

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

**MEDIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CAMPOS  
ELETROMAGNÉTICOS NO CAMPUS DA UNB PARA AS  
FAIXAS DE FREQUÊNCIA UTILIZADAS NA TELEFONIA  
CELULAR**

**EDUARDO FIALHO BAFFI  
TIAGO SILVA LOPES XAVIER**

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

**PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO**

**BRASÍLIA / DF: 10 DE DEZEMBRO / 2003**

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

**MEDIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE CAMPOS  
ELETROMAGNÉTICOS NO CAMPUS DA UNB PARA AS  
FAIXAS DE FREQUÊNCIA UTILIZADAS NA TELEFONIA  
CELULAR**

**EDUARDO FIALHO BAFFI  
TIAGO SILVA LOPES XAVIER**

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)**

---

**FRANKLIN DA COSTA SILVA, Doutor, UnB  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**PAULO HENRIQUE PORTELA DE CARVALHO, Doutor, UnB  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 10 DE DEZEMBRO DE 2003.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

BAFFI, EDUARDO F.

XAVIER, TIAGO S. L.

Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos no Campus da UnB para as faixas de frequência utilizadas na telefonia celular. [Distrito Federal] 2003.

(xiii), (62)p., 297 mm (ENE/FT/UnB, Engenheiro Eletricista, Engenharia Elétrica, 2003).

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

1. Telecomunicações
2. Campos Eletromagnéticos

2. Efeitos Biológicos

I. ENE/FT/UnB. II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BAFFI, E. F.; XAVIER, T. S. L. 2003. Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos no Campus da UnB. (Projeto Final de Graduação) , Publicação 12/2003, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília , Brasília , DF, (62)p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Eduardo Fialho Baffi e Tiago Silva Lopes Xavier

TÍTULO DO PROJETO: Medição e Caracterização de Campos Eletromagnéticos no Campus da UnB para as faixas de frequência utilizadas na telefonia celular.

GRAU/ANO: Engenheiro Eletricista/2003.

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.

---

Eduardo Fialho Baffi

SHIN QI 5 Conjunto 9 Casa 4 Lago Norte

CEP 71505-790 – Brasília – DF - Brasil

---

Tiago Silva Lopes Xavier

SHIN QL 5 Conjunto 3 Casa 7 Lago Norte

CEP 71505-735 – Brasília – DF - Brasil

*“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende.”*

***Leonardo Da Vinci***

*Aos nossos pais, irmãos e namoradas.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaríamos de agradecer ao professor, orientador e amigo Leonardo R. A. X. de Menezes por todo incentivo e ajuda com a qual sempre pudemos contar. Agradecemos também a todos os professores que realmente contribuíram para o nosso aprendizado e a todo pessoal do LEMOM sempre nos ajudou quando foi preciso.

Agradecemos também a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste sonho. Envolvidos diretamente com o trabalho, gostaríamos de agradecer formalmente a arquiteta Flávia Amorin, pela ajuda fornecida com o tratamento dos mapas em AUTOCAD. Ao irmão e amigo Alexandre Fialho Baffi, pela grande ajuda fornecida com o tratamento de imagens presentes neste projeto (Valeu muleque!!!!). Ao amigo Gustavo (gaúcho) pela orientação na utilização do programa de interpolação. E a todos os colegas de curso, por todos esses anos de convivência. Finalmente, mas não menos importantes, agradecemos a todos nossos verdadeiros amigos da VIVO (CGR) com os quais convivemos diariamente há quase dois anos. Vocês também fazem parte deste sucesso!

Ao grande amor da minha vida (Carol), por todo suporte e atenção dispensados durante estes últimos anos de graduação. Sempre me fazendo acreditar que era possível e não me deixando desanimar...

Aos meus amigos e parentes que sempre acreditaram em mim. Aos meus pais, Basílio e Conceição, e ao meu irmão, Alexandre, que eu tanto amo e que foram fundamentais em toda a minha vida. E finalmente, a paixão que eu procurei por toda a minha vida e que tive a sorte de encontrar, minha namorada Lilian.

## RESUMO

Desde que o conceito de comunicação móvel se difundiu no mundo, tornando-se um mercado potencialmente amplo, promissor e extremamente lucrativo, fez-se necessário, ou pelo menos muito útil, que fossem iniciados estudos teóricos e práticos sobre a intensidade e os efeitos biológicos causados pela emissão de energia eletromagnética originada de torres de transmissão de sinais e de satélites.

Entenda-se neste ponto que não se trata apenas de sinais de telefonia celular. A preocupação vai ainda muito mais além, pois existem muitos outros sinais transmitidos por ondas eletromagnéticas circulando pela atmosfera terrestre. Sinais de Rádio AM, Rádio FM, Televisão, dentre uma série de exemplos de radiações não-ionizantes que poderiam ser aqui citados, também são fontes potenciais de um estudo acerca dos níveis de radiação e seus possíveis efeitos biológicos.

Porém, por se tratar de uma tecnologia relativamente nova, e por ter surgido em um mundo globalizado, no qual os eventos e conhecimentos são difundidos por todo globo pela imprensa mundial, a telefonia celular tem sido o alvo direto de estudos e desconfiança, não só de pesquisadores e cientistas, mas da população em geral, preocupada com a ausência de estudos conclusivos nesta área de pesquisa.

Assim, na tentativa de certificar que as estações próximas ao campus da Universidade de Brasília estão obedecendo aos limites atualmente estabelecidos pela agência reguladora, idealizou-se este projeto que, fundamentado em uma bibliografia vasta e oriunda de organizações nacionais e internacionais especializadas no assunto, propõe um mapa de distribuição de potência normalizada pelo valor limite de potência estabelecido pela agência reguladora, buscando informar alunos e frequentadores do campus que, em primeiro lugar, é seguro ficar ali, visto que não se observou em ponto algum, uma portadora que ultrapassasse o limite proposto. Em segundo lugar, mostrar como esta potência está distribuída dentro do campus, enfatizando os locais de maior e menor intensidade do sinal gerado pelas torres de transmissão.

## ABSTRACT

Since the mobile communication concept has spread itself around the world, becoming a promising, profitable and powerful widespread market, it was made necessary, or at least very useful, to concentrate practical and direct studies on the biological effects caused by the electromagnetic emission from RF transmission equipments and satellites.

It is important to understand that the focus here is not only the mobile telephony signals. The attention has to be pointed much further than that, since there are many other signals transmitted by electromagnetic waves traveling in the earth's atmosphere. AM and FM radio signals, television signals, are just examples of a variety of non-ionizing radiation signals that could be mentioned at this point and could also be targets for studies of biological effects.

Probably because it has been born in the apogee of the globalization, where every new event or knowledge is spread around the world by the international press, the mobile telephony has been facing some kind of mistrust by the ordinary people. In addition, it has become the target of many studies of researches and the scientific community around the world, all of them worried about the lack of conclusive studies in this field.

Therefore, attempting to certify that the transmission stations near to the campus are working according to the limits established by ANATEL, this project was conceived; founded on a vast and specialized bibliography, collected from many national and international organizations, the main idea is to propose a normalized power distribution map, which is responsible to present the students and campus visitors that, first of all, it is safe being there, based on the fact that there was not only a single frequency that presented a power intensity above the value recommended by the norm. In addition, the idea of the map is to show how this power is distributed in the campus, highlighting the places where the signal measured was too large or too small.

## GLOSSÁRIO

ABRICEM – Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética

ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações

ANSI – American National Standards Institute

CEMRF – Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos de Rádio-Freqüência

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-Freqüência

RNI – Radiação Não-Ionizante

SA – Specific Absorption

SAR – Specific Absorption Rate

UNEP – United Nations Environmental Program

ICC – Instituto Central de Ciências

FT – Faculdade de Tecnologia

FA – Faculdade de Estudos Sociais Aplicados

# ÍNDICE

1. Introdução .....	1
1.1. Objetivos .....	1
1.2. Definições Gerais, Unidades e Grandezas Físicas .....	1
1.3. Histórico Geral .....	7
2. Estudo dos Efeitos Biológicos das Radiações Não Ionizantes.....	10
2.1. Efeitos Diretos associados com a Exposição a Campos Eletromagnéticos.....	10
2.1.1. Estudos Relacionados a Efeitos na Reprodução Humana .....	10
2.1.2. Estudos Relacionados ao Câncer.....	11
2.1.3. Estudos com Voluntários .....	12
2.1.4. Estudos em Células e Animais.....	13
2.1.5. Considerações Especiais para Formas de Onda Pulsada e Moduladas em Amplitude .....	15
2.2. Efeitos Indiretos associados com a Exposição a Campos Eletromagnéticos.....	18
3. Legislação Regulamentadora Brasileira .....	19
3.1. Restrições Básicas com Respeito aos Limites de Exposição a CEMRF .....	19
3.2. Verificação ao Atendimento aos Limites Propostos .....	25
3.3. Cálculos Teóricos .....	26
3.4. Procedimentos de Medição .....	28
3.5. Avaliação de Locais Multi-Usuários .....	31
4. Procedimentos Utilizados nas Medições .....	34
4.1. Análise Teórica .....	34
4.1.1. Teoria para Escolha dos Locais para Medição.....	35
4.1.2. Metodologia Teórica Empregada na Medição .....	35
4.2. Metodologia Empregada nas Medições Práticas.....	36
4.2.1. A Escolha dos Pontos de Análise.....	36
4.2.2. Metodologia Empregada na Prática para Medição dos Pontos.....	37
4.3. O Mecanismo de Interpolação Utilizado para a Aproximação dos Pontos não Medidos e para a Montagem dos Mapas .....	37
5. Resultados Obtidos e Análise.....	39
6. Informações Técnicas Sobre o Equipamento Utilizado (Agilent E7495A).....	56
6.1. Descrição Geral .....	56

6.2. Principais Funções Utilizadas .....	56
7. Conclusões e Sugestões .....	58
8. Referências Bibliográficas .....	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.1 – <i>Níveis de referência para exposição a campos elétricos</i> .....	23
Figura 3.1.2– <i>Níveis de referência para exposição a campos magnéticos</i> .....	23
Figura 5.1 – Visão Geral do Campus (Mapa AUTOCAD) .....	40
Figura 5.2 – Visão Geral do Campus (Foto de Satélite).....	41
Figura 5.3 – Disposição das antenas sobre o teto do veículo de teste.....	42
Figura 5.4 – Distribuição dos pontos de medição .....	43
Figura 5.5 – Ponto exemplo – coordenadas geográficas .....	44
Figura 5.6 – Ponto exemplo – Espectro de 800 MHz.....	44
Figura 5.7 – Ponto exemplo – Espectro de 1800 MHz.....	45
Figura 5.8 – Ponto de maior potência medida .....	50
Figura 5.9 – Mapa de Distribuição de Potência Medida – 800 MHz.....	51
Figura 5.10 – Mapa de Distribuição de Potência Medida – 1800 MHz.....	52
Figura 5.11 – Mapa de Distribuição de Potência Normalizada – 800 MHz.....	54
Figura 5.12 - Mapa de Distribuição de Potência Normalizada – 1800 MHz.....	55
Figura 6.1.1 – Foto do Analisador Agilent E7495A .....	56

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.2.1 – Grandezas Símbolos e Unidades .....	7
Tabela 2.2.1 - Faixas de limiares de correntes para efeitos indiretos, incluindo crianças, mulheres e homens. ....	18
Tabela 3.1.1 - Restrições para campos elétricos e magnéticos, variáveis no tempo, até 10 GHz. ....	20
Tabela 3.1.2 – Níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados). ....	21
Tabela 3.1.3 – Níveis de referência para exposição do público geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados). ....	22
Tabela 3.1.4 - Níveis de referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato com objetos condutores. ....	24
Tabela 3.1.5 – Níveis de referência para correntes induzidas em qualquer membro à frequência entre 10 e 110 MHz. ....	24
Tabela 3.3.1 - Expressões para o cálculo de distâncias mínimas a antenas de estações transmissoras para atendimento aos limites de exposição. ....	27
Tabela 3.4.1 – Métodos de medição alternativos para determinação do valor médio de campo .....	29
Tabela 5.1 – Valores medidos e calculados .....	49

## 1. Introdução

### 1.1. Objetivos

O projeto aqui apresentado tem por principal objetivo propor um mapa de distribuição de potência, potência esta apresentada como sendo normalizada pelo valor estabelecido pela norma da agência reguladora (ANATEL), de todo o campus universitário Darcy Ribeiro, pertencente à Universidade de Brasília, de maneira a informar a alunos e principais freqüentadores do campus o grau de segurança do mesmo com relação aos níveis de potência de estações transmissoras ali encontradas.

Além disto, mais do que simplesmente indicar a segurança do campus com relação aos níveis de potência transmitidos por estações próximas ao mesmo, o mapa busca ainda apresentar a distribuição dos níveis de potência medidos, buscando identificar e apresentar pontos de maior segurança, de acordo com os valores obtidos durante o processo de medição.

### 1.2. Definições Gerais, Unidades e Grandezas Físicas

Este capítulo tem por finalidade principal apresentar ao leitor as definições, grandezas e unidades inerentes a este trabalho e aos processos associados ao mesmo. Vale salientar que a idéia aqui não é explorar toda teoria eletromagnética em seus demasiados detalhes, mas passar uma idéia geral do assunto ao leitor, uma revisão de algo já conhecido, de forma a familiarizá-lo com o texto, tornando a leitura mais clara e enriquecedora.

Da teoria eletromagnética, sabe-se que a existência de campos elétricos está ligada com a simples presença de cargas elétricas no espaço. Entretanto, os campos magnéticos são resultado direto do movimento físico da carga elétrica (corrente elétrica). Sabe-se que a existência de um campo elétrico fará surgir uma força elétrica sobre a carga responsável pela geração deste campo. A grandeza campo elétrico (**E**) é expressa em volts por metro (V/m). De maneira análoga ao caso anterior, o movimento de uma carga no espaço é responsável por gerar um campo magnético (**H**). Da mesma maneira que um campo elétrico exerce forças sobre as cargas, o campo magnético também é responsável por exercer forças físicas sobre cargas elétricas, mas somente quando as mesmas estão em movimento.

Sabe-se que os campos, sejam eles elétricos, magnéticos, gravitacionais, são grandezas vetoriais, o que significa que estes possuem, além da amplitude, uma direção associada. Com relação às unidades físicas, um campo magnético pode ser identificado de duas maneiras distintas. Como vetor de densidade de fluxo magnético, **B**, ele é expresso em uma grandeza chamada tesla (T). Já como vetor intensidade campo magnético, **H**, o mesmo é expresso em amperes por metro (A/m). A equação (1.1) abaixo mostra como se dá a relação destas duas grandezas:

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

A constante  $\mu$ , que aparece na equação acima, é conhecida como permeabilidade magnética. Esta constante, como a própria equação diz, é capaz de relacionar as grandezas **B** e **H**. O valor desta constante, aplicado para o vácuo, é de  $4\pi \times 10^{-7}$  henries por metro (H/m). Ela também pode ser expressa em outras unidades, mas esta é a mais usual. Para efeitos de cálculos, esta permeabilidade magnética do vácuo pode ser estendida a outros meios, como o ar (atmosfera terrestre) e materiais não-magnéticos, inclusive meios biológicos. Desta maneira, para descrever-se um campo magnético com o intuito apenas de estudar a proteção contra estes e seus possíveis efeitos biológicos associados, basta especificar umas das grandezas acima descritas. Ou especifica-se o vetor densidade de fluxo magnético (**B**) ou então o vetor intensidade de campo magnético (**H**).

Algumas simplificações da teoria eletromagnética são bastante utilizadas na prática, e inclusive são previstas na própria teoria. Uma destas simplificações é o estudo de radiações para regiões denominadas de *regiões de campo distante*. Quando se define um lugar no espaço como pertencendo a este tipo de região, afirma-se que lá os campos elétricos e magnéticos possuem características aproximadamente de uma onda plana e as componentes de campo elétrico e magnético são perpendiculares entre si, ambas transversais à direção de propagação. Dessa forma, nesta região, o modelo de onda plana é uma boa aproximação para se estudar a propagação de campos eletromagnéticos. Esta simplificação pode ser utilizada para verificar-se a proteção contra campos eletromagnéticos sem que, com isso, o resultado encontrado torne-se inválido. As principais características de uma onda plana estão dispostas nos itens abaixo:

- as frentes de onda possuem uma geometria plana;
- os vetores **E** e **H** e a direção de propagação são mutuamente perpendiculares;

- a fase dos campos  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$  é a mesma, e o quociente da amplitude de  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{H}$  é constante através do espaço. No espaço livre (vácuo), o quociente  $E/H$  é igual a 377 ohms, que corresponde ao valor da impedância característica do espaço livre;
- densidade de potência  $\mathbf{S}$ , isto é, a potência por unidade de área normal à direção de propagação, está relacionada aos campos elétrico e magnético, pela expressão

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

- Densidade de potência da onda plana equivalente é a densidade de potência de uma onda plana que pode ser determinada a partir do valor da intensidade de campo elétrico ou de campo magnético. Esta grandeza, a exemplo da densidade de potência, já descrita acima, também é expressa em watts por metro quadrado ( $\text{W/m}^2$ ).

Ainda relacionados à potência, porém de uma maneira mais geral, e não especificamente relacionados às características da onda plana, existem ainda mais dois conceitos importantes a serem aqui discutidos. O conceito de *EIRP*, que significa *potência equivalente isotropicamente irradiada*, nos traz a informação do produto da potência entregue a uma antena pelo ganho desta mesma antena em relação a uma antena isotrópica em uma determinada direção. Similarmente a este conceito, existe o de *ERP*, que significa *potência efetiva irradiada*. Este nos traduz o produto da potência entregue a uma antena pelo ganho desta mesma antena em relação a um dipolo de meia onda em uma determinada direção.

Como já mencionado, a aproximação utilizando o conceito de onda plana equivalente, mostrada e calculada acima, é válida apenas para campos distantes. A situação na região de campo próximo é bem mais complexa, visto que os valores máximos e mínimos dos campos elétrico e magnético não ocorrem nos mesmos pontos ao longo da direção de propagação, como acontece quando se utiliza a aproximação para campos distantes. Além disto, na região de campo próximo, a estrutura do campo eletromagnético nem sempre é homogênea, podendo haver variações substanciais no valor da impedância de onda ( $377 \Omega$  para campos distantes). Isto significa que podem existir pontos onde são encontrados quase exclusivamente campos

**E**, da mesma forma que poderão existir pontos onde são encontrados quase exclusivamente campos **H**. [37]

Estudos relacionados com a exposição a campos próximos são muito mais complexos e difíceis de se especificar. Esta dificuldade é encontrada porque ambos os campos **E** e **H** devem ser medidos. Uma vez que seus padrões de radiação são bem mais complexos, esta medida se torna mais complicada. Além disso, nesta situação, a densidade de potência não é mais uma quantidade apropriada para exprimir restrições à exposição, fato que ocorre para a aproximação de campos distantes.

Um outro conceito bastante importante de ser lembrado é o de densidade de corrente. Ela é uma grandeza vetorial que representa a densidade de corrente que atravessa uma superfície, sendo expressa em amperes por metro quadrado ( $A/m^2$ ). Este conceito, matematicamente, está relacionado com o campo elétrico a partir da Lei de Ohm, que pode ser vista abaixo:

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

Na equação,  $\sigma$  é a condutividade elétrica do meio, e é expressa por S/m.

Esta definição é importante neste tipo de estudo porque a exposição a campos eletromagnéticos variáveis no tempo resulta na indução de correntes internas no corpo exposto, além da absorção de energia nos tecidos. Avaliar os possíveis efeitos causados por esta indução e absorção é justamente o foco dos estudos de efeitos biológicos.

Para efetuar-se uma avaliação de campos eletromagnéticos, visando avaliar os efeitos biológicos relacionados aos mesmos, a intensidade de campo elétrico e a densidade de corrente são grandezas largamente aceitas, sem que se faça qualquer distinção da frequência de operação analisada. No entanto, as quantidades dosimétricas normalmente usadas em normas nacionais e internacionais, como a resolução da ANATEL, têm sido observadas em diferentes métricas para diferentes frequências e formas de onda, conforme citado abaixo:

- Frequências menores que 10 MHz => Densidade de Corrente (**J**);
- Frequências até 110 MHz => Corrente **I**;
- Campos pulsados na faixa de frequência de 300 MHz a 10 GHz => Taxa de absorção específica (SAR);
- Frequências entre 10 GHz e 300 GHz => Densidade de potência **S**.

Para este trabalho, o ponto principal a ser observado é o terceiro item apresentado acima, pois é no intervalo de frequência citado neste item que estão as portadoras utilizadas na telefonia móvel analisadas neste projeto (824 – 896 MHz e 1806 – 1820 MHz). Conforme já mostrado, para este intervalo de frequência, utiliza-se em estudos de efeitos biológicos uma grandeza chamada *Taxa de Absorção Específica (SAR)*, definida como sendo a taxa de absorção de energia pelos tecidos do corpo e expressa em watts por quilograma (W/kg). A SAR depende dos parâmetros do campo a ser estudado, tais como frequência, intensidade, polarização e configuração fonte-objeto. Além disso, características do corpo exposto, como tamanho, geometria interna e externa e propriedades dielétricas, juntamente com os efeitos associados à propagação (como efeitos de aterramento e reflexão de outros objetos no campo próximo ao corpo exposto) também influenciam e devem ser considerados no cálculo da SAR.

Matematicamente, pode-se definir a SAR pelas equações (1.4) e (1.5) mostradas logo abaixo:

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

$$dT/dt = SAR / c \quad \text{°C/s} \quad (1.5)$$

Nas equações acima,  $\sigma$  é a condutividade do tecido em S/m (ou  $1 / \Omega \text{ m}$ );  $\rho$  é a densidade volumétrica do tecido em  $\text{kg/m}^3$ ;  $E$  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..

Baseado em estudos técnicos com modelos do corpo humano, experimentos com animais e considerações estatísticas, o IRPA (ICNIRP) estabeleceu que o limite máximo (ou valor de referência) para SAR de corpo inteiro aceitável é de 4 W/kg. Uma pessoa exposta a este nível de SAR pode apresentar um aquecimento médio de  $1^{\circ}\text{C}$  em seu corpo, quando exposta a esta radiação por cerca de trinta minutos. Buscando proporcionar um fator de segurança a mais para o valor definido, o órgão internacional também determinou que fosse aplicado um fator de correção neste valor, de acordo com os tipos de exposição que foram pré-definidos pelo mesmo.

De acordo com o IRPA, a exposição a CEMRF pode ser do tipo ocupacional ou da população em geral. A exposição ocupacional é definida como aquela situação em que as

peças são expostas a CEMRF em conseqüência de seu trabalho, desde que estas estejam cientes do potencial de exposição e possam exercer um certo controle sobre sua permanência no local ou tomar medidas preventivas. Para esta classificação de exposição, o limite de referência da SAR para 0,4 W/kg.

Já a exposição da população em geral, também conhecida como exposição não controlada, é definida como a situação em que a população em geral está exposta a CEMRF ou àquela em que as pessoas estão expostas em conseqüência de seu trabalho, porém sem estarem cientes desta exposição ou sem a possibilidade de adotar medidas preventivas. Para este grupo, o limite de referência da SAR para este caso cai para 0,08 W/kg.

Além da classificação de exposição acima citada, ainda existe uma outra diferenciação que diz respeito à exposição a CEMRF. A exposição contínua é aquela em que o indivíduo está exposto a CEMRF por períodos de tempo superiores ao utilizado para medições temporais. Normalmente, este período de tempo considerado para o cálculo da média temporal é de seis minutos. A exposição transitória, uma segunda classificação adotada para a exposição a CEMRF, é definida como sendo uma exposição por períodos inferiores ao utilizado para o cálculo da média temporal, já citado acima. Finalmente, a média temporal diz respeito à média das densidades de potência medidas em um determinado local, durante um determinado período de tempo.

Para finalizar, segue a tabela 1.2.1 abaixo, que apresenta um sumário geral das grandezas relacionadas com CEMRF e suas respectivas unidades.

<b>Grandeza</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidade</b>
Condutividade	$\sigma$	Siemens por metro (S/m)
Corrente Elétrica	I	Ampère (A)
Densidade de corrente	J	Ampère por metro quadrado (A/m <sup>2</sup> )
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	$\mu$	Henry por metro (H/m)
Permissividade	$\epsilon$	Farad por metro (F/m)
Densidade de potência	S	Watt por metro quadrado (W/m <sup>2</sup> )

Absorção específica	SA	Joule por quilograma (J/kg)
Taxa de absorção específica	SAR	Watt por quilograma (W/kg)

**Tabela 1.2.1 – Grandezas Símbolos e Unidades**

### 1.3. Histórico Geral

Um dos principais conceitos que devem ser compreendidos quando se deseja argumentar algo sobre radiodifusão e telecomunicações sem fio é o de radiações não-ionizantes (RNI). Este tipo de radiação é definido como sendo os campos eletromagnéticos de radiofrequência (CEMFR) que são, por sua própria natureza, incapazes de ionizar a matéria por apresentar um conteúdo energético relativamente baixo. Estes campos podem ser facilmente encontrados na natureza, como por exemplo na forma de radiação infravermelha e ultravioleta, além da própria luz visível.

Com o avanço das telecomunicações, e a necessidade de se estar informado em um mundo globalizado, a demanda por sistemas de comunicações móveis e de alcance praticamente mundial cresceu de uma maneira considerável. E para que esta demanda fosse correspondida, a tecnologia das comunicações avançou de maneira extraordinária nos últimos anos. Passou-se da simples radiodifusão pela atmosfera terrestre para a transmissão via satélite de rádio, televisão, além da implantação da rede de telefonia móvel, que promoveu uma verdadeira revolução nas telecomunicações. Assim, para que os requisitos fossem atendidos, e as telecomunicações avançassem, campos eletromagnéticos passaram a ser gerados artificialmente e utilizados para transmissão de informação pela atmosfera.

Apesar da comunidade científica promover experimentos e estudos teóricos relativos ao efeito da exposição da radiofrequência sobre animais e tecidos vivos já há algumas décadas, a preocupação com a possibilidade de se obter prejuízos biológicos em consequência à exposição à radiofrequência é relativamente nova, e não há estudos conclusivos e satisfatórios sobre este assunto no mundo.

Com o intuito de pesquisar justamente estes possíveis efeitos relacionados à exposição à radiofrequência, surgiram, nos últimos anos, várias entidades nacionais e internacionais com este interesse. Em 1974, a *Associação Internacional de Proteção a Radiações (IRPA)* organizou um grupo de trabalho em torno das radiações não-ionizantes, grupo este que investigou os problemas originados no campo da proteção contra vários tipos deste padrão de

radiação. Já em 1977, na realização de um congresso da IRPA em Paris, este grupo de trabalho se tornou a Comissão Internacional de Radiações Não-Ionizantes (INIRC).

Com o intuito de realizar pesquisas na área de efeitos biológicos, e trabalhando em colaboração à Divisão de Saúde Ambiental da Organização Mundial de Saúde (OMS), a IRPA/INIRC desenvolveu uma série de projetos e documentos contendo critérios de saúde, patrocinados pelo Programa Ambiental das Nações Unidas. Cada um destes documentos, além de conter uma análise completa da literatura sobre efeitos biológicos, fazendo uma avaliação dos riscos possíveis à saúde causados pela exposição a RNI, apresentam também uma visão geral sobre os métodos de medidas e instrumentação e as fontes e aplicações das Radiações Não-Ionizantes.

Buscando dar continuidade aos trabalhos desenvolvidos pela IRPA/INIRC, foi criada, em 1992, durante o VIII Congresso Internacional da IRPA em Montreal – Canadá, a Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não-Ionizantes (ICNIRP), comissão esta que tem por principais funções investigar os perigos associados às diferentes formas de RNI, assim como desenvolver diretrizes internacionais sobre os limites de exposição a este tipo de radiação.

A Agência Nacional de Telecomunicações, ANATEL, executando seu papel de agência reguladora, buscou auxílio de uma série de recomendações internacionais para enfim definir a regulamentação válida hoje em todo Brasil. Foram consultados, além do ICNIRP (que foi a principal fonte), órgãos como o ANSI (American National Standards Institute), que é responsável pela normalização da matéria nos EUA. A primeira publicação do instituto nesta área de pesquisa data de 1966, e estabelecia uma maneira bastante simplificada de tratar o nível de densidade de potência, e estava restrita apenas para a faixa de 10 a 100MHz.

Após uma série de revisões e reedições deste documento, chegou-se na versão disponível hoje, mais elaborada e detalhista, conhecida como ANSI/IEEE C95.1-1991 – IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetics Fields, 3 kHz to 300 GHz. Neste documento, os resultados são expostos de acordo com uma classificação preestabelecida do ambiente analisado. Esta classificação define se o ambiente é considerado um ambiente controlado ou não-controlado. Em ambientes controlados, subentende-se que as pessoas que ali circulam estão cientes que estão expostas a um determinado nível de radiação. Normalmente, este tipo de ambiente está relacionado com o ambiente de trabalho das pessoas que nele circulam. Por esta razão, o nível de potência permitido é mais elevado do que no caso que será tratado a seguir. São considerados ambientes não-controlados aqueles que promovem aos indivíduos que por ele circulam uma

exposição à radiofrequência, temporária ou permanente, sem o conhecimento prévio destes indivíduos quanto a sua exposição.

Vários outros órgãos internacionais poderiam ser aqui citados como colaboradores para a determinação da resolução brasileira sobre limites de exposição humana à radiofrequência. O CENELEC (Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica) possui um projeto de norma européia, que ainda está em discussão, que trata dos limites de exposição de pessoas a campos eletromagnéticos com frequências entre 10 kHz e 300 GHz. O FCC (Federal Communication Commission), órgão responsável pela regulamentação das telecomunicações nos EUA, também possui uma regulamentação a ser cumprida pelas operadoras do serviço móvel com relação ao nível de potência transmitido ao ambiente.

Neste momento, é importante ressaltar que praticamente todos os estudos, estejam estes finalizados ou em andamento, referenciados aos efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos apresentados nas diversas regulamentações mundiais existem, estão relacionados apenas aos efeitos biológicos causados pelo aumento de temperatura em tecidos vivos, ou seja, por meio dos *efeitos térmicos*.

## **2. Estudo dos Efeitos Biológicos das Radiações Não Ionizantes**

Este capítulo tem por finalidade apresentar uma visão geral da literatura citada nas referências e que possuem como tema principal os efeitos biológicos devido à exposição de pessoas a campos eletromagnéticos. Conforme já mencionado anteriormente, o principal mecanismo de interação considerado para se observar a ocorrência dos efeitos biológicos é a indução de corrente em tecidos vivos, o que pode acarretar em uma elevação na temperatura do organismo acima de sua capacidade de regulação.

A literatura utilizada como referência para este capítulo costuma dividir os efeitos biológicos de acordo com a frequência de operação dos sistemas testados. A primeira parte da pesquisa se dá em equipamentos que utilizam frequências abaixo de 100 kHz, o que não reflete a realidade de nosso trabalho, tendo em vista que a telefonia celular utiliza frequências acima de 800 MHz para transmissão de voz e dados.

A segunda parte destes estudos apresenta resultados de estudos a respeito de efeitos biológicos para frequências que variam de 100 kHz a 300 GHz, faixa esta que compreende todas as portadoras utilizadas na tecnologia de telefonia móvel, em todas as bandas regulamentadas pela ANATEL. Em consequência deste fato, só serão abordados neste capítulo os temas e referências que disserem respeito a esta faixa de frequência, pelo motivo já exposto acima, visto que esta faixa compreende o foco deste trabalho.

### **2.1. Efeitos Diretos associados com a Exposição a Campos Eletromagnéticos**

#### **2.1.1. Estudos Relacionados a Efeitos na Reprodução Humana**

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 que tinham justamente este tópico como objetivo. Vários estudos epidemiológicos, datados desde 1973 até 1993, não forneceram nenhuma evidência concreta de efeitos adversos ao aparelho reprodutivo humano, causados pela exposição a campos eletromagnéticos. Até o presente momento, nada pode ser afirmado, visto que quando os resultados negativos aparecem, estes não podem ser associados somente à exposição aos campos eletromagnéticos.

Estudos realizados com mulheres tratadas com diatermia de microondas para aliviar a dos das contrações uterinas durante o parto são exemplos da afirmação acima. Durante e após a realização destes estudos, não houve a constatação de qualquer evidência concreta que este tratamento produzisse efeitos prejudiciais ao feto. Todavia, alguns estudos realizados com o interesse de verificar a existência de uma correlação entre a má formação de fetos e a radiação de microondas, também realizados nos EUA, foram efetuados com funcionárias grávidas expostas ocupacionalmente a radiação de microondas, e acabaram por produzir resultados tanto positivos quanto negativos.

Um segundo estudo, com finalidade similar à proposta pelo exemplo anterior, foi conduzido junto numa grande companhia americana. Neste estudo, operadores de radar (todos do sexo masculino) foram analisados durante um certo período de tempo para verificar-se a existência ou não de uma relação direta entre a exposição dos mesmos a radiação de microondas e o risco de seus descendentes diretos apresentarem a Síndrome de Down. Como consequência, mais uma vez não houve nenhum resultado concreto que justificasse tal associação.

Assim, pode-se afirmar que os estudos sobre consequências na reprodução humana, relacionados com a exposição a microondas, são imprecisos em sua avaliação por apresentarem um número muito pequeno de casos. Portanto, apesar da maioria destes estudos apresentarem resultados negativos, será difícil chegar-se a uma conclusão concreta e confiável a respeito dos mesmos, sem que mais testes e estudos epidemiológicos sejam realizados com indivíduos altamente expostos a radiação, e sem que haja uma avaliação mais precisa da referida exposição.

### **2.1.2. Estudos Relacionados ao Câncer**

Os estudos que questionam a incidência de câncer relacionado à exposição a ondas eletromagnéticas tem sido objeto de estudo de várias entidades de pesquisa. Porém, geralmente, nestes estudos, sofre-se com a ausência de uma determinação quantitativa desta exposição. Estudos epidemiológicos efetuados na indústria de aviação e nas forças armadas dos EUA, com trabalhadores que se utilizam e estão próximos a radares, não apresentaram nenhuma evidência concreta de aumento da mortalidade, independente de qualquer causa específica.

Um segundo estudo, efetuado com funcionários de uma embaixada norte-americana em Moscou, apresentou resultados semelhantes ao do estudo anteriormente citado [14]. Para

tentar verificar a relação entre a incidência de câncer e a exposição a campos eletromagnéticos, este estudo verificou a susceptibilidade de funcionários da embaixada, expostos cronicamente a um baixo nível de radiação de um transmissor de microondas, apresentarem qualquer sintoma neste sentido. O mesmo resultado foi verificado ao se estudar crianças que moravam nas proximidades de um transmissor de microondas de alta potência. Como já afirmado anteriormente, nenhuma associação concreta pôde ser verificada.

Portanto, os resultados até o momento publicados de estudos epidemiológicos não contribuem significativamente com informações sobre o risco de câncer. Os que apresentaram resultados que associavam a incidência da doença em testes de exposição a campos eletromagnéticos, normalmente não forneciam uma avaliação bem definida da exposição aos campos. Por esta razão, os resultados nunca são indubitavelmente conclusivos.

### **2.1.3. Estudos com Voluntários**

Estudos realizados por Chatterjee et al. [18] 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. Esta informação torna-se bastante relevante em estudos sobre efeitos biológicos das radiações de microondas, uma vez que um aumento de temperatura superior a 1 ou 2 graus Celsius em indivíduos pode ter efeitos adversos na saúde, como por exemplo a exaustão e o choque térmico [18].

Alguns testes foram efetuados com trabalhadores em ambientes termicamente estressantes e o estudo mostrou que a elevação da temperatura corporal, até níveis próximos ao stress fisiológico, piora o desempenho de tarefas simples. Alguns voluntários, que se sujeitaram à passagem de correntes elétricas de intensidades de 100 a 200mA pelos membros, acusaram uma sensação de calor moderado. Assim, é pouco provável que a SAR, nestas condições, possa causar nos membros, por exemplo, um aumento localizado de temperatura superior a 1°C, valor que tem sido sugerido como o maior aumento de temperatura sem efeito prejudicial à saúde (UNEP/WHO/IRPA, 1993).

Resultados obtidos com voluntários em testes para frequências de 50 até 110 MHz (que se refere à parte superior da faixa de radiodifusão FM), justificam a fixação de um nível de referência de 100 mA para correntes nos membros, buscando com isso evitar o aquecimento excessivo [19]. Além disto, vários outros estudos foram conduzidos com voluntários expostos a CEMRF, numa situação de repouso durante a obtenção de imagens de ressonância magnética. Em geral, os resultados mostraram que a exposição por até 30

minutos, sob condições em que a SAR de corpo inteiro manteve-se menor que 4W/kg, causou um aumento inferior a 1°C na temperatura interna do corpo.

#### **2.1.4. Estudos em Células e Animais**

Quando a estudos efetuados em células e animais até hoje, há vários relatórios sobre repostas comportamentais e fisiológicas de animais de laboratório, como roedores, cachorros e primatas não-humanos, a fenômenos térmicos relacionados com CEMRF em frequências acima de 10 MHz.

Respostas, tanto na termosensibilidade, como na termoregulação, 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. Expondo-se animais de laboratório a CEMRF, resultando numa absorção de energia superior a 4W/kg, revelou um modelo característico de resposta termoreguladora, segundo a qual a temperatura do corpo do animal aumenta, inicialmente, mas se estabiliza, a partir da ativação de mecanismos termoreguladores como a sudorese.

Esta fase inicial descrita anteriormente é acompanhada por um aumento significativo do volume de sangue, aumento este devido ao movimento de fluido extracelular para a circulação e por aumentos na taxa de batimentos cardíacos, além da elevação da pressão sanguínea. Estas mudanças hemodinâmicas refletem respostas termoreguladoras que facilitam a condução do 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 termoreguladores. Considerando os roedores, por exemplo, foi observada uma queda no desempenho de tarefas quando os mesmos eram expostos a valores de SAR entre 1 e 3 W/kg. Nos macacos, as alterações no comportamento termoregulador começam quando a temperatura na região do hipotálamo sofre um pequeno aumento, da ordem de 0,2 a 0,3 °C.

O hipotálamo é considerado o centro de controle de processos termoreguladores normais. Sua atividade pode ser modificada por um pequeno aumento da temperatura local. Durante estudos realizados com sistemas celulares e animais, referenciados a níveis de energia eletromagnética absorvida, estudos estes que causaram um aumento na temperatura corporal variando entre 1 e 2 graus Celsius, resultaram em alterações neurais e neuromusculares,

aumentando a permeabilidade na barreira hematoencefálica, dano ocular, incluindo a opacidade da lente e anormalidades de córnea, mudanças reprodutivas (com relação ao esperma), mudanças na morfologia, no conteúdo de água e de eletrólito, e nas funções das membranas das células, dentre uma série de outras alterações graves para os organismos.

Sob condições de exposição parcial do corpo a CEMRF intensos, 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.

Para frequências de operação muito elevadas, leia-se 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 do espectro de frequências, a absorção é superficial. O dano ocular nestas faixas de frequência pode ser evitado se a densidade de potência de microondas é menor que 50 W/m<sup>2</sup> (UNEP/WHO/IRPA, 1993 [2]).

Recentemente, com o avanço e a expansão das telecomunicações, principalmente por sistemas que utilizam microondas e CEMRF, como o sistema de telefonia celular, despertou-se na sociedade um recente e considerável interesse em possíveis efeitos carcinógenos relacionados à exposição a estes campos. Os resultados de pesquisas efetuadas nesta área foram elaborados pelo ICNRP (1996). No geral, há uma série de relatórios sugerindo que os campos de microondas não causam mutações, e, portanto, é improvável que a exposição a estes campos possa iniciar um processo de carcinogênese. Todavia, alguns relatórios mais recentes sugerem que a exposição de roedores a campos de microondas com SAR de 1W/kg pode produzir rupturas no filamento do DNA de testículos e de tecidos do cérebro. Contudo, ambos estudos apontaram deficiências metodológicas, o que pode ter afetado os resultados de maneira significativa.

Em um amplo estudo que durou cerca de 25 meses, efetuado tanto com roedores expostos a CEMRF quanto por roedores não expostos (grupo de controle), notou-se um maior número de efeitos malignos primários no grupo de ratos expostos, quando os mesmos são comparados aos ratos do grupo de controle. Por outro lado, a incidência de tumores benignos não diferiu em ambos os grupos, e nenhum tipo de tumor prevaleceu mais no grupo que roedores expostos. Portanto, considerando em seu todo, os resultados alcançados com este estudo não podem ser interpretados como indicadores de um efeito iniciador de tumores

devidos a CEMRF. Diversos estudos examinaram os efeitos da exposição a microondas no desenvolvimento de células com tumores em estágio inicial. Por exemplo, cientistas notaram uma taxa acentuada de crescimento, em células de sarcoma pulmonar, transplantadas em ratos expostos a altas densidades de potência [20]. Este resultado pode ter sido resultado de um enfraquecimento do sistema imunológico do hospedeiro, em resposta ao stress causado pela exposição aos CEMRF.

Em um estudo realizado recentemente, 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  $\mu$ 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 W/kg). Assim, levando-se em consideração que a taxa metabólica normal destes camundongos é de 7 a 15 W/kg, somente os valores mais altos de exposição podem ter produzido algum aquecimento leve. Desta maneira, este estudo parece sugerir que um mecanismo não térmico pode estar agindo o que precisa ainda ser investigado. Porém, antes de se chegar a conclusões precipitadas, uma série de medidas devem ser tomadas para que se possa fazer uma análise sobre os riscos à saúde. O estudo precisa ser repetido, limitando-se os movimentos dos roedores, para que a variação da SAR seja mínima possível, e com isto, determinar com o embasamento necessário se existe uma relação direta entre a resposta do organismo e a dose de radiação a que os animais estão expostos.

Finalmente, para que os resultados possam ser generalizados para humanos, se faz necessária uma série de novos estudos para se determinar se os resultados apresentados anteriormente são encontrados em outras espécies de animais, ou se estão restritos apenas a camundongos. Assim, será possível avaliar se os resultados encontrados em animais transgênicos são aplicáveis a seres humanos.

#### **2.1.5. Considerações Especiais para Formas de Onda Pulsada e Moduladas em Amplitude**

Da mesma maneira que a energia elétrica pode ser transmitida e gerada de maneira alternada ou contínua, a radiação eletromagnética destinada a telecomunicação também podem se apresentar de ambas as formas. Os campos pulsados de microondas, quando comparados com a radiação de onda contínua (CW) de mesma taxa média de absorção de energia pelos tecidos, geralmente são mais eficazes em provocar uma resposta biológica, especialmente quando há um limiar bem definido que deve ser superado para evidenciar o

efeito [21]. Um exemplo bem conhecido dos pesquisadores da área é o “efeito auditivo de microondas”. Neste exemplo, pessoas com audição normal podem perceber, pela audição, campos modulados por pulsos, com frequências entre os limiares de 200 MHz a 6,5 GHz. A sensação auditiva tem sido descrita de diferentes maneiras, 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  $100 - 400 \text{ mJ/m}^2$  para pulsos de duração menor do que  $30 \mu\text{s}$  em 2,45 GHz (correspondente a uma SA de 4 - 16 mJ/kg). A exposição repetida ou prolongada a estes efeitos pode ser estressante e potencialmente nociva à saúde.

Além dos efeitos supracitados referentes à audição, há alguns relatórios que fazem referência a efeitos na visão. Segundo estes relatórios, a retina, a íris e o endotélio da córnea dos primatas seriam sensíveis à radiação de microondas pulsadas de nível baixo. Nestes estudos, alterações degenerativas nas células da retina sensíveis à luz foram relatadas para níveis de energia da ordem de 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, cai para 2,6 mJ/kg, valor dez vezes menor que o limiar sugerido para condições normais. Apesar disto, em um estudo feito por um laboratório independente, que buscava reproduzir parcialmente estes resultados para campos não pulsados, não obteve sucesso. Desta maneira, de posse dos resultados citados, pode-se concluir que é impossível avaliar-se as implicações potenciais para a saúde de maneira concreta e objetiva, conforme sugerido no primeiro caso.

Tem-se relatado que a exposição a campos intensos de microondas pulsadas suprime repostas a estímulos em camundongos conscientes, e provoca movimentos corporais nos mesmos (INEP/WHO/IRPA, 1993 [2]). Foram realizadas medidas no nível de energia que provocou estes movimentos corporais e o limiar de energia específica no mesencéfalo encontrado foi de 200 J/Kg para pulsos de  $10 \mu\text{s}$ . Ainda não se sabe qual o mecanismo responsável por estes efeitos de microondas pulsadas, mas acredita-se que os mesmos estejam relacionados com o princípio da audição de microondas. Os limiares auditivos aplicados a roedores são ligeiramente mais baixos dos que são aplicados a seres humanos, atingindo 1-2 mJ/Kg para pulsos menores do que  $30 \mu\text{s}$  de duração. Ainda, tem-se relatado que pulsos desta magnitude afetam o metabolismo dos neurotransmissores, assim como a concentração dos receptores neurais envolvidos no estresse e nas respostas de ansiedade em regiões distintas no cérebro do rato.

Conforme mencionado anteriormente, a maioria dos estudos efetuados na área de efeitos biológicos tem como foco os efeitos térmicos da radiação eletromagnética. Entretanto, questões sobre interações não térmicas de CEMRF de alta frequência tem focado principalmente os relatos de efeitos biológicos de campos modulados em amplitude, com valores de SAR bem abaixo daqueles que produzem um aumento de temperatura mensurável dos tecidos vivos. Em estudos preliminares, realizados em dois laboratórios independentes e distintos, obteve-se resultados mostrando que campos de VHF, modulados em amplitude de frequências extremamente baixas (6-20Hz), produziram uma liberação significativa de íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) da superfície de células do cérebro de filhotes de galinha (pintos) [22]. Todavia, numa tentativa de confirmar estes resultados, foi efetuado um novo estudo subsequente. A experiência não foi bem sucedida, uma vez que os resultados não se repetiram. Na tentativa de se chegar a resultados concretos, vários outros estudos acerca dos efeitos de campos AM sobre a homeostase do  $\text{Ca}^{2+}$  foram efetuados, mas não se pôde concluir nada de concreto sobre este assunto.

Há relatos de que campos modulados em amplitude alteram a atividade elétrica do cérebro, inibem a atividade citotóxica de linfócitos-T e causam um aumento transitório na atividade citoplasmática de ornitina descarboxilase, uma enzima essencial para a proliferação de células. Contrastando com este resultado, nenhum efeito foi observado em estudos realizados em uma grande variedade de outros sistemas celulares e variáveis funcionais, incluindo o *capping* de linfócitos, a transformação neoplástica da célula, além de várias propriedades elétricas e enzimáticas de membranas.

De relevância particular para potenciais efeitos carcinogênicos de campos pulsados, verificou-se que a transformação neoplástica 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, e ocorreu somente quando um agente químico carcinógeno (TPA) estava presente no meio de cultura da célula. Desta maneira, este resultado sugere que microondas pulsadas podem exercer efeitos co-carcinogênicos, quando combinadas com um agente químico que aumenta a taxa de proliferação de células transformadas. Todavia, até o presente momento não houve nenhuma tentativa de repetir este estudo que buscasse fundamentar estes resultados. Assim, sua implicação para os efeitos na saúde humana não é clara nem precisa.

Para finalizar, depois de analisar os resultados de vários estudos e a literatura de efeitos não térmicos de campos eletromagnéticos, pode-se afirmar que não há como se determinar um limite sobre a exposição humana a estes campos, uma vez que tanto os estudos quanto a extensa literatura existente acerca deste assunto trazem relatos de efeitos

precariamente estabelecidos, com importância questionável para a saúde humana e sem o embasamento em resultados práticos necessários para o estabelecimento deste limite.

## 2.2. Efeitos Indiretos associados com a Exposição a Campos Eletromagnéticos

Na faixa de frequências de aproximadamente 100 kHz - 110 MHz, queimaduras e choques em pessoas podem resultar ou 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. Alguns valores limites de intensidade de corrente foram obtidos em experiências controladas e realizadas com voluntários [23]. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 2.2.1 abaixo.

Em geral, tem se mostrado que os limites para as correntes que produzem percepção e dor variam pouco na faixa de frequências 100 kHz - 1 MHz e é pouco provável que variem de forma significativa na faixa de frequências até quase 100 MHz. Como foi antes notado para frequências mais baixas, também para campos de frequência mais alta existem diferenças significativas entre a sensibilidade de homens, mulheres e crianças.

<b>Efeito Indireto</b>	<b>Límiars de Corrente nas Frequências</b>	
	<b>100 kHz</b>	<b>1 MHz</b>
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 2.2.1 - Faixas de limiars de correntes para efeitos indiretos, incluindo crianças, mulheres e homens.**

### **3. Legislação Regulamentadora Brasileira**

No presente capítulo será apresentado o Regulamento sobre a Limitação da Exposição a Campos Eletromagnéticos em diversas faixas de frequência, inclusive na faixa de uso do celular, que é o foco do projeto. Este regulamento foi elaborado e publicado pela Agência Nacional das Telecomunicações (ANATEL), primeiramente sob a forma da consulta pública número 285 e, posteriormente, reformulada por meio da consulta pública número 296.

Além disto, a Resolução 303, datada de 02 de Julho de 2002, também trata do referido assunto, e tem por principal objetivo estabelecer limites para a exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, na faixa de frequência compreendida entre 9 kHz e 300 GHz, associados à operação de estações transmissoras de radiocomunicação e de serviços de telecomunicações, foco do projeto. Mais ainda, a resolução busca definir métodos de avaliação e procedimentos a serem observados antes de se conceder o licenciamento de estações transmissoras, referenciados aos limites de exposição dos campos inerentes ao processo de telecomunicações sem fio, conforme apresentado anteriormente.

Todos os limites estabelecidos pela resolução da ANATEL, assim como a maior parte do trabalho feito para publicação da mesma, é baseado nos limites estabelecidos pelo ICNIRP, sigla em inglês para Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não-Ionizantes. É claro que muitas outras fontes foram consultadas, como publicações do IEEE e do ANSI (American National Standards Institute).

Finalmente, é importante ainda frisar que a maioria dos procedimentos descritos pela resolução, tanto para os métodos de avaliação quanto para os procedimentos a serem observados para concessão da licença de operação, está aberta a alterações e sugestões propostas por profissionais da área, desde que sejam relatados com detalhes nos devidos relatórios da agência reguladora.

#### **3.1. Restrições Básicas com Respeito aos Limites de Exposição a CEMRF**

Neste primeiro item do capítulo, buscar-se-á apresentar as restrições básicas aos limites de exposição a CEMRF postuladas pela ANATEL, bem como mostrar os limites

exigidos por ela, não só para o caso específico da telefonia celular, mas referente a todo e qualquer tipo de radiação eletromagnética destinada às telecomunicações.

Conforme já mencionado anteriormente, durante o desenvolvimento da diretriz sobre limites a exposição a radiação da ANATEL, a agência buscou diferentes bases científicas, principalmente internacionais, para estabelecer os limites oficiais exigidos atualmente em todo Brasil. Os limites exigidos pela agência estão dispostos nas tabelas abaixo e foram sugeridos com base nos estudos do ICNIRP.

A primeira tabela, chamada Tabela 3.1.1, refere-se aos valores de SAR, destacando-se alguns pontos específicos relacionados ao processo de medição. Em primeiro lugar, todos os valores de SAR devem ter sua média avaliada ao longo de qualquer intervalo de seis minutos, devendo ser utilizada uma massa de 10g de tecido contíguo. Além disso, devido a não homogeneidade elétrica do corpo humano, as densidades de corrente devem ser calculadas pela média tomada sobre uma seção transversal de 1 cm<sup>2</sup>, seção esta perpendicular à direção da corrente.

<b>Características da exposição</b>	<b>Faixa de frequências</b>	<b>Densidade de corrente para cabeça e tronco (mA/m<sup>2</sup>) (v.eficaz)</b>	<b>SAR média de corpo inteiro (W/kg)</b>	<b>SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg)</b>	<b>SAR localizada (membros) (W/kg)</b>
<b>Ocupacional</b>	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
<b>Público em geral</b>	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 3.1.1 - Restrições para campos elétricos e magnéticos, variáveis no tempo, até 10 GHz.**

Nas tabelas 3.1.2 e 3.1.3, próximas a serem listadas, são apresentados os níveis de potência atualmente utilizados e exigidos pela ANATEL. Os valores de densidade de potência da onda plana equivalente representam valores médios calculados sobre 20 cm<sup>2</sup> de qualquer área exposta por um período qualquer de  $\frac{68}{f^{1,05}}$  minutos, onde f é a frequência expressa em GHz. Este tratamento é efetuado com o intuito de compensar a diminuição progressiva da profundidade de penetração com o aumento da frequência.

Primeiramente, conforme pode ser vista abaixo, pode-se visualizar a Tabela 3.1.2, que apresenta os níveis de referência para a exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo. Os dados apresentados na tabela dizem respeito a valores eficazes e não perturbados.

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

**Tabela 3.1.2 – Níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados).**

De maneira análoga à apresentada na Tabela 3.1.2, a Tabela 3.1.3, mostrada logo abaixo, traz os dados de níveis de referência para a exposição a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo, porém desta vez tendo como foco o público em geral.

<b>Faixas de frequência</b>	<b>Intensidade de campo E (V/m)</b>	<b>Intensidade de campo H (A/m)</b>	<b>Campo B (μT)</b>	<b>Densidade de potência de onda plana equivalente <math>S_{eq}</math> (W/m<sup>2</sup>)</b>
Até 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$	-
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 3.1.3 – Níveis de referência para exposição do público geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo (valores eficazes, não perturbados).**

Para uma análise dos valores de pico acerca dos valores de pico, seria interessante remeter-se às Figuras 3.1.1 e 3.1.2 também mostradas abaixo, nas quais a intensidade de campo é obtida por meio da interpolação entre 1,5 vezes o valor de pico em 100 kHz e 32 vezes o valor em 10 MHz. A primeira das figuras diz respeito ao campo elétrico **E**. Já a segunda figura, refere-se ao campo magnético. Os níveis de referência da intensidade de

campo magnético foram calculados a partir dos níveis de referência da intensidade de campo elétrico, utilizando-se a equação que relaciona **E** e **H** para regiões de campo distante.

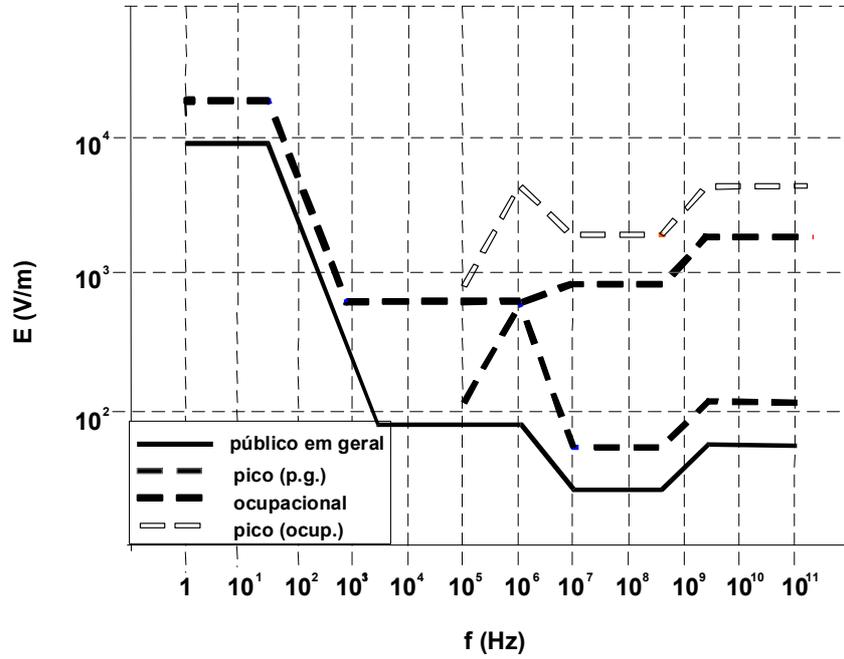


Figura 3.1.1 – Níveis de referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo (Conforme Tabelas 3.1.2 e 3.1.3)

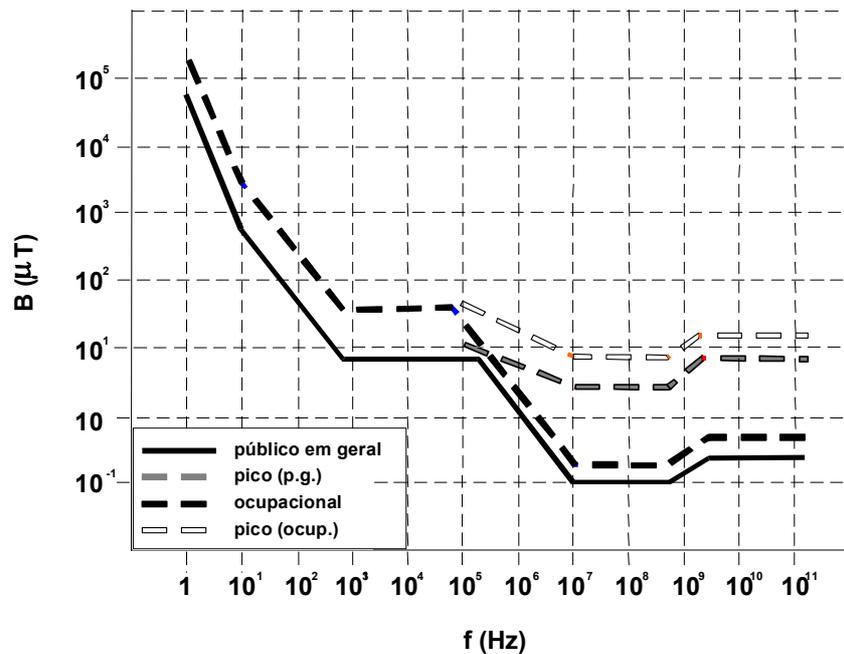


Figura 3.1.2 – Níveis de referência para exposição a campos magnéticos variáveis no tempo (Conforme tabelas 3.1.2 e 3.1.3)

Nas Tabelas 3.1.4 e 3.1.5 que vêm a seguir, estão dispostos os níveis de corrente de contato e indução aceitos. A frequência que deve ser utilizada no cálculo da corrente máxima de contato, de acordo com as tabelas abaixo, é dada em kHz.

A primeira delas diz respeito aos níveis de referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato direto com objetos condutores.

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

**Tabela 3.1.4 - Níveis de referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato com objetos condutores.**

Já a Tabela 3.1.5, mostrada logo abaixo, faz referência aos níveis para correntes induzidas em qualquer membro, referenciadas a frequências de 10 a 110 MHz.

<b>Características de exposição</b>	<b>Corrente (mA)</b>
<b>Exposição ocupacional</b>	100
<b>Público em geral</b>	45

**Tabela 3.1.5 – Níveis de referência para correntes induzidas em qualquer membro à frequência entre 10 e 110 MHz.**

### 3.2. Verificação ao Atendimento aos Limites Propostos

Neste item do capítulo, buscou-se apresentar o que a norma diz a respeito da verificação ao atendimento dos limites propostos à exposição a CEMRF. O discurso aqui exposto é apenas uma maneira ligeiramente diferente de se apresentar tudo o que o regulamento solicita às prestadoras de serviço que utilizam a radiocomunicação. O texto original encontra-se no *Título III, Capítulo I do anexo à resolução 303, datado de 02 de Julho de 2002*.

Segundo exigências da própria agência reguladora, para a comprovação de atendimento aos limites dispostos no regulamento, as entidades responsáveis pela operação de estações transmissoras de radiocomunicação deverão efetuar avaliações de todas as suas estações, visando comprovar que a operação das mesmas não submeterá trabalhadores e a população em geral a CEMRF de valores superiores aos estabelecidos na norma.

As avaliações da exposição, feitas com o objetivo de demonstrar o atendimento aos limites estabelecidos pelo regulamento, podem ser efetuadas por meio de análises teóricas, baseadas nas características da estação transmissora em análise ou por meio de medições diretas de CEMRF, quando a estação encontra-se em funcionamento.

Ainda segundo exigência da própria ANATEL, estas avaliações devem ser efetuadas por um profissional habilitado. A definição deste tipo de profissional encontra-se na resolução como sendo àquele cujas atribuições específicas constam no artigo 9º da Resolução nº 218, de 29 de junho de 1973, do Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (CONFEA).

O profissional habilitado deverá assinar e se responsabilizar pelo *Relatório de Conformidade*, relatório este que deve existir para cada uma das estações a ser analisada. Este relatório deve conter a memória de cálculo, ou os métodos empregados e resultados das medições práticas, utilizados para demonstrar o atendimento aos limites de exposição estabelecidos pelo regulamento. Além disto, o relatório de conformidade deve ser conclusivo, indicando claramente, caso fique comprovado, que o funcionamento da estação transmissora de radiocomunicação não submeterá os trabalhadores e a população em geral a CEMRF de valores superiores aos limites estabelecidos. O relatório deverá ser mantido pela entidade responsável pela estação transmissora de radiocomunicação, pois este poderá ser solicitado a apresentação sempre que requisitado.

Em locais onde é permitida a livre circulação de pessoas, se os valores de CEMRF obtidos por meio de cálculos teóricos forem iguais ou superiores a 2/3 do limite de exposição estabelecido, será obrigatória a realização de medições práticas para comprovação do atendimento aos limites exigidos.

### 3.3. Cálculos Teóricos

Este tópico específico do capítulo tem por finalidade principal compor e demonstrar expressões teóricas para se calcular, com segurança, as distâncias mínimas que devem ficar as antenas de estações transmissoras para o atendimento aos limites de exposição propostos na norma da ANATEL. Este procedimento é sugerido pela própria agência reguladora, e baseia-se, como já mencionados, em estudos efetuados pelo ICNIRP.

Em todos os cálculos teóricos que envolvem CEMRF, exige-se que os valores máximos autorizados dos parâmetros de transmissão de cada estação analisada sejam levados em conta. Além disso, as densidades de potência a grandes distâncias da antena transmissora devem ser calculadas com modelos de região de campos distantes, utilizando-se o conceito de Potência Efetivamente Irradiada (ERP).

Todavia, em regiões próximas às antenas, onde existe uma maior probabilidade de que os campos elétrico e magnético ultrapassem os limites de exposição determinados devido a razões já expostas, a ERP não se torna um fator importante. Com relação ao tamanho das antenas, as menores normalmente apresentam campos próximos mais intensos do que àqueles de antenas maiores. O fator crítico a ser observado neste caso, em áreas muito próximas às antenas, caso estas sejam acessíveis, é a densidade de potência espacial média na abertura.

Desta maneira, quando a área a ser avaliada estiver dentro da região de campo próximo da antena, o emprego de modelos de propagação válidos para regiões de campo distante pode levar a resultados excessivamente conservadores, não condizendo com a realidade do problema observado. Entretanto, por sua maior facilidade, tais cálculos poderão ser empregados para demonstração do cumprimento da norma, desde que os valores obtidos estejam muito abaixo da norma, e que se tenha claro em mente que se utilizou uma aproximação muito ruim para o caso em questão.

Nos casos em que seja necessária a utilização de modelos de propagação para regiões de campo próximo, estes devem ser específicos ao tipo de antena empregada à situação, e devem constar no Relatório de Conformidade.

Para se efetuar avaliações teóricas de estações transmissoras de radiocomunicação operando em frequências acima de 1 MHz, a Tabela 3.2.1 abaixo apresenta expressões simplificadas para o cálculo das distâncias mínimas das antenas, a partir das quais pode-se admitir que os limites de exposição a CEMRF, para as faixas de frequência indicadas, são atendidos. Todavia, para frequências de operação inferiores a 1 MHz, se torna necessário o emprego de modelos mais adequados para a avaliação na região de campos próximos.

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

**Tabela 3.3.1 - Expressões para o cálculo de distâncias mínimas a antenas de estações transmissoras para atendimento aos limites de exposição.**

Na Tabela 3.2.1 acima,  $r$  é a distância mínima da antena em metros;  $f$  é a frequência da antena em MHz; e ERP é a potência efetivamente irradiada na direção de maior ganho da antena expressa em watts.

Todas as expressões contidas na Tabela 3.2.1 foram derivadas do modelo de propagação abaixo descrito, utilizado para a região de campo distante: [33]

$$S = \frac{ERP \times 2,56}{4 \times \pi \times r^2}$$

Na equação acima,  $S$  é a densidade de potência expressa em watts por metro quadrado; ERP é a potência efetivamente irradiada em watts;  $r$  é a distância da antena em metros; 2,56 é a constante aplicada para o valor do fator de reflexão, fator este que leva em conta a possibilidade de que os campos refletidos possam se adicionar em fase ao campo incidente direto, que se deseja analisar [21].

Vale ainda frisar que as expressões contidas na Tabela 3.2.1 foram obtidas considerando-se que se pode supor, no ponto definido pelo raio calculado, uma situação de campo distante. Conseqüentemente, as distâncias obtidas pela sua utilização podem ser consideradas conservadoras. Para cálculos mais condizentes com a realidade da região de campos próximos, devem ser utilizados modelos que tratem destes casos com mais especificidade.

O regulamento ainda deixa claro que para fins de avaliação de estações transmissoras de radiocomunicação, a utilização das expressões contidas na Tabela 3.2.1 para se demonstrar o atendimento aos limites de exposição a CEMRF, para ambas as condições de avaliação (exposição ocupacional e exposição da população em geral), só será aceita nos casos em que todos os locais passíveis de serem ocupados ou transitados por pessoas estejam a distâncias maiores que as calculadas ou então nos casos em que o acesso a estes locais seja restrito.

Finalmente, para os casos em que as distâncias às áreas acessíveis sejam até 10% superiores aos valores obtidos utilizando-se as expressões da tabela 3.2.1, a densidade de potência nestes locais deverá ser calculada utilizando-se as potências efetivas irradiadas nas direções de interesse. Caso estes valores estejam superiores a 2/3 do limite de exposição estabelecido, será obrigatória a realização de medições nestes locais para comprovação ao atendimento.

### **3.4. Procedimentos de Medição**

Este tópico não tem por objetivo mostrar em detalhes a teoria do processo de medição que deve ser utilizado em campo. Neste ponto do capítulo, serão expostas algumas condições e situações que a norma exige para que a avaliação de estações transmissoras seja validada quando efetuada por este tipo de procedimento.

Em primeiro lugar, todas as medições devem ser efetuadas com equipamentos devidamente calibrados e dentro das especificações do fabricante, devendo abranger toda a faixa de frequência de interesse. A descrição dos equipamentos de medição, incluindo marca, modelo, número de série e data da última calibração, deve ser apresentada junto ao relatório de conformidade.

Para demonstrar-se que os limites estabelecidos estão sendo atendidos partindo-se de medições, devem ser consideradas as incertezas e erros especificados pelos fabricantes dos instrumentos utilizados nas respectivas medições.

Ainda, as medições de CEMRF devem ser efetuadas na ausência de pessoas potencialmente expostas. Para avaliação das correntes induzidas no corpo, quando estas se fizerem necessárias, as medições devem ser efetuadas diretamente nos indivíduos expostos.

Tais medições devem ser realizadas de forma a produzir resultados que estejam próximos da densidade de potência média nas dimensões do corpo dos indivíduos expostos. Este procedimento pode ser efetuado por meio da medição dos campos ao longo de uma linha representativa da postura de uma pessoa. Se considerarmos que o cidadão está em pé, esta linha vertical estende-se do pé à altura da cabeça. Quando consideradas outras posturas, o ideal é aplicar uma linha não-reta seguindo a curvatura geral do eixo do corpo humano.

Desta maneira, o método descrito acima fornece resultados suficientes para a determinação do valor médio do campo, e é inteiramente aplicável para fins de comprovação do atendimento aos limites de exposição. Entretanto, se for do interesse do órgão possuidor dos equipamentos de transmissão, outros métodos poderão ser utilizados, desde que estejam devidamente documentados. Uma simples descrição destes outros métodos pode ser obtida na tabela 3.2.2 abaixo:

<b>Nome do Método</b>	<b>Descrição</b>
Método de Varredura Planar	Este método consiste na realização de medições em pontos definidos sobre os planos transversais à posição do corpo na condição que estaria quando exposto à radiação de campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.
Método de Varredura Volumétrica	Este método consiste na realização de medidas uniformes através de um volume no espaço que estaria sendo ocupado pelo indivíduo, quando este está exposto à radiação de campos elétricos, magnéticos.

**Tabela 3.4.1 – Métodos de medição alternativos para determinação do valor médio de campo**

Além dos métodos propostos na tabela acima, para a determinação da média espacial do campo, podem ser utilizados métodos manuais, em que o valor de interesse é calculado

pela média de valores discretos, medidos em pontos distantes de no máximo 20 cm entre si. Além disso, podem ser utilizados medidores especiais que realizam uma série contínua de medidas e retornam ao usuário a média dos valores encontrados.

Além desta média espacial, os valores de CEMRF medidos, quando utilizados para avaliação do atendimento aos limites de exposição para frequências de até 10 GHz, devem apresentar-se como a média de valores medidos no tempo, em um intervalo qualquer de seis minutos.

Quando medições práticas são efetuadas, deve-se observar, primeiramente, o nível do pico do campo no local sob análise. Quando o nível do campo exceder 50% do limite de exposição, a demonstração do atendimento aos limites deverá ser determinada com base na média de, no mínimo, quatro médias espaciais de varreduras 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.

Verifica-se que em alguns casos, devido a reflexões e à distribuição do campo próximo a antenas, as exposições a CEMRF não são uniformes ao longo do indivíduo exposto. O fato de se avaliar estes campos em termos da média espacial busca justamente uma maneira de compensar esta não uniformidade. Assim, mesmo exposições não uniformes podem ser avaliadas determinando-se a média espacial das densidades de potência. Todavia, casos de exposição excessivamente não uniforme podem ocorrer, principalmente quando apenas uma determinada parte localizada do corpo é exposta, o que é chamada de exposição parcial do corpo.

É importante frisar que durante a realização de medições práticas, a interação entre os CEMRF incidentes e o corpo da pessoa que está efetuando a medição deve ser considerada. Esta interação pode ocorrer em todo o espectro, mas é mais observada na faixa entre 30 e 300 MHz. Estas interações podem levar a indicações errôneas do campo real e, conseqüentemente, levar a valores de exposição não condizentes com a realidade, não considerando o efeito perturbante do corpo que está realizando a medição. [36]

Durante as medições práticas, para se demonstrar o atendimento aos limites de exposição, áreas altamente localizadas, que apresentam campos relativamente intensos, podem ser encontradas. Estas áreas são conhecidas como “*pontos quentes*” [36] e são, normalmente, encontradas nas imediações de objetos condutores devido ao efeito de re-

radiação. Estes *pontos quentes* [36] também podem ser encontrados em áreas distantes aos objetos condutores descritos anteriormente, mas nas quais existe uma concentração de campos causada por reflexões e/ou feixes estreitos produzidos por antenas diretivas de alto ganho.

Na realização de medições práticas, para demonstrar-se o atendimento aos limites de exposição, devem ser utilizadas, preferencialmente, sondas de faixa larga, cuja resposta seja independente de sua orientação em CEMFR (sondas isotrópicas). Porém, quando utilizados apropriadamente, utilizando antenas receptoras não isotrópicas, os instrumentos de faixa estreita podem produzir resultados aceitáveis.

Além disso, durante estas medições, as incertezas especificadas pelo fabricante, associadas à resposta da sonda, devido à anisotropia, sensibilidade à frequência, sensibilidade à temperatura e erros absolutos na calibração, devem ser observadas. Desta maneira, a magnitude efetiva destas incertezas deve ser considerada nos resultados finais das medições. Além disso, a distância mínima entre a fonte de CEMRF a ser medida e a superfície mais próxima de um elemento interno de sonda deve ser igual a cinco centímetros. Para fontes re-radiantes e outros objetos, a distância mínima entre a fonte e o elemento interno da sonda mais próximo deve ser de vinte centímetros.

### 3.5. Avaliação de Locais Multi-Usuários

A resolução da ANATEL também dedica uma parte para falar da avaliação de locais multi-usuários. Estes são definidos como àqueles em que estão instaladas mais de uma estação transmissora de radiocomunicação. Neste caso, a norma diz que cada usuário é responsável pela comprovação de que sua estação atende ao limite estabelecido no regulamento. Entretanto, todos os usuários devem colaborar com a avaliação do local como um todo. A norma ainda diz que, em caso de não cumprimento aos limites estabelecidos pela mesma, a responsabilidade de cada um dos usuários será proporcional à sua contribuição na composição do campo nos locais em que os limites foram excedidos.

Novamente levando em consideração estudos efetuados pelo ICNIRP, a agência reguladora apresenta algumas relações que servem como bases para a avaliação dos efeitos causados por densidades de corrente induzida e estimulação elétrica. Em locais multi-usuários, os níveis de campo devem obter as seguintes relações: [33]

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

e

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

Nestas relações:

- $E_i$  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 3.1.2 e 3.1.3;
- $H_j$  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 3.1.2 e 3.1.3;
- $a$  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  $\mu$ T) para exposição ocupacional e 5 A/m (6,25  $\mu$ T) para exposição do público em geral.

Contudo, para avaliação dos efeitos térmicos relevantes, considerando frequências 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

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

nas quais:

- $E_i$  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 3.1.2 e 3.1.3;
- $H_j$  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 3.1.2 e 3.1.3;
- $c$  deve ser igual a 610/f V/m (f em MHz) para exposição ocupacional e 87/f<sup>1/2</sup> 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.

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

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

em que:

- $I_k$  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 3.1.5;
- $I_n$  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 3.1.4.

Na avaliação prática dos locais multi-usuários, primeiramente devem ser efetuadas medidas utilizando-se sondas de faixa larga, com todas as estações existentes no local de análise operando na potência máxima autorizada. Este procedimento tem por objetivo determinar a existência de áreas onde os limites de exposição sejam excedidos.

Posteriormente, para se determinar, especificamente, as contribuições individuais de cada estação ao campo total, pode-se utilizar um instrumento medidor de faixa estreita, ou, como uma segunda opção, utilizar o mesmo medidor de faixa larga com cada uma das estações operando individualmente.

## **4. Procedimentos Utilizados nas Medições**

De modo a atender os objetivos propostos, e informar com maior clareza tudo o que foi efetuado durante o processo de medição dos pontos utilizados para a composição deste projeto, este capítulo será dividido em três sub-tópicos principais, conforme relatado nas seções que se seguem.

O primeiro sub-tópico explorado será o que diz respeito à análise teórica deste estudo. Esta procurará mostrar a parte teórica do projeto, os artigos estudados para a composição dos mesmos e também apresentar métodos de medição que devem ser empregados para se obter resultados coerentes.

O segundo item, chamado metodologia empregada nas medições práticas já tem por si só um nome auto-informativo. Neste item, será esclarecida a metodologia realmente empregada nas medições práticas, bem como as justificativas para o uso das mesmas.

Finalmente, no terceiro e último tópico deste capítulo, buscar-se-á explorar o modelo de interpolação utilizado para se calcular o mapa de potência apresentado neste projeto. Serão fornecidas algumas informações acerca deste assunto, bem como a justificativa para o uso da mesma.

### **4.1. Análise Teórica**

A primeira parte do projeto baseou-se no estudo de artigos científicos referentes a radiações Não-Ionizantes. Buscou-se estudar fontes de informação sobre este assunto e seus associados efeitos biológicos, legislações vigentes sobre assunto, dentre as quais deu-se destaque principalmente às diretrizes da ANATEL para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo, com frequências de até 300 GHz.

Todo este trabalho de coleta e análise das informações foi necessário para que os limites, aos quais estão sujeitas as estações de radiocomunicação, fossem conhecidos. Além disso, foi também possível analisar metodologias de avaliação, necessárias para se atestar o cumprimento das exigências da norma de uma dada estação.

O material pesquisado, direta ou indiretamente, encontra-se no item 8 deste projeto, onde são apresentadas todas as referências utilizadas para a composição do mesmo.

#### **4.1.1. Teoria para Escolha dos Locais para Medição**

De acordo com o que é proposto nos conhecimentos teóricos a respeito deste assunto, assim como é sugerida por órgãos internacionais especializados e pela própria agência reguladora, a escolha dos pontos para medição é feita segundo uma metodologia previamente especificada. Primeiramente, devem ser procurados os *pontos quentes*, [36] que conforme já definidos anteriormente, dizem respeito aos pontos de maior probabilidade de exposição e/ou tráfego constante de indivíduos.

Depois de determinados os possíveis pontos quentes [36], deve-se fazer uma lista com a prioridade dos pontos. Aquele que tenha maior possibilidade de expor os indivíduos que por ele circulam ao maior nível de radiação deverá ser o primeiro da lista, e passará a ser chamado de ponto base. Este ponto deverá ser estudado a fundo, pois irá determinar a característica aproximada dos outros pontos da estação em estudo.

#### **4.1.2. Metodologia Teórica Empregada na Medição**

Baseando-se nos estudos teóricos, o processo de medição deve ser iniciado a partir do ponto base, já definido anteriormente. A medição poderá ser feita de duas maneiras distintas, que são a medição espacial e a medição temporal [36]. Em ambos os casos, deve-se levar em consideração, e utilizar como valor encontrado para o ponto, o máximo valor de intensidade de campo medido durante o processo de medição.

A medição espacial deve ser feita levando-se em conta a variação espacial dos campos a serem analisados. Ela deve ser iniciada em uma altura referente a cabeça de um indivíduo de estatura mediana (1,7 metro de altura em pé; 1,1 metro de altura sentado). A distância a ser observada para variação entre uma medição e outra deverá ser de 20cm, tanto na direção horizontal como na vertical, simulando-se uma linha representativa do indivíduo. Para esta variação, os limites verticais são 2,1 metros para cima e 0,1 metro para baixo. Com relação à direção horizontal, a variação deve ser feita em apenas dois pontos: um na direção a estação que está sendo avaliada e outro na direção oposta a esta. Quando a variação do campo entre uma medição específica e a primeira medição (altura da cabeça) for inferior a 5%, seja este valor para baixo ou para cima, considera-se que o número de medições é suficiente para este ponto.

Já para medições temporais, o procedimento é efetuado verificando-se as variações do campo em intervalos de um minuto, até seis minutos de iniciada a medição, sempre efetuada no ponto representativo da cabeça do indivíduo, conforme descrito no procedimento de medição espacial. Similarmente, quanto a variação entre medições for menor do que 5%, tanto para mais quanto para menos, considera-se que o número de medições é suficiente para o ponto em questão. [36]

## **4.2. Metodologia Empregada nas Medições Práticas**

### **4.2.1. A Escolha dos Pontos de Análise**

De acordo com a teoria que serve de base para este assunto, e conforme já descrito no item anterior, para que os pontos fossem escolhidos, dever-se-ia definir os pontos quentes [36], elaborar uma lista de prioridades, dentre outras atitudes. Porém, como no caso específico deste projeto o objetivo principal é montar um **mapa de potência**, não foram escolhidos pontos para medição. Como no mapa o interesse maior é mostrar a distribuição da potência ao longo do Campus, foram escolhidos os pontos limitantes do Campus, e, a partir destes, foram sendo escolhidos pontos próximos aos mesmos, desde que estes não estivessem dentro do raio de erro do GPS utilizado no projeto.

Sabe-se que o GPS civil, que foi utilizado no desenvolvimento deste projeto, possui um erro aproximado de 30 a 50m RMS. O significado do RMS se deve à forma da Terra. Como a mesma é uma esfera, o erro do GPS também é calculado tendo-se por base uma esfera. Basicamente, quando dizemos que o GPS possui um erro de 30 a 50m RMS, conclui-se que a localização do ponto desejado estará em uma esfera que apresenta um raio variando de 30 a 50m. Assim, devido a estes fatos, optou-se por escolher pontos distantes entre si de, no mínimo, 100 (CEMRF) metros. Isto porque se considerarmos dois pontos adjacentes para medição, haverá um erro máximo de 50m para ambos. Escolhendo-se pontos que estão distantes entre si mais de 100 metros, impedimos que o erro do GPS interfira no projeto.

Assim, de posse desta informação, utilizou-se um mapa do campus elaborado em AUTOCAD para marcar os pontos desejados para medição. Fez-se ainda um ajuste fino para que pontos peculiarmente interessantes fossem utilizados, como próximos as ERBs existentes no campus (FS e ICC).

#### **4.2.2. Metodologia Empregada na Prática para Medição dos Pontos**

Primeiramente, é necessário deixar claro que para todos os valores medidos em todos os pontos, foi acrescentada uma constante de 20dB. Este valor corresponde a um total de 100 rádios transmitindo com a mesma potência da portadora de pico medida, o que evidencia um caso muito superdimensionado. Este valor, sugerido pelo grupo e pelo orientador, serviu como fator de correção dos valores, no qual está incluso a diferença em caso do sistema não estar operando em carga total e congestionado, a discrepância que poderia ser encontrada para medições efetuadas em períodos que não sejam o de maior movimento do sistema, dentre uma série de outros. Assim, estar-se-ia na verdade encontrando um valor mais elevado de intensidade de campo, fazendo com que o valor referenciado esteja mais próximo do valor exigido pela norma, ou seja, estaríamos considerando sempre o pior caso possível, o que é extremamente lógico quando estamos tratando de uma avaliação de segurança de indivíduos.

Para que fossem iniciadas as medições, e para escolher-se uma metodologia para medição dos pontos previamente marcados no mapa, escolheu-se um ponto aleatório e fez-se sua medição de maneira temporal. Analisando-se os resultados por ele obtidos, verificou-se que os valores encontrados, tanto para o espectro de 800 MHz, quanto para o de 1800 MHz, apresentaram valores de campos relativamente baixos, principalmente quando estes valores são comparados com os limites exigidos pela norma.

A partir deste fato, fez-se na prática toda o processo de medição utilizando-se a variação temporal. A medida em que os pontos foram sendo medidos, foi-se verificando que a variação dos valores medidos no tempo, tendia a diminuir após o terceiro minuto de medição. Após este tempo, a variação encontrada era sempre inferior aos 20dB que eram aplicados como fator de correção. Tendo este fato como fundamento, passou-se a esperar apenas 3 (três) minutos de intervalo entre as medições, tanto para o espectro de 800 MHz quanto para o de 1800 MHz, pois já era conhecido que a variação ocorrida após este período seria insignificante perto do fator de correção que seria aplicado aos valores medidos.

#### **4.3. O Mecanismo de Interpolação Utilizado para a Aproximação dos Pontos não Medidos e para a Montagem dos Mapas**

O método de interpolação empregado na construção do mapa de distribuição de potência no campus da Universidade de Brasília foi o **Peso Inverso da Distância** (*IDW – Inverse Distance Weighted*). Esta técnica é uma das mais utilizadas para a interpolação de pontos distribuídos e assume que uma certa superfície sofre mais influência dos pontos próximos e menos dos pontos distantes. A superfície de interpolação é a média ponderada dos pontos distribuídos, sendo que o peso dado a cada ponto diminui quando a distância aumenta em relação a um ponto de interpolação.

O programa utilizado para interpolarmos os pontos encontrados foi o **ArcView GIS 3.2**, da *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, que é um sistema de análise espacial com inúmeras aplicações. Ele faz uso da forma mais simples de interpolação pelo peso do inverso da distância, também conhecida como “Método de Shepard”, que segue a equação abaixo:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i f_i \quad (4.3.1)$$

onde  $n$  é o número de pontos distribuídos no conjunto,  $f_i$  são os valores das funções prescritas nos pontos distribuídos (isto é, os valores do conjunto de dados), e  $w_i$  são as funções peso atribuídas para cada ponto distribuído.

As funções peso têm a seguinte forma:

$$w_i = \frac{h_i^{-p}}{\sum_{j=1}^n h_j^{-p}} \quad (4.3.2)$$

onde  $p$  é um número real positivo arbitrário chamado de parâmetro de potência (usualmente,  $p=2$ ) e  $h_i$  é a distância do ponto distribuído até o ponto de interpolação, ou seja

$$h_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad (4.3.3)$$

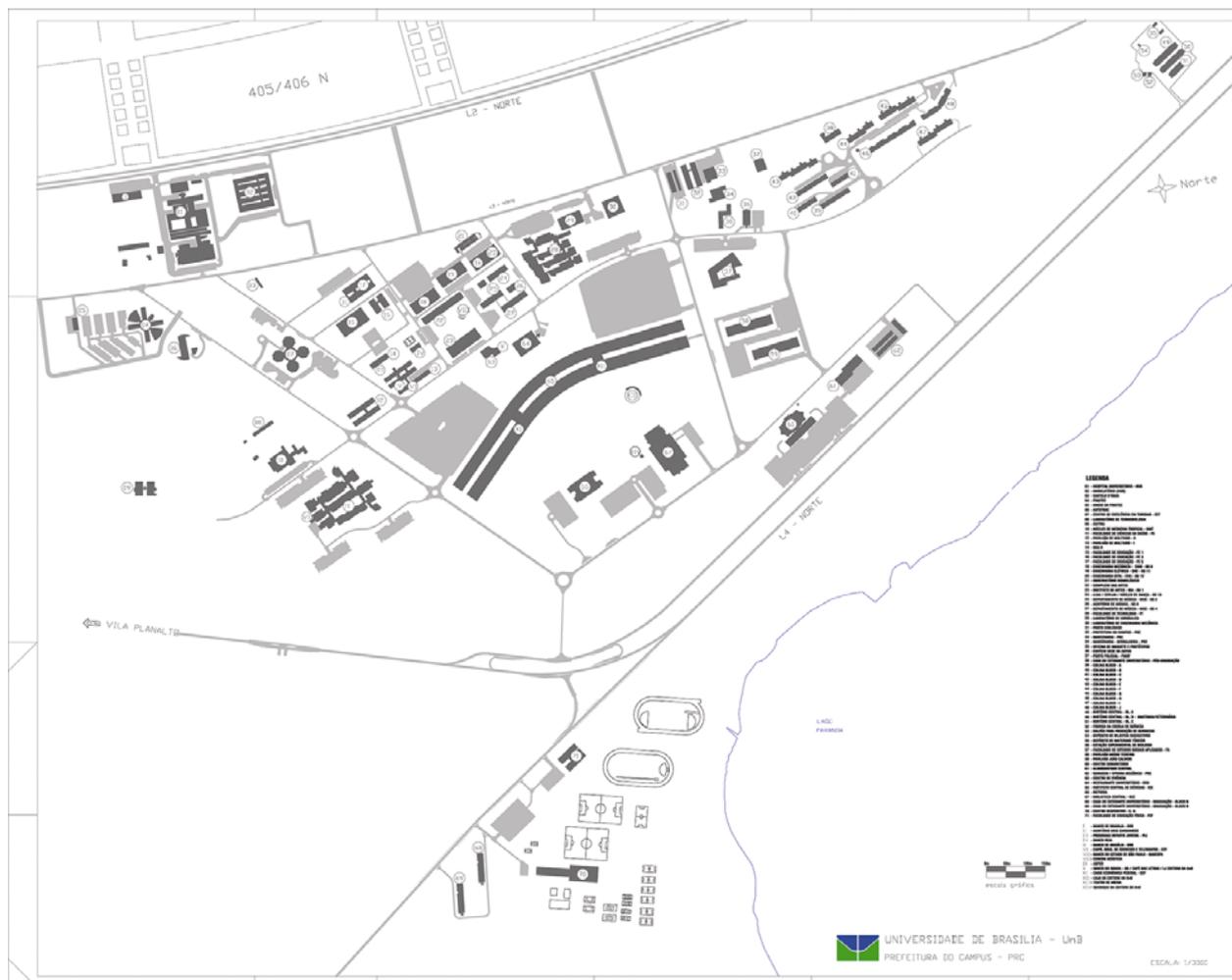
onde  $(x, y)$  são as coordenadas do ponto de interpolação e  $(x_i, y_i)$  são as coordenadas de cada ponto distribuído. A função peso varia de um valor unitário no ponto distribuído até um valor aproximadamente nulo quando a distância em relação a este ponto aumenta. As funções peso são normalizadas para que a soma dos pesos seja unitária.

O efeito da função peso é tal que a superfície interpola cada ponto distribuído e é influenciada mais intensamente pelos pontos mais próximos daquele que está sendo interpolado.

No programa utilizado temos a opção de fixar o número de pontos distribuídos vizinhos ao ponto de interpolação que serão considerados. Desta forma, descartamos os pontos distantes, já que eles têm grande improbabilidade de ter influência significativa sobre as funções nodais ou sobre os pesos de interpolação. Além disso, o uso de um número fixo de pontos adjacentes agiliza o tempo de processamento dos dados, pois o número de pontos envolvidos é menor.

## **5. Resultados Obtidos e Análise**

Inicialmente, fez-se o estudo acerca dos possíveis pontos a serem medidos dentro do campus da universidade. Para tanto, foi plotado um mapa em AUTOCAD para auxiliar na escolha dos pontos de interesse, pontos estes que foram selecionados para serem efetuadas as medições. A figura abaixo mostra o mapa acima mencionado.



**Figura 5.1 – Visão Geral do Campus (Mapa AUTOCAD)**

Visando facilitar ainda mais a escolha dos pontos, de modo que os mesmos pudessem caracterizar de forma satisfatória o campus da universidade, utilizou-se também uma foto de satélite georeferenciada, conforme figura abaixo.



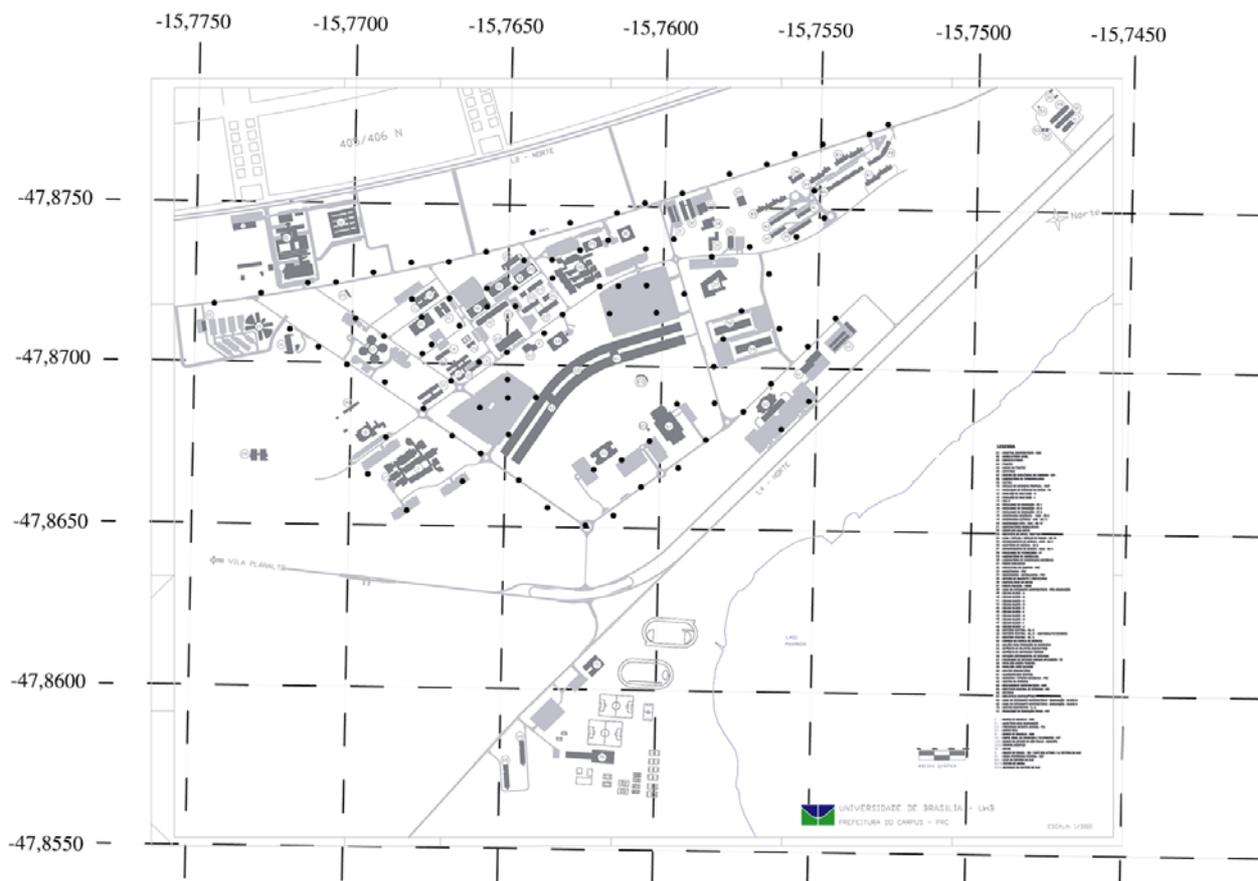
**Figura 5.2 – Visão Geral do Campus (Foto de Satélite)**

A escolha dos pontos baseou-se, de certa forma, na facilidade de acesso aos mesmos. Para que fossem efetuadas as medições, foi utilizado um veículo, em cujo teto estavam montadas as antenas, para facilitar o deslocamento dentro do campus, uma vez que a área que este abrange é muito extensa. A foto mostrada na página a seguir apresenta a distribuição das antenas sobre o teto do veículo.



**Figura 5.3 – Disposição das antenas sobre o teto do veículo de teste**

De posse das informações supracitadas, utilizou-se o mapa em AUTOCAD para marcar os pontos de interesse. Todavia, quando partimos para as medidas em campo, tivemos que ajustar a localização de alguns deles, visto que o acesso a alguns era inviável na prática. Desta forma, chegamos a distribuição mostrada abaixo, obtida com o auxílio do GPS existente no equipamento utilizado.



**Figura 5.4 – Distribuição dos pontos de medição**

Em cada um dos pontos marcados no mapa acima, efetuou-se o procedimento descrito no item 4.2.2 para ambas faixas de frequência. Desta forma, para cada um dos pontos foram capturadas 3 (três) figuras diretamente do equipamento. A primeira delas continha informações de localização do ponto (GPS). As restantes apresentavam os dados de intensidade de campo medidos e o espectro, associados aos espectros de 800 MHz e 1800 MHz. Um exemplo destas figuras, relativas ao ponto 22 (próximo a AUTOTRAC), pode ser visto nas páginas a seguir, nas figuras 5.5 a 5.7.

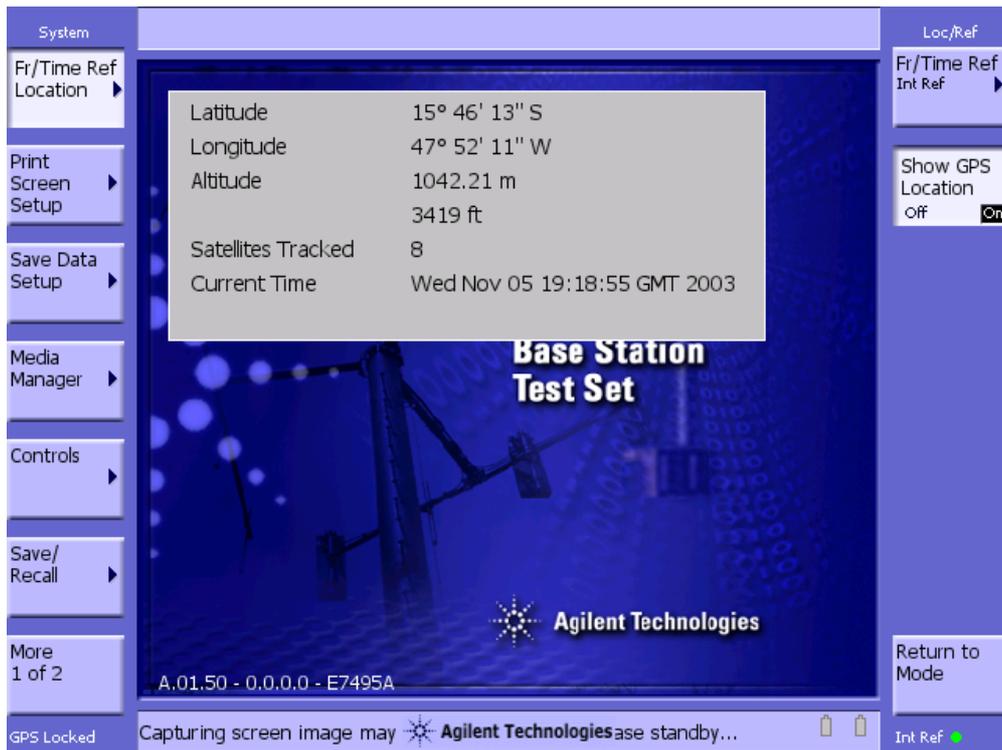


Figura 5.5 – Ponto exemplo – coordenadas geográficas

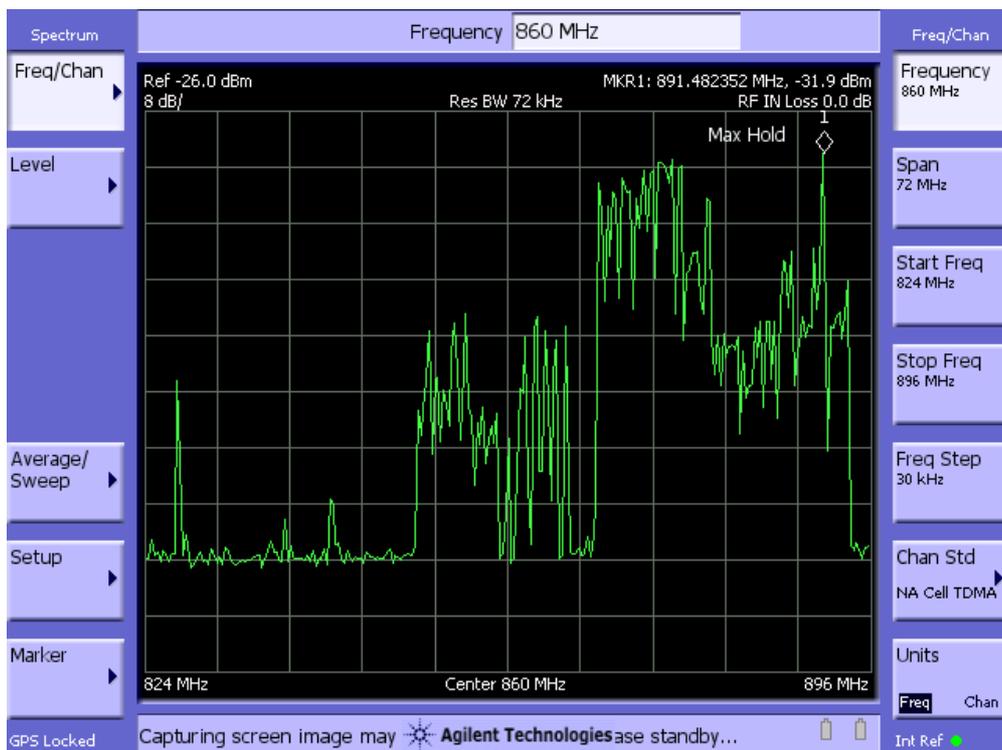
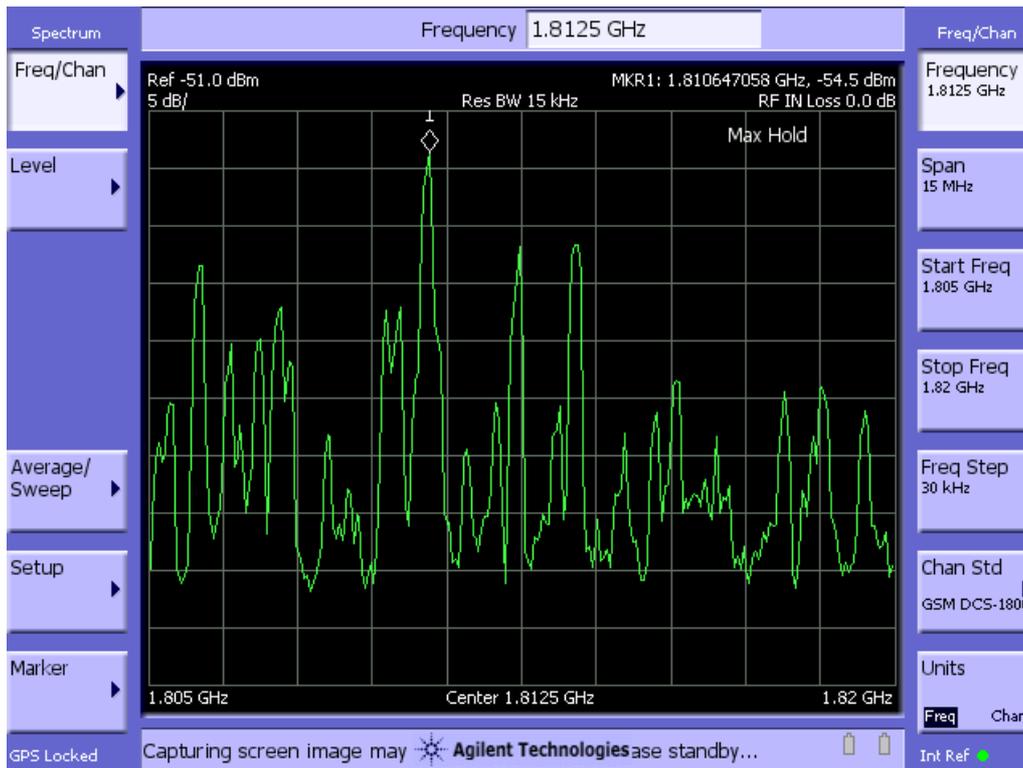


Figura 5.6 – Ponto exemplo – Espectro de 800 MHz



**Figura 5.7 – Ponto exemplo – Espectro de 1800 MHz**

Como o intuito do projeto é fazer justamente uma comparação entre os valores medidos em campo e os exigidos pela resolução da ANATEL, buscando verificar se os limites são satisfeitos em todos os pontos do campus, foi necessário fazer um ajuste nas unidades utilizadas como base na norma. Como os valores medidos referem-se à intensidade de campo e os da norma à densidade de potência, foi efetuado um ajuste no valor de referência ( $S = 4,5 \text{ W/m}^2$  para frequências de 800MHz e  $S = 9,1 \text{ W/m}^2$  para frequências de 1800MHz) fundamentado na teoria eletromagnética, para que os dois valores tivessem unidades equivalentes, fato necessário para se iniciar uma comparação. Para tal alteração, seguiram-se os procedimentos descritos a seguir.

Primeiramente, de posse de algumas informações referentes às antenas, tais como ganho e frequência de operação, calculou-se a área efetiva das mesmas, conforme a equação mostrada abaixo. De acordo com o manual das antenas, o ganho associado as mesmas é de 3dB, e este valor foi então utilizado no cálculo.

$$A_{ef} = \frac{G \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (4.4.1)$$

A partir da área efetiva calculada das antenas, calculou-se a potência referenciada ao valor de densidade exposto na norma, conforme abaixo.

$$P = S \cdot \frac{G \cdot \lambda^2}{4\pi} \quad (4.4.2)$$

De posse desde valor de potência calculado, foi possível comparar os valores medidos e os referentes à norma. Desta maneira, após a aplicação do fator de correção aos valores medidos, conforme já mencionado anteriormente, obteve-se o valor de potência normalizada pelo valor limite da resolução, ou seja, dividiram-se todos os valores encontrados pelo valor da norma. Quando mudamos a escala para dB, temos o resultado expresso em dB's acima ou abaixo da referência. A tabela da próxima página contém todos os dados, medidos e calculados.

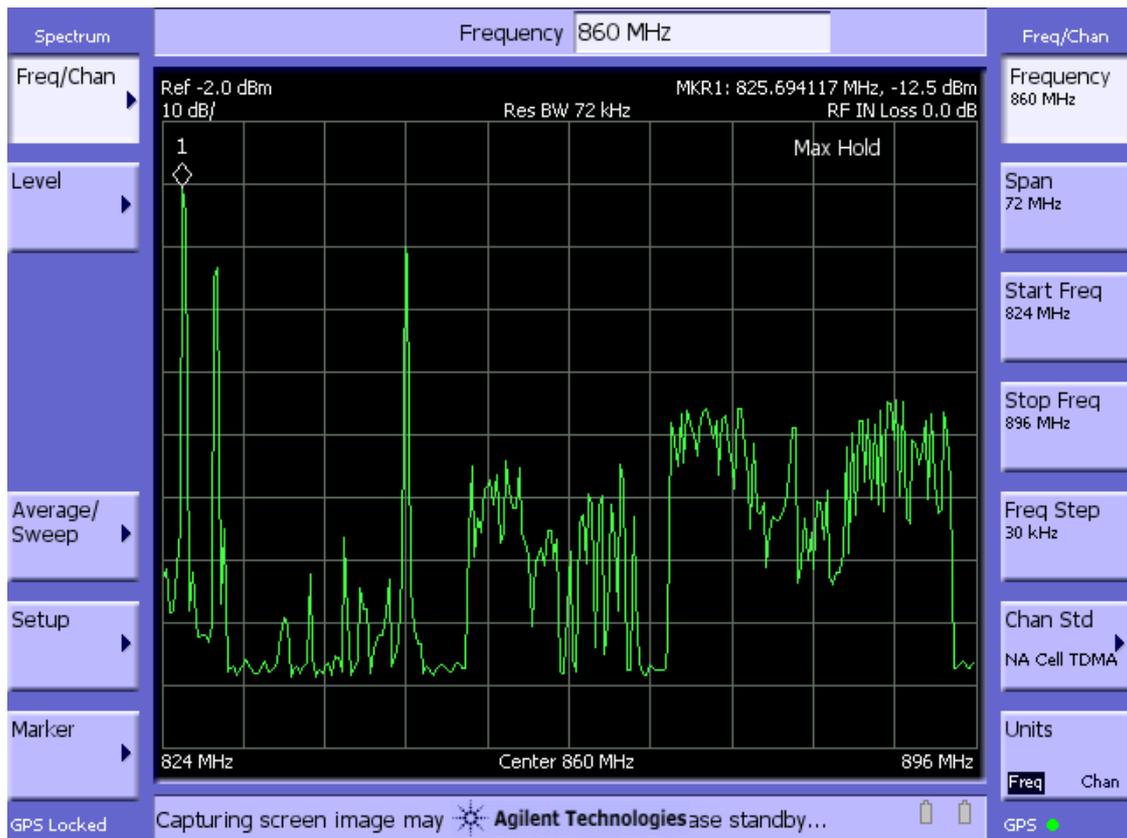
Nº do Ponto	Descrição Ponto	Latitude Sul	Longitude Oeste	Portadora Pico 800MHz (MHz)	Portadora Pico 1800MHz	Pico de Potência 800 MHz (dBm)	Pico de Potência 1800 MHz (dBm)	Ae (800MHz)	Ae (1800MHz)	Limiar de Potência Admissível (800MHz)	Limiar de Potência Admissível (1800MHz)	Potência Normalizada 800MHz (dB)	Potência Normalizada 1800MHz (dB)
1	1ª Entrada da Colina	15° 45' 15"	47° 52' 36"	872,282	1.807,177	-28,2	-59,2	0,037651199	0,008771851	19,11708605	16,00072656	27,3	55,2
2	2ª Entrada da Colina	15° 45' 17"	47° 52' 35"	870,870	1.807,236	-30,5	-67,2	0,037773391	0,008771278	19,131115766	16,000443	29,6	63,2
2	Correção Fim de Semana	15° 45' 17"	47° 52' 35"	890,635	1.806,353	-32,6	-62,9	0,036115458	0,008779856	18,9362291	16,00468788	31,5	58,9
2		15° 45' 17"	47° 52' 35"	873,129	1.814,294	-47,9	-60,1	0,037578186	0,008703167	19,108656	15,96658709	47,0	56,1
3	Colina	15° 45' 22"	47° 52' 34"	871,435	1.807,177	-32,1	-57,6	0,037724426	0,008771851	19,12552429	16,00072656	31,2	53,6
4	Entrada IESB	15° 45' 25"	47° 52' 33"	871,435	1.807,177	-32,1	-59,6	0,037724426	0,008771851	19,12552429	16,00072656	31,2	55,6
5		15° 45' 28"	47° 52' 32"	869,459	1.818,235	-49,5	-57,8	0,037896092	0,00866548	19,14524212	15,94774011	48,6	53,7
6	Posto Policial	15° 45' 32"	47° 52' 31"	888,376	1.813,059	-40,7	-57,8	0,036299363	0,008715028	18,95828792	15,97250164	39,7	53,8
7	Prefeitura Camps	15° 45' 37"	47° 52' 29"	829,365	1.816,293	-35,5	-50,6	0,041648679	0,00868402	19,55531019	15,95702219	35,1	46,6
8	Saída Posto BR	15° 45' 41"	47° 52' 28"	829,365	1.816,235	-44,1	-51,6	0,041648679	0,008684575	19,55531019	15,95729957	43,7	47,6
9		15° 45' 44"	47° 52' 27"	870,588	1.816,235	-41,4	-52,2	0,037979866	0,008684575	19,13397073	15,95729957	40,5	48,2
10		15° 45' 49"	47° 52' 26"	874,541	1.816,294	-37,2	-44,9	0,037456939	0,008684011	19,09462077	15,95701741	36,3	40,9
11		15° 45' 53"	47° 52' 25"	883,012	1.816,294	-33,1	-55,7	0,036741715	0,008684011	19,01089215	15,95701741	32,1	51,7
12	Fundação Educacional	15° 45' 58"	47° 52' 23"	891,200	1.812,241	-39,2	-52,4	0,036069679	0,008722897	18,93072071	15,97642134	38,1	48,4
13		15° 56' 02"	47° 52' 22"	828,518	1.812,441	-31,4	-42,8	0,041733878	0,008720972	19,5641853	15,97546282	31,0	38,8
14		15° 46' 06"	47° 52' 22"	870,588	1.812,471	-26,1	-43,6	0,037979866	0,008720683	19,13397073	15,97531905	25,2	39,6
15		15° 46' 10"	47° 52' 21"	875,106	1.812,471	-30,8	-43,6	0,037408588	0,008720683	19,08901103	15,97531905	29,9	39,6
16		15° 46' 14"	47° 52' 20"	870,588	1.812,412	-27,9	-62,8	0,037979866	0,008721251	19,13397073	15,9756018	27,0	58,8
17		15° 46' 17"	47° 52' 20"	891,482	1.812,412	-32,1	-67,0	0,036046863	0,008721251	18,92797269	15,9756018	31,0	63,0
18	Hospital Universitário	15° 46' 22"	47° 52' 19"	871,153	1.812,471	-32,7	-58,0	0,037748853	0,008720683	19,12833553	15,97531905	31,8	54,0
19		15° 46' 27"	47° 52' 18"	873,412	1.813,294	-34,0	-52,9	0,037553838	0,008712769	19,10584117	15,97137589	33,1	48,9
20		15° 46' 19"	47° 52' 15"	872,000	1.812,353	-33,6	-58,2	0,037675556	0,008721819	19,11989456	15,97588456	32,7	54,2
21	Finatrec	15° 46' 16"	47° 52' 13"	870,588	1.805,941	-26,1	-67,0	0,037979866	0,008783862	19,13397073	16,00666922	25,2	63,0
22	Autotrac	15° 46' 13"	47° 52' 11"	891,482	1.810,647	-31,9	-54,5	0,036046863	0,008738262	18,92797269	15,98406459	30,8	50,5
23	Turismo	15° 46' 09"	47° 52' 09"	869,176	1.818,706	-23,2	-55,2	0,037920773	0,008660992	19,14806974	15,94549039	22,3	51,1
24	Balão Multi uso/FS	15° 46' 05"	47° 52' 06"	884,706	1.810,823	-32,5	-60,5	0,036601147	0,008736563	18,99424481	15,98322034	31,5	56,5
31		15° 46' 02"	47° 52' 03"	871,435	1.818,588	-40,0	-61,6	0,037724426	0,008662116	19,12552429	15,94605396	39,1	57,5
33	Balão Ala Sul/FS	15° 45' 59"	47° 52' 01"	869,176	1.818,647	-30,8	-52,5	0,037920773	0,008661554	19,14806974	15,94577217	29,9	48,4
34	FS	15° 46' 01"	47° 51' 58"	893,459	1.811,471	-45,0	-54,7	0,035887514	0,008730314	18,9087317	15,98011266	43,9	50,7
36		15° 46' 07"	47° 51' 55"	879,906	1.806,588	-30,0	-57,0	0,037001564	0,008777572	19,04149868	16,00355795	29,0	53,0
37		15° 45' 55"	47° 51' 58"	889,788	1.809,823	-40,6	-65,5	0,036184248	0,008746221	18,94449337	15,98801832	39,5	61,5

38	15° 45' 52"	47° 51' 55"	892,329	1.809,764	-43,5	-57,8	0,035978464	0,008746791	18,91972411	15,98830148	42,4	53,8
40	15° 45' 48"	47° 51' 53"	893,458	1.809,764	-41,9	-55,3	0,0358887595	0,008746791	18,90874143	15,98830148	40,8	51,3
41	15° 45' 45"	47° 51' 54"	870,023	1.809,764	-46,0	-58,0	0,037846975	0,008746791	19,13960959	15,98830148	45,1	54,0
42	15° 45' 47"	47° 51' 59"	893,459	1.818,706	-44,0	-55,2	0,0358887514	0,008660992	18,9087317	15,94549039	42,9	51,1
43	15° 45' 42"	47° 51' 57"	887,812	1.811,412	-43,2	-62,9	0,036345497	0,008730883	18,96380405	15,98039557	42,2	58,9
45	15° 45' 44"	47° 52' 00"	845,459	1.818,647	-21,7	-65,9	0,040078138	0,008661554	19,38837323	15,94577217	21,1	61,8
46	15° 45' 41"	47° 52' 02"	893,459	1.818,706	-49,9	-43,9	0,0358887514	0,008660992	18,9087317	15,94549039	48,8	39,8
47	15° 45' 38"	47° 51' 59"	889,788	1.818,705	-42,9	-59,4	0,036184248	0,008661002	18,94449337	15,94549516	41,8	55,3
48	15° 45' 38"	47° 52' 06"	874,541	1.818,706	-44,2	-58,5	0,037456939	0,008660992	19,09462077	15,94549039	43,3	54,4
49	15° 45' 35"	47° 52' 02"	892,329	1.819,823	-36,3	-59,4	0,035978464	0,008650363	18,91972411	15,94015739	35,2	55,3
50	15° 45' 31"	47° 52' 05"	869,176	1.815,647	-43,3	-62,6	0,037920773	0,008690201	19,14806974	15,96011205	42,4	58,6
52	15° 45' 28"	47° 52' 08"	874,541	1.818,706	-41,7	-60,0	0,037456939	0,008660992	19,09462077	15,94549039	40,8	55,9
53	15° 45' 24"	47° 52' 06"	871,718	1.818,706	-47,0	-65,3	0,037699936	0,008660992	19,12270399	15,94549039	46,1	61,2
54	15° 45' 27"	47° 52' 03"	893,456	1.809,764	-42,8	-62,7	0,035888755	0,008746791	18,90876087	15,98830148	41,7	58,7
55	15° 45' 24"	47° 52' 12"	825,694	1.807,235	-12,5	-61,0	0,042019839	0,008771288	19,59384169	16,0004478	12,1	57,0
56	15° 45' 21"	47° 52' 15"	890,635	1.816,294	-44,4	-61,6	0,036115458	0,008684011	18,9362291	15,95701741	43,3	57,6
58	15° 45' 27"	47° 52' 14"	873,976	1.816,294	-37,6	-56,1	0,037505385	0,008684011	19,10023413	15,95701741	36,7	52,1
59	15° 45' 33"	47° 52' 13"	892,329	1.816,234	-43,1	-53,7	0,035978464	0,008684584	18,91972411	15,95730435	42,0	49,7
60	15° 45' 31"	47° 52' 16"	875,670	1.815,588	-39,2	-54,7	0,037360415	0,008690765	19,08341484	15,9603943	38,3	50,7
61	15° 45' 28"	47° 52' 20"	872,282	1.815,588	-36,9	-60,1	0,037651199	0,008690765	19,11708605	15,9603943	36,0	56,1
63	15° 45' 25"	47° 52' 24"	870,306	1.813,824	-32,5	-63,1	0,037822365	0,008707678	19,13678471	15,9688375	31,6	59,1
64	15° 45' 22"	47° 52' 26"	872,282	1.816,647	-31,4	-63,0	0,037651199	0,008680636	19,11708605	15,95532946	30,5	59,0
65	15° 45' 30"	47° 52' 23"	870,306	1.816,294	-46,2	-61,1	0,037822365	0,008684011	19,13678471	15,95701741	45,3	57,1
66	15° 45' 34"	47° 52' 22"	870,023	1.816,235	-36,2	-52,7	0,037846975	0,008684575	19,13960959	15,95729957	35,3	48,7
67	15° 45' 38"	47° 52' 24"	869,176	1.816,294	-38,7	-45,6	0,037920773	0,008684011	19,14806974	15,95701741	37,8	41,6
68	15° 45' 37"	47° 52' 18"	827,671	1.816,235	-22,3	-54,2	0,041819339	0,008684575	19,57306949	15,95729957	21,9	50,2
69	15° 45' 41"	47° 52' 19"	829,365	1.818,235	-46,8	-51,5	0,041648679	0,00866548	19,55531019	15,94774011	46,4	47,4
70	15° 45' 44"	47° 52' 19"	871,718	1.816,294	-46,6	-54,3	0,037699936	0,008684011	19,12270399	15,95701741	45,7	50,3
71	15° 45' 45"	47° 52' 16"	885,835	1.816,294	-48,0	-57,7	0,03650791	0,008684011	18,98316755	15,95701741	47,0	53,7
72	15° 45' 40"	47° 52' 16"	828,518	1.816,294	-45,6	-55,4	0,041733878	0,008684011	19,5641853	15,95701741	45,2	51,4
74	15° 45' 34"	47° 52' 10"	886,112	1.818,705	-39,3	-48,2	0,036485088	0,008661002	18,9804519	15,94549516	38,3	44,1
75	15° 45' 34"	47° 52' 06"	869,176	1.818,705	-39,3	-59,7	0,037920773	0,008661002	19,14806974	15,94549516	38,4	55,6
76	15° 45' 46"	47° 52' 19"	891,764	1.818,705	-53,0	-56,1	0,036024069	0,008661002	18,92522554	15,94549516	51,9	52,0
77	15° 45' 51"	47° 52' 20"	893,176	1.816,294	-47,2	-57,6	0,03591026	0,008684011	18,91148336	15,95701741	46,1	53,6
78	15° 45' 51"	47° 52' 22"	893,176	1.818,235	-35,6	-60,9	0,03591026	0,00866548	18,91148336	15,94774011	34,5	56,8

79	FT - Entrada Superior	15° 45' 48"	47° 52' 23"	874,259	1.816,235	-49,7	-48,7	0,037481107	0,008684575	19,09742203	15,95729957	48,8	44,7
80	Música	15° 45' 55"	47° 52' 17"	874,541	1.818,705	-39,5	-46,9	0,037456939	0,008661002	19,09462077	15,94549516	38,6	42,8
81	Estacionamento RU	15° 45' 50"	47° 52' 16"	887,811	1.815,647	-42,8	-55,4	0,036345579	0,008690201	18,96381383	15,96011205	41,8	51,4
82	IDA - Instituto de Artes	15° 45' 52"	47° 52' 14"	869,176	1.809,824	-47,4	-61,0	0,037920773	0,008746211	19,14806974	15,98801352	46,5	57,0
83		15° 45' 56"	47° 52' 12"	893,458	1.815,647	-34,3	-51,4	0,035887595	0,008690201	18,90874143	15,96011205	33,2	47,4
84	Multiuso I	15° 45' 59"	47° 52' 11"	893,458	1.818,705	-43,9	-52,5	0,035887595	0,008661002	18,90874143	15,94549516	42,8	48,4
85		15° 46' 01"	47° 52' 15"	869,176	1.818,647	-32,5	-53,5	0,037920773	0,008661554	19,14806974	15,94577217	31,6	49,4
86	Faculdade de Educação - FE3	15° 46' 02"	47° 52' 18"	869,176	1.812,412	-39,3	-47,8	0,037920773	0,008721251	19,14806974	15,9756018	38,4	43,8
87	Faculdade de Educação - FE1	15° 46' 05"	47° 52' 16"	869,176	1.812,412	-25,5	-58,6	0,037920773	0,008721251	19,14806974	15,9756018	24,6	54,6
88		15° 46' 12"	47° 52' 16"	869,176	1.812,470	-30,6	-46,0	0,037920773	0,008720693	19,14806974	15,97532384	29,7	42,0
90		15° 46' 09"	47° 52' 14"	869,176	1.812,470	-26,0	-57,2	0,037920773	0,008720693	19,14806974	15,97532384	25,1	53,2
91	Oca II	15° 46' 05"	47° 52' 12"	869,176	1.818,646	-32,0	-51,2	0,037920773	0,008661563	19,14806974	15,94577694	31,1	47,1
92	Multiuso I	15° 46' 02"	47° 52' 09"	869,176	1.818,647	-26,3	-56,0	0,037920773	0,008661554	19,14806974	15,94577217	25,4	51,9
94	Estacionamento ICC Sul	15° 45' 59"	47° 52' 06"	887,247	1.818,706	-29,0	-46,6	0,036391802	0,008660992	18,96933347	15,94549039	28,0	42,5
95	Estacionamento ICC Sul	15° 45' 56"	47° 52' 03"	889,223	1.815,647	-30,3	-45,1	0,036230244	0,008690201	18,95001052	15,96011205	29,3	41,1
96	Estacionamento ICC Sul	15° 45' 56"	47° 52' 07"	885,271	1.818,706	-28,7	-57,4	0,036554442	0,008660992	18,98869951	15,94549039	27,7	53,3
97	Estacionamento ICC Sul	15° 45' 53"	47° 52' 07"	893,459	1.815,589	-27,7	-44,4	0,035887514	0,008690756	18,9087317	15,96038952	26,6	40,4
98	Estacionamento ICC Sul	15° 45' 56"	47° 52' 09"	885,271	1.818,706	-25,8	-49,1	0,036554442	0,008660992	18,98869951	15,94549039	24,8	45,0
99	Estacionamento Inferior FT	15° 45' 41"	47° 52' 23"	888,376	1.816,294	-45,5	-59,4	0,036299363	0,008684011	18,95828792	15,95701741	44,5	55,4
100	SG 11	15° 45' 55"	47° 52' 19"	831,906	1.810,882	-43,8	-59,6	0,041394641	0,008735994	19,52873913	15,98293734	43,3	55,6
101	Faculdade de Saúde	15° 46' 09"	47° 52' 03"	894,023	1.815,588	-36,5	-57,8	0,035842249	0,008690765	18,90325043	15,9603943	35,4	53,8
102	Faculdade de Saúde	15° 46' 11"	47° 51' 59"	887,529	1.818,647	-35,6	-66,8	0,036368679	0,008661554	18,96657321	15,94577217	34,6	62,7
103	Colina	15° 45' 23"	47° 52' 29"	825,123	1.811,471	-29,2	-54,5	0,042078016	0,008730314	19,5998504	15,98011266	28,8	50,5
104	Cine 2 Candangos	15° 46' 06"	47° 52' 18"	874,541	1.812,470	-24,5	-52,7	0,037456939	0,008720693	19,09462077	15,97532384	23,6	48,7
105		15° 46' 04"	47° 52' 13"	872,282	1.818,705	-33,5	-54,1	0,037651199	0,008661002	19,11708605	15,94549516	32,6	50,0
106	Lab. Engenharia Mecânica	15° 45' 45"	47° 52' 24"	893,458	1.818,294	-49,4	-50,7	0,035887595	0,008664917	18,90874143	15,94745826	48,3	46,6
107	SG 12	15° 45' 54"	47° 52' 22"	873,694	1.816,235	-46,5	-60,1	0,0375296	0,008684575	19,1030372	15,95729957	45,6	56,1
108		15° 45' 58"	47° 52' 19"	875,670	1.812,470	-40,2	-54,6	0,037360415	0,008720693	19,08341484	15,97532384	39,3	50,6
109	SG 09	15° 45' 58"	47° 52' 17"	870,023	1.818,645	-38,4	-58,0	0,037846975	0,008661573	19,13960959	15,94578172	37,5	53,9

**Tabela 5.1 – Valores medidos e calculados**

Ao se observar a tabela com os dados, percebe-se um ponto que apresentou valores de intensidade muito acima da média dos outros pontos de medição. Este valor foi verificado apenas para o espectro de 800 MHz, e foi encontrado no ponto 55, que se localiza próximo ao almoxarifado central. Este fato pode ser justificado em caso do equipamento da torre transmissora próxima ao local estar em manutenção. A figura retirada do analisador neste ponto está ilustrada abaixo.



**Figura 5.8 – Ponto de maior potência medida**

Finalmente, para se obter os mapas de potência, principal objetivo deste projeto, utilizou-se uma ferramenta matemática para efetuar a interpolação dos pontos, conforme descrito na seção 4.3, visando obter a caracterização dos campos eletromagnéticos presentes em todo o campus.

Os primeiros dados interpolados foram os medidos em campo (potência máxima). Com isso, foram elaborados dois mapas. O primeiro para a faixa de frequência de 800 MHz e o segundo para a de 1800 MHz.

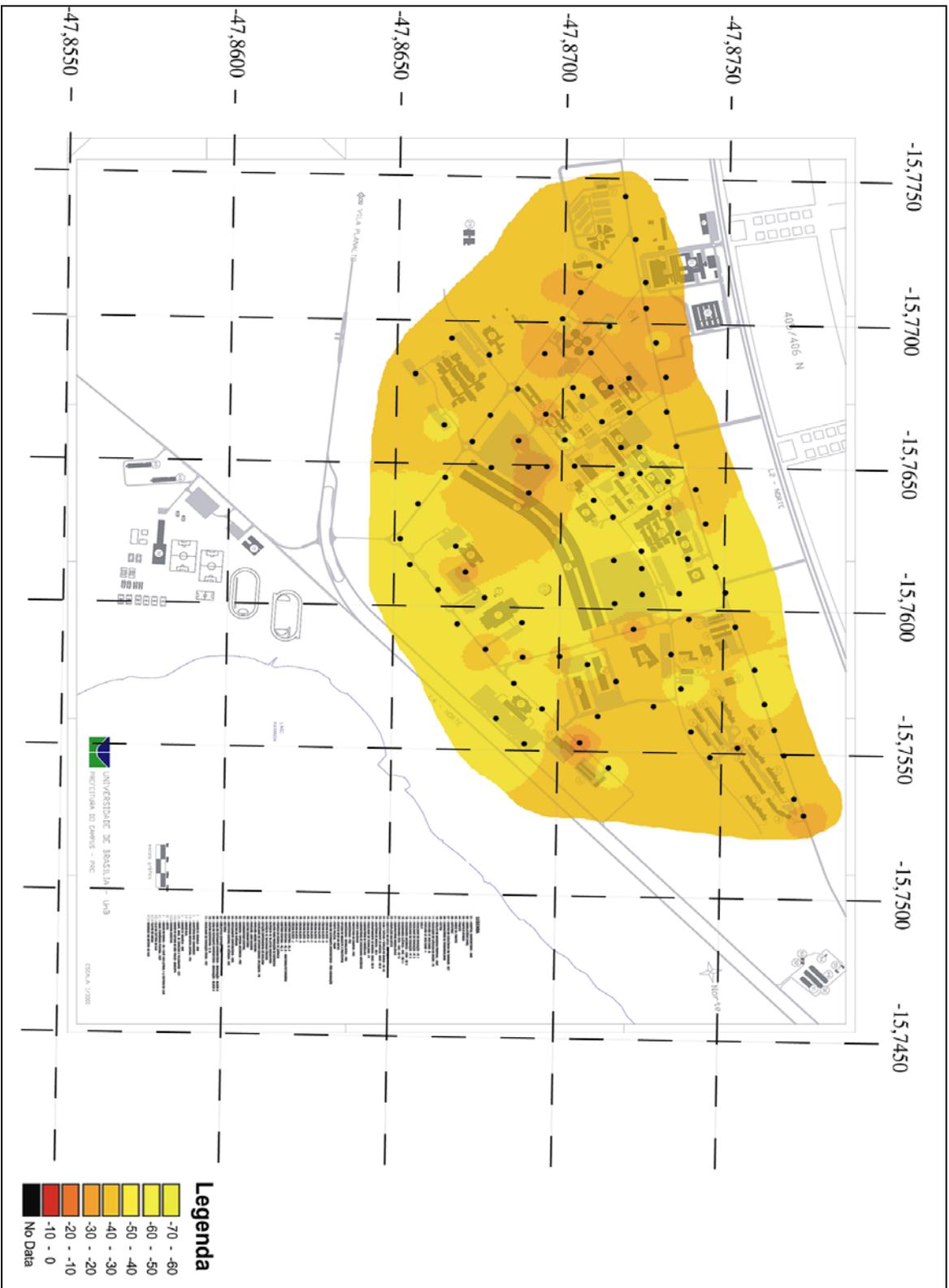
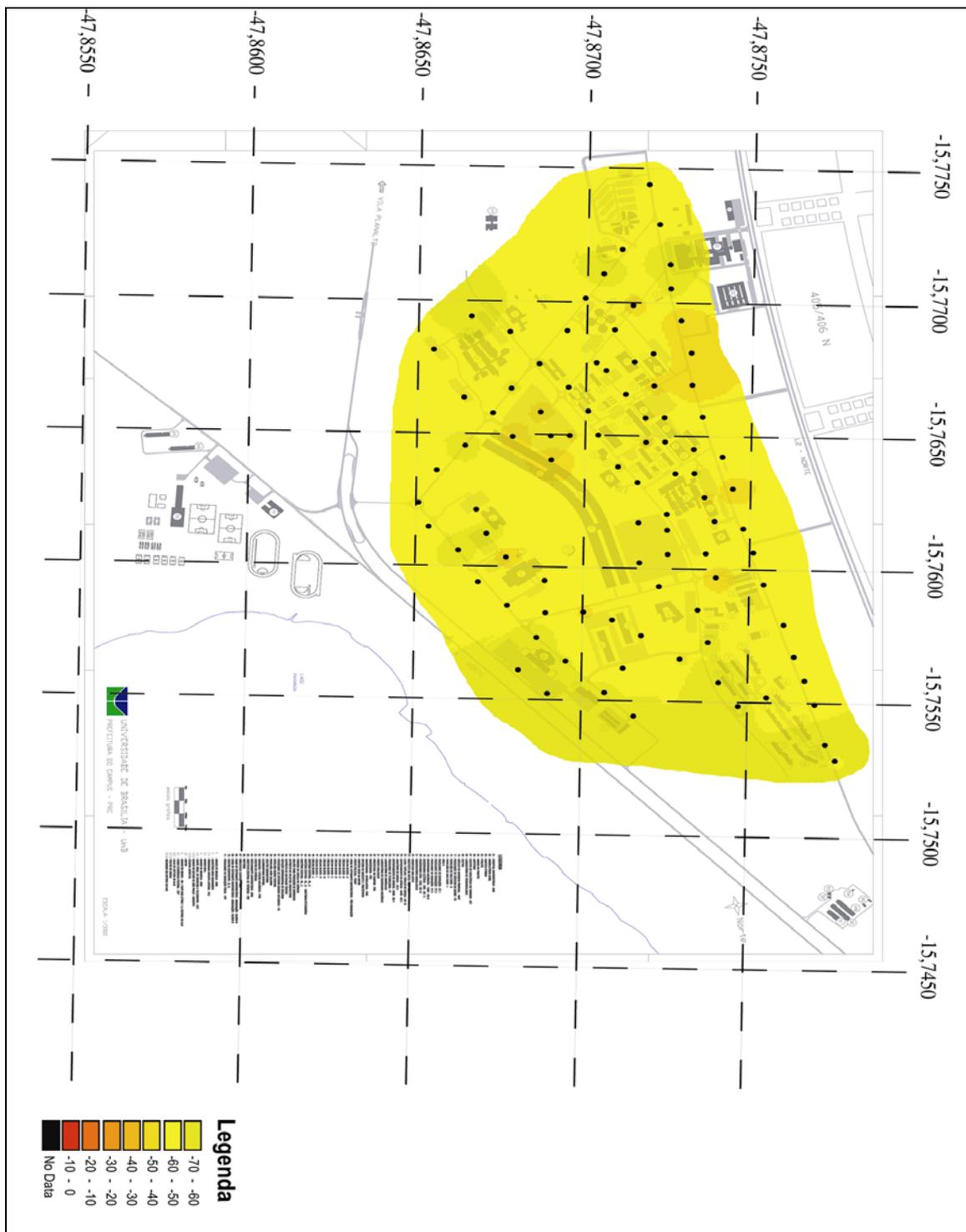


Figura 5.9 – Mapa de Distribuição de Potência Medida – 800 MHz



**Figura 5.10 – Mapa de Distribuição de Potência Medida – 1800 MHz**

A seguir, foram elaborados mais dois mapas, desta vez utilizando-se os valores de intensidade de campo já normalizados, buscando fornecer uma informação mais clara e objetiva ao usuário do mapa. Nesse sentido, foi proposta a seguinte escala de segurança:

## 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.

Assim, obedecendo a escala proposta acima, foram elaborados os mapas abaixo apresentados.

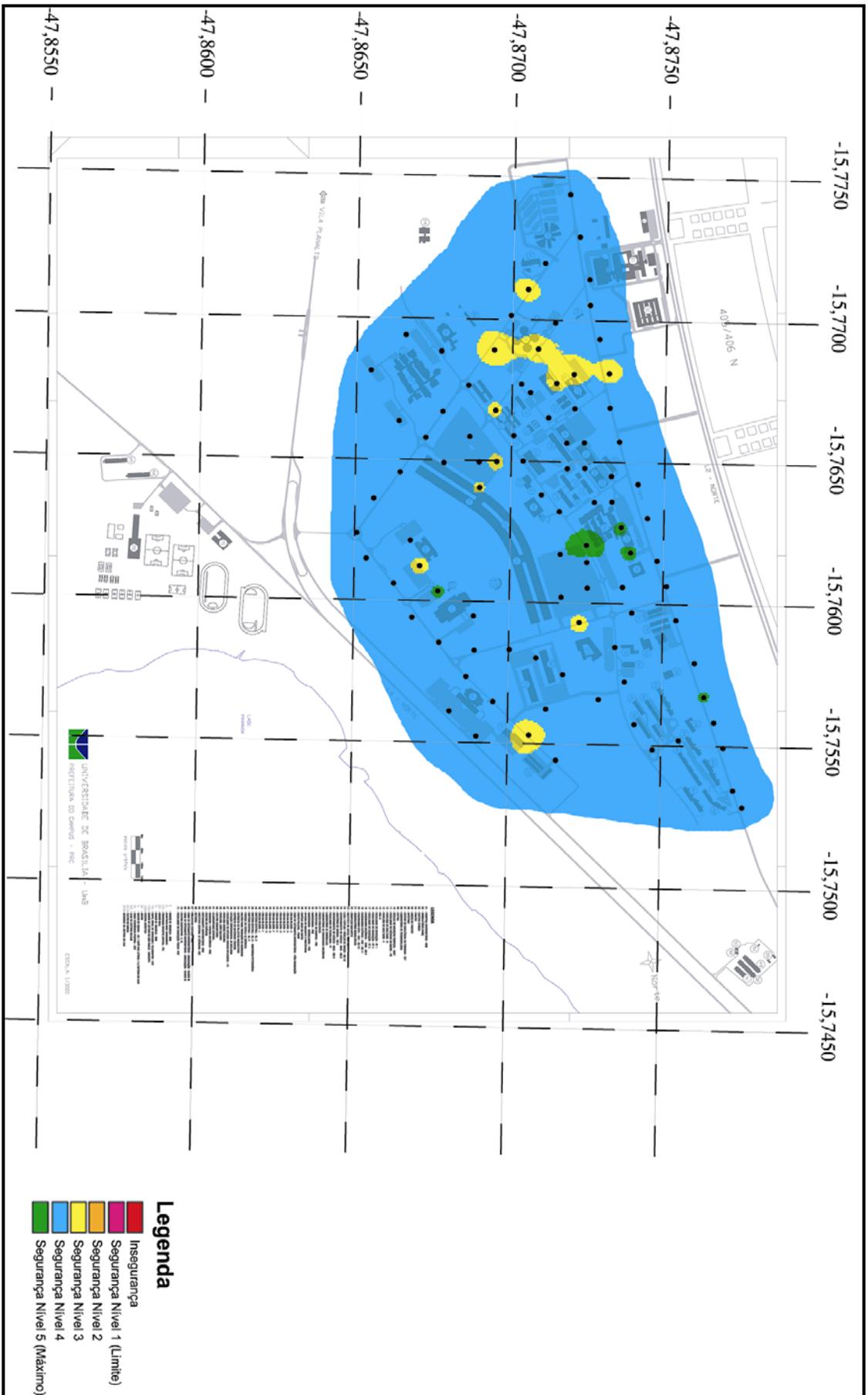


Figura 5.11 – Mapa de Distribuição de Potência Normalizada – 800 MHz



## 6. Informações Técnicas Sobre o Equipamento Utilizado (Agilent E7495A)

Este capítulo tem a finalidade de caracterizar o equipamento utilizado, buscando passar uma idéia geral ao leitor de como o equipamento funciona, além de explorar, ainda que superficialmente, as principais funções utilizadas para elaboração deste projeto, bem como algumas de suas características físicas.

### 6.1. Descrição Geral

O Agilent E7495A Base Station Test Set, produzido pela Agilent Technologies, é uma ferramenta portátil e multifuncional, muito útil em testes e análises de campo. Este equipamento inclui um analisador de espectro e capacidade de medidas de antenas. Além disso, ele possui a funcionalidade de transmissor e receptor de diversas faixas de frequência.



Figura 6.1.1 – Foto do Analisador Agilent E7495A

### 6.2. Principais Funções Utilizadas

Durante as medidas, foram utilizadas as seguintes funcionalidades:

- **GPS:** Função utilizada para capturar as coordenadas geográficas de cada um dos pontos onde foram efetuadas as medições;
- **Analizador de Espectro:** Função utilizada para analisar-se todo o espectro delimitado pelas faixas de frequência de celular; A partir do mesmo, foi possível sempre capturar dados da portadora com maior nível de sinal dentro do espectro em análise;
- **Função MaxHold:** Função utilizada para capturar sempre o máximo valor de cada portadora exibida na tela do analisador de espectro. Quando esta função está ativada, a oscilação das componentes do espectro diminuem, pois o equipamento irá manter como valor de referência sempre a maior intensidade de campo de cada componente de frequência dentro do período de análise;
- **Cartão PCMCIA:** Cartão de memória flash utilizado para armazenar os dados das medições;

## 7. Conclusões e Sugestões

Após analisarmos e discutirmos todos os resultados obtidos durante a execução deste projeto, pode-se concluir que os mapas elaborados retratam a segurança existente no campus hoje. Uma metodologia de escolha dos pontos e medições dos mesmos foi proposta com o intuito de se criar um padrão para se analisar a conformidade dos campos eletromagnéticos com a norma da ANATEL.

Além disso, os mapas de potência vieram a confirmar que não há áreas de risco dentro do campus. Nenhum dos pontos medidos ficou muito próximo do limite estabelecido pela resolução 303 da ANATEL. Deve ser deixado claro que todas as avaliações foram efetuadas para ambientes externos, ou seja, estacionamentos, pistas de acesso e áreas externas urbanizadas dentro do Campus. Em momento algum foi efetuada qualquer medição em ambientes internos, como no interior de prédios (ICC, FT, FA, etc), principalmente devido à limitação da montagem do equipamento no carro. Estas áreas eram inacessíveis para o veículo de teste, o que impossibilitou a análise das mesmas. Sugere-se que, para um estudo mais detalhado destas áreas, seja utilizado o medidor de faixa larga, instrumento também contido no laboratório, e de operação manual, pois este não apresenta as limitações de montagem do Agilent E7495A. Com isso, o estudo aqui proposto poderia ser mais detalhado, pois sabe-se que alguns prédios, como o ICC, apresentam pequenos reforçadores de sinal celular (antenas), o que tende a aumentar a potência transmitida dentro dos prédios.

Assim, a análise dos mapas torna-se bastante interessante, pois, mais do que simplesmente informar o usuário se ele está em uma área de risco ou não, esses servem para passar uma idéia geral de como está distribuída a potência na universidade, possibilitando-o fazer comparações entre níveis de potência de diferentes áreas, o que permite que este julgue se há áreas que devem ser evitadas.

Visando facilitar a compreensão dos resultados obtidos, foi criada uma escala de fácil entendimento, o que possibilita a divulgação do trabalho para o público em geral que circula diariamente pela Universidade de Brasília.

Para finalizar, sugerimos que a metodologia e os resultados empregados neste projeto sejam estendidos a outras áreas, permitindo, por exemplo, que tenhamos um mapa de distribuição de potência em toda a cidade de Brasília. Além disso seria interessante propor um estudo desta natureza observado em três dimensões, ou seja, levando-se também em

consideração a altitude das antenas para se determinar o nível de segurança das pessoas que estão nas proximidades destas antenas (apartamentos). Dessa forma, muitas pessoas teriam a certeza que as normas estão sendo respeitadas e que sua integridade física está sendo protegida.

## 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] Tenforde, T. S. **Interaction of ELF magnetic fields with living systems**. In: Polk, C.; Postow, E., eds. Biological effects of electromagnetic fields. Boca Raton, FL: CRC Press; 1996: 185-230.
- [5] Lindbohm, M. L.; Hietanen, M.; Kyyrönen, P.; Sallmen, M.; van Nandelstadh, P.; Taskinen, H.; Pekkarinen, M.; Ylikoski, M.; Hemminki, K. **Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion**. Am. J. Epidemiol. 136:1041-1051; 1992.
- [6] Schnorr, T. M.; Grajewski, B. A.; Hornung, R.W.; Thun, M. J.; Egeland, G. M.; Murray, W. E.; Conover, D. L.; Halperin, W. E. **Video display terminals and the risk of spontaneous abortion**. New Eng. J. Med. 324:727-733; 1991.
- [7] Wertheimer, N.; Leeper, E. **Electrical wiring configurations and childhood cancer**. Am. J. Epidemiol. 109:273-284; 1979.
- [8] Savitz, D. A.; John, E. M.; Kleckner, R. C. **Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer**. Am. J. Epidemiol. 131:763-773; 1990.
- [9] London, S. J.; Thomas, D. C.; Bowman, J. D.; Sobel, E.; Cheng, T. C.; Peters, J. M. **Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia**. Am. J. Epidemiol.

134:923-937; 1991.

[10] Michaelis, J.; Schüz, J.; Meinert, R.; Menger, M.; Grigat, J., P.; Kaatsch, P.; Kärner, H. **Childhood leukemia and electromagnetic fields: results of a population-based case-control study in Germany.** *Cancer Causes and Control* 8:167-174; 1997.

[11] Linet, M. S.; Hatch, E. E.; Kleinerman, R. A.; Robinson, L. L.; Kaune, W. T.; Friedman, D. R.; Severson, R. K.; Haines, C. M.; Hartsock, C. T.; Niwa, S.; Wacholder, S.; Tarone, R. E. **Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children.** *New Eng. J. Med.* 337:1-7; 1997.

[12] Milham, S. Jr. **Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields.** *New Engl. J. Med.* 307:249; 1982.

[13] Thériault, G.; Goldberg, M.; Miller, A. B.; Armstrong, B.; Guénel, P.; Deadman, J.; Imbernon, E.; To, T.; Chevalier, A.; Cyr, D.; Wall, C. **Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France – 1970-1989.** *Am. J. Epidemiol.* 139:550-572; 1994.

[14] 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.

[15] Graham, C.; Cook, R.; Cohen, H. D.; Gerkovich, M. M. **Dose response study of human exposure to 60 Hz electric and magnetic fields.** *Bioelectromagnetics* 15:447-463; 1994.

[16] Tenforde, T. S. **Biological interactions and human health effects of extremely-low-frequency magnetic fields.** In: Anderson, L. E.; Stevens, R. G.; Wilson, B. W. eds. *Extremely low-frequency electromagnetic fields: the question of cancer.* Columbia, OH: Battelle Press; 1990: 291-315.

[17] McLean, J.; Stuchly, M. A.; Mitchel, R. E.; Wilkinson, D.; Yang, H.; Goddard, M.; Lecuyer, D. W.; Schunk, M.; Callary, E.; Morrison, D. **Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60-Hz magnetic field: II. Tumor development and immune response.** *Bioelectromagnetics* 12:273-287; 1991.

- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Szmigielski, S.; **Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation.** Sci. Tot. Environ. 180:9-17; 1996.
- [21] 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” )
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Bernhardt, J. H. **The direct influence of electromagnetic fields on nerve and muscle cells of man within the frequency range of 1 Hz to 30 MHz.** Radiat. Environ. Biophys.16:309-323: 1979.
- [25] Bernhardt, J. H. **Basic criteria of ELF-standards: worldwide achievement in public and occupational health protection against radiation.** Proceedings of the Eighth International Congress of the International Radiation Protection Association. Geneva: IRPA; 1992: 933-936.
- [26] Goodman, R.; Henderson, A. S. **Exposure of salivary gland cells to low-frequency electromagnetic fields alters polypeptide synthesis.** Proc. Nat. Acad. Sci. 85:3928-3232; 1988.
- [27] Institute of Electrical and Electronic Engineers. **Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz.** New York: Institute of Electrical and Electronic Engineers; IEEE C95.1- 1991; 1992.

- [28] John M. Osepchuk, Ronald C. Petersen, **Safety Standards for Exposure to RF Electromagnetic Fields**
- [29] Loomis, D. P.; Savitz, D. A.; Ananth, C. V. **Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States**. J. Nat. Cancer Inst. 86:921-925; 1994.
- [30] PD.33.GS.E1A 0017 A/RT-01-AA, CPqD – Divisão de Tecnologias de Infraestrutura de Redes
- [31] Reilly, J. P. **Electrical stimulation and electropathology**. Cambridge, MA: Cambridge University Press; 1992.
- [32] Reilly, J. P. **Peripheral nerve stimulation by induced electric currents: exposure to time-varying magnetic fields**. Med. Biol. Eng. Computing 3:101-109; 1989.
- [33] Site da ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações ([www.anatel.gov.br](http://www.anatel.gov.br)), Resolução 303 e Diretrizes de Radiação;
- [34] Tenforde, T. S. **Biological Interactions of extremely-low-frequency electric and magnetic fields**. Bioelectrochem. Bioenerg. 25:1-17; 1991.
- [35] ABRICEM – Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética
- [36] Bertucci, Davi de Oliveira; Cruz, Marcos Vinícius Ramos da,; **Estudo de limites de segurança para radiações não-ionizantes e proposição de uma metodologia para sua medição**. Projeto final de graduação em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Setembro de 2002.
- [37] Eletromagnetics; Kraus, John Daniel / Fleisch Daniel, Ed. McGrawHill, 1999;
- [38] Fields and Waves in Communications Electronics, Ramo, Simon / Whinery, John R. / Duzer, Theodore Van; Ed. Wiley, 1994;