

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MEDIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CAMPOS
ELETROMAGNÉTICOS NA ASA NORTE E EM SOBRADINHO
PARA AS
FAIXAS DE FREQUÊNCIA UTILIZADAS NA TELEFONIA
CELULAR**

**YGOR MARON PEIXOTO
ROBERTO PASSUELLO**

**ORIENTADOR:
LEONARDO R.A.X. DE MENEZES**

**PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

PUBLICAÇÃO

BRASÍLIA-DF: JULHO DE 2005

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MEDIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CAMPOS
ELETROMAGNÉTICOS NA ASA NORTE E EM SOBRADINHO
PARA AS
FAIXAS DE FREQUÊNCIA UTILIZADAS NA TELEFONIA
CELULAR**

**YGOR MARON PEIXOTO
ROBERTO PASSUELLO**

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

APROVADA POR:

LEONARDO R. A. X. DE MENEZES, Ph.D., UnB
(ORIENTADOR)

MARCO ANTÔNIO BRASIL TERADA, Ph.D, UnB
(EXAMINADOR INTERNO)

FAUSY SOLINO DIAS, ENGENHEIRO ELETRICISTA, UnB
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: Brasília, DF, 06 de Julho de 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

PASSUELLO, ROBERTO.

PEIXOTO, YGOR, M.

Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos em Sobradinho e na Asa Norte para as faixas de frequência utilizadas na telefonia celular. [Distrito Federal] 2003. (xiii), (62)p., 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheiro Eletricista, Engenharia Elétrica, 2005).

Projeto Final de Graduação. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Telecomunicações 2. Campos Eletromagnéticos
3. Efeitos Biológicos

I. ENE/FT/UnB. II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Passuello, R. e Peixoto, Y. M. 2005. Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos em Sobradinho e na Asa Norte (Projeto Final de Graduação), Publicação 07/2005, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, (57)p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Roberto Passuello e Ygor Maron Peixoto

TÍTULO DO PROJETO: Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos na Asa Norte e em Sobradinho para as faixas de frequência utilizadas na telefonia celular.

GRAU/ANO: Engenheiro Eletricista/2005.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. Os autores reservam outros direitos de publicação e nenhuma parte deste projeto final de graduação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito dos autores.

Roberto Passuello

SHCGN 716 Bloco T Casa 29

CEP 70770-750 – Brasília – DF – Brasil

Ygor Maron Peixoto

SQN 115 Bloco H Apartamento 106

CEP 70772-070 – Brasília – DF – Brasil

"O único local onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário."

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao professor orientador e amigo Leonardo R. A. X. de Menezes por toda a ajuda e incentivo para a elaboração do projeto. Também agradecemos a Fausy Dias que nos ajudou com o uso do Agilent E7495A e com a metodologia das medições. Também agradecemos ao professor Newton Moreira de Souza da pós-graduação em Geotecnia pela ajuda com o software SPRING. Aos nossos amigos Gustavo Nunes e Walter Ramirez que colaboraram na realização do projeto.

À minha família pelo apoio incessante e incentivo, meus pais Fausto e Marlene, meu irmão Bruno e minha segunda mãe, Iracy. À minha namorada, Carol, por sempre ter compreendido os dias e noites consumidos para a elaboração deste trabalho, verdadeiro amor da minha vida. Por todas as pessoas que colaboraram para a realização deste fato, direta ou indiretamente. A Deus, acima de tudo, e aos meus amigos.

Aos meus pais, Fausto e Virginia, e ao meu irmão ,Victor, por todo apoio dado para a conclusão deste curso. A minha namorada, Cecília, por toda compreensão e amor dedicados durante este período de longo aprendizado. E ao meu grande amigo, Nerlício, pelos bons conselhos dados.

RESUMO

A crescente oferta de comunicação móvel e a conseqüente proliferação das antenas de telefonia celular despertaram o interesse da comunidade quanto à questão da saúde relacionada à exposição aos campos eletromagnéticos gerados por estas antenas. A polêmica aumentou ainda quando estudos foram publicados, ainda sem embasamento científico suficiente, ligando o uso dos aparelhos a casos de doença.

Entretanto, existem várias outras fontes de campos eletromagnéticos, por vezes mais perigosas à saúde, que não são tidas como vilãs. Este estudo, no entanto, visa verificar o atendimento dos níveis de potência estabelecidos pela Agência Nacional de Telecomunicações para as faixas de telefonia celular. Devido ao fato de ser uma tecnologia relativamente nova, que também está presente em outros aparelhos que geram polêmica num nível menor, a telefonia móvel tem despertado um interesse incomum acerca dos efeitos de seu uso.

Logo, no intuito de tentar demonstrar a adequação dos níveis de potência aos parâmetros estabelecidos na Asa Norte e em Sobradinho, idealizou-se este projeto, fundamentado em um vasto estudo dos efeitos das radiações não-ionizantes e da legislação regulamentadora pertinente. Assim, elaborou-se um mapa de cada localidade estudada a fim de demonstrar qual o nível de atendimento aos parâmetros estabelecidos. Os mapas proporcionam também a visualização dos níveis de potência normalizadas, com base nos níveis legais, podendo-se informar a população em geral quanto à sua segurança .

ABSTRACT

The increasing offer of mobile communication services and the subsequent proliferation of antennas woke the interest of people in the effects of the exposition to the electromagnetic fields in radio-frequency generated by those antennas. The polemic increased when some research were published by the communications vehicles without the necessary conclusions linking the use of gear to the diseases.

By the way, there are many other sources of electromagnetic fields, some times more dangerous, that are not taken as bad. For example, the radio diffusion in FM, where the wave lengths are the order of the human body, that can be very dangerous.

This study intends to verify the attempt of the levels of power levels established by ANATEL to the mobile phone spectrum ranges. As it is a new technology, that is present in other gears that are polemic in a less degree, the mobile communication has awakened an uncommon interest to the effects of its use.

So, in the intuit to show the adequacy to the levels of power levels to the parameters established at Asa Norte and Sobradinho, this project was idealized, funded in a vast study of the effects of the non-ionizing and about the apt legislation. A map of each localization studied was made to show the level of attempt to the established parameters. The maps show the levels of normalized power, in base of the legal levels, tranquilizing the people in general about their safe.

GLOSSÁRIO

ABRCEM . Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética
ANATEL . Agência Nacional de Telecomunicações
ANSI . American National Standards Institute
CEMRF . Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos de Rádio-Frequência
CENELEC . Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
EIRP . Potência Efetivamente Radiada Isotropicamente
ELF . Extremely Low Frequency
ERB . Estação Rádio-Base
ERP . Potência Efetiva Radiada
FCC . Federal Communication Commission
ICNIRP . International Non-Ionizing Radiation Committee
IEEE . Institute of Electrical and Electronics Engineers
IRPA . Associação Internacional de Proteção a Radiações
OMS . Organização Mundial da Saúde
RF . Rádio-Frequência
RNI . Radiação Não-Ionizante
SA . Specific Absorption
SAR . Specific Absorption Rate
UNEP . United Nations Environmental Program

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Histórico.....	1
1.3 Definições, Grandezas e Unidades.....	4
1.4 Caracterização do sistema de telefonia Celular.....	7
2. Estudo dos efeitos biológicos das radiações não-ionizantes.....	9
2.1. Efeitos biológicos e estudos epidemiológicos (100 KHz - 300 GHz).....	9
2.1.1. Efeitos diretos dos campos eletromagnéticos.....	9
2.1.1.1. Efeitos sobre a reprodução.....	9
2.1.1.2. Estudos sobre o câncer.....	10
2.1.1.3. Estudos com voluntários.....	11
2.1.1.4. Estudos em células e animais.....	11
2.1.1.5. Considerações especiais para formas de onda pulsadas e moduladas em amplitude....	14
2.2. Efeitos indiretos de campos eletromagnéticos.....	16
3. Legislação regulamentadora.....	17
3.1. Restrições básicas (limites de exposição).....	17
3.2. Verificação do atendimento aos limites propostos.....	21
3.3. Cálculos teóricos.....	22
3.4. Procedimentos de medição.....	24
3.5. Avaliação de locais multi-usuários.....	25
4. Procedimento utilizado no projeto.....	28
4.1. Análise teórica.....	28
4.2 Escolha dos locais para medição.....	28
4.3 Metodologia adotada na medição.....	28
4.4 Metodologia adotada na interpolação.....	29
5. Resultados obtidos e análise.....	30
6. Equipamento utilizado nas medições.....	43
7. Conclusões e sugestões.....	44
8. Referências bibliográficas.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 – Níveis de referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo.....	20
Figura 3.2 – Níveis de referência para exposição a campos magnéticos variáveis no tempo.....	20
Figura 4.1 – Valor da cota (+) obtido a partir dos 4 vizinhos amostrados mais próximos.....	30
Figura 5.1 – tela do equipamento com exemplo de medição.....	31
Figura 5.2 – disposição das antenas durante realização da medição.....	32
Figura 5.3 – ERB localizada na Asa Norte.....	32
Figura 5.4 – mapa de potências do Plano Piloto na faixa de 1800 MHz.....	37
Figura 5.5 – Mapa de potências do Plano Piloto na faixa de 850 MHz.....	38
Figura 5.6 – Distribuição dos pontos de medição no Plano Piloto.....	39
Figura 5.7 – Mapa de potências de Sobradinho na faixa de 1800 MHz.....	40
Figura 5.8 – Mapa de potências de Sobradinho na faixa de 850 MHz.....	41
Figura 5.9 – Distribuição dos pontos de medição em Sobradinho.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Grandezas e unidades.....	7
Tabela 2.2 – Faixas de limiares de correntes para efeitos indiretos, incluindo crianças, mulheres e homens.....	16
Tabela 3.1 – Restrições básicas para campos elétricos e magnéticos, variáveis no tempo, até 10 GHz.....	18
Tabela 3.2.a – Níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados).....	19
Tabela 3.2.b – Níveis de referência para exposição do público geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados).....	19
Tabela 3.3 – Níveis de referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato com objetos condutores.....	21
Tabela 3.4 – Níveis de referência para correntes induzidas em qualquer membro à frequência entre 10 e 110 MHz.....	21
Tabela 3.5 – Expressões para o cálculo de distâncias mínimas a antenas de estações transmissoras para atendimento aos limites de exposição.....	23
Tabela 5.1 – valores das potências medidas e calculadas.....	36

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é verificar os níveis de potência nas faixas usadas pela telefonia móvel – 850 a 900 MHz e 1800 a 1850 MHz – e verificar se estão em conformidade com os níveis dispostos na legislação vigente, com a apresentação de mapas onde estarão dispostos os níveis medidos. As áreas a serem analisadas são Asa Norte e Sobradinho.

1.2. HISTÓRICO

Radiações não-ionizantes (RNI) são campos eletromagnéticos de radiofrequência (CEMRF) que não são capazes de ionizar o meio por onde se propagam. Esta incapacidade de ionizar o meio se deve ao fato de que não possuem energia suficiente para fazê-lo. Estes campos são encontrados na natureza na forma de radiação infravermelho (calor), radiação ultravioleta ou luz visível, dependendo da faixa de frequência.

Com o crescente desenvolvimento de tecnologias e aplicações campos eletromagnéticos começaram a ser gerados artificialmente. Serviços de telefonia móvel – objeto de estudo deste projeto, radiodifusão e comunicação via satélite são exemplos de aplicação dos CEMRF. Nos serviços de telefonia móvel, que se tornaram bastante comuns e populares, com a presença de várias operadoras no mercado, tem-se a divisão da região em células, cada célula contando com uma estação rádio-base (ERB). As ERBs geram e recebem CEMRF para o fim de comunicação com os aparelhos móveis.

A necessidade de comunicação levou à implantação de ERBs dentro das cidades em grande número, pois são muitas pessoas dispostas a usar este serviço. As ERBs operam com níveis de potência compatíveis com o tamanho da célula que devem cobrir. Estando dentro das cidades, onde transitam pessoas, houve a necessidade de se iniciarem estudos acerca do nível de radiação não-ionizante que pode ser considerado aceitável para exposição das pessoas.

Em 1974, a Associação Internacional de Proteção a Radiações (IRPA) organizou um grupo de trabalho acerca de radiação não-ionizante, que investigou os problemas originados no campo da proteção contra os vários tipos de RNI. No Congresso da IRPA em Paris, em 1977, este grupo de trabalho originou a Comissão Internacional de Radiações Não-Ionizantes (International Non-Ionizing Radiation Committee - INIRC).

Em colaboração com a Divisão de Saúde Ambiental da Organização Mundial de Saúde (OMS), a IRPA/INIRC desenvolveu vários documentos contendo critérios de saúde, como parte do Programa de Critérios de Saúde Ambiental da OMS. Os documentos incluem uma visão geral das características físicas, técnicas de medição e instrumentação, fontes e aplicações de RNI, uma análise completa da literatura sobre efeitos biológicos e uma avaliação dos riscos de saúde devidos à exposição à RNI. Estes critérios de saúde proporcionaram uma base de dados científica para posterior desenvolvimento dos limites de exposição e dos procedimentos.

Durante o VIII Congresso Internacional da IRPA realizado em Montreal, maio de 1992, foi criada uma nova organização científica internacional independente, a Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não-Ionizantes (ICNIRP), que sucedeu a IRPA/INIRC. As funções dessa Comissão são investigar os perigos que podem ser associados com as diferentes formas de RNI; desenvolver diretrizes internacionais sobre limites de exposição a RNI e também tratar de todos os aspectos da proteção a RNI. Efeitos biológicos relatados como resultantes da exposição a campos elétricos e magnéticos estáticos e de frequência extremamente baixa (ELF) foram revisados por UNEP/OMS/IRPA [1]. Essas publicações e muitas outras, incluindo-se UNEP/OMS/IRPA [2] e Allen et al [3], proporcionaram a base científica para estas diretrizes.

No Brasil, a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) definiu a regulamentação com base principalmente no ICNIRP, com o auxílio de outras recomendações internacionais. A primeira delas é a ANSI (American National Standards Institute), responsável pela normalização da matéria nos EUA, cuja primeira publicação, em 1966, estabelecia de uma maneira bastante simplista o nível de densidade de potência para a faixa de 10 MHz a 100 MHz. Após várias revisões esse documento chegou à versão ANSI/IEEE C95.1-1991 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. Este documento, algumas vezes utilizado no Brasil como referência na abordagem do assunto, apresenta seus limites de exposição dependente da classificação do ambiente. Divide-se em ambiente controlado e ambiente não-controlado. O ambiente controlado é aquele onde os níveis permitidos são mais elevados, onde existe uma exposição conhecida por pessoas que freqüentam ou passam e normalmente está relacionado ao ambiente de trabalho dessas pessoas. O ambiente não-controlado é aquele onde os níveis permitidos são inferiores ao anterior. É o local onde os indivíduos são expostos temporária ou permanentemente, desconhecendo a ocorrência da exposição, não tomando nenhuma precaução a respeito.

Outra recomendação existente é do CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique), que em 1995 elaborou o documento ENV 50166-2, um projeto de norma européia que trata da exposição de pessoas a campos eletromagnéticos em frequências entre 10 kHz e 300 GHz. Como as demais recomendações, ela estabelece limites com base nos efeitos térmicos.

Considera-se que os efeitos não-térmicos não reúnem resultados suficientes para fornecer base para uma maior restrição nos limites de exposição. Os limites de SAR (Specific Absorption Rate ou Taxa de Absorção Específica) de corpo inteiro adotados são iguais aos adotados pela ICNIRP, embora os critérios utilizados na determinação das grandezas de campo elétrico e magnético sejam diferentes. Da mesma forma que o ICNIRP, a ENV 50166-2 estabelece limites para público em geral e para ambiente controlado.

O FCC (Federal Communication Commission) é o órgão norte-americano responsável pela regulamentação na área das telecomunicações. O Código de Regulamentos Federais 47 (Code of Federal Regulations 47 ou CFR 47) traz no Capítulo 1, Parte 1, Sub-parte I prescrições acerca da avaliação dos efeitos sobre o ambiente devido à operação ou instalação de antenas transmissoras. Entre os vários aspectos verificados está incluída a exposição de pessoas aos campos eletromagnéticos emitidos pela antena. No CFR 47, estão apresentadas características de sistemas radiantes de certos serviços para os quais é exigido um documento de avaliação ambiental com a declaração do atendimento aos níveis de exposição determinados no próprio código. Assim, os serviços de telefone celular, serviços de comunicação pessoal e serviços de comunicação sem fio devem satisfazer duas condições: a potência efetivamente radiada (ERP) de antenas montadas em estruturas de prédios deve ser menor que 1.000 W e, para antenas montadas em outras estruturas a altura entre o solo e o ponto mais baixo da antena deve ser maior que 10 m e a ERP menor que 1.000 W.

Por fim, é importante ressaltar que, a partir dos estudos acumulados sobre os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos apresentados nas considerações das diversas recomendações internacionais supracitadas, os limites hoje estabelecidos tomam por base somente os efeitos que estes campos têm nos tecidos biológicos causado pelo aumento de temperatura nestes, ou seja, por meio dos denominados efeitos térmicos. Os efeitos não-térmicos têm sido continuamente estudados internacionalmente, mas as poucas evidências sobre o assunto ainda não justificaram mudanças na atual abordagem dos estudos das RNIs.

Uma publicação da OMS de Janeiro de 2005 do International ELF (Eletromagnetic Fields) [4] Project Information Sheet afirma que os campos eletromagnéticos presentes em ecossistemas terrestres e marinhos não exercem influência significativa, exceto nas vizinhanças de fontes muito fortes.

Esse projeto foi iniciado por um estudo de metodologia para medição de níveis potência [5]. É continuação de um projeto maior que visa mapear todo o Distrito Federal. Já foram realizados os mapeamentos no Campus da UnB [6], em Brazlândia [7] e está sendo realizado concomitante com este na Asa Sul e Sobradinho[8].

1.3. DEFINIÇÕES, GRANDEZAS E UNIDADES

Os campos elétricos surgem com a simples presença de uma carga elétrica. Já os campos magnéticos resultam do movimento da carga elétrica (corrente elétrica). O campo elétrico, \mathbf{E} , exerce forças sobre uma carga elétrica, sendo sua unidade volt por metro (V/m). Similarmente, campos magnéticos podem exercer forças físicas sobre cargas elétricas, mas somente quando tais cargas estão em movimento. Campos elétricos e magnéticos têm amplitude e direção, são grandezas vetoriais. Um campo magnético pode ser determinado de duas maneiras: como fluxo de densidade magnética \mathbf{B} , em tesla (T), ou como campo magnético \mathbf{H} , em ampère por metro (A/m). As duas quantidades são relacionadas pela equação:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (1.1)$$

onde μ é a constante de permeabilidade magnética. No vácuo e no ar, bem como em materiais não magnéticos (inclusive meios biológicos), μ tem valor aproximado $4\pi \times 10^{-7}$ quando expresso em Henry por metro (H/m). Portanto, na descrição de um campo magnético é suficiente especificar apenas \mathbf{B} ou \mathbf{H} .

É comum, e previsto na teoria eletromagnética, a adoção de aproximações a fim de se reduzir a complexidade dos cálculos. Na região de campo distante, o modelo de onda plana é uma boa aproximação para a propagação da onda eletromagnética. Esta região ocorre quando se está suficientemente longe de uma fonte geradora de campo, com a frente de onda tornando-se plana. A propagação de onda ocorre de maneira esférica, com a energia sendo dispersada em todas as direções. As características da onda plana são:

- as frentes de onda têm uma geometria plana;
- os vetores \mathbf{E} , \mathbf{H} e a direção de propagação são perpendiculares;
- a fase dos campos \mathbf{E} e \mathbf{H} é a mesma e o quociente da amplitude entre \mathbf{E} e \mathbf{H} é constante através do espaço. No espaço livre (vácuo), o quociente E/H é igual a 377 ohms, que é o valor da impedância característica do espaço livre;
- a densidade de potência \mathbf{S} , potência por unidade de área normal à direção de propagação, está relacionada aos campos elétrico e magnético pela expressão

$$S = \mathbf{E} \times \mathbf{H} = \frac{E^2}{377} = 377 \times H^2 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1.2)$$

A situação na região de campo próximo é mais complexa. Os valores máximo e mínimo dos campos **E** e **H** não ocorrem nos mesmos instantes ao longo da direção de propagação, como acontece na região de campo distante. Na região de campo próximo, a estrutura do campo eletromagnético não é homogênea, havendo variações no valor da impedância de onda, podendo haver quase exclusivamente campos **E** ou **H** em determinados pontos. Nesta situação, a densidade de potência não é uma quantidade apropriada para exprimir restrições à exposição.

A exposição a campos eletromagnéticos variáveis no tempo resulta em correntes internas no corpo e absorção de energia nos tecidos, que dependem dos mecanismos de acoplamento e da frequência envolvida. O campo elétrico interno e a densidade de corrente estão relacionados pela Lei de Ohm:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (1.3)$$

onde σ é a condutividade elétrica do meio, S/m (Siemens por metro).

Para a avaliação de campos eletromagnéticos a intensidade de campo elétrico e a densidade de corrente são grandezas comumente aceitas, sem que se faça distinção em frequência. No entanto, as quantidades normalmente usadas em normas nacionais e internacionais levam em conta diferentes faixas de frequências:

- Densidade de corrente **J**, na faixa de frequências até 10 MHz;
- Corrente **I**, na faixa de frequências até 110 MHz;
- Taxa de absorção específica SAR, para campos pulsados, na faixa de frequências de 300 MHz a 10 GHz; e
- Densidade de potência **S**, na faixa de frequências de 10 GHz a 300 GHz.

Na faixa de frequências de 100 kHz a 10 GHz utiliza-se a taxa de absorção específica (SAR), definida como a taxa de absorção de energia pelos tecidos do corpo, em watt por quilograma (W/kg). A SAR depende dos parâmetros do campo, frequência, intensidade, polarização e configuração fonte-objeto; das características do corpo, tamanho, geometria interna e externa e propriedades dielétricas dos vários tecidos; e dos efeitos de aterramento e reflexão de outros objetos no campo próximo ao corpo exposto. Este projeto deve-se ater à SAR [17], pois as faixas de frequência analisadas estão compreendidas entre 300 MHz e 10 GHz – mais especificamente 850 a 900 MHz e 1800 a 1850 MHz. Assim, define-se:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad [\text{W/kg}] \quad (1.4)$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{SAR}{c} \quad [^\circ\text{C/s}] \quad (1.5)$$

onde σ é a condutividade do tecido em S/m (ou $1 / (\Omega \times \text{m})$), ρ é a densidade volumétrica do tecido em kg/m^3 , E é o valor rms do campo elétrico interno em V/m, T é a temperatura em $^\circ\text{C}$ e c é a capacidade de calor específica em J/kg.

A IRPA estabelece como limite de SAR de corpo inteiro para exposição ao público geral de 0,08 W/kg. Este limite baseia-se em resultados de pesquisas que inicialmente estabeleceram aumentos de temperatura do corpo superiores a 1°C em um indivíduo em condições ambientais moderadas quando submetido a uma SAR de corpo inteiro de aproximadamente 4 W/kg por 30 minutos. Como limite de segurança para o público ocupacional utilizou-se um fator de 10, resultando em uma SAR de 0,4 W/kg e finalmente acrescenta-se mais um fator de 5 para o público geral, chegando assim a 0,08 W/kg.

Definições de exposição ocupacional e público geral:

- Exposição ocupacional ou exposição controlada é a situação em que pessoas são expostas a CEMRF em consequência de seu trabalho, cientes do potencial de exposição, onde exercem controle sobre sua permanência no local ou tomam medidas preventivas.
- Exposição pela população em geral ou exposição não-controlada é a situação em que a população em geral possa ser exposta a CEMRF ou situação em que pessoas possam ser expostas em consequência de seu trabalho, porém sem estarem cientes da exposição ou sem possibilidade de adotar medidas preventivas.

Define-se também exposição contínua e transitória e média temporal:

- Exposição contínua: exposição à CEMRF, por períodos de tempo superiores ao utilizado para se obter a média temporal. Normalmente, o período de tempo considerado para cálculo da média temporal é de 6 (seis) minutos.
- Exposição transitória: exposição à CEMRF por períodos inferiores ao utilizado para o cálculo da média temporal.
- Média temporal: média das densidades de potência medidas em um determinado local, num determinado período de tempo.

Um sumário geral das grandezas relacionadas com CEM e dosimetria, é apresentado na Tabela 1.1.

Grandeza	Símbolo	Unidade
Condutividade	σ	Siemens por metro (S/m)
Corrente	I	Ampère (A)
Densidade de corrente	J	Ampère por metro quadrado (A/m ²)
Frequência	F	Hertz (Hz)
Campo elétrico	E	Volt por metro (V/m)
Campo magnético	H	Ampère por metro (A/m)
Densidade de fluxo magnético	B	Tesla (T)
Permeabilidade magnética	μ	Henry por metro (H/m)
Permissividade	ϵ	Farad por metro (F/m)
Densidade de potência	S	Watt por metro quadrado (W/m ²)
Absorção específica	AS	Joule por quilograma (J/kg)
Taxa de absorção específica	SAR	Watt por quilograma (W/kg)

Tabela 1.1 – Grandezas e unidades

1.4 Caracterização do Sistema de Telefonia Móvel

De uma maneira simplificada um sistema de telefonia móvel é composto de três componentes: Terminal ou Estação Móvel (EM), Estação Rádio Base (ERB) e Centro de Comutação e Controle (CCC).

Estação Móvel ou Estação Celular – é o terminal móvel do usuário composto de monofone, teclado, unidade de controle, bateria, unidade de rádio e antena. Sua função principal é fazer a interface entre o usuário e o sistema. Esses equipamentos podem ser do tipo portátil, veicular ou transportável, dependendo de suas dimensões, potência e carga.

Estação Rádio Base (ERB) ou BSS (Base Station SubSystem) – é a repetidora das informações de voz e dos dados de controle trocados em meio eletromagnético, fazendo a interface entre as diversas estações móveis e uma central de comutação e controle. É composto por um sistema de rádio, um sistema de processamento e controle, e pela interface com a central. A ERB é responsável pela monitoria do sinal recebido de uma estação móvel, devendo comunicar à central qualquer alteração indesejada no sinal recebido.

Central de Comutação e Controle (CCC) ou no sistema GSM, NSS (Network SubSystem) – realiza a interface entre o sistema móvel e a rede pública. Possui estrutura semelhante à das centrais

telefônicas de comutação, embora exerça funções específicas de um sistema de comunicação móvel celular, tais como: alocação de frequências, supervisão das ERB, encaminhamento de tráfego, controle do nível de potência das estações móveis, procedimentos de handoff de uma ERB para outra, controle de tráfego, rastreamento e localização de estações móveis, roaming de estações móveis visitantes, entre outras.

Outros dois componentes de menor importância estão presentes em alguns sistemas: as controladoras de estações Rádio Base que fazem a interface entre um conjunto de ERB e uma central, tomando algumas funções desta última, de modo a desconcentrar o processamento normalmente centralizado. O outro componente é a chamada estação celular que realiza algumas funções da ERB e trabalha como repetidora das informações de voz e dados entre a ERB e a estação móvel.

O aparelho estabelece contato, via rádio, com a rede de telefonia celular, enviando sinais de rádio para a estação rádio-base mais próxima que, por sua vez, envia a chamada para um comutador de telefonia móvel. Se a chamada está sendo feita para um telefone fixo, o comutador móvel a envia para a rede de telefonia fixa. Se a chamada está sendo feita para um outro telefone celular, o comutador a direciona a outra estação rádio-base, cuja antena envia a chamada, através de sinais de rádio, para o telefone celular do outro usuário. As chamadas são de duas mãos, ou seja, as estações rádio-base enviam e recebem sinais de rádio.

Visto que os telefones celulares possuem um alcance limitado, as chamadas só são possíveis se existir uma estação rádio-base próxima. É por isso que as estações rádio-base estão localizadas em intervalos regulares, de acordo com um planejamento padrão, similar ao que orienta a colocação da iluminação pública, de maneira a iluminar, uniformemente, ruas e avenidas. Cada estação rádio-base atende a uma determinada área geográfica chamada de célula. Quando o usuário se desloca de uma célula a outra – dirigindo por uma estrada, por exemplo, a estação rádio-base que atende a nova célula automaticamente “assume a responsabilidade” sobre as chamadas enviadas ou recebidas por aquele usuário.

2. ESTUDOS DOS EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES NÃO-IONIZANTES

Existe nos dias de hoje uma grande polêmica sobre os efeitos das radiações não-ionizantes sobre a saúde. Esta polêmica surgiu devido à popularização dos sistemas móveis celulares, que trouxeram uma série de preocupações para a população. Assim, foram iniciadas pesquisas sobre o assunto. No entanto, como exposto a seguir, os estudos acerca da exposição a longo prazo ainda não se mostraram conclusivos a ponto de se propor um nível seguro de exposição, nem mesmo se tal nível existe. Todas as conclusões usadas baseiam-se em teorias e dados estatísticos, nada tendo sido cientificamente demonstrado.

2.1. EFEITOS BIOLÓGICOS E ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS (100 kHz - 300 GHz)

As seções seguintes proporcionam uma revisão geral da literatura sobre os efeitos biológicos, e possíveis efeitos na saúde, da exposição a campos eletromagnéticos com frequências de 100 kHz a 300 GHz.

2.1.1. Efeitos diretos dos campos eletromagnéticos

2.1.1.1. Efeitos sobre a reprodução

Com relação aos efeitos biológicos relacionados com o sistema reprodutivo humano, a documentação do ICNIRP traz alguns exemplos de estudos feitos, nos EUA, tanto em homens quanto em mulheres. Vários estudos epidemiológicos, realizados de 1973 a 1993, não forneceram nenhuma evidência concreta de efeitos adversos ao aparelho reprodutor humano causados pela exposição a campos eletromagnéticos. Até o presente momento nada pode ser afirmado. Quando os resultados negativos aparecem não podem ser associados exclusivamente à exposição aos campos eletromagnéticos.

Estudos realizados com mulheres tratadas com diatermia de microondas para aliviar a dor das contrações uterinas durante o parto não acharam nenhuma evidência de efeitos prejudiciais ao feto. Todavia, sete estudos sobre conseqüências na gravidez, entre trabalhadoras expostas ocupacionalmente a radiação de microondas e sobre defeitos de nascimento em seus descendentes produziram tanto resultados positivos quanto negativos. Em alguns dos mais extensos estudos epidemiológicos, com operadoras de máquinas seladoras de plásticos por RF e fisioterapeutas trabalhando com aparelhos de diatermia por ondas curtas, não foram achados efeitos estatisticamente significativos sobre índices de aborto ou má

formação do feto. Como contraste, outros estudos sobre populações semelhantes de mulheres trabalhadoras, acharam um aumento de risco de aborto e defeitos de nascimento. Um estudo sobre trabalhadores em instalações de radar não achou nenhuma associação entre exposição a microondas e risco de síndrome de Down, em sua descendência.

Em geral, os estudos sobre conseqüências na reprodução relacionadas à exposição a microondas são imprecisos na avaliação da exposição e representam um número muito pequeno de casos. Apesar dos resultados destes estudos serem geralmente negativos, será difícil chegar a conclusões seguras sobre riscos na reprodução sem mais dados epidemiológicos relacionados com indivíduos altamente expostos sem uma avaliação mais precisa da exposição.

2.1.1.2. Estudos sobre o câncer

Estudos sobre o risco de câncer relacionado à exposição a microondas são poucos, faltando geralmente determinação quantitativa da exposição. Estudos epidemiológicos em trabalhadores de radares na indústria de aviação e nas forças armadas dos Estados Unidos não encontraram nenhuma evidência de aumento de morbidez ou mortalidade, por qualquer causa. Resultados similares foram obtidos por Lillienfeld et al. [9] em um estudo realizado com funcionários da Embaixada dos Estados Unidos em Moscou, expostos, de forma crônica, a um baixo nível de radiação de microondas não acusaram nenhum aumento no risco de câncer entre crianças expostas, de forma crônica, à radiação de um transmissor de microondas, de alta potência, instalado perto de suas casas. Estudos mais recentes falharam em mostrar aumentos significativos nos tumores de tecidos nervosos em trabalhadores e guarnições militares expostas a campos de microondas. Além disso, não ficou evidenciado um aumento de mortalidade, por nenhuma causa, entre usuários de telefones móveis, mas é ainda muito cedo para observar um efeito, na incidência de câncer ou na mortalidade.

Houve um relatório sobre o aumento de risco de câncer entre guarnições militares, mas os resultados do estudo são de difícil interpretação, porque nem o tamanho da população nem os níveis de exposição são claramente especificados. Em um estudo posterior encontraram-se índices ampliados de leucemia e linfoma entre guarnições militares expostas a CEM, mas a avaliação da exposição a CEM não foi bem definida. Uns poucos estudos recentes de populações vivendo perto de transmissores CEM sugeriram um aumento local na incidência de leucemia, mas os resultados não são conclusivos. No conjunto, os resultados do pequeno número de estudos epidemiológicos publicados contribui com informação limitada sobre o risco de câncer.

2.1.1.3. Estudos com voluntários

Estudos realizados por Chatterjee et al. [10] demonstraram que, quando a frequência aumenta, de aproximadamente 100 kHz até 10 MHz, o efeito dominante da exposição a um campo eletromagnético de intensidade elevada passa a ser o aquecimento, em lugar da estimulação de nervos e músculos. Para 100 kHz, a principal sensação observada foi a de latejamento em nervos, enquanto que, em 10 MHz, foi de calor moderado na pele. Nessa faixa de frequências, portanto, o critério básico de proteção da saúde deve ser tal que evite o estímulo de tecidos e os efeitos do aquecimento. Nas frequências de 10 MHz a 300 GHz, o aquecimento é o principal efeito da absorção de energia eletromagnética e um aumento de temperatura corporal superior a 1° a 2° C pode ter efeitos adversos na saúde, como exaustão e choque térmico.

Estudos realizados com trabalhadores em ambientes termicamente estressantes mostraram que a elevação da temperatura corporal a níveis próximos a estresse fisiológico devido ao calor, piora o desempenho de tarefas simples. Voluntários submetidos à passagem de correntes de alta frequência com intensidades entre 100 e 200 mA através de um membro, acusaram uma sensação de calor moderado. É pouco provável que a SAR, nessas condições, possa causar nos membros um aumento localizado de temperatura superior a 1°C [11], valor que tem sido sugerido como o maior aumento de temperatura sem efeito prejudicial à saúde (UNEP/WHO/IRPA 1993).

Resultados obtidos com voluntários para frequências de 50 MHz a 110 MHz (limite superior da faixa de radiodifusão FM), justificam a fixação de um nível de referência de 100 mA para correntes nos membros, para evitar efeitos devidos a aquecimento excessivo [12]. Foram realizados estudos sobre respostas termorreguladoras de voluntários expostos a CEM, em repouso, durante a obtenção de imagens por ressonância magnética. Em geral, os estudos demonstraram que a exposição por até 30 minutos sob condições em que a SAR de corpo inteiro manteve-se menor do que 4 W/kg, causou um aumento inferior a 1°C na temperatura interna do corpo.

2.1.1.4. Estudos em células e animais

Há vários relatórios sobre respostas comportamentais e fisiológicas de animais de laboratório, inclusive roedores, cachorros e primatas, a fenômenos térmicos relacionados com CEM em frequências acima de 10 MHz. Respostas, tanto na termossensibilidade, como na termorregulação, são associadas com o hipotálamo e com receptores térmicos localizados na pele e nas partes internas do corpo. Sinais aferentes refletindo mudanças de temperatura convergem ao sistema nervoso central e modificam a atividade dos

principais sistemas de controle neuroendócrino, disparando as respostas fisiológicas e de comportamento necessárias à manutenção da homeostase térmica. A exposição de animais de laboratório à CEM, resultando numa absorção de energia superior a 4 W/kg, revelou um modelo característico de resposta termorreguladora, segundo a qual a temperatura do corpo aumenta inicialmente e em seguida se estabiliza, a partir da ativação de mecanismos termorreguladores.

A fase inicial desta resposta é acompanhada por um aumento do volume de sangue, devido ao movimento de fluido extracelular para a circulação e por aumentos na taxa de batida cardíaca e na pressão sangüínea intraventricular. Estas mudanças hemodinâmicas refletem respostas termo reguladoras que facilitam a condução de calor para a superfície do corpo. A exposição prolongada de animais à radiação de microondas, em níveis de intensidade que elevam a temperatura do corpo, acaba conduzindo ao colapso destes mecanismos termorreguladores. Vários estudos com roedores e macacos, demonstraram também uma componente comportamental nas respostas termorreguladoras. Foi observada uma queda no desempenho de tarefas por macacos e ratos, para valores de SAR entre 1 e 3 W/kg. Nos macacos, as alterações no comportamento termorregulador começam quando a temperatura na região do hipotálamo aumenta apenas 0,2 - 0,3 °C.

O hipotálamo é considerado como sendo o centro de controle de processos termorreguladores normais, e sua atividade pode ser modificada por um pequeno aumento da temperatura local, sob as mesmas condições em que a temperatura retal permanece constante. Um grande número de efeitos fisiológicos foi caracterizado em estudos com sistemas celulares e animais em níveis de energia eletromagnética absorvida que causam elevações de temperatura corporal em excesso de 1 - 2 °C. Estes efeitos incluem alterações em funções neurais e neuromusculares, aumentos de permeabilidade na barreira hematencefálica, dano ocular, (opacidade da lente e anormalidades da córnea), mudanças no sistema imunativo associadas ao estresse, mudanças hematológicas, mudanças reprodutivas (como a redução na produção de espermatozoides), teratogênese e mudanças na morfologia, no conteúdo de água e de eletrólito, e nas funções da membrana das células.

Sob condições de exposição parcial do corpo a CEM intensos, pode ocorrer um dano térmico significativo em tecidos sensíveis, tais como encontrados nos olhos e nos testículos. Cataratas nos olhos de coelhos resultaram da exposição a microondas, com 2-3 horas de duração e SAR de 100-140 W/kg, causando temperaturas lenticulares de 41-43 °C. Nenhum caso de catarata foi observado em macacos expostos a campos de microondas com intensidades similares ou mais altas, possivelmente por causa de diferenças nas formas de absorção de energia nos olhos dos macacos e dos coelhos.

Nas frequências muito altas (10-300 GHz), a absorção de energia eletromagnética ocorre principalmente nas camadas epidérmicas da pele, nos tecidos subcutâneos e na parte externa do olho. Na extremidade mais alta da faixa de frequências, a absorção é, de modo crescente, superficial. O dano ocular

nestas frequências pode ser evitado se a densidade de potência de microondas é menor do que 50 W/m^2 (UNEP/WHO/IRPA 1993 [2]).

Tem havido recentemente interesse considerável nos possíveis efeitos carcinogênicos da exposição a campos de microondas com frequências na faixa ocupada por sistemas de comunicação largamente utilizados, incluindo telefones móveis portáteis e estações rádio-base. Os resultados de pesquisas nestas áreas foram sumariados pela ICNIRP (1996). Resumidamente, há muitos relatórios sugerindo que os campos de microondas não são mutagênicos, e que, portanto, é improvável que a exposição a estes campos possa iniciar a carcinogênese. Em contraste, alguns relatórios recentes sugerem que a exposição de roedores a campos de microondas, em níveis de SAR na ordem de 1 W/kg , podem produzir rupturas no filamento de DNA de testículos e de tecidos do cérebro. Contudo, ambos os estudos apontaram deficiências metodológicas, que poderiam ter afetado estes resultados, de forma significativa.

Em um amplo estudo com ratos expostos a microondas, por um período de até 25 meses, foi notado um maior número de efeitos malignos primários no grupo de ratos expostos, em comparação com os ratos do grupo de controle. Por outro lado, a incidência de tumores benignos não diferiu entre os dois grupos, e nenhum tipo específico de tumor prevaleceu mais no grupo exposto do que em ratos de controle, da mesma linhagem, mantidos igualmente livres de patógenos específicos. Considerados no seu todo, os resultados deste estudo não podem ser interpretados como indicadores de um efeito iniciador de tumores devido a campos de microondas. Diversos estudos examinaram os efeitos da exposição a microondas no desenvolvimento de células tumorais pré-iniciadas. Szmigielski et al. [13] notaram uma taxa acentuada de crescimento, em células de sarcoma pulmonar transplantadas em ratos expostos a altas densidades de potência. É possível que isto tenha resultado de um enfraquecimento do sistema imunativo do hospedeiro, em resposta ao estresse térmico causado pela exposição a microondas.

Estudos recentes, usando níveis atérmicos de irradiação por microondas, não encontraram efeitos no desenvolvimento de melanoma em camundongos ou de glioma cerebral em ratos. Relatou-se que a exposição de 100 fêmeas de camundongos transgênicos *Em-pim1*, a campos de 900 MHz, pulsados a 217 Hz com larguras de pulso de $0,6 \mu\text{s}$, por até 18 meses, produziu o dobro da incidência de linfomas registrada em 101 controles. Pela razão dos camundongos poderem se deslocar livremente em suas gaiolas, a variação no valor da SAR foi ampla ($0,01 - 4,2 \text{ W/kg}$). Levando em conta que a taxa metabólica basal destes camundongos é de 7 a 15 W/kg , somente os valores mais altos de exposição podem ter produzido algum aquecimento leve. Assim, este estudo parece sugerir que um mecanismo não térmico pode estar agindo o que precisa ainda ser investigado. Entretanto, restam muitas questões a resolver, antes que possa ser feita qualquer suposição sobre os riscos à saúde. O estudo precisa ser repetido, limitando o movimentos dos animais, para diminuir a variação da SAR e determinar se existe uma relação da resposta com a dose.

Para poder generalizar os resultados aos seres humanos, são necessários mais estudos para determinar se os mesmos resultados são encontrados em outras espécies animais. É também essencial avaliar se os resultados encontrados em animais transgênicos são aplicáveis aos seres humanos.

2.1.1.5. Considerações especiais para formas de onda pulsadas e moduladas em amplitude

Os campos pulsados de microondas, comparados com a radiação de onda contínua (CW), com a mesma taxa média de absorção de energia nos tecidos, são geralmente mais eficazes em provocar uma resposta biológica, especialmente quando há um limiar bem definido que deve ser superado para evidenciar o efeito [14]. O “efeito auditivo de microondas” é um exemplo bem conhecido. Pessoas com audição normal, podem perceber pela audição campos modulados por pulsos, com frequências de aproximadamente 200 MHz a 6,5 GHz. A sensação auditiva tem sido descrita de diversos modos, como um zumbido, estalo, ou estouro, dependendo das características de modulação do campo. Os efeitos auditivos de microondas têm sido atribuídos à interação termoelástica no córtex auditivo do cérebro, com um limiar para percepção de aproximadamente 100 - 400 mJ/m² para pulsos de duração menor do que 30 µs em 2,45 GHz (correspondente a uma SA de 4 - 16 mJ/kg). A exposição repetida ou prolongada, a efeitos auditivos de microondas, pode ser estressante e potencialmente nociva.

Alguns relatórios sugerem que retina, íris e endotélio da córnea dos olhos dos primatas são sensíveis à radiação de microondas pulsadas de nível baixo. Foram relatadas alterações degenerativas nas células da retina sensíveis à luz, para níveis de energia absorvida tão baixos quanto 26 mJ/kg. Depois da administração de maleato de timolol, que é usado no tratamento de glaucoma, o limiar para danos na retina, causados por campos pulsados, caiu para 2,6 mJ/kg. Entretanto, uma tentativa feita num laboratório independente, para reproduzir parcialmente estes resultados para campos CW (não pulsados), não teve sucesso. Portanto, é impossível no momento avaliar as implicações potenciais, para a saúde, dos resultados iniciais obtidos.

Tem sido relatado que a exposição a campos intensos de microondas pulsadas suprime a resposta em abalo em camundongos conscientes e provoca movimentos corporais (UNEP/WHO/IRPA 1993 [2]). O limiar do nível de absorção de energia específica no mesencéfalo, que provocou os movimentos do corpo, foi de 200 J/kg para pulsos de 10 µs. Resta ainda determinar o mecanismo para estes efeitos de microondas pulsadas, mas acredita-se que esteja relacionado com o fenômeno de audição de microondas. Os limiares auditivos para roedores são cerca de uma ordem de grandeza mais baixa do que para seres humanos, ou seja, 1 - 2 mJ/kg para pulsos menores do que 30 µs de duração. Tem sido relatado que

pulsos desta magnitude afetam o metabolismo dos neurotransmissores e a concentração dos receptores neurais envolvidos no estresse e nas respostas de ansiedade em regiões diferentes do cérebro do rato.

A questão das interações atérmicas de CEM de alta frequência tem focado principalmente os relatos de efeitos biológicos de campos modulados em amplitude (AM), sob condições *in-vitro*, com valores de SAR bem abaixo daqueles que produzem um aquecimento mensurável dos tecidos. Dos estudos iniciais em dois laboratórios independentes, resultou que campos de VHF, com modulação em amplitude em frequências extremamente baixas (6 - 20 Hz), produziram uma liberação pequena, mas estatisticamente significativa, de Ca^{++} das superfícies de células do cérebro de pintinhos [15]. Uma tentativa subsequente de confirmação destes resultados, usando o mesmo tipo de campo AM, não foi bem sucedida. Vários outros estudos dos efeitos de campos AM sobre a homeostase do Ca^{++} produziram seja resultados positivos como negativos. Por exemplo, os efeitos de campos AM sobre a ligação de Ca^{++} à superfície de células têm sido observados com células de neuroblastomas, células pancreáticas, tecido cardíaco e células do cérebro de gato, mas não com células cultivadas de nervos de rato, músculo esqueléticos de pintinho, ou células do cérebro de rato.

Tem sido também relatado que campos modulados em amplitude alteram a atividade elétrica do cérebro, inibem a atividade citotóxica de linfócitos-T, diminuem as atividades de quinases não dependentes do AMP cíclico em linfócitos, e causam um aumento transitório na atividade citoplásmica de ornitina descarboxilase, uma enzima essencial para a proliferação de células. Em contraste, nenhum efeito foi observado em uma grande variedade de outros sistemas celulares e variáveis funcionais, incluindo “capping” de linfócitos, transformação neoplásica da célula, e várias propriedades elétricas e enzimáticas de membranas.

De relevância particular para os efeitos carcinogênicos potenciais de campos pulsados, é a verificação de que a transformação neoplásica foi acelerada em células C3H/10T1/2 expostas a microondas de 2450 MHz moduladas por pulsos a 120 Hz. O efeito dependeu da intensidade do campo, mas ocorreu somente quando um agente químico carcinógeno de tumor, TPA, estava presente no meio de cultura da célula. Este resultado sugere que microondas pulsadas podem exercer efeitos co-carcinogênicos, em combinação com um agente químico que aumenta a taxa de proliferação de células transformadas. Até o presente, não houve nenhuma tentativa de repetir este achado, e sua implicação para os efeitos na saúde humana não é clara.

A interpretação de vários efeitos biológicos observados com campos eletromagnéticos modulados em amplitude é ainda mais dificultada pela existência aparente de “janelas” de respostas nos domínios da densidade de potência e da frequência. Não há nenhum modelo aceitável que explique adequadamente este fenômeno, que desafia o conceito tradicional do relacionamento monotônico entre a intensidade do campo e a severidade dos efeitos biológicos resultantes. Em resumo, a literatura sobre efeitos atérmicos de

campos eletromagnéticos AM é tão complexa, a validade dos efeitos relatados tão precariamente estabelecida, e a importância dos efeitos para a saúde humana tão incerta, que é impossível usar este volume de informações como base para estabelecer limites sobre exposição humana a esses campos.

2.2. Efeitos indiretos de campos eletromagnéticos

Os campos eletromagnéticos podem energizar objetos ou aparelhos à sua volta. Esta capacidade se deve ao fato de que alguns objetos podem funcionar como antenas, absorvendo a energia das ondas que se propagam.

Na faixa de frequências de 100 kHz - 110 MHz, queimaduras e choques podem ser consequência do toque em um objeto metálico não aterrado que adquiriu uma carga num campo ou do contato entre uma pessoa carregada e um objeto aterrado de metal. Deve-se notar que o limite superior de frequências para a corrente de contato (110 MHz) é fixado por falta de dados nas frequências mais altas e não por ausência de efeitos acima desse limite. Entretanto, 110 MHz é o limite superior da faixa de frequências utilizadas em radiodifusão por FM. Valores limites de intensidade de corrente, correspondentes a efeitos biológicos variando em severidade desde a percepção até a dor, foram medidos em experiências controladas, realizadas com voluntários [16]. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 2.2.

Em geral, os limites para as correntes que produzem percepção e dor variam pouco na faixa de frequências 100 kHz a 1 MHz e é pouco provável que variem de forma significativa na faixa de frequências até 100 MHz. Do mesmo modo como foi notado para frequências mais baixas, para campos de frequência mais alta existem diferenças significativas entre a sensibilidade de homens, mulheres e crianças. Os dados da Tabela 2.2 representam a faixa de valores para pessoas de diferentes tamanhos e níveis de sensibilidade a correntes de contato.

Efeito indireto	limites de corrente nas frequências	
	100 kHz	1 MHz
Percepção ao toque	25 - 40	25 - 40
Dor no dedo em contato	33 - 55	28 - 50
Choque doloroso/limiar de "soltura"	112 - 224	não determinado
Choque grave/dificuldade para respirar	160 - 320	não determinado

Tabela 2.2 - Faixas de limites de correntes para efeitos indiretos, incluindo crianças, mulheres e homens.

3. LEGISLAÇÃO REGULAMENTADORA

Neste capítulo será apresentado o Regulamento sobre Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequência, publicado pela ANATEL. Este regulamento foi disponibilizado previamente como proposta de regulamentação sob a forma da consulta pública nº 285, posteriormente reformulada como consulta pública nº 296.

Todas as orientações deixam em aberto o método que pode ser adotado para medição. Não há restrições para os profissionais adequarem a metodologia à finalidade específica do trabalho. Contudo, deve ser claramente detalhado no documento que tipo de metodologia foi adotado, com os passos de maneira clara e inteligível, para validação do mesmo.

O texto que segue apresenta um resumo das principais considerações da regulamentação, retirado com fidelidade da consulta pública nº 296 e da resolução nº 303 da ANATEL, de 2 de julho de 2002, que estão baseadas nos limites apresentados pelo ICNIRP.

Os limites estabelecidos pela resolução da ANATEL, bem como a maior parte do trabalho feito para publicação, são sugeridos pelo ICNIRP – Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes. Também foram consultados pela Agência documentos do IEEE e do ANSI (American National Standards Institute).

3.1. RESTRIÇÕES BÁSICAS (LIMITES DE EXPOSIÇÃO)

As restrições aos limites de CEMRF ditadas pela ANATEL não são específicas somente para a faixa de telefonia celular. Envolvem todo e qualquer tipo de radiação eletromagnética cuja finalidade sejam comunicações. Os limites impostos pela agência têm base em limites internacionais, em sua maioria sugeridos pelo ICNIRP.

Apresenta-se abaixo tabelas que mostram os valores-limite que a ANATEL estipula. A Tabela 3.1 refere-se aos valores de SAR. Os valores devem ser avaliados ao longo de um intervalo de seis minutos em uma massa de 10g de tecido contíguo. As densidades de corrente devem ser calculadas pela média tomada sobre uma secção transversal de 1cm² perpendicular à corrente, pois o corpo humano não é eletricamente homogêneo.

Tipo de exposição	Faixa de frequências	Densidade de corrente para cabeça e tronco (mA/m²) (v. eficaz)	SAR média de corpo inteiro (W/kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg)	SAR localizada (membros) (W/kg)
Ocupacional	Até 1 Hz	40	-	-	-
	1 - 4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20
Público em geral	Até 1 Hz	8	-	-	-
	1 - 4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4

Tabela 3.1 - Restrições básicas para campos elétricos e magnéticos, variáveis no tempo, até 10 GHz.

Os níveis de potência atualmente utilizados estão mostrados nas Tabelas 3.2.a e 3.2.b. Os valores de densidade de potência da onda plana equivalente indicados representam valores médios calculados sobre 20 cm² de qualquer área exposta por um período de $68/f^{1,05}$ minutos, onde f é a frequência em GHz, de forma a compensar a diminuição progressiva da profundidade de penetração da onda com o aumento da frequência.

Os dados também podem ser visualizados de forma gráfica, conforme as figuras 3.1 e 3.2. A intensidade de campo é obtida por meio de interpolação dos valores de pico multiplicados por um fator 1,5 para 100kHz e o valor de pico multiplicado por uma fator 32 em 10MHz. Os níveis do campo elétrico e do campo magnético estão relacionados pela Equação 1.2.

Os valores apresentados nas tabelas são valores eficazes e não-perturbados, onde são apresentados limites da exposição ocupacional e do público em geral. Deve-se salientar que esses são os valores para campos elétrico e magnético, sendo, portanto, diferentes da densidade de potência.

Faixas de frequência	Intensidade de campo elétrico (V/m)	Intensidade de campo H (A/m)	Campo B (μ T)	Densidade de potência de onda plana equivalente S_{eq} (W/m ²)
Até 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 – 8 Hz	20 000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 – 25 Hz	20 000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-
0,025 – 0,8 kHz	500/f	20/f	25/f	-
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065 – 1 MHz	610	1,6/f	2,0/f	-
1 – 10 MHz	610/f	1,6/f	2,0/f	-
10 – 400 MHz	61	0,16	0,2	10
400 – 2 000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	f/40
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Tabela 3.2.a – Níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados).

Faixas de frequência	Intensidade de campo elétrico (V/m)	Intensidade de campo H (A/m)	Campo B (μ T)	Densidade de potência de onda plana equivalente S_{eq} (W/m ²)
Até 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1 – 8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8 – 25 Hz	10 000	4 000/f	5 000/f	-
0,025 – 0,8 kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8 – 3 kHz	250/f	5	6,25	-
3 – 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-
1 – 10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	0,92/f	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2

400 – 2 000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$0,0046f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabela 3.2.b – Níveis de referência para exposição do público geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados).

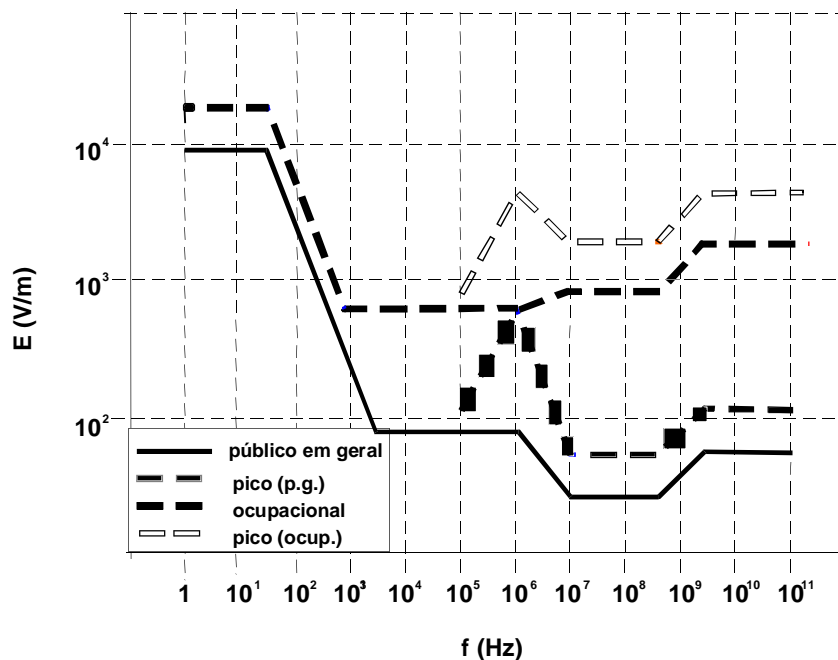


Fig. 3.1 – Níveis de referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo (ver Tabelas 3.2.a e 3.2.b).

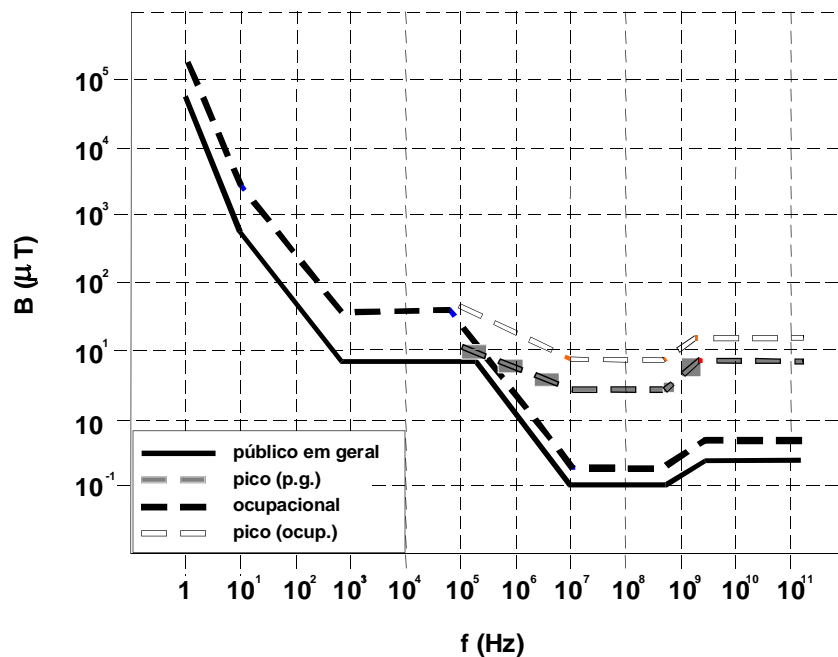


Fig. 3.2 – Níveis de referência para exposição a campos magnéticos variáveis no tempo (ver Tabelas 3.2.a e 3.2.b).

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 são indicados os níveis de corrente de contato e indução. A frequência utilizada no cálculo da corrente máxima de contato é dada em kHz.

Características de exposição	Faixa de frequências	Máxima corrente de contato (mA)
Exposição ocupacional	Até 2,5 kHz	1,0
	2,5 – 100 kHz	0,4f
	100 kHz – 110 MHz	40
Exposição de público em geral	Até 2,5 kHz	0,5
	2,5 – 100 kHz	0,2f
	100 kHz – 110 MHz	20

Tabela 3.3 – Níveis de referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato com objetos condutores.

Características de exposição	Corrente (mA)
Exposição ocupacional	100
Público em geral	45

Tabela 3.4 – Níveis de referência para correntes induzidas em qualquer membro à frequência entre 10 e 110 MHz.

3.2. VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO AOS LIMITES PROPOSTOS

A resolução traz normas que dizem respeito à responsabilidade dos operadores de serviços de telecomunicações quanto ao atendimento aos níveis estabelecidos e também sobre a responsabilidade de quem deve proceder as medições.

As entidades responsáveis pela operação de estações transmissoras de radiocomunicação deverão efetuar a avaliação de todas as suas estações com vistas a comprovar que a operação delas, nos locais em que se encontram e com as características técnicas indicadas, não submeterá trabalhadores e população em geral a CEMRF de valores superiores aos estabelecidos.

As avaliações da exposição, com vistas a demonstrar o atendimento aos limites estabelecidos no regulamento, podem ser efetuadas por meio de análises teóricas, baseadas nas características da estação transmissora de radiocomunicação analisada ou por meio de medições diretas dos CEMRF, com a estação

em funcionamento. Deve-se salientar que as medições fornecem dados mais condizentes com a realidade, pois ainda há os casos multi-usuários.

As avaliações das estações transmissoras de radiocomunicação devem ser efetuadas por profissional habilitado, o qual deverá elaborar e assinar Relatório de Conformidade para cada estação analisada. O Relatório de Conformidade deve conter a memória de cálculo ou os métodos empregados e resultados das medições práticas utilizadas para demonstrar o atendimento aos limites de exposição estabelecidos.

O Relatório de Conformidade deve ser conclusivo, indicando claramente, caso fique comprovado, que o funcionamento da estação transmissora de radiocomunicação, nas condições de sua avaliação, não submeterá trabalhadores e população em geral a CEMRF, de valores superiores aos limites estabelecidos.

Cabe lembrar que existem punições para quem desrespeitar os limites impostos. As sanções vão desde multas até a suspensão temporária dos serviços, sendo a empresa autorizada a voltar a operar quando da constatação da correção das irregularidades.

O Relatório de Conformidade deve ser guardado pela entidade responsável pela estação transmissora de radiocomunicação para apresentação sempre que requisitado. Em locais onde é permitido o acesso de pessoas, quando os valores de CEMRF obtidos por meio de cálculos teóricos forem iguais ou superiores a 2/3 do limite de exposição estabelecido, será obrigatória realização de medições para comprovação do atendimento.

Em função das características técnicas e finalidades do Serviço de Radioamador, não é obrigatório que suas estações sejam avaliadas por profissional habilitado, podendo o próprio Operador Certificado elaborar o Relatório de Conformidade relativo à sua estação.

3.3. CÁLCULOS TEÓRICOS

Para os cálculos envolvendo os CEMRF é necessário se utilizar os valores de pico autorizados para os parâmetros de transmissão de cada ERB analisada. Em regiões distantes da antena usa-se o modelo de campo distante, com o conceito de potência efetivamente radiada (ERP). Nas regiões próximas à antena, de campo próximo, não se deve utilizar a ERP como referência.

Para uma mesma potência de entrada, antenas menores apresentam campos próximos mais fortes do que antenas maiores. O fator crítico para a determinação do atendimento aos limites de exposição nas áreas muito próximas à antena é a densidade de potência espacial média na abertura.

Quando a área a ser avaliada estiver dentro da região de campo próximo da antena, o emprego de modelos de propagação para a região de campo distante pode levar a resultados excessivamente

conservadores. Entretanto, por sua maior simplicidade, tais cálculos poderão ser utilizados para demonstração do atendimento, desde que os valores obtidos estejam abaixo dos limites estabelecidos. Teremos, neste caso, um resultado bastante acima do real, maximizado, o que pode ser considerado, uma vez que se lida com a vida de pessoas e o excesso de zelo nunca é demais.

Caso seja utilizado algum modelo específico para o estudo de campos próximos estes devem ser detalhados no Relatório de Conformidade da estação. O modelo empregado deve ser específico para o tipo de antena existente na ERB.

A Tabela 3.5 apresenta expressões simplificadas para o cálculo das distâncias mínimas das antenas a partir das quais se admite que os limites de exposição à CEMRF para avaliações teóricas de estações transmissoras operando em frequência acima de um MHz, para as faixas de frequência indicadas, são atendidos. Para frequências de operação inferiores a um MHz é conveniente o emprego de modelos mais adequados para avaliação dos campos na região de campo próximo.

As expressões contidas na Tabela 3.5 foram derivadas do seguinte modelo de propagação, utilizado para a região de campo distante,

$$S = \frac{ERP \times 2,56}{4 \times \pi \times r^2} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

onde ERP é a potência efetivamente radiada em Watts; r é a distância da antena em metros; 2,56 é o valor do fator de reflexão, que leva em conta a possibilidade de que campos refletidos possam se adicionar em fase ao campo incidente direto .

Faixa de frequência	exposição da população em geral	exposição ocupacional
1 MHz a 10 MHz	$r = 0,10\sqrt{ERP \times f}$	$r = 0,0144 \times f \times \sqrt{ERP}$
10 MHz a 400 MHz	$r = 0,319\sqrt{ERP}$	$r = 0,143\sqrt{ERP}$
400 MHz a 2.000 MHz	$r = 6,38\sqrt{ERP / f}$	$r = 2,85\sqrt{ERP / f}$
2.000 MHz a 300.000 MHz	$r = 0,143\sqrt{ERP}$	$r = 0,0638\sqrt{ERP}$

Tabela 3.5 - Expressões para o cálculo de distâncias mínimas a antenas de estações transmissoras para atendimento aos limites de exposição.

Na tabela 3.5 r é a distância mínima da antena em metros; f é a frequência em MHz; ERP é a potência efetivamente radiada na direção de maior ganho da antena em Watts.

As expressões da Tabela 3.5 foram obtidas considerando que se pode supor no ponto definido pelo raio calculado uma situação de campo distante. Conseqüentemente, as distâncias obtidas pela sua utilização são conservadoras. Para cálculos mais realistas na região de campo próximo, devem ser utilizados modelos específicos.

Para fins de avaliação de estações transmissoras de radiocomunicação, a utilização das expressões da Tabela 3.5 para demonstração do atendimento aos limites de exposição à CEMRF, tanto ocupacional quanto da população em geral, somente será aceita nos casos em que todos os locais, passíveis de serem ocupados por pessoas, estejam a distâncias maiores que as calculadas ou que o acesso aos mesmos seja restrito.

3.4. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÃO

Apresenta-se a seguir como devem ser efetuados os procedimentos de medição para a elaboração do Relatório de Conformidade.

Os equipamentos utilizados para as medições devem estar calibrados e dentro das especificações do fabricante. Deve constar no Relatório de Conformidade a descrição dos equipamentos, marca, modelo, número de série e data da última calibração realizada. Devem constar ainda os erros e incertezas fornecidos pelas medidas segundo os fabricantes.

As medições devem ser realizadas sem que haja exposição de pessoas à CEMRF. Caso seja necessário realizar avaliação de correntes induzidas no corpo as medições devem ser realizadas diretamente nos indivíduos que estiverem expostos à radiação.

De forma a produzir valores de densidade de potência que mais se aproximem da realidade, a densidade deve ser medida ao longo de uma linha que simula a postura de um indivíduo. Isto fornece resultados suficientes para comprovação do atendimento dos limites de exposição.

Existem ainda outros métodos que podem ser utilizados, desde que, como já mencionado, estejam devidamente documentados e detalhados no relatório. São exemplos de métodos a varredura planar, que consiste na realização de medições em pontos específicos de planos transversais à posição do corpo que estaria sujeito à CEMRF, e a varredura volumétrica, que consiste na realização de medidas uniformes de um volume no espaço, simulando o que estaria sendo ocupado por um indivíduo. Os pontos e medida devem estar distantes no máximo 20 cm um do outro. Pode-se utilizar ainda medidores que são capazes de realizar medidas contínuas. Em qualquer caso, o resultado é composto por uma média dos valores em cada ponto. As medidas devem ser realizadas por um período mínimo de 6 minutos.

Os valores máximos devem cumprir os limites ditados pela resolução. Quando o valor de pico exceder 50% do limite de exposição o cumprimento dos limites deverá ser demonstrado através de uma média de pelo menos quatro medidas verticais.

Se forem efetuadas medições de faixa estreita, as componentes das polarizações ortogonais dos campos devem ser medidas separadamente, para determinar-se, com isso, um campo total resultante. Em virtude das dimensões físicas das antenas normalmente utilizadas e da necessidade de se medir campos próximos ao solo, cuidados adicionais devem ser observados ao se efetuar medidas de faixa estreita, do nível médio do campo espacial.

A interação entre a pessoa que está realizando as medições e o valor medido de CEMRF deve ser considerada. Na faixa de 30 a 300 MHz essa interação é mais evidente, mas ocorre em todo o espectro. A interação pode levar leituras errôneas do campo real.

Áreas localizadas com campos relativamente intensos são conhecidas como “Pontos Quentes”. Os pontos quentes podem ocorrer devido a fatores como reflexão de campos em objetos condutores ou devido a feixes de antenas diretivas.

O equipamento destinado à medição deve ser capaz de abranger todo o espectro de interesse. Deve ser dada atenção redobrada a campos modulados de múltipla frequência. O detector deve ser do tipo RMS verdadeiro, fornecendo uma indicação precisa do nível do campo composto, independentemente do grau de modulação dos campos medidos.

Para realização de medições a distância mínima entre a fonte de campo e a superfície mais próxima de um elemento interno da sonda deve ser de cinco centímetros. Para superfícies re-irradiantes deve ser dada uma distancia de 20 centímetros.

3.5. AVALIAÇÃO DE LOCAIS MULTI-USUÁRIOS

A resolução também faz referência a locais que possam estar submetidos a várias fontes de campos. Esses locais são chamados locais multi-usuários. São locais onde existem diversas ERBs operando em frequências distintas, sendo que cada operador é responsável pela comprovação de que sua estação está cumprindo os limites. Os diversos usuários devem colaborar na avaliação do local como um todo. A responsabilidade de cada usuário, no caso de não atendimento, será proporcional à sua contribuição na composição do campo nos locais em que os limites foram excedidos. Os responsáveis pelas estações transmissoras de radiocomunicação instaladas em locais multi-usuários devem fornecer aos demais as informações técnicas e análises relevantes, bem como os resultados de avaliações já efetuadas.

Para avaliação dos efeitos causados por densidade de corrente induzida e estimulação elétrica, os níveis de campo em locais multi-usuários devem obedecer às seguintes relações:

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad (3.1)$$

e

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad (3.2)$$

onde E_i é o valor da intensidade de campo elétrico na frequência i ; $E_{L,i}$ é o limite de campo elétrico, de acordo com as Tabelas 3.2.a e 3.2.b; H_j é o valor da intensidade de campo magnético na frequência j ; $H_{L,j}$ é o limite de campo magnético, de acordo com as Tabelas 3.2.a e 3.2.b; a deve ser igual a 610 V/m para exposição ocupacional e 87 V/m para exposição do público em geral; b deve ser igual a 24,4 A/m (30,7 μT) para exposição ocupacional e 5 A/m (6,25 μT) para exposição do público em geral.

Para avaliação dos efeitos térmicos relevantes, acima de 100 kHz, a determinação do atendimento aos limites de exposição pode ser efetuada por meio da utilização das seguintes expressões:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.3)$$

e

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1 \quad (3.4)$$

onde: E_i é o valor da intensidade de campo elétrico na frequência i ; $E_{L,i}$ é o limite de campo elétrico, de acordo com as Tabelas 3.2.a e 3.2.b; H_j é o valor da intensidade de campo magnético na frequência j ; $H_{L,j}$ é o limite de campo magnético, de acordo com as Tabelas 3.2.a e 3.2.b; c deve ser igual a 610/f V/m (f em MHz) para exposição ocupacional e 87/f^{1/2} V/m para exposição do público em geral; d deve ser igual a 1,6/f A/m (f em MHz) para exposição ocupacional e 0,73/f A/m para exposição do público em geral.

Em locais multi-usuários, quando for necessária a avaliação das correntes induzidas nos membros e correntes de contato, respectivamente, a determinação do atendimento aos limites de exposição pode ser efetuada por meio da utilização das seguintes expressões:

$$\sum_{k=10MHz}^{110MHz} \left(\frac{I_k}{I_{L,k}} \right)^2 \leq 1 \qquad \sum_{n=1Hz}^{110MHz} \frac{I_n}{I_{C,n}} \leq 1 \qquad (3.5)$$

onde: I_k é a componente de corrente no membro, na frequência k ; $I_{L,k}$ é o limite para a corrente em membro, de acordo com a Tabela 3.4; I_n é a componente de corrente de contato, na frequência n ; $I_{C,n}$ é o limite para a corrente de contato, na frequência n de acordo com a Tabela 3.3.

Na avaliação prática dos locais multi-usuários devem ser efetuadas primeiramente medições utilizando sondas de faixa larga, com todas as estações existentes no local em operação com sua potência máxima autorizada, para determinar a existência de áreas onde os limites de exposição sejam excedidos.

A determinação das contribuições individuais ao campo total, na avaliação prática, pode ser efetuada por meio de medições utilizando sondas de faixa larga, com cada estação operando individualmente, ou utilizando-se instrumentos de medida de faixa estreita.

4. PROCEDIMENTO UTILIZADO NO PROJETO

4.1. ANÁLISE TEÓRICA

Nesta primeira parte do projeto procedeu-se o estudo de artigos científicos e das resoluções vigentes quando da realização das medidas. Os estudos dos efeitos das radiações não-ionizantes serviram para que se tivesse segurança acerca do que está sendo tratado. Além disso, o estudo proporciona um melhor entendimento dos limites legais vigentes.

4.2 ESCOLHA DOS LOCAIS PARA MEDIÇÃO

Os pontos foram escolhidos de forma a tentar mapear toda a Asa Norte e Sobradinho, com atenção especial à possibilidade de ocorrência dos pontos quentes. Entretanto, o objetivo principal era montar uma distribuição de potência na faixa de telefonia celular. Portanto, foram marcados pontos nas áreas habitadas e locais de exposição por um longo período, como escolas e setores hospitalares.

O GPS Garmin utilizado no projeto tem erro máximo de 15 a 100m RMS, ou seja, há incerteza de uma esfera de 100m de raio. A fim de minimizar o erro da distância e para reduzir o número de pontos a serem medidos, foram marcados pontos a cada 500m. Nos locais de interesse – escolas e hospitais – reduziu-se a distância de forma a ser possível mapear melhor a área.

Os pontos foram marcados em mapas cedidos pela CODEPLAN. A interpolação, no entanto, foi realizada com fotos de satélite através do software gratuito SPRING, do INPE.

As ERBs, quando identificadas, também foram mapeadas em todas as direções planas, a fim de que pudessem ter sua influência devidamente caracterizadas na interpolação dos pontos.

4.3 METODOLOGIA ADOTADA NA MEDIÇÃO

Foi realizada medição temporal de três minutos em cada ponto determinado anteriormente no mapa. A medida era realizada, para cada faixa de frequência, com antena que abrangesse a faixa de interesse. Depois do terceiro minuto de medição não eram mais encontradas variações relevantes no valor dos campos medidos, assim como nos projetos realizados anteriormente.

Depois de realizada a medição dos pontos, foi adicionada uma constante de 20 dB, que equivale a cerca de 100 aparelhos funcionando simultaneamente, a fim de considerar o pior caso possível. Isto

porque, por se tratar de apenas três minutos em um dia comum, pode ser que tenha se desconsiderado parcelas importantes da composição dos campos. Esta é uma margem de segurança adotada de forma a tratar sempre o pior caso possível.

Os valores medidos, sem a adição da constante de segurança, estavam sempre muito abaixo do valor estabelecido no anexo da resolução 303 da ANATEL.

4.4 METODOLOGIA ADOTADA NA INTERPOLAÇÃO

O software utilizado para interpolação dos pontos foi o SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. Este é um programa disponível na página do INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais – na internet.

Foram inseridos pontos no Modelo Numérico do Terreno – MNT – e associados os valores medidos a estes pontos. De posse disso, foi gerada uma grade regular para permitir a interpolação dos pontos.

A interpolação foi realizada através do método **Média Simples** [18] - o valor de cota de cada ponto da grade é estimado a partir da média simples das cotas dos 8 vizinhos mais próximos desse ponto. Utilizado geralmente quando se requer maior rapidez na geração da grade, para avaliar erros grosseiros na digitalização.

$$f(x,y) = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^8 z_i \right) \quad (4.4.1)$$

onde: n = número de vizinhos; z = valor de cota dos 8 n vizinhos; i=1 f(x,y) = função interpolante.



Fig. 4.1 – Valor da cota (+) obtido a partir dos 4 vizinhos amostrados mais próximos

Com a interpolação realizada, procedeu-se ao processo de fatiamento das regiões de acordo com os valores gerados. Os resultados são os mapas apresentados mais à frente.

5. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Com o mapa de sobradinho e do plano piloto marcou-se os possíveis pontos para medição. Levou-se os mapas em papel para os locais e percebeu-se que muitos pontos estavam marcados fora da escala, eram locais de difícil acesso ou simplesmente eram redundantes para a análise pretendida.

Uma tela do aparelho usado para medição foi capturada e colocada abaixo, na Figura 5.1.

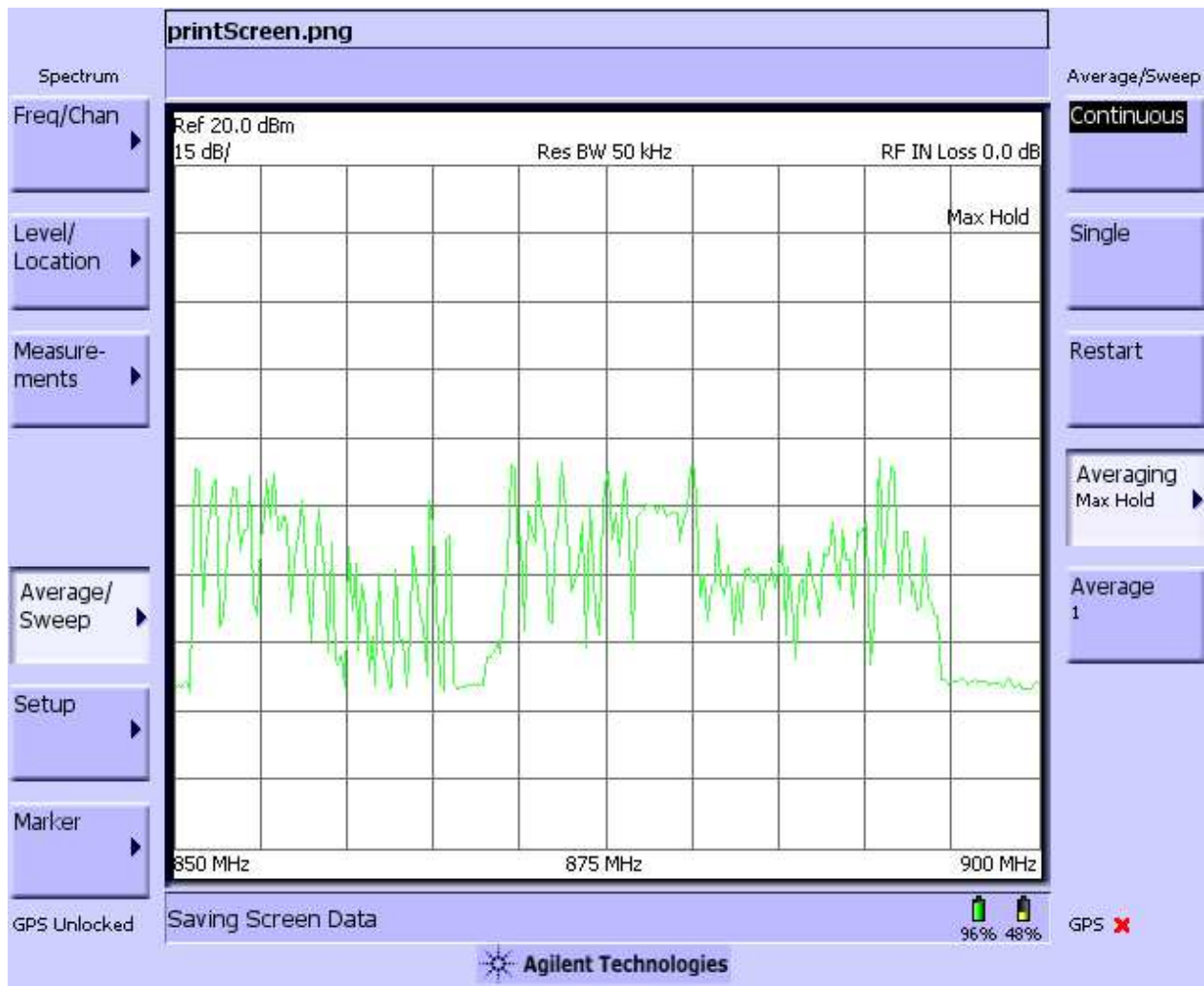


Figura 5.1 – tela do equipamento com exemplo de medição.



Figura 5.2 – disposição das antenas durante realização da medição



Figura 5.3 – ERB localizada na Asa Norte

O nível de referência indicado abaixo serve somente para indicar qual o valor correspondente no topo da escala, não influenciando nas medidas realizadas. O valor de pico tomado foi assumido como sendo o maior valor encontrado na tabela gerada pelo equipamento. A cada ponto medido, salvamos os dados contendo a hora e o local de medição (número do ponto).

Os valores de pico colhidos foram colocados na Tabela 5.1, com os valores respectivos para pico, o pico somado da margem de erro e os valores normalizados, calculados para as faixas de frequência de 850 MHz e de 1800 MHz.

Para que fosse efetuada a comparação com os valores estipulados na resolução da ANATEL foi necessário adequar o valor de referência, uma vez que o equipamento mede potência e não campo. Para tanto foram estabelecidas correções para $S = 4,5$ na faixa de 850 MHz e $9,1$ na faixa de 1800 MHz. Para proceder essas correções temos os seguintes dados: ganho da antena = 3 dB. A partir do ganho podemos calcular a área efetiva das antenas, da seguinte forma:

$$A_{ef} = \frac{G \times \lambda^2}{4\pi} \quad (5.1)$$

Assim, com a área efetiva calculada pudemos referenciar aos valores requeridos na norma, da seguinte maneira:

$$P = S \times \frac{G \times \lambda^2}{4\pi} \quad (5.2)$$

A potência normalizada foi então calculada dividindo-se as potências medidas, adicionadas do fator de correção de 20 dB, das potências de referência da norma, que resultaram em 19 dB para 850 MHz e 16 dB para 1800 MHz. A tabela contém todas essas informações, do valor de pico e da potência normalizada.

Ponto	Valor Medido (pico) dBm 800 MHz	Valor de pico +20dB 800 MHz	Valor Medido (pico) dBm 1,8 GHz	Valor de pico +20dB 1800 MHz	Potência Normalizada (dB) 800MHz	Potência Normalizada (dB) 1,8 GHz
Asa Norte 1	-30,9	-10,9	-50,2	-30,2	29,9	46,2
Asa Norte 2	-41,4	-21,4	-35	-15	40,4	31
Asa Norte 3	-39,6	-19,6	-53,3	-33,3	38,6	49,3
Asa Norte 4	-34,3	-14,3	-44,3	-24,3	33,3	40,3
Asa Norte 5	-48,4	-28,4	-51,5	-31,5	47,4	47,5
Asa Norte 6	-37,8	-17,8	-43	-23	36,8	39
Asa Norte 7	-42,3	-22,3	-59,6	-39,6	41,3	55,6
Asa Norte 8	-48,4	-28,4	-42,5	-22,5	47,4	38,5
Asa Norte 9	-48,3	-28,3	-55,7	-35,7	47,3	51,7
Asa Norte 10	-37	-17	-33,6	-13,6	36	29,6
Asa Norte 11	-49	-29	-50,2	-30,2	48	46,2
Asa Norte 12	-41,1	-21,1	-37,8	-17,8	40,1	33,8

Asa Norte 13	-26,6	-6,6	-39	-19	25,6	35
Asa Norte 14	-43,3	-23,3	-60,8	-40,8	42,3	56,8
Asa Norte 15	-28,7	-8,7	-51,5	-31,5	27,7	47,5
Asa Norte 16	-42,5	-22,5	-60,7	-40,7	41,5	56,7
Asa Norte 17	-38,6	-18,6	-42,8	-22,8	37,6	38,8
Asa Norte 18	-44,6	-24,6	-47,8	-27,8	43,6	43,8
Asa Norte 19	-43,7	-23,7	-51,8	-31,8	42,7	47,8
Asa Norte 20	-48	-28	-54,7	-34,7	47	50,7
Asa Norte 21	-53,6	-33,6	-63,7	-43,7	52,6	59,7
Asa Norte 22	-30,2	-10,2	-56,1	-36,1	29,2	52,1
Asa Norte 23	-34,5	-14,5	-66,9	-46,9	33,5	62,9
Asa Norte 24	-50,7	-30,7	-54,3	-34,3	49,7	50,3
Asa Norte 25	-53,5	-33,5	-55,1	-35,1	52,5	51,1
Asa Norte 26	-28,3	-8,3	-51,3	-31,3	27,3	47,3
Asa Norte 27	-34,5	-14,5	-61,3	-41,3	33,5	57,3
Asa Norte 28	-39,3	-19,3	-63,4	-43,4	38,3	59,4
Asa Norte 29	-37,3	-17,3	-67,6	-47,6	36,3	63,6
Asa Norte 30	-37,1	-17,1	-49,8	-29,8	36,1	45,8
Asa Norte 31	-35,5	-15,5	-50,9	-30,9	34,5	46,9
Asa Norte 32	-56,9	-36,9	-60,1	-40,1	55,9	56,1
Asa Norte 33	-32,6	-12,6	-32,6	-12,6	31,6	28,6
Asa Norte 34	-51	-31	-40,4	-20,4	50	36,4
Asa Norte 35	-27,3	-7,3	-47,5	-27,5	26,3	43,5
Asa Norte 36	-59,8	-39,8	-30,2	-10,2	58,8	26,2
Asa Norte 37	-59	-39	-51,5	-31,5	58	47,5
Asa Norte 38	-34,7	-14,7	-46,8	-26,8	33,7	42,8
Asa Norte 39	-29,8	-9,8	-39,5	-19,5	28,8	35,5
Asa Norte 40	-31,7	-11,7	-43,8	-23,8	30,7	39,8
Asa Norte 41	-33	-13	-47	-27	32	43
Asa Norte 42	-42,4	-22,4	-47	-27	41,4	43
Asa Norte 43	-50,2	-30,2	-55,4	-35,4	49,2	51,4
Asa Norte 44	-37,1	-17,1	-29,9	-9,9	36,1	25,9
Asa Norte 45	-39	-19	-54,2	-34,2	38	50,2
Asa Norte 46	-52,9	-32,9	-55,7	-35,7	51,9	51,7
Asa Norte 47	-46,3	-26,3	-41,8	-21,8	45,3	37,8
Asa Norte 48	-54,4	-34,4	-55,5	-35,5	53,4	51,5
Asa Norte 49	-41,2	-21,2	-45,1	-25,1	40,2	41,1
Asa Norte 50	-51,7	-31,7	-52,8	-32,8	50,7	48,8
Asa Norte 51	-48,8	-28,8	-56,2	-36,2	47,8	52,2
Asa Norte 52	-49	-29	-60,1	-40,1	48	56,1
Asa Norte 53	-48,3	-28,3	-53,1	-33,1	47,3	49,1
Asa Norte 54	-32,6	-12,6	-47,6	-27,6	31,6	43,6
Asa Norte 55	-41,3	-21,3	-39,8	-19,8	40,3	35,8
Asa Norte 56	-37,3	-17,3	-47,5	-27,5	36,3	43,5
Asa Norte 57	-30,3	-10,3	-41,7	-21,7	29,3	37,7
Asa Norte 58	-51,7	-31,7	-55,2	-35,2	50,7	51,2
Asa Norte 59	-39,2	-19,2	-48,1	-28,1	38,2	44,1
Asa Norte 60	-55,2	-35,2	-66,1	-46,1	54,2	62,1
Asa Norte 61	-32,2	-12,2	-52,8	-32,8	31,2	48,8
Asa Norte 62	-35,8	-15,8	-50,6	-30,6	34,8	46,6

Asa Norte63	-59,5	-39,5	-22,2	-2,2	58,5	18,2
Sobradinho 2	-50,2	-30,2	-63,3	-43,3	49,2	59,3
Sobradinho 3	-45,9	-25,9	-62,7	-42,7	44,9	58,7
Sobradinho 6	-40,1	-20,1	-51,8	-31,8	39,1	47,8
Sobradinho 8	-46,4	-26,4	-59	-39	45,4	55
Sobradinho 9	-45,2	-25,2	-54,1	-34,1	44,2	50,1
Sobradinho 27	-42,6	-22,6	-67,9	-47,9	41,6	63,9
Sobradinho 28	-41,9	-21,9	-106,9	-86,9	40,9	102,9
Sobradinho 29	-35,6	-15,6	-53,6	-33,6	34,6	49,6
Sobradinho 30	-35,6	-15,6	-106,6	-86,6	34,6	102,6
Sobradinho 31	-26,8	-6,8	-47,9	-27,9	25,8	43,9
Sobradinho 32	-25,1	-5,1	-39,7	-19,7	24,1	35,7
Sobradinho 33	-46,2	-26,2	-54,9	-34,9	45,2	50,9
Sobradinho 34	-50,5	-30,5	-50,4	-30,4	49,5	46,4
Sobradinho 35	-38,1	-18,1	-45,3	-25,3	37,1	41,3
Sobradinho 36	-40,2	-20,2	-57,5	-37,5	39,2	53,5
Sobradinho 37	-37,4	-17,4	-57,2	-37,2	36,4	53,2
Sobradinho 38	-46,9	-26,9	-64,2	-44,2	45,9	60,2
Sobradinho 39	-37,1	-17,1	-63,6	-43,6	36,1	59,6
Sobradinho 40	-35,8	-15,8	-59,9	-39,9	34,8	55,9
Sobradinho 41	-46,7	-26,7	-61,7	-41,7	45,7	57,7
Sobradinho 42	-35,3	-15,3	-49,9	-29,9	34,3	45,9
Sobradinho 43	-58,5	-38,5	-59,2	-39,2	57,5	55,2
Sobradinho 44	-47,7	-27,7	-54,6	-34,6	46,7	50,6
Sobradinho 45	-45,6	-25,6	-43,2	-23,2	44,6	39,2
Sobradinho 46	-67,8	-47,8	-55,9	-35,9	66,8	51,9
Sobradinho 47	-33,4	-13,4	-46	-26	32,4	42
Sobradinho 48	-46,7	-26,7	-58,3	-38,3	45,7	54,3
Sobradinho 49	-45	-25	-56,2	-36,2	44	52,2
Sobradinho	-48,4	-28,4	-50	-30	47,4	46

50						
Sobradinho 52	-49,2	-29,2	-49	-29	48,2	45
Sobradinho 53	-46,8	-26,8	-58,6	-38,6	45,8	54,6
Sobradinho 54	-48,8	-28,8	-56,2	-36,2	47,8	52,2
Sobradinho 55	-48,5	-28,5	-64,9	-44,9	47,5	60,9
Sobradinho 56	-38,4	-18,4	-38,6	-18,6	37,4	34,6
Sobradinho 57	-37,2	-17,2	-47,7	-27,7	36,2	43,7
Sobradinho 58	-36,4	-16,4	-50,6	-30,6	35,4	46,6
Sobradinho 59	-36,4	-16,4	-56,8	-36,8	35,4	52,8
Sobradinho 60	-44,3	-24,3	-55,2	-35,2	43,3	51,2
Sobradinho 61	-40,5	-20,5	-50,4	-30,4	39,5	46,4
Sobradinho 62	-26,1	-6,1	-41,4	-21,4	25,1	37,4
Sobradinho 63	-49	-29	-56,2	-36,2	48	52,2
Sobradinho 64	-51,9	-31,9	-53,3	-33,3	50,9	49,3
Sobradinho 65	-38,5	-18,5	-59,8	-39,8	37,5	55,8
Sobradinho 66	-62,7	-42,7	-62,7	-42,7	61,7	58,7
Sobradinho 67	-31,7	-11,7	-46,5	-26,5	30,7	42,5
Sobradinho 68	-39,6	-19,6	-64	-44	38,6	60
Sobradinho 69	-37,9	-17,9	-56,7	-36,7	36,9	52,7
Sobradinho 70	-39	-19	-62,4	-42,4	38	58,4
Sobradinho 71	-54,4	-34,4	-66,8	-46,8	53,4	62,8

Tabela 5.1 – valores das potências medidas e calculadas

De posse dos valores acima calculados procedeu-se a interpolação dos pontos para que gerassem os mapas mostrados a seguir. Há uma observação a se fazer neste ponto. Os mapas do Plano Piloto e de Sobradinho foram realizados juntamente com outros alunos, que também se dedicavam à realização de projeto final. Desta forma, foi possível estabelecer conjuntamente o mapa de potência das asas norte e sul do Plano Piloto. O programa utilizado para a interpolação, o SPRING do INPE, apresentava defeito, não permitindo a realização do mapa com as áreas hachuradas, não permitindo a melhor visualização possível

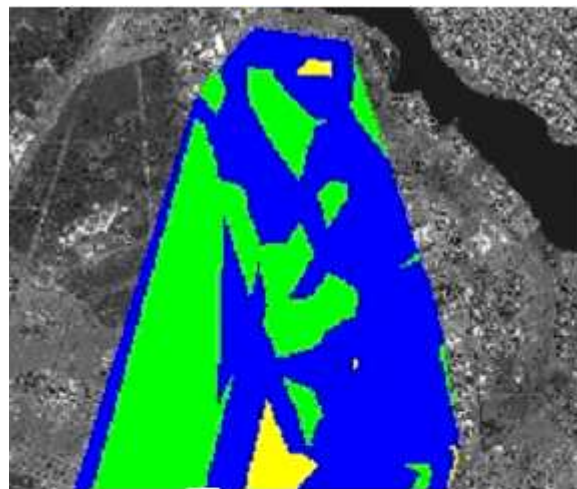
das áreas. Entretanto, não existem localizações que apresentem riscos à saúde, de acordo com as normas estabelecidas. Verificamos nos mapas que todas as localidades, tanto no Plano Piloto quanto em Sobradinho, atendem perfeitamente ao disposto no anexo da resolução 303 da ANATEL.

Há uma escala dos níveis de segurança mostrados, o que evidencia o que está disposto acima. Apenas algumas áreas no final da L2 sul apresentam níveis de potência mais elevados, que aparecem na cor laranja. Isto, porém, não significa que os níveis encontrados estejam fora da norma. Nesta região há uma concentração de 3 ERBs, o que pode explicar o nível de potência superior encontrado.

Viu-se que as áreas de colégio e hospitais estão dentro da região de segurança VERDE, o que implica que os níveis de potência nessa área são bastante baixos. Por isso não há risco de exposição prolongada a CEMRF de valores altos.

Percebeu-se que a Asa Sul apresenta um número menor de ERBs que a Asa Norte. O resultado disso é que existem mais regiões com potência nas faixas AMARELAS na Asa Sul que na Asa Norte ou Sobradinho. Sobradinho tem a característica de ser uma cidade-satélite relativamente pequena e localizada em um vale, apresentando um espectro mais limpo na faixa estudada e com ERBs localizadas apenas na região central da cidade.

Observou-se também que as ERBs da Asa Norte evidenciam operar com potência menor que as da Asa Sul, devido principalmente ao fato de estarem em maior número. Ao se dividir o sistema em células menores a potencia de cada ERB pode ser diminuída, pois a área a ser coberta por elas será menor.



Legenda

	Menor que 0 dB
	0 a 5 dB (Limite)
	5 a 15 dB
	15 a 30 dB
	30 a 50 dB
	Maior que 50 dB (Máximo)

Figura 5.4 – mapa de potências do Asa Norte na faixa de 1800 MHz

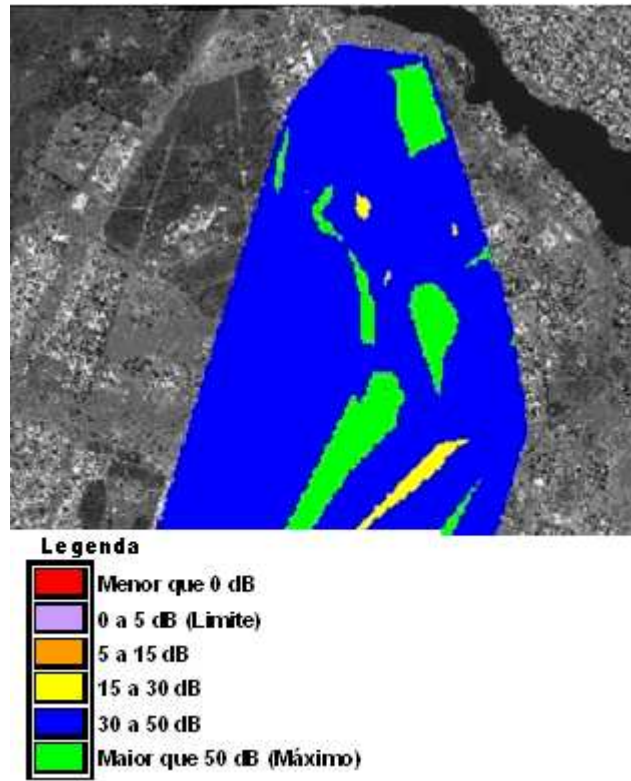


Figura 5.5 – Mapa de potências do Asa Norte na faixa de 850 MHz

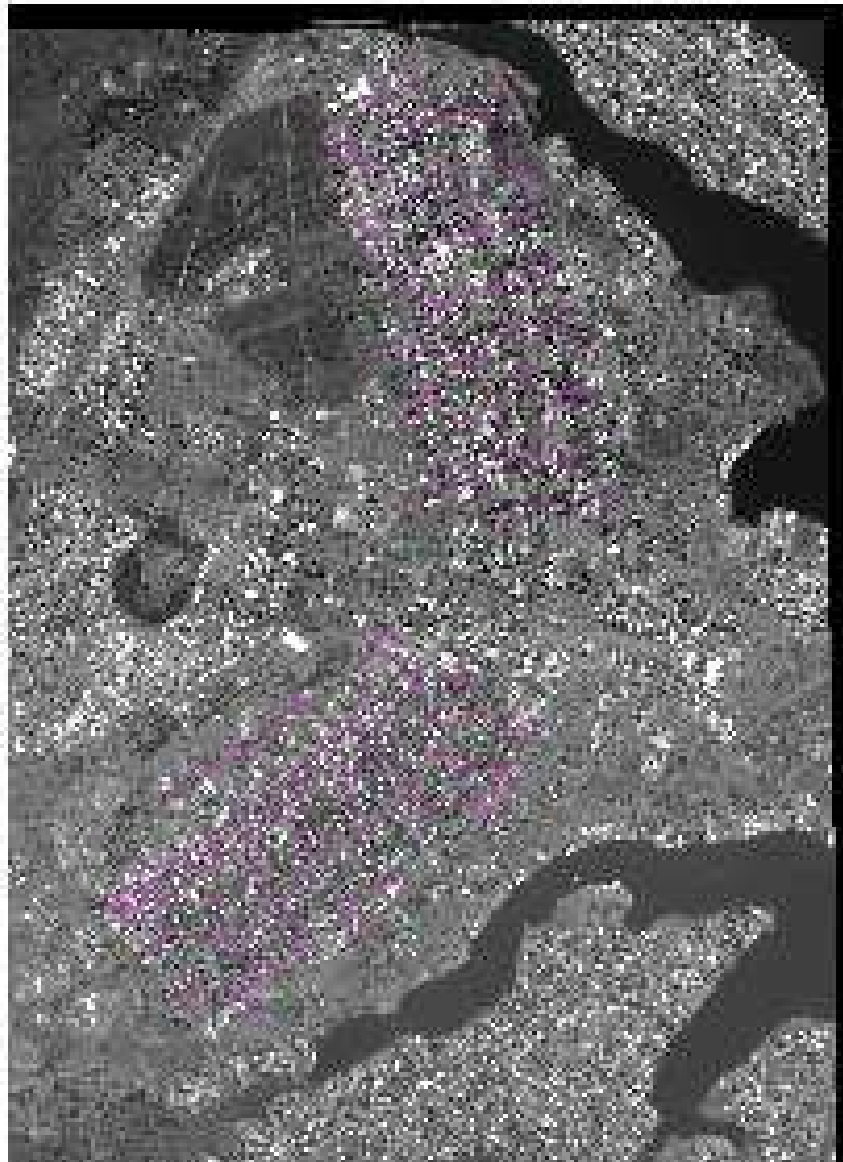


Figura 5.6 – Distribuição dos pontos de medição no Plano Piloto



Figura 5.7 – Mapa de potências de Sobradinho na faixa de 1800 MHz







Figura 5.8 – Mapa de potências de Sobradinho na faixa de 850 MHz



Figura 5.9 – Distribuição dos pontos de medição em Sobradinho

Os mapas mostrados nas figuras são de potências normalizadas, ou seja, aquelas comparadas com o nível exigido no anexo da resolução 303. A seguir está mostrada a escala de cores utilizada:

Legenda

	Insegurança
	Segurança Nível 1 (Limite)
	Segurança Nível 2
	Segurança Nível 3
	Segurança Nível 4
	Segurança Nível 5 (Máximo)

As subdivisões da escala acima estão associadas aos seguintes valores:

- **Insegurança:** Refere-se a valores de potência que estão acima do valor limite exigido pela norma;
- **Segurança Nível 1:** Refere-se a valores de potência compreendidos no intervalo de 0 a 5dB abaixo do valor de referência;
- **Segurança Nível 2:** Refere-se a valores de potência compreendidos no intervalo de 5 a 15dB abaixo do valor de referência;
- **Segurança Nível 3:** Refere-se a valores de potência compreendidos no intervalo de 15 a 30dB abaixo do valor de referência;
- **Segurança Nível 4:** Refere-se a valores de potência compreendidos no intervalo de 30 a 50dB abaixo do valor de referência;
- **Segurança Nível 5:** Refere-se a valores de potência com diferença superior a 50dB quando comparados com o valor referência.

6. EQUIPAMENTO UTILIZADO NAS MEDIÇÕES

O equipamento utilizado para a realização das medições foi o Agilent E7495A. Esse é um equipamento pertencente ao LEMOM. Este equipamento é Base Station Test Set, ou seja, é um testador de ERBs. Este equipamento apresenta inúmeras funções, sendo possível até mesmo a geração de sinais de teste para as ERBs.

No entanto, utilizou-se apenas o analisador de espectro com a função Max Hold selecionada. A função Max Hold tem por finalidade gravar os valores máximos medidos na faixa de frequência no

intervalo de tempo medido. Assim, pode-se sempre tomar por base os maiores valores que ocorreram no intervalo de três minutos de medição.

O equipamento gera tabelas no formato do Excel que são guardados em cartões do tipo PCMCIA. Os cartões são então retirados e a informação transferida para um computador, após a realização da medida de vários pontos.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Como já citado anteriormente, os níveis de potência medidos no Plano Piloto e em Sobradinho atendem perfeitamente aos limites impostos pelo anexo da resolução 303 da ANATEL. Os mapas servem também para tranquilizar os moradores e usuários do nível de exposição aos CERMRF a que estão sujeitos.

A imprensa tem sido bastante sensacionalista nas reportagens realizadas, levando intranquilidade à comunidade. Existem até mesmo casos onde moradores exigem que as ERBs sejam retiradas das áreas das escolas e das áreas residenciais. Acontece que essa retirada pode fazer com que o sistema opere com outros níveis de potência, com células maiores e talvez sem atendimento aos limites legais.

Fique claro também que os níveis de potência foram medidos ao nível do solo, não sendo possível retirar conclusões acerca da exposição a que as pessoas estão sujeitas dentro de seus apartamentos. Seria interessante a realização de estudos por amostragem dentro de apartamentos próximos a estações rádio-base para garantir também que há o cumprimento do limite legal nessas localidades.

A metodologia empregada neste projeto pode continuar sendo usada. É interessante que seja realizado o mapeamento do nível de potência em todo o Distrito Federal, tornando-se assim de utilidade pública de maior alcance. A Universidade de Brasília deve prestar serviços à comunidade e esta é uma forma de fornecer subsídios a Anatel para a fiscalização das empresas e mostrar o cumprimento da lei para a população em geral, tão alarmada com notícias sensacionalistas e infundadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] United Nations Environment Programme / World Health Organization / International Radiation Protection Association. **Magnetic fields**. Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 69; 1987.
- [2] United Nations Environment Programme / World Health Organization / International Radiation Protection Association. **Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz)**. Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 137; 1993.
- [3] Allen, S. G.; Bernhardt, J. H.; Driscoll, C. M. H.; Grandolfo, M.; Mariutti, G. F.; Mathes, R.; Mckinlay, A.; F.; Steinmetz, M.; Vecchia, P.; Whillock, M. **Proposals for basic restrictions for protection against occupational exposure to electromagnetic non-ionizing radiation's**. Recommendations of an International Working Group set up under the auspices of the Commission of the European Communities. Phys. Med. VII:77-89; 1991.
- [4] OMS; “Electromagnetic fields and public health effects of EMF on the environment”; February 2005.
- [5] Bertucci, Davi ; Da Cruz, Marcos “Estudo de limites de Segurança para Radiação Não-ionizante e Proposição de uma Metodologia para Medição”: Setembro 2002.
- [6] Baffi, Eduardo; Xavier, Tiago “Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos no Campus da UnB para Faixas de Frequências Utilizadas Pela Telefonia Celular” ; Dezembro 2003.
- [7] Da Costa, Fábio; Alves, Lauro “Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos em Brazlândia para Faixas de Frequências Utilizadas Pela Telefonia Celular” ; Agosto 2004.
- [8] Filho, Walter; Nunes, Gustavo “Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos na cidade satélite de Sobradinho e na Asa Sul para Faixas de Frequências Utilizadas Pela Telefonia Celular” ; Julho 2005.
- [9] Lillienfeld, A. M.; Tonascia, J.; Tonascia, S.; Libauer, C. A.; Cauthen, G. M. **Foreign service health status study-evaluation of health of foreign service and other employees from selected eastern**

European posts. Final report. Washington, DC: Department of State; Contract No. 6025- 619073, NTIS PB-288163; 1978.

[10] Chatterjee, I.; Wu, D.; Gandhi, O. P. **Human body impedance and threshold currents for perception and pain for contact hazards analysis in the VLF-MF band.** IEEE transactions on Biomedical Engineering 33:486-494; 1986.

[11] Dimbylow, P. J. **FDTD calculations of the whole-body averaged SAR in an anatomically realistic voxel model of the human body from 1 MHz to 1 GHz.** Med. Biol. 42:479-490; 1997.

[12] Szmigielski, S.; **Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation.** Sci. Tot. Environ. 180:9-17; 1996.

[13] ICNIRP/IRPA **Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields** (up to 300 GHz), Health Physics Vol. 74, N° 4, pp 494-522, 1998 (Traduzido como “Diretrizes para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo até 300 GHz”)

[14] Blackman, C. F.; Elder, J. A.; Weil, C. M.; Benane, S. G.; Eichinger, D. C.; House, D. E. **Induction of calcium-ion efflux from brain tissue by radiofrequency radiation: effects of modulation frequency and field strength.** Radio Sci. 14:93-98; 1979.

[15] Bernhardt, J. H. **The establishment of frequency dependent limits of electric and magnetic fields and evaluation of indirect effect.** Radiat. Environ. Biophys. 27:1-27; 1988.

[16] Site da ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações (www.anatel.gov.br)

[17] ABRICEM – Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética

[18] SPRING – "SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling" Camara G, Souza RCM, Freitas UM, Garrido J Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.