenção dos valores de intensidade de campo elétrico. Para isto, os valores medidos do campo elétrico foram convertidos em valores correspondentes de densidade de potência eletromagnética, e vice versa. A conversão é baseada nas equações de Maxwell [].

Na propagação em espaço livre, de acordo com as equações de Maxwell, uma onda que se propaga através de uma determinada direção [8], fornece os seguintes valores para as componentes perpendiculares à direção de propagação do campo eletromagnético:

$$E_y = E_0 \sin(\beta x - \omega t)$$

$$H_z = H_0 \sin(\beta x - \omega t)$$

onde  $E_y$  é o campo elétrico e  $H_z$  é o campo magnético.  $\beta$  e  $\omega$  são obtidas pelas seguintes equações:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\omega = 2\pi f = \beta v$$

descrever as grandezas de 4.3 e 4.4

As equações de Maxwell relacionam os campos  $E_y$  e  $H_z$ , através da seguinte equação, cujo resultado é expresso em  $\Omega$ , o qual indica a impedância de uma onda livre no espaço.

$$\frac{E_y}{H_z} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi = Z$$

onde  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética do vácuo; descrever o que são as constantes da eq. 4.5

Portanto, a densidade de potência da radiação eletromagnética (vetor de *poyinting*) pode ser expresso da seguinte forma:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

descrever as grandezas de 4.6

o que em módulo vale:

$$S = \frac{E_0^2}{Z} = \frac{E_0^2}{120\pi}$$

Adotando a equação a cima, é possível transformar os valores encontrados para a intensidade de campo elétrico para valores correspondentes em densidade de potência eletromagnética, e vice versa, sendo possível comparar os valores obtidos entre dois tipos distintos de sistemas de medição.

### 3.5.1 – Resultados calculados

A tabela 8 e o gráfico, ilustrado na figura 23, apresentam os valores do campo elétrico calculados a partir dos respectivos valores de densidade de potência eletromagnética indicados no item 3.4 deste trabalho.

Tabela 8 - Valores calculados da intensidade de campo elétrico a partir dos respectivos valores de densidade de potência eletromagnética emitida pelos telefones celulares.

Marca	Modelo	Intensidade de Campo elétrico calculado			
		Distância [cm]			
		5	10	20	30
Motorola	DPC-650	87,16	48,59	30,17	17,67
Motorola	700	87,05	51,02	32,15	20,59
Nokia	2160	77,13	54,29	36,05	18,29
Gradiente	Concempt	112,10	53,87	37,94	14,29
Gradiente	Streike	106	44,49	38,64	12,14
Nokia	5120	105,4	51,68	36,04	16,38
Nokia	6120	113,8	57,81	37,54	15,82

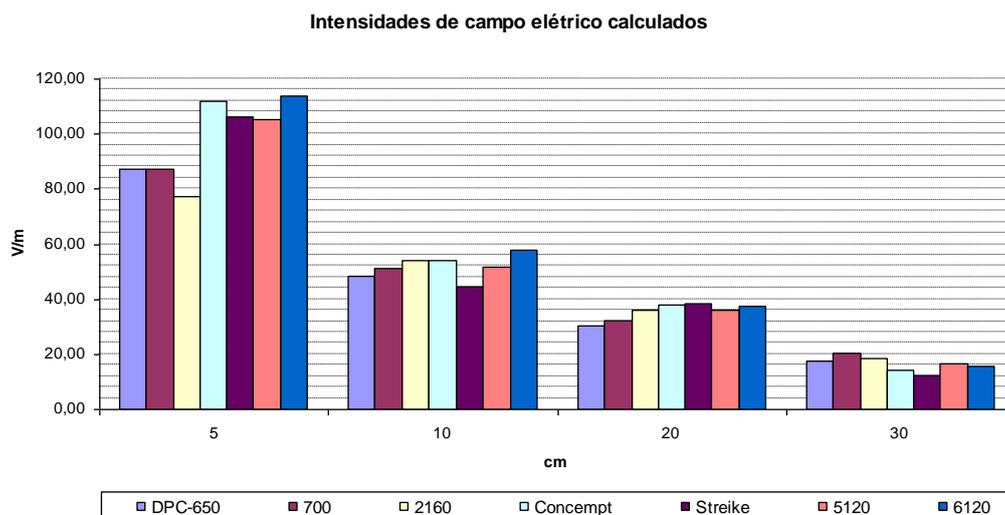


Figura 23 - Valores calculados da intensidade de campo elétrico a partir dos respectivos valores de densidade de potência eletromagnética emitida pelos telefones celulares.

A tabela 9 e o gráfico ilustrado na figura 24 apresentam os valores da densidade de potência eletromagnética calculados a partir dos respectivos valores de campo elétrico indicados no item 3.3 deste trabalho.

Tabela 9 - Valores calculados da densidade de potência eletromagnética a partir dos respectivos valores de intensidade de campo elétrico medidos nos telefones celulares.

Marca	Modelo	Intensidade de Campo elétrico calculado			
		Distância [cm]			
		5	10	20	30
Motorola	DPC-650	1,75	0,55	0,22	0,07
Motorola	700	1,79	0,62	0,24	0,10
Nokia	2160	1,36	0,70	0,31	0,08
Gradiente	Concempt	2,98	0,70	0,35	0,05
Gradiente	Streike	2,59	0,66	0,34	0,03
Nokia	5120	2,65	0,59	0,31	0,05
Nokia	6120	3,09	0,81	0,33	0,06

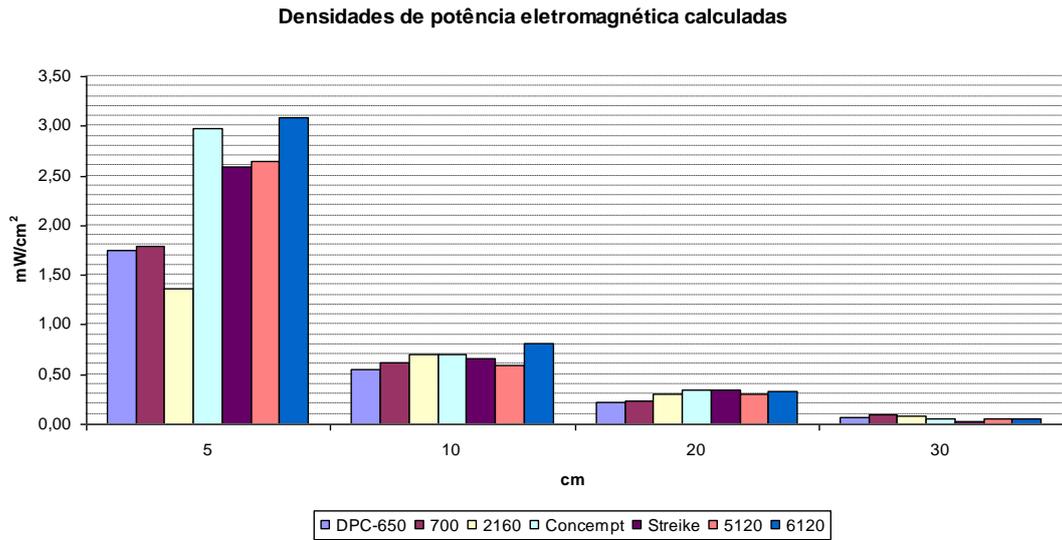


Figura 24 - Valores calculados da densidade de potência eletromagnética a partir dos respectivos valores de intensidade de campo elétrico medidos nos telefones celulares.

Os resultados apresentados ao longo deste capítulo são tratados e analisados no capítulo conclusão.

## **4 – ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE POTÊNCIA ELETROMAGNÉTICA ORIUNDA DE ERB's**

Tendo em vista a importância do conhecimento dos valores da densidade de potência eletromagnética, oriundas da propagação de ondas de rádio emitidas pelas ERB's, e devido a grande difusão destas estações em todas as cidades, torna-se importante seu conhecimento, a fim de registrá-los e compará-los aos níveis encontrados para os telefones celulares.

### **4.1 – Equipamentos utilizados**

Para a realização dos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos descritos na tabela 10.

Tabela 10 - Equipamentos utilizados no ensaio para verificação da densidade de potência eletromagnética oriunda de estações rádio base.

<b>Equipamento</b>	<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>
Medidor de densidade de potência eletromagnética	2741	Narda
Ponteira de densidade de potência eletromagnética	2741-B	Narda
Monitor eletromagnético EMR-300		W&G
Ponteira isotrópica (banda de até 3 GHz)	T8	W&G
Tripé de madeira	TP-2015	Electro-Metrics

### **4.2 - Execução do ensaio**

De acordo com a experiência do Laboratório de Interferência Eletromagnética, da CIENTEC, e com base nas recomendações da IEEE/ANSI [11] foram adotadas as seguintes diretrizes:

⇒ O instrumento básico utilizado no presente levantamento será o medidor de faixa larga com a sonda isotrópica.

⇒ A sonda isotrópica deve ser empunhada com o braço esticado para minimizar o efeito do corpo do operador sobre a medição.

⇒ Para evitar acoplamento capacitivo e mudança da impedância do sensor, o operador deve assegurar-se de que a sonda isotrópica é mantida a uma distância segura de qualquer estrutura metálica ou outros corpos. A distância recomendada e segura é de pelo menos 3 vezes a maior dimensão do sensor, ou seja, 30 cm.

⇒ Devem ser cuidadosamente verificados com a sonda isotrópica os limites de segurança próximo de estruturas metálicas, como portões, grades e telhados, onde efeitos como a ressonância e reflexões podem reforçar localmente os níveis de densidade de potência.

⇒ Devem ser medidos os valores máximos de densidade de potência existentes, bem como, para melhor caracterizar a absorção por transientes da energia radiada nas vizinhanças da ERB, se julgado necessário, deve ser executado uma medição andando com a sonda sobre o percurso mais provável a que tem acesso o público em geral, durante o intervalo padrão de 6 minutos.

⇒ No caso de antenas omnidirecionais deve ser considerado pelo menos um conjunto de pontos de medições escolhido para maximização do sinal medido e, em caso de antenas setorizadas, nas mesmas condições, devem ser escolhidos para cada setor um conjunto de pontos a serem realizados as medições.

⇒ O ensaio deve ser realizado durante o período de maior utilização da ERB, ou seja, o horário de maior número de usuários por canal.

⇒ Em situações, ou pontos de medição, em que a resultante da intensidade de potência eletromagnética integrado pela sonda isotrópica resultar em valores que ultrapassem os limites recomendados pela norma, deverá ser analisado separadamente cada ponto com o auxílio do analisador de espectro.

⇒ Nos locais em que houver outras fontes de emissão eletromagnética presente, e o nível total não atender aos limites especificados pela norma, deverá ser realizado medições com a estação rádio base fora do ar (desligada).

A escolha dos pontos de medição foi realizada segundo a experiência da CIENTEC, onde foi realizado um estudo prévio no local de instalação da estação rádio base. Em princípio, os pontos críticos, e portanto pontos de verificação, são os pontos acessíveis ao público em geral nas proximidades da estação rádio base, e direcionadas nas direções de maior ganho e diretividades das antenas.

Assim, os pontos de escolha para medição deverão estar compreendidos dentro ou próximo dos lóbulos principais do diagrama horizontal e vertical da antena de transmissão, considerando as eventuais inclinações das antenas *tilt*, possibilitando, assim, a otimização da área de cobertura de antenas setorizadas. A figura 25 ilustra o mapa da localização de uma estação rádio base, situada na cidade de Porto Alegre, e a indicação dos pontos de verificação dos níveis de densidade de potência eletromagnética.

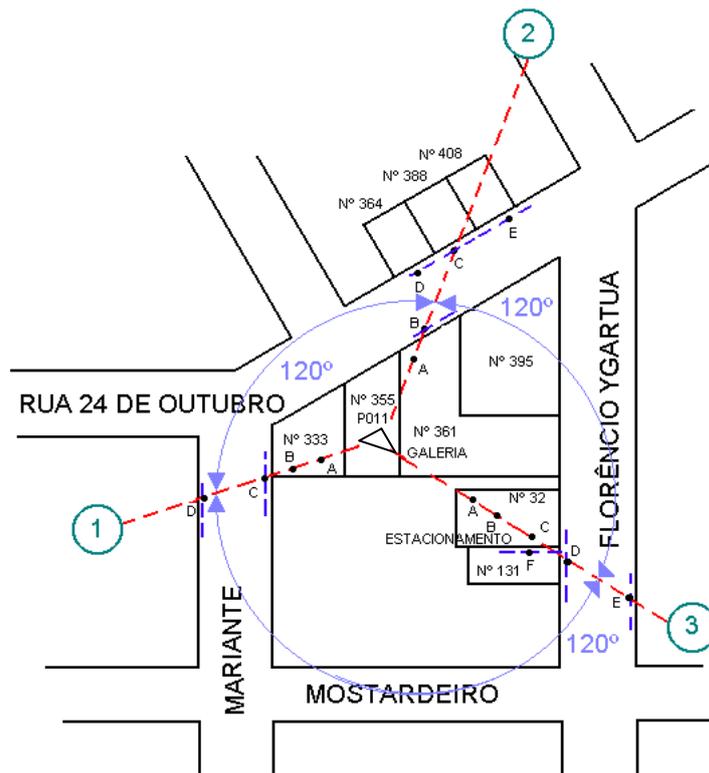


Figura 25 - Desenho esquemático dos pontos de medição próximos a ERB.

Os pontos indicados na figura 25 foram escolhidos com base no local de instalação da ERB, áreas de acesso ao público, e em função dos diagramas de irradiação da antena. As figuras 26 e 27 ilustram os diagramas de irradiação, densidade de potência pela distância, da antena utilizada nesta estação rádio base.

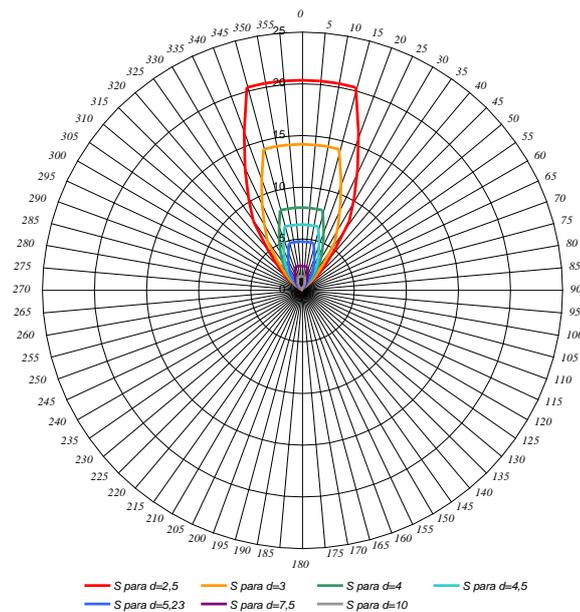


Figura 26 - Diagrama horizontal de irradiação de densidade de potência pela distância.

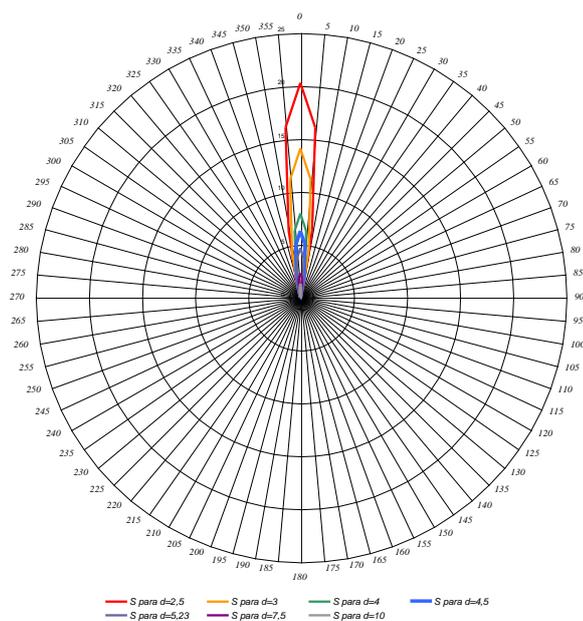


Figura 27 - Diagrama vertical de irradiação de densidade de potência pela distância.

### 4.3 – Resultados obtidos

A realização deste ensaio possibilitou o conhecimento dos níveis da densidade de potência eletromagnética irradiada próximo a

uma estação rádio base. A tabela 11 indica os valores da densidade de potência eletromagnética emitida por uma ERB.

Tabela 11 - Valores medidos da densidade de potência eletromagnética emitida por uma estação rádio base.

<b>Setor</b>	<b>Ponto de Medição</b>	<b>Coordenadas d ; h (m)</b>	<b>Medida (mW/cm<sup>2</sup>)</b>
1	A	15;41	0,096
	B	18;41	0,089
	C	33;2	0,017
	D	45;2	0,010
2	A	16;5	0,016
	B	28;2	0,011
	C	52;2	0,019
	D	46;2	0,006
	E	68;2	0,001
3	A	18;2	0,048
	B	24;2	0,012
	C	30;2	0,011
	D	56;2	0,007
	E	68;2	0,002
	F	48;2	0,001

Os dados apresentados foram obtidos durante o horário de maior utilização dos canais da estação rádio base, sendo este indicado pela empresa responsável pela estação rádio base. Os valores indicados para a densidade de potência eletromagnética, apresentados neste trabalho, são similares aos níveis registrados e indicados nos relatórios técnicos

emitidos pela CIENTEC para a Telet S/A. Onde esta deve, anualmente, possuir os registro dos níveis de densidade de potência eletromagnética emitida por cada uma de suas estações rádio base, de maneira a atender a Lei Municipal número 8463/2000, de 19 de janeiro de 2000, que sistematiza as normas para instalação de estações rádio base (ERB), microcélulas de telefonia celular, e equipamentos afins.

## 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 – Níveis de intensidade de campo elétrico

Após a análise dos resultados obtidos com os ensaios realizados podemos ressaltar as seguintes considerações:

Primeiramente são apresentados comparações dos valores medidos de intensidade de campo elétrico, utilizando um receptor de banda seletiva, e os valores calculados, a partir dos valores obtidos com um receptor de banda larga. Para isto foram utilizadas as equações de Maxwell, descritas no item 3.4. Os gráficos ilustrados nas figuras 28 a 31 indicam a comparações dos valores medidos e dos valores calculados da intensidade de campo elétrico.

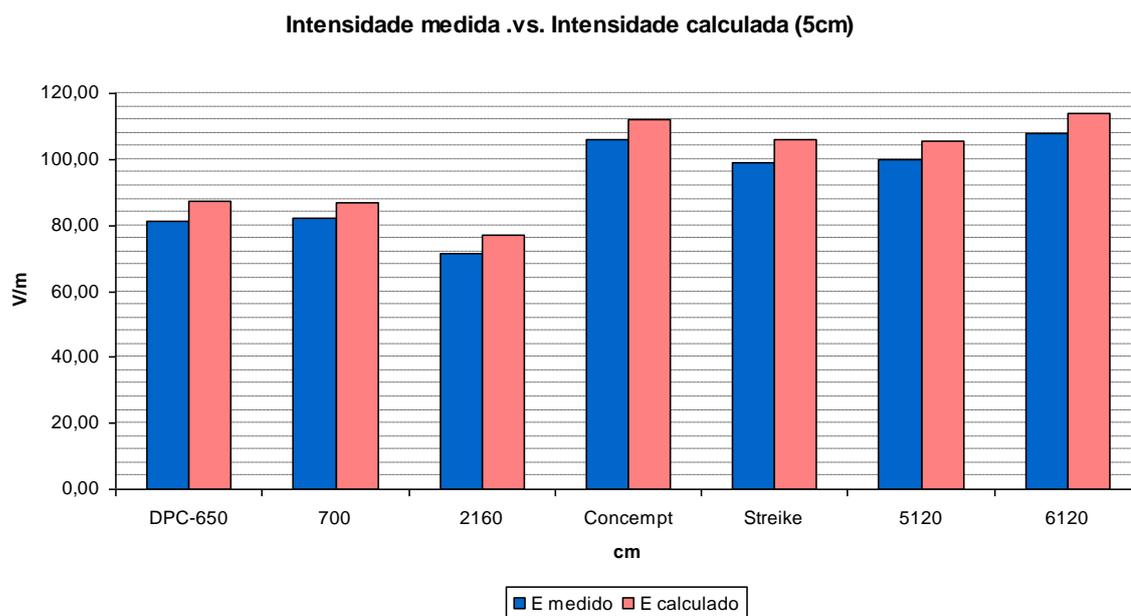


Figura 28 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 5 cm.

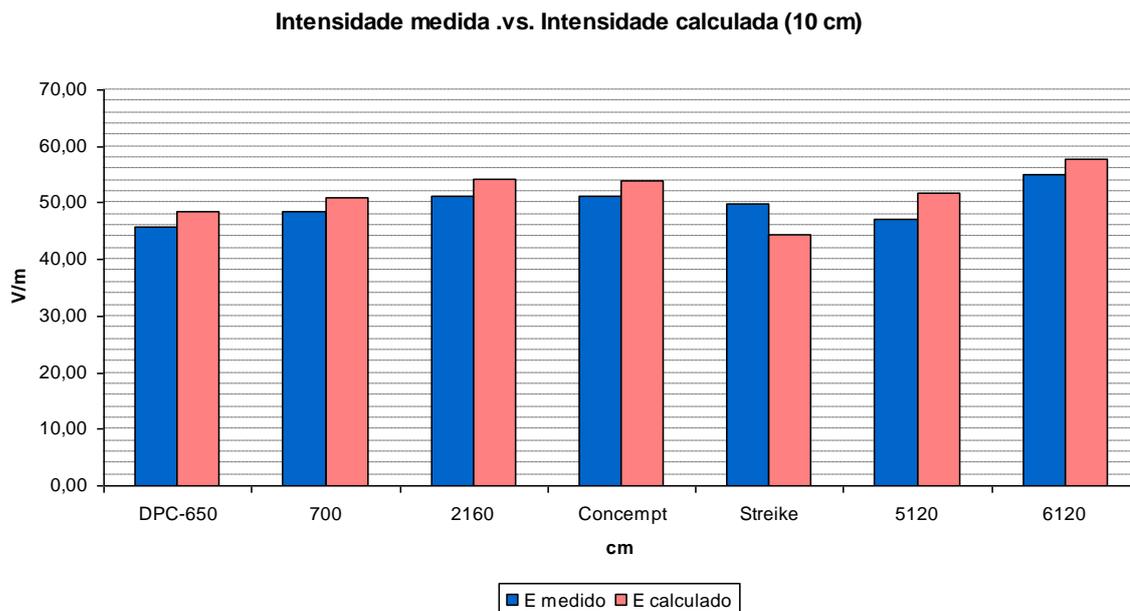


Figura 29 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 10 cm

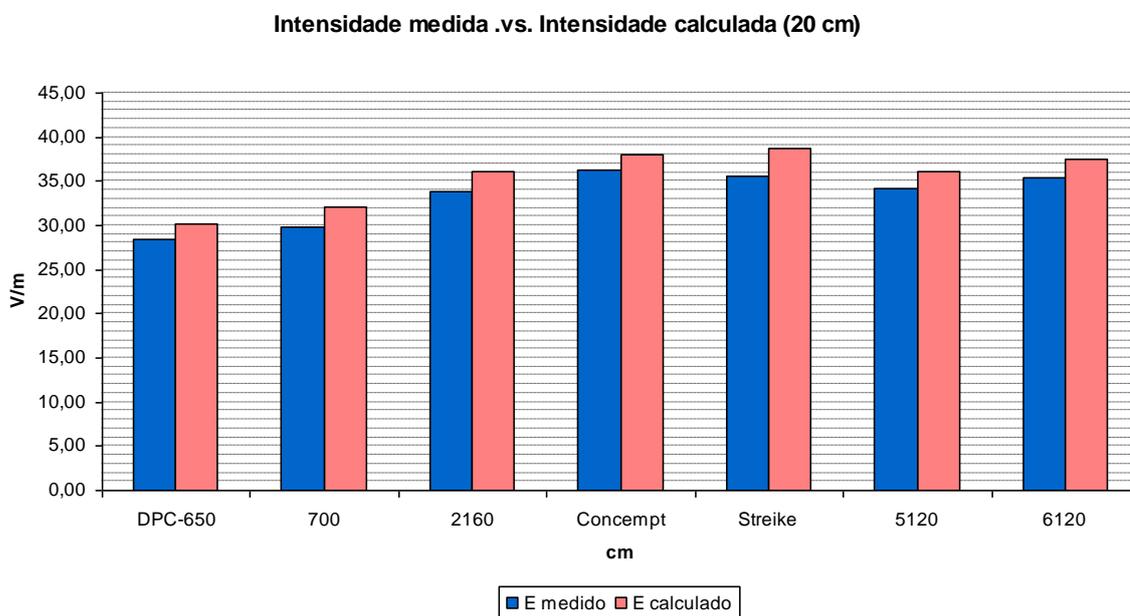


Figura 30 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 20 cm

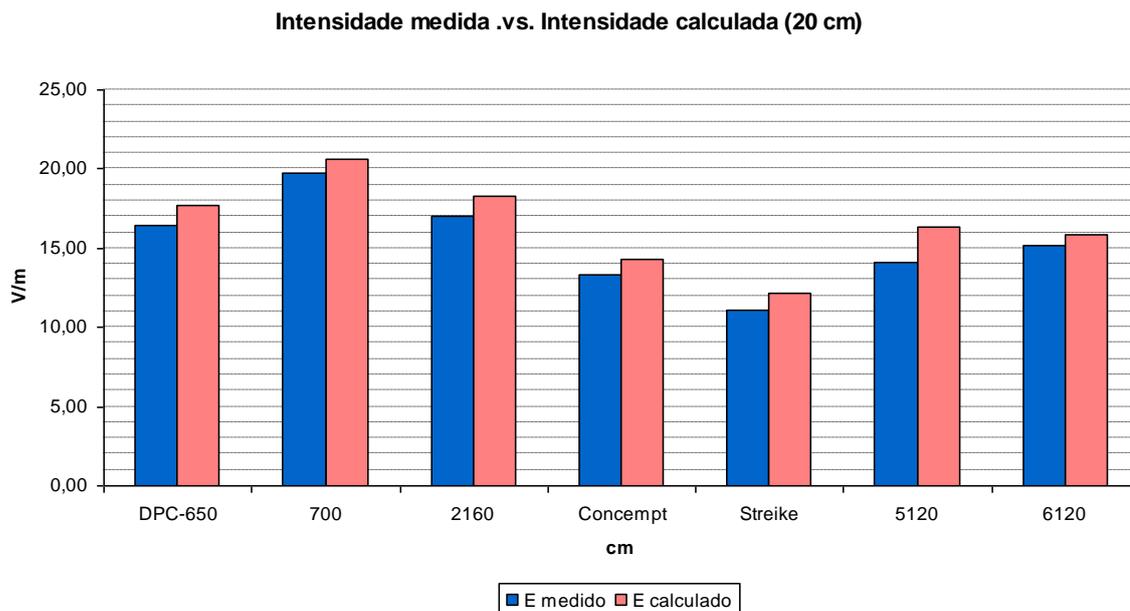


Figura 31 – Comparação da intensidade de campo elétrico medido e o campo elétrico calculado para distância entre antenas de 30 cm.

Tabela 12 – Comparação dos valores medidos e dos valores calculados da intensidade de campo elétrico à distância de 5 cm.

Marca	Modelo	Distância 5 cm entre antenas		Erro [%]
		Medido [v/m]	Calculado [v/m]	
Motorola	DPC-650	81,28	87,16	7,2%
Motorola	700	82,25	87,05	5,8%
Nokia	2160	71,61	77,13	7,7%
Gradiente	Concerpt	105,92	112,10	5,8%
Gradiente	Streike	98,87	106,03	7,2%
Nokia	5120	100,01	105,37	5,4%
Nokia	6120	108,01	113,8	5,4%

É possível verificar que o erro entre o valor medido e o valor calculado da intensidade de campo elétrico é de no máximo 7,7 %, tomando como referência o valor medido.

Os valores referentes a intensidade de campo elétrico, medidos e calculados neste trabalho, podem ser interpretados como níveis consideravelmente altos. Isto quando comparados a limites recomendados por normas de suscetibilidade eletromagnética. As normas de suscetibilidade eletromagnética relacionam seus limites através de classes de severidade, as quais podem variar de norma para norma, porém, citando como exemplo a norma IEC – 801 – 3, a qual possui seus níveis de campo indicados na tabela 13.

Tabela 13 – Níveis de severidade segundo a IEC 801 – 3: 1984

<b>Níveis de Severidade</b>	<b>Intensidade de Campo Elétrico</b>
1	1 V/m
2	3 V/m
3	10 V/m
4	X <sup>(1)</sup> V/m

Tomando como referência a classe de severidade número 3, onde este valor de campo é aplicado a testes de imunidade eletromagnética para uma gama muito extensa de equipamentos eletrônicos, incluindo balanças digitais, equipamentos da tecnologia da informação e entre outros, pode notar-se que, a intensidade de campo elétrico recomendada pela norma é cerca de dez vezes menor ao valor máximo obtido neste trabalho. Este fato explica a incompatibilidade eletromagnética existente entre o telefone celular e diversos aparelhos eletrônicos, pois muitos destes são projetados para suportar níveis de intensidade de campo muito menores aos irradiados pelos telefones. Dentre os diversos equipamentos que verificamos a interferência a partir da presença do telefone celular destacamos os seguintes: toca disco laser de automóveis, balanças digitais, monitores de computadores, rádios portáteis, caixas de som, ...

Para os valores de campo obtidos deve-se levar em consideração a distância entre a antena do telefone celular e a antena receptora, onde arbitramos distâncias de 5, 10, 20 e 30 cm, isto devido ao fato que é a utilização normal de aparelhos de telefonia celular não ultrapassa a distâncias entre 5 e 10 cm da cabeça do usuário.

## 5.2 – Níveis da densidade de potência eletromagnética

Inicialmente são apresentados comparações dos valores medidos da densidade de potência eletromagnética, utilizando um receptor banda larga, e os valores calculados, obtidos através da conversão dos valores de intensidade de campo com auxílio das equações de Maxwell, descritas no item 3.4 deste trabalho. Os gráficos ilustrados nas figuras 32 a 35 indicam a comparações dos valores medidos e dos valores calculados da densidade de potência eletromagnética.

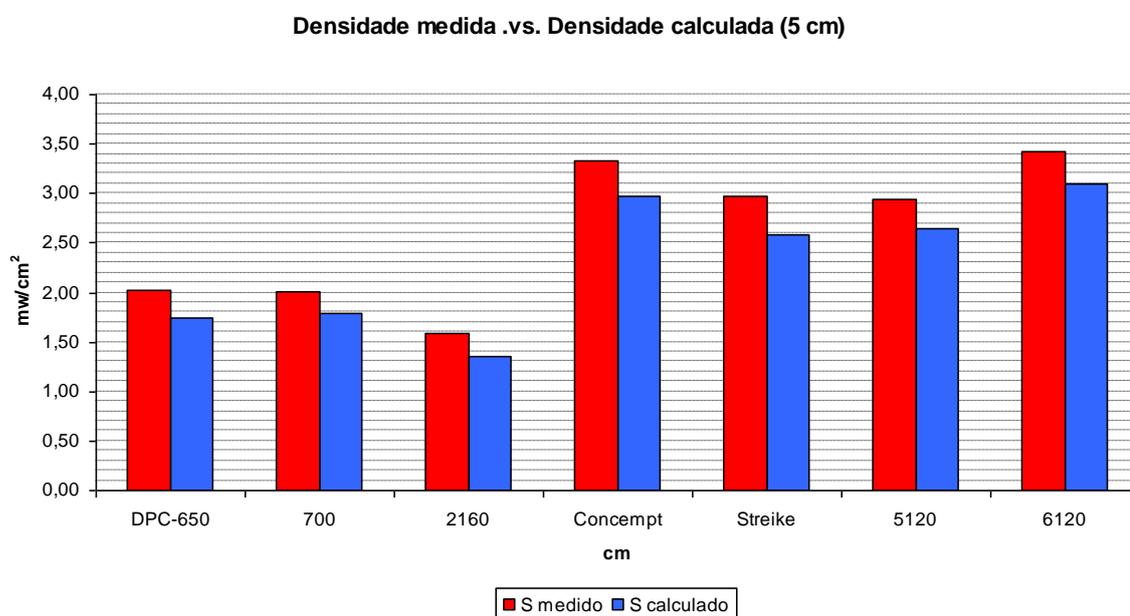


Figura 32 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 5 cm.

Densidade medida .vs. Densidade calculada (10 cm)

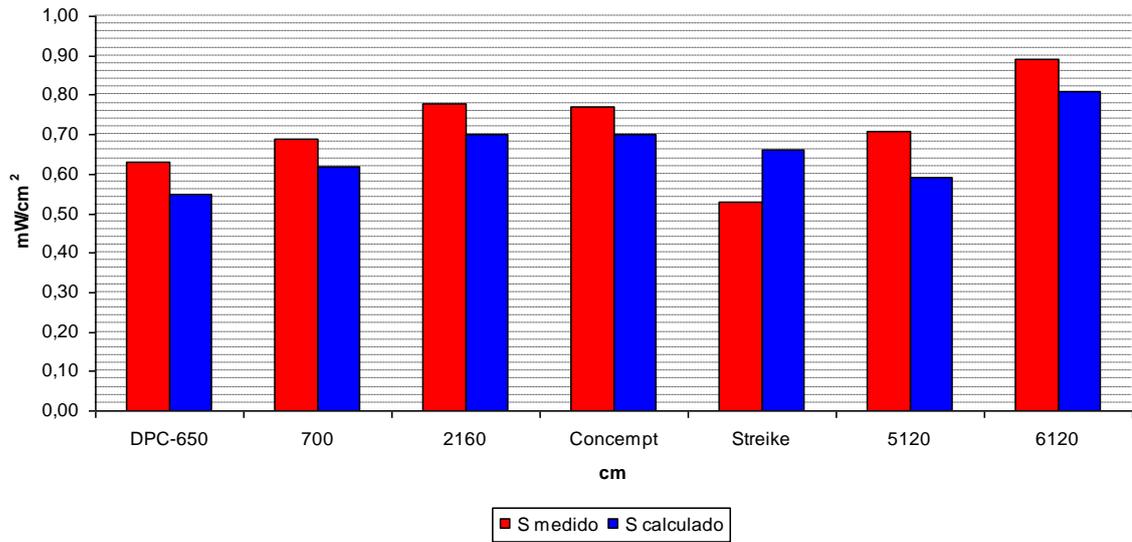


Figura 33 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 10 cm.

Densidade medida .vs. Densidade calculada (30 cm)

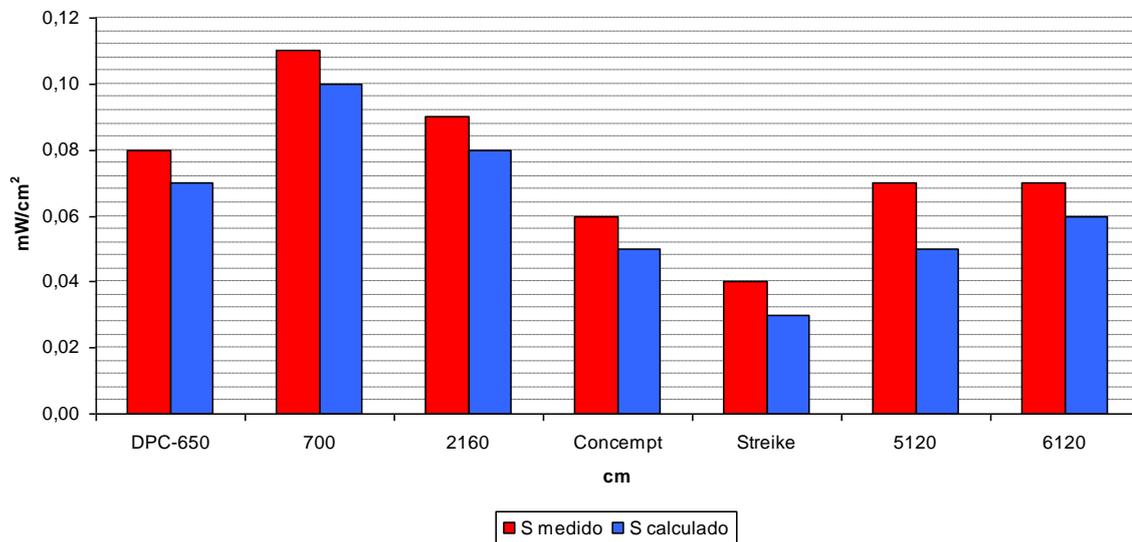


Figura 34 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 20 cm.

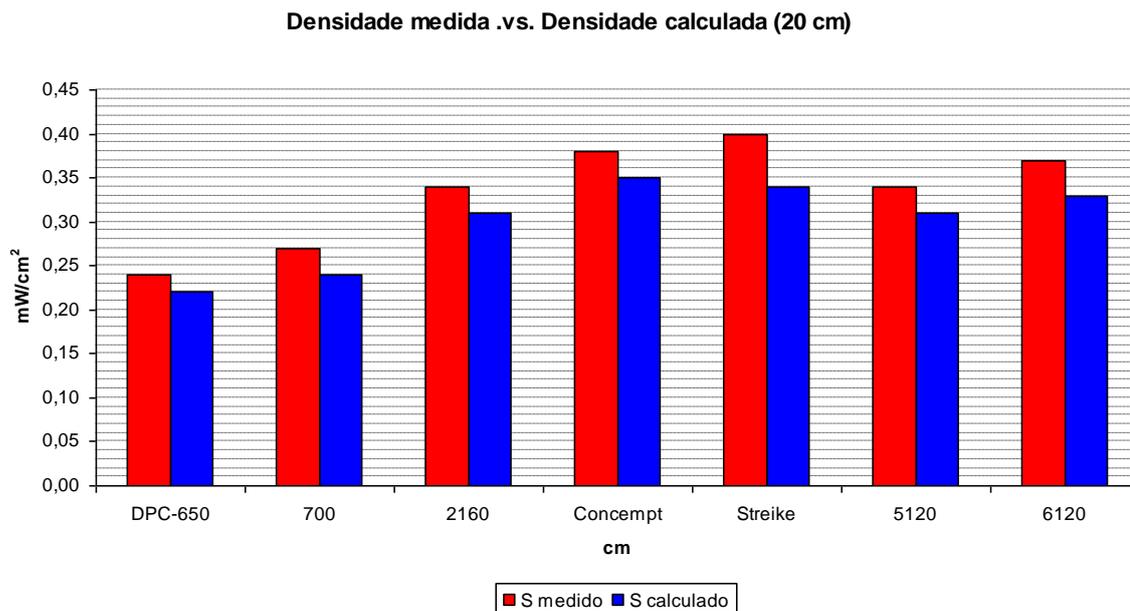


Figura 35 – Comparação da densidade de potência eletromagnética medida e o densidade calculada para distância entre antenas de 30 cm.

Os limites de densidade de potência eletromagnética irradiada suportáveis ao ser humano continuamente durante um intervalo de 6 (seis) minutos são apresentados no gráfico ilustrado na figura 36 [11].

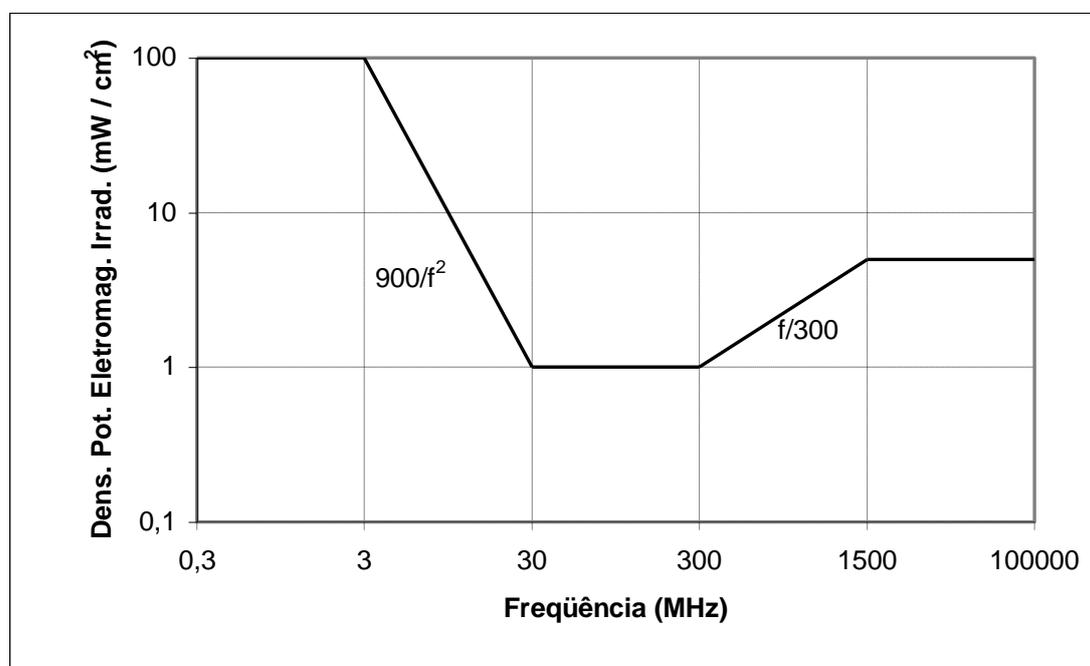


Figura 36: Limites estabelecidos pela norma ANSI C95.1-1991

Conhecendo a faixa de frequência de operação de um telefone celular que é de 824 a 849 MHz, podemos calcular os limites para a densidade de potência eletromagnética irradiada, onde:

$$\text{Densidade de Potência [mW/cm}^2\text{]} = \text{frequência [MHz]}/300$$

Sendo assim, teremos para a frequência inferior de 824 MHz um valor de 2,75 mW/cm<sup>2</sup>, e para o limite superior, correspondente a frequência de 849 MHz, um valor de 2,83 mW/cm<sup>2</sup>.

Comparando os valores da densidade de potência eletromagnética obtidos, com a realização de ensaios e através de cálculos, foi possível verificar que para uma distância de 5 cm, entre a antena do telefone celular e o sensor isotrópico, os valores obtidos, para algumas amostras, extrapolam os limites recomendados pela ANSI. Para estes casos recomenda-se que o uso do telefone celular esteja a uma distância maior que 5 cm.

Comparando os valores obtidos para os níveis de campo e densidade de potência eletromagnética, para os telefones celulares e a estação rádio base, verificamos que os níveis de irradiação propagados pelos telefones celulares possuem valores muito maiores.

Mesmo o telefone celular possuindo um nível de potência no transmissor ( em torno de 600 miliwatts) menor do que a do transmissor da estação rádio base, o qual dependendo do tipo de sistema pode alcançar potências na ordem de dezenas de watts, o telefone celular se torna uma fonte de perturbação muito mais significativa, isto, levando em conta as distâncias entre as antenas dos transmissores das estações rádio base, e o afastamento da antena do telefone celular junto ao usuário, que praticamente não existe.

De uma forma geral, os valores obtidos para a densidade de potência eletromagnética em áreas próximas à estação rádio base não são preocupantes, visto que, as antenas transmissoras geralmente possuem seus lóbulos de irradiação desviados de prédios, escolas ou áreas onde

possam haver um nível maior do que o estabelecido pela Lei Municipal nº 8463/2000, a qual sistematiza o regramento de padrões urbanísticos, sanitários e ambientais para instalação de estações rádio base (ERB), microcélulas de telefonia celular e equipamentos afins, e possui sua base teórica a partir da Norma ANSI C95.1-1991.

## ANEXO I

### Fixa de anotações dos dados e resultados dos ensaios

#### Dados Técnicos

MARCA: MOTOROLA

MODELO: DPC-650

#### Características Técnicas

Sistema: AMPS

Potência de transmissão: 600 mW

Banda de frequência: 824 – 849 MHz (Tx)

869 – 894 MHz (Rx)

Número de canais: 832 canais

#### Resultados medidos durante os ensaios

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	81,28	45,71	28,51	16,41
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	2,02	0,63	0,24	0,08

#### Resultados calculados

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	87,16	48,59	30,17	17,67
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	1,75	0,55	0,22	0,07
Erro para a intensidade	7,2%	6,3%	5,8%	7,7%
Erro para a densidade	13,4%	12,7%	8,3%	12,5%

### FIXA DE DADOS DOS TELEFONES CELULARES

## Dados Técnicos

**MARCA:** MOTOROLA

**MODELO:** M70A/700

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

**Sistema:** AMPS e TDMA

**Potência de transmissão:** 600 mW

**Banda de frequência:** 824 – 849 MHz (Tx)

869 – 894 MHz(Rx)

**Número de canais:** 832 canais

## Resultados medidos durante os ensaios

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	82,25	48,43	29,85	19,72
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	2,01	0,69	0,27	0,11

## Resultados calculados

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	87,05	51,02	32,15	20,59
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	1,79	0,62	0,24	0,10
Erro para a intensidade	5,8%	5,3%	7,7%	4,4%
Erro para a densidade	10,9%	10,1%	11,1%	9,1%

## FIXA DE DADOS DOS TELEFONES CELULARES

## Dados Técnicos

**MARCA:** Nokia

**MODELO:** 2160 EFR

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

**Sistema:** AMPS e TDMA

**Potência de transmissão:** 600 mW

**Banda de frequência:** 824 – 849 MHz (Tx)

869 – 894 MHz (Rx)

**Número de canais:** 832 canais

### Resultados medidos durante os ensaios

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	71,61	51,30	33,91	16,98
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	1,58	0,78	0,34	0,09

### Resultados calculados

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	77,13	54,29	36,05	18,29
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	1,36	0,70	0,31	0,08
Erro para a intensidade	7,7%	5,8%	6,3%	7,7%
Erro para a densidade	13,9%	10,3%	8,8%	11,1%

### FIXA DE DADOS DOS TELEFONES CELULARES

#### Dados Técnicos

**MARCA:** Gradiente

**MODELO:** Concempt

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Sistema: AMPS e TDMA

Potência de transmissão: 600 mW

Banda de frequência: 824 – 849 MHz (Tx)  
869 – 894 MHz (Rx)

Número de canais: 832 canais

### Resultados medidos durante os ensaios

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	105,92	51,34	36,34	13,35
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	3,33	0,77	0,38	0,06

### Resultados calculados

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	112,10	53,87	37,94	14,29
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	2,98	0,70	0,35	0,05
Erro para a intensidade	5,8%	4,9%	4,4%	7,0%
Erro para a densidade	10,5%	9,1%	7,9%	16,7%

## FIXA DE DADOS DOS TELEFONES CELULARES

### Dados Técnicos

MARCA: Gradiente

MODELO: Straike

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Sistema: AMPS e TDMA

Potência de transmissão: 600 mW

**Banda de frequência:** 824 – 849 MHz (Tx)  
869 – 894 MHz(Rx)  
**Número de canais:** 832 canais

#### Resultados medidos durante os ensaios

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	98,87	49,74	35,57	11,08
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	2,98	0,53	0,40	0,04

#### Resultados calculados

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	106,03	44,49	38,64	12,14
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	2,59	0,66	0,34	0,03
Erro para a intensidade	7,2%	10,6%	8,6%	9,6%
Erro para a densidade	13,1%	24,5%	15,0%	25,0%

### FIXA DE DADOS DOS TELEFONES CELULARES

#### Dados Técnicos

**MARCA:** Nokia  
**MODELO:** 5120

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

**Sistema:** AMPS e TDMA  
**Potência de transmissão:** 600 mW  
**Banda de frequência:** 824 – 849 MHz (Tx)  
869 – 894 MHz(Rx)  
**Número de canais:** 832 canais

### Resultados medidos durante os ensaios

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	100,01	47,18	34,24	14,15
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	2,94	0,71	0,34	0,07

### Resultados calculados

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	105,37	51,68	36,04	16,38
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	2,65	0,59	0,31	0,05
Erro para a intensidade	5,4%	9,5%	5,3%	15,8%
Erro para a densidade	9,9%	16,9%	8,8%	28,6%

## FIXA DE DADOS DOS TELEFONES CELULARES

### Dados Técnicos

**MARCA:** Nokia

**MODELO:** 6120

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

**Sistema:** AMPS e TDMA

**Potência de transmissão:** 600 mW

**Banda de frequência:** 824 – 849 MHz (Tx)

869 – 894 MHz (Rx)

**Número de canais:** 832 canais

**Resultados medidos durante os ensaios**

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	108,01	55,12	35,39	15,15
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	3,43	0,89	0,37	0,07

**Resultados calculados**

Medidas de Campo	Distâncias (cm)			
	5	10	20	30
Intensidade [V/m]	113,80	57,81	37,54	15,82
Nível densidade [mW/cm <sup>2</sup> ]	3,09	0,81	0,33	0,06
Erro para a intensidade	5,4%	4,9%	6,1%	4,4%
Erro para a densidade	9,9%	9,0%	10,8%	14,3%

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mateos, J. C. P. A interferência do telefone celular sobre os marcapassos permanentes. Reblampa. 1996. 9(1): 32-36,.
- [2] Jenks B. M. Pacemaker Defibrillator EMI Evaluations, 1989, Pub. Tech. Research Institute. Georgia Institute of Tecnology. Atlanta. USA.
- [3] HAYES, D. L. Interferência de Aparelhos de Comunicação Sem Fio Sobre Marcapassos e Desfibriladores Implantáveis, Reblama, 1997, Brasil.
- [4] CALOY, Marcio H. Projeto de um Sistema de Testes e Ensaios de Interferência Eletromagnética em Equipamentos Eletrônicos, CIENTEC – Fundação de Ciência e Tecnologia.
- [5] CISPR 22: Information Technology Equipment – Radio Disturbance Characteristics – Limits and Methods. 3<sup>a</sup> ed. 1997.
- [6] KYRIAZIS, Gregory. Controle de Interferência Eletromagnética em Computadores e Sistemas Digitais. COBRA – Computadores e Sistemas Brasileiros S.A.
- [7] EMCO, EMC Test Systems, Essential Equipment for EMC testing.
- [8] KRAUS, J. D., CARVER, K. R. Eletromagnetismo. 2ed. Rio de Janeiro, 1978. 780p.
- [9] ABRICEM, I Seminário sobre Exposição Ambiental e Ocupacional a Campos Eletromagnéticos. Rio de Janeiro, 2000.
- [10] DELO, Elementos Irradiantes, Porto Alegre, PUCRS, 1998.
- [11] Institute of Electrical and Electronics Engineers/American National Standards Institute – IEEE/ANSI, Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields – RF and Microwaves”, ANSI C95.1 – 1991.
- [10] DELO, Elementos Irradiantes, Porto Alegre, PUCRS, 1998.