

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E
SISTEMAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO E SISTEMAS

GENILSON PAVÃO ALMEIDA

**ANALISE DA EXPOSIÇÃO HUMANA AOS NÍVEIS DE RNI EMITIDAS PELAS
ERBs NA FAIXA DE 2,5 GHz LOCALIZADAS EM UM DISTRITO PILOTO EM SÃO
LUIS –MA.**

São Luís
2018

GENILSON PAVÃO ALMEIDA

**ANALISE DA EXPOSIÇÃO HUMANA AOS NÍVEIS DE RNI EMITIDAS PELAS
ERBs NA FAIXA DE 2,5 GHz LOCALIZADAS EM UM DISTRITO PILOTO EM SÃO
LUIS –MA.**

Dissertação apresentada ao programa do Mestrado Profissional de Engenharia da Computação e Sistemas da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Moreira Lima
Silva

São Luís
2018

GENILSON PAVÃO ALMEIDA

**ANALISE DA EXPOSIÇÃO HUMANA AOS NÍVEIS DE RNI EMITIDAS PELAS
ERBs NA FAIXA DE 2,5 GHz LOCALIZADAS EM UM DISTRITO PILOTO EM SÃO
LUIS – MA.**

São Luís – Ma., 01 de novembro de 2018

Aprovada com grau de Mestre em Engenharia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rogério Moreira Lima Silva
Orientador / Presidente da Banca

Prof. Dr. Leonardo Henrique Gonsioroski Furtado
Examinador Interno

Eng Me. Marcelo Renato do Carmo Pereira
Examinador Externo

Almeida, Genilson Pavão.

Análise da exposição humana aos níveis de RNI emitidas pelas ERBs na faixa de 2,5 Ghz localizadas em um distrito piloto em São Luís –Ma. / Genilson Pavão Almeida. – São Luís, 2018.

161 f.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação e Sistemas, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Moreira Lima Silva.

1. Exposição humana. 2. Radiações não ionizantes (RNI). 3. Estações rádio base (ERB). 4. Distrito piloto. 5. Frequência 5G. I. Título.

CDU 614.875(812.1)

DEDICATÓRIA

A Deus, que se mostrou criador, que foi criativo. Deu seu fôlego de vida em mim, e sempre foi meu sustento e me deu coragem para questionar as realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades.

AGRADECIMENTOS

Se você está lendo esta página é porque eu consegui. De fato, este trabalho não é o final, mas o início de uma longa jornada que começou sendo cheia de obstáculos e perigos que aos poucos comecei a dominar o mar revolto, assim como uma criança que aprende andar....

Das inúmeras leituras rumo ao infinito mundo do eletromagnetismo até o mundo desconhecido das equações de rádio propagação de sinais, no meio de tantas noites de sono perdidas, passando pelas disciplinas do curso até a conclusão do Mestrado, foi um longo caminho percorrido. Nada foi fácil, nem tampouco tranquilo, REALMENTE fazer ciência é algo difícil...

Deixo aqui o pensamento do filósofo e cientista da época do renascimento como metáfora dos meus sinceros pensamentos. “Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”. (Leonardo da Vinci)

Quero agradecer a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho científico, ainda nos que sempre confiaram em mim, desde sempre.

Em especial a Deus pela ajuda nas horas difíceis, aos meus pais pelo apoio de sempre e a minha esposa Karina, minha filha Kyara ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Rogerio Moreira Lima, aos demais professores do PECS e também a toda equipe (staff) do mestrado em Engenharia de computação da UEMA.

Ainda neste espaço gostaria de registrar meu agradecimento a Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, universidade esta que me acolheu com todo o carinho após meu retorno do exterior e a qual possuo a mais alta estima como baluarte do conhecimento do meu maravilhoso, belo e rico estado que é o nosso grande Maranhão.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota. ”

(Theodore Roosevelt)

RESUMO

Este estudo tem como tema principal a medição dos parâmetros das Radiações Não Ionizantes (RNI) emitidas pelas estações rádio base (ERB) de telefonia celular nas frequências da faixa 4G de 2,5 GHz. A análise dos parâmetros como densidade de potências, intensidade de campos elétrico e campo magnético oriundos das frequências dos sistemas de telefonia celular (4G). Este estudo propõe fazer a medição de parâmetros acima citados com base na análise da norma nacional (resolução ANATEL 303/2002). O uso da tecnologia de informação (TI) exerce influência na medição das intensidades de densidade de potência (S), intensidade de campo elétrico (E) e densidade de magnético (B) gerados pelas Estações Rádio Base (ERB), pois estão modulados nas ondas de frequência analógicas. Foi feita a análise dos dados medidos em um distrito piloto a fim de quantificar as intensidades das grandezas relacionadas para comparar com os limites definidos pelos padrões normativos, aferindo assim se as populações das comunidades circunvizinhas dos entornos as ERB estão expostas a níveis acima dos limites permitidos por legislação nacional ou não.

Palavras-chave: Estações Rádio Base (ERB). Densidade de potência (S). ANATEL. Medição. frequência 4G. Radiação não ionizante (RNI).

ABSTRACT

This study has as main theme the measurement of the parameters of Non Ionizing Radiations (NIR) emitted by cellular Radio Base Stations (RBS) in the frequencies 4G band of 2,5 GHz. The analysis of these parameters as such as power density, intensity of electric field and magnetic field from the frequencies of the cellular (4G) systems. This study proposes to measure and make the assessment of those parameters mentioned above based on the analysis of the national standard (ANATEL resolution 303/2002). The use of information technology (IT) influences the measurement of the power density (S), electric field strength (E) and magnetic density (B) generated by Radio Base Stations (ERB), since they are modulated in analogue frequency waves in digital format. The analysis was conducted in a pilot district to measure the intensities of related magnitudes to compare with the limits set by normative standards, thus assessing whether the populations of surrounding communities in the ERB environments are exposed to levels above the limits permitted by national legislation whether or not.

Key words: Radio Base Stations. Power Density. ANATEL. Measurement. Non Ionizing Radiation (NIR). frequency. 2,5 GHz.

LISTA DE ABREVIATURAS

- A – Ampère
- B – Densidade ou Fluxo de campo magnético
- C - Velocidade da luz
- D - Diretividade de uma antena
- d - Distância do Campo Distante
- dB - Decibel
- dBd - Decibel em relação a antena dipolo
- dB_i - Decibel em relação a antena isotrópica
- dBuV- Decibel microvolt por metro
- dBm- Decibel por miliWatt
- dBW- Decibel por Watt
- E - Intensidade do campo elétrico
- E_{iso} - Campo que seria irradiado por uma antena isotrópica
- E_{out} - Tensão de saída
- eV - Elétron-volt
- f - Frequência da luz
- g - Grama
- G - Ganho de uma antena
- H - Intensidade do campo magnético
- Hz - Hertz
- J - Joule
- L - Comprimento máximo total da antena transmissora
- m - Metro
- P (irradiada) - Potência irradiada por uma antena
- P (recebida) - Potência recebida por uma antena
- PC - Potência irradiada atrás da antena
- PF - Potência irradiada na frente da antena
- S - Densidade de potência
- Seq - Densidade de propagação de onda plana equivalente
- T - Tesla
- W - Watt

LISTA DE SIGLAS

AM - Amplitude modulada
ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações
BBB - Blood Brain Barrier
BR - Basic Restriction
CEM - Campo eletromagnético
CEMRF - Campo eletromagnético oriundo de Rádio Frequências
CENELEC - Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CF - Constituição Federal
EIRP- Potência equivalente isotropicamente irradiada
EMA - Exposição Máxima Admissível
EMF - Electric and Magnetic Field
EMF - Eletromagnetical Field (Project)
EPI - Equipamento de Proteção Individual
ERP - Potência Efetivamente irradiada
ERP- Potência efetiva radiada
FCC -Federal Communications Commission
FM - Frequência modulada
GIS - Geographical Information System
HCI - Conjunto de antenas em relação ao solo
IARC - Working Group on Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.
ICNIRP - International Commission on Non Ionizing Radiation Protection
ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEEE- Institute of Electrical and Electronics Engineers
IEGMP - Independent Expert Group on Mobile Phones
INIRC - International Non-Ionizing Radiation Committee
IOT - Internet of Things
IRPA - International Radioactive Protection Association
ITU - T International Telecommunication Standardization Sector
LTDA - Limitada
LTE - Long Term Evolution
MAE - Maximum Admissible Exposure

MS - Ministério da Saúde
MTE - Ministério do trabalho
MTE - Ministério do Trabalho e Emprego
NR - Norma regulamentadora
NRI - Non Ionizing Radiation
OEM - Onda eletromagnética
OMS - Organização Mundial da Saúde
RA - Resistência de irradiação
RF - Radiofrequência
RI - Radiação Ionizante
RMS - Valor eficaz
RNI - Radiação não ionizante
SA - Specific Absorption
SAR - Specific Absorption Rate
SUS - Sistema Único de Saúde
WHO - World Health Organization.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabela 1 | Principais grandezas eletromagnéticas..... | 55 |
| Tabela 2 | Principais interações do espectro eletromagnético com a matéria adaptado..... | 57 |
| Tabela 3 | Espectro eletromagnético e suas aplicações adaptado..... | 57 |
| Tabela 4 | Restrições Básicas para densidade de potência, para radiofrequências entre 10 GHz e 300 GHz..... | 70 |
| Tabela 5 | Limites para exposição ocupacional a CEMRF na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz..... | 70 |
| Tabela 6 | Limites para exposição da população em geral a CEMRF..... | 70 |
| Tabela 7 | Limites de SAR para exposição a CEMRF, na faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 10 GHz..... | 71 |
| Tabela 8 | Avaliação pela força da evidência adaptado..... | 89 |
| Tabela 9 | Localização dos Pontos medidos..... | 119 |
| Tabela 10 | Faixas das frequências de downlink analisadas das ERB que existem na área de estudo..... | 119 |
| Tabela 11 | Localização das ERB que emitem radiação RNI em 4G no entorno dos pontos medidos..... | 120 |
| Tabela 12 | Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora CLARO..... | 121 |
| Tabela 13 | Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora Oi..... | 122 |
| Tabela 14 | Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora TIM..... | 123 |
| Tabela 15 | Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora VIVO... | 124 |
| Tabela 16 | Resultado das Simulações para todos os pontos P00 até P10..... | 147 |

LISTA DE FIGURAS / ILUSTRAÇÕES / FOTOS

| | |
|--|-----|
| Figura 1 – Esquema da representação dos campos elétrico e magnético e as oscilações mencionadas..... | 34 |
| Figura 2 – Espectro eletromagnético..... | 37 |
| Figura 3- Ideia geral do sistema de telefonia Móvel | 38 |
| Figura 4 – Composição geral do sistema de telefonia Móvel | 38 |
| Figura 5 – Unidades funcionais de uma ERB..... | 40 |
| Figura 6 – Representação funcional de uma ERB | 41 |
| Figura 7 – Faixas de ondas Eletromagnéticas | 43 |
| Figura 8 – Ilustração de Tensor..... | 47 |
| Figura 9 – Representação simbólica de 02 antenas Tx:Transmissão e Rx: Recepção | 48 |
| Figura 10 – Figura Ilustrativa dos regiões dos campos em uma antena adaptado ... | 52 |
| Figura 11 – Figura Ilustrativa dos tipos de Campo adaptado | 52 |
| Figura 12 – Exemplo de Diagrama de antenas | 58 |
| Figura 13 – Espectro magnético e suas aplicações adaptado | 60 |
| Figura 14 – Espectro magnético e a comparação das radiações ionizantes x não ionizantes adaptado | 61 |
| Figura 15 – Foto dos pontos georeferenciados utilizando o software QGIS (Sistema baseado em GIS) | 109 |
| Figura 16 – Foto dos pontos georeferenciados utilizando o software Google Earth Pro (Sistema baseado em GPS) | 109 |
| Figura 17 – Tela do STEL | 110 |
| Figura 18 – Tela do programa com os dados e coordenadas dos pontos..... | 112 |
| Figura 19 –Tela do programa com detalhes dos enlaces calculados..... | 112 |
| Figura 20 – Tela do programa com todos os enlaces calculados..... | 113 |
| Figura 21 – Tela do programa com os enlaces viáveis simulados | 113 |

| | |
|---|-----|
| Figura 22 – Tela do programa com os enlaces não viável simulados | 114 |
| Figura 23 – O Sistema de Medição do Medidor Isotrópico : CORNET ED88T – Ilustração..... | 116 |
| Figura 24 – O Sistema de Medição Laptop + Analisador de Espectro –Ilustração.. | 117 |
| Figura 25 – Vista da tela do espectro das ondas analisadas –Ilustração | 118 |
| Figura 26 – Tela do software de Analise | 118 |
| Figura 27 – Analise das banda em tempo Real-Ilustração | 118 |
| Figura 28 – Medição dos níveis de Densidade de Potência da População Geral com Medidor Isotrópico..... | 122 |
| Figura 29 – Locação de Medição -GPS 00 | 129 |
| Figura 30 – Locação de Medição -GPS 01 | 131 |
| Figura 31 – Locação de Medição - GPS 02 | 133 |
| Figura 32 – Locação de Medição -GPS 03 | 135 |
| Figura 33 – Locação de Medição -GPS 04 | 137 |
| Figura 34 – Locação de Medição -GPS 05 | 139 |
| Figura 35 – Locação de Medição -GPS 06 | 141 |
| Figura 36 – Locação de Medição -GPS 07 | 143 |
| Figura 37– Locação de Medição -GPS 08 - | 145 |
| Figura 38 – Locação de Medição -GPS 09 | 147 |
| Figura 39 – Locação de Medição -GPS 10 | 149 |
| Figura 40 – Locação geral dos pontos em mapa com as coordenadas de GPS..... | 152 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | | |
|------------|---|----|
| Equação 1 | Relação entre comprimento de onda e frequência..... | 32 |
| Equação 2 | Relação entre a frequência e a energia da partícula..... | 33 |
| Equação 3 | Equação da Indução Magnética..... | 42 |
| Equação 4 | Equação da Indução Magnética..... | 42 |
| Equação 5 | Equação do campo Elétrico..... | 43 |
| Equação 6 | Equação da indução Elétrica..... | 43 |
| Equação 7 | Rotational de uma função..... | 43 |
| Equação 8 | Gradiente de uma função..... | 43 |
| Equação 9 | Equação da indução do Campo Magnético..... | 44 |
| Equação 10 | Equação da indução do campo Elétrico..... | 44 |
| Equação 11 | Equação da densidade de corrente Elétrico..... | 44 |
| Equação 12 | Forma vetorial de um tensor de sum sistema cartesiano x,y,z..... | 45 |
| Equação 13 | Formula de Friis..... | 47 |
| Equação 14 | Formula de Friis para antenas não polarizadas..... | 48 |
| Equação 15 | Formula de Friis remodelada com o uso do logaritmo..... | 48 |
| Equação 16 | Relação entre as distancias de campo próximo reativo, campo próximo e campo distante em uma antena..... | 51 |
| Equação 17 | Relação entre campo elétrico e magnético e vetor de Vector de Poynting..... | 52 |
| Equação 18 | Relação entre densidade de fluxo de campo magnético e intensidade de campo magnético..... | 52 |
| Equação 19 | Relação entre intensidade de carga e campo elétrico..... | 53 |
| Equação 20 | Relação entre SAR e o campo elétrico a qual a amostra e submetido..... | 53 |
| Equação 21 | Relação entre a SAR e a temperatura..... | 54 |
| Equação 22 | Equação da SAR em função do campo elétrico e a condutividade do tecido..... | 54 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----|
| Gráfico - 1 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 00 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 129 |
| Gráfico - 2 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 00 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 130 |
| Gráfico - 3: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 00 x Limites da ANATEL nos pontos | 130 |
| Gráfico - 4 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 01 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 131 |
| Gráfico - 5 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 01 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 132 |
| Gráfico - 6: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 01 x Limites da ANATEL nos pontos | 132 |
| Gráfico - 7 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 02 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 133 |
| Gráfico - 8 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 02 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 134 |
| Gráfico - 9: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 02 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 134 |
| Gráfico - 10 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 03 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 136 |
| Gráfico - 11 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 03 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 136 |
| Gráfico - 12: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 03 x Limites da ANATEL nos pontos | 137 |

| | |
|---|-----|
| Gráfico - 13 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 04 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 138 |
| Gráfico - 14 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 04 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 138 |
| Gráfico - 15: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 04 x Limites da ANATEL nos pontos | 139 |
| Gráfico - 16 : Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 05 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 140 |
| Gráfico - 17 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 05 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 140 |
| Gráfico - 18: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 05 x Limites da ANATEL nos pontos | 141 |
| Gráfico - 19 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 06 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 142 |
| Gráfico - 20 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 06 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 142 |
| Gráfico - 21: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 06 x Limites da ANATEL nos pontos | 143 |
| Gráfico - 22 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 07 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 144 |
| Gráfico - 23 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 07 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 144 |
| Gráfico - 24: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 07 x Limites da ANATEL nos pontos | 145 |
| Gráfico - 25 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 08 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 146 |
| Gráfico - 26 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 08 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 146 |
| Gráfico - 27: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 08 x Limites da ANATEL nos pontos | 147 |

| | |
|--|-----|
| Gráfico - 28 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 09 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 148 |
| Gráfico - 29 : Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 09 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 148 |
| Gráfico - 30: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 09 x Limites da ANATEL nos pontos | 149 |
| Gráfico - 31 : Gráfico das Densidades de Potência calculados do pontos 10 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 150 |
| Gráfico - 32 : Gráfico das Intensidade Elétrico calculados pontos 10 x Limites da ANATEL nos pontos..... | 150 |
| Gráfico - 33: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 10 x Limites da ANATEL nos pontos | 151 |
| Gráfico - 32 : Gráfico das Densidades de Potência calculados de todos os pontos x Limites da ANATEL nos pontos | 153 |
| Gráfico - 33: Gráfico das intensidade de Campo Elétrico calculados de todos os pontos x Limites da ANATEL nos pontos | 153 |
| Gráfico - 34: Gráfico das Densidades de Campo Magnéticos calculados de todos os pontos x Limites da ANATEL nos pontos..... | 154 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 22 |
| 1.1 | A Importância do tema..... | 23 |
| 1.2 | O problema..... | 24 |
| 1.3 | Motivação..... | 25 |
| 1.4 | Justificativa..... | 26 |
| 1.5 | Limitações da pesquisa..... | 27 |
| 1.6 | Estrutura do trabalho proposto..... | 27 |
| 1.7 | Objetivos | 28 |
| 1.7.1 | Objetivo geral..... | 29 |
| 1.7.2 | Objetivos específicos..... | 29 |
| 1.8 | Contribuição esperada pelo autor..... | 29 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEORICA..... | 31 |
| 2.1 | Eletromagnetismo..... | 31 |
| 2.1.1 | Introdução ao eletromagnetismo..... | 31 |
| 2.2 | Radiação eletromagnética..... | 32 |
| 2.2.1 | Introdução a radiação eletromagnética..... | 32 |
| 2.2.2 | Introdução ao espectro de radiação eletromagnética..... | 34 |
| 2.3 | Telefonia celular..... | 35 |
| 2.3.1 | Introdução ao sistema celular..... | 35 |
| 2.3.2 | Composição de um sistema de telefonia móvel celular..... | 36 |
| 2.3.2.1 | Central de comutação e controle (CCC)..... | 37 |
| 2.3.2.2 | Estação rádio base (ERB)..... | 37 |
| 2.3.2.2.1 | Partes da estação rádio base..... | 38 |
| 2.3.2.2.2 | Tipos de estação rádio base (ERB) | 38 |
| 2.4 | Teorias eletromagneticas..... | 40 |
| 2.4.1 | Introdução ao eletromagnetismo..... | 40 |
| 2.4.2 | A radiação eletromagnética – teoria de campos | 41 |
| 2.4.3 | Antenas | 46 |
| 2.4.3.1 | Histórico das antenas..... | 49 |
| 2.4.3.2 | Regiões de campo eletromagnético das antenas..... | 50 |
| 2.4.3.3 | Diagrama de radiação das antenas..... | 55 |
| 2.4.3.4 | Espectro eletromagnético | 56 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3 | NORMAS E LIMITES DA EXPOSIÇÃO HUMANA A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS..... | 59 |
| 3.1 | Introdução às normas..... | 59 |
| 3.2 | Limites de exposição às RNI..... | 61 |
| 3.3 | Principais normas sobre RNI considerando as radiações oriundas dos CEMRF..... | 63 |
| 3.3.1 | Restrições básicas das normas..... | 64 |
| 3.3.2 | Níveis de referência das normas..... | 64 |
| 3.3.3 | Norma ICNIRP..... | 64 |
| 3.3.3.1 | Restrições básicas da norma..... | 65 |
| 3.3.3.2 | Níveis de referência da norma..... | 65 |
| 3.3.4 | Recomendações ITU-T K.52: "Orientação Sobre o Cumprimento dos Limites de Exposição Humana aos Campos Eletromagnéticos..... | 66 |
| 3.3.4.1 | Restrições básicas da norma..... | 67 |
| 3.3.4.2 | Níveis de referência da norma..... | 67 |
| 3.3.5 | Norma IEEE..... | 67 |
| 3.3.5.1 | Restrições básicas da norma..... | 68 |
| 3.3.5.2 | Níveis de referência da norma..... | 68 |
| 3.3.6 | Norma FCC (Federal Communications Commission) | 68 |
| 3.3.6.1 | Restrições básicas da norma..... | 68 |
| 3.3.6.2 | Níveis de referência da norma..... | 69 |
| 3.3.7 | Norma ANATEL..... | 69 |
| 3.3.7.1 | Restrições básicas da norma..... | 69 |
| 3.3.7.2 | Níveis de referência da norma..... | 69 |
| 3.4 | Princípio da precaução..... | 71 |
| 4 | OS POSSÍVEIS EFEITOS DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NOS SERES HUMANOS..... | 75 |
| 4.1 | O ambiente eletromagnético atual no Brasil..... | 75 |
| 4.2 | A radiação eletromagnética e seus efeitos nos seres humanos..... | 76 |
| 4.3 | Introdução aos efeitos das RNI..... | 82 |
| 4.4 | Efeitos diretos das RNI nos seres humanos | 84 |
| 4.5 | Efeitos indiretos das RNI nos seres humanos..... | 85 |
| 4.6 | Classificação dos efeitos das RNI nos seres humanos | 85 |
| 4.7 | Efeitos biológicos x efeitos a saúde | 86 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.8 | Dilemas sobre as pesquisas de CEMRF X efeitos biológicos..... | 91 |
| 4.9 | Possíveis efeitos das RNI NOS seres humanos | 92 |
| 4.10 | Identificação dos riscos biológicos comprovados..... | 95 |
| 4.11 | Riscos biológicos dos CEMRF em baixas frequências..... | 96 |
| 4.12 | Breve resumo de alguns estudos polêmicos sobre CEMRF oriundos de telefonia celular..... | 97 |
| 4.12.1 | CEMRF oriundos de telefonia celular x alterações no sono..... | 97 |
| 4.12.2 | CEMRF oriundos de telefonia celular x aumento da temperatura da cabeça..... | 98 |
| 4.12.3 | CEMRF oriundos de telefonia celular x alterações no sistema cardiovascular..... | 99 |
| 4.12.4 | CEMRF oriundos de telefonia celular x tipos de câncer..... | 99 |
| 4.12.4.1 | Câncer de cabeça x CEMRF de celulares..... | 100 |
| 4.12.4.2 | Câncer de olhos X CEMRF de celulares..... | 100 |
| 4.12.5 | CEMRF oriundos de telefonia celular x alterações nos hormônios cortisol e melatonina..... | 101 |
| 5 | METODOLOGIA..... | 103 |
| 5.1 | Argumentação preliminar..... | 103 |
| 5.2 | Seleção do local e dos pontos de medição..... | 104 |
| 5.3 | Modelo matemático para cálculos dos níveis de RNI nos pontos de medição..... | 107 |
| 5.4 | Diretrizes e procedimentos para as medições | 110 |
| 5.4.1 | Diretrizes para medições no método – 01 (analisador de espectro) | 111 |
| 5.4.2 | Diretrizes para medições no método – 02 (sonda isotrópica)..... | 111 |
| 5.5 | Instrumentos de medição utilizados..... | 111 |
| 5.5.1 | Instrumentos de medição utilizados no método - 01 (analisador isotrópico)..... | 111 |
| 5.5.2 | Instrumentos de medição utilizados no método - 02 (analisador de espectro)..... | 113 |
| 5.5.3 | Calibração dos instrumentos de medição..... | 115 |
| 5.5.4 | Limitações das medições e dos instrumentos de medição..... | 115 |
| 5.6 | Fontes de erros nas medições..... | 116 |
| 5.7 | Procedimentos de medições utilizados nas medições..... | 117 |
| 5.7.1 | Procedimentos de medições utilizados no método – 01..... | 117 |
| 5.7.2 | Procedimentos de medições utilizados no método – 02..... | 117 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES .. | 118 |
| 6.1 | Realização das medidas .. | 118 |
| 6.2 | Medições nas Locações .. | 120 |
| 6.2.1 | Locação – 00 .. | 129 |
| 6.2.2 | Locação – 01..... | 131 |
| 6.2.3 | Locação – 02..... | 132 |
| 6.2.4 | Locação – 03..... | 133 |
| 6.2.5 | Locação – 04 .. | 135 |
| 6.2.6 | Locação – 05..... | 137 |
| 6.2.7 | Locação – 06 .. | 139 |
| 6.2.8 | Locação – 07..... | 141 |
| 6.2.9 | Locação – 08..... | 143 |
| 6.2.10 | Locação – 09 .. | 145 |
| 6.2.11 | Locação – 10 .. | 147 |
| 6.3 | Todas as locações (P00, P01, P02...P10) .. | 149 |
| 7 | CONCLUSÕES .. | 152 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 155 |
| 9 | TRABALHOS FUTUROS..... | 156 |
| 10 | REFERÊNCIAS..... | 157 |

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da telefonia celular e o número de estações rádio base (ERB), que fazem a comunicação dos aparelhos celulares com o sistema de telefonia fixa comutável, aumentou de forma ímpar os benefícios para o atual estilo de vida da sociedade.

Este crescimento tem facilitado a comunicação, oferecendo agilidade, conforto, e dando oportunidade de as pessoas usarem muitos serviços hoje tidos como essenciais no ato de manter-se conectado com as pessoas.

Entre os diversos serviços de internet móvel de banda larga temos a telefonia VOIP, redes sociais que permitem contatar pessoas em localidades próximas e distantes, e agora também viabilizando a IOT (Internet of Things) ou internet das coisas para fins diversos.

No entanto, para o funcionamento do sistema de telefonia celular, e necessário uma infraestrutura que faça uso de radiação eletromagnética esta que na forma de radiação não ionizante (RNI) está presente nas faixas de frequência diversas. Afim de fazer a comunicação entre os dispositivos o sistema usa antenas e ondas propagadas e irradiadas no espaço livre que geralmente passam pelo espaço que as pessoas habitam, trabalham, etc.

Ou seja, uma grande quantidade de radiação eletromagnética (campos elétricos, campos magnéticos, e outras grandezas físicas correlatas) estão no nosso meio e são geralmente invisíveis a olho nu. Este fato tem gerado preocupações em diversos países, pois existem em função de diversos estudos alguns até polêmicos. Eles geralmente debatem sobre os possíveis efeitos à saúde das populações expostas (trabalhadores ou pessoas normais) às radiações eletromagnéticas não ionizantes.

As RNI são radiações que são caracterizadas por seu comprimento de onda, frequência e energia irradiada. As radiações que não são transportadoras de energia suficiente para alterar o estado físico de um átomo são denominadas de radiações não ionizantes (RNI) (SALLES; FERNÁNDEZ, 2004).

Desta maneira é factível afirmar que o avanço tecnológico atual está levando as empresas prestadoras de serviço na área de telefonia móvel e Telecom a investir pesado no licenciamento e construção das estações rádio base.

O grande acúmulo destas instalações nos centros urbanos está causando um problema de poluição de radiação eletromagnética, visual, ambiental, etc.

Para que a comunicação da telefonia celular aconteça, o sistema é subdividido em células, cada célula possui uma estação rádio base capaz de enviar sinais com potência em toda sua extensão e cada estação rádio base pode atender a diversos aparelhos de telefones ao mesmo tempo, designando para cada um, uma pequena faixa de frequências dependendo da técnica e tecnologia adotada. (TELECO, 2017)

O crescimento vertiginoso da telefonia celular no Brasil pode ser provado pelos dados oficiais da ANATEL e corroboram para a afirmação que deve ser rigidamente controlado e monitorado a evolução das implantações das estações rádio base no Brasil (ANATEL, 2009). Em paralelo também tem crescido a preocupação da população, dos usuários, das autoridades governamentais e da comunidade científica em relação aos riscos à saúde que os usos destas tecnologias podem representar para o homem e o meio ambiente (IEEE, 2000).

Esta preocupação é motivada essencialmente pelas incertezas científicas, especialmente em relação aos “efeitos não térmicos” da absorção das radiações não ionizantes (RNI) nos seres humanos. Pois os “efeitos térmicos” já são bem conhecidos há muitas décadas, e, portanto, são considerados em várias normas internacionais que limitam a exposição aos campos eletromagnéticos não ionizantes.

Entretanto, sobre os efeitos não térmicos os cientistas buscam compreender mais sobre o assunto, pois ainda existem certas polêmicas em andamento entre a comunidade científica.

Embora, vários artigos publicados em jornais e revistas diversos já tenham sido repetidamente comprovados em experimentos com cobaias e com células “in vitro”, não se chegou a um parecer definitivo sobre a carcinogenicidade ou não das radiações eletromagnéticas não ionizantes de origem de radiofrequência geradas nas estações rádio base (ERB) dos sistemas de comunicações celulares atuais (IEE, 2000) (WOLF; WOLF, 2004)

1.1 A Importância do tema

O tema proposto vem se constituindo uma área de pesquisa de grande interesse pois tem uma intrínseca relação com setores da medicina e da biologia e Eletrobiomagnetismo. Isto se deve à proliferação acelerada de fontes geradoras de energia eletromagnética, nos locais passíveis de ocupação humana, nos locais de trabalho e no meio ambiente em geral. A radiação eletromagnética é uma forma de poluição invisível e que ainda não se tem a certeza, pelo menos até o presente momento, de que os limites das diretrizes internacionais existentes sejam totalmente seguros (BOCCATO, 2006) (ALENCAR, 2001).

O estudo dos efeitos biológicos provenientes das radiações das ondas eletromagnéticas vem impulsionando a comunidade científica a intensificar suas pesquisas em função do crescimento acelerado da comunicação móvel e implantações de ERB em locais de alta densidade demográfica. Outro ponto importante a acrescentar e que muitas vezes as ERB vêm sendo instaladas muito próximas umas das outras, em regime compartilhado ou não, produzindo uma radiação total no ambiente que pode superar os limites de aceitação humana (BOCCATO apud HUANG, 1987).

Considerando, portanto, as incertezas em torno dos efeitos biológicos da exposição à radiação, muitos países vêm adotando diretrizes e padrões de exposição levando em conta o princípio da precaução.

Vale a pena lembrar que o também é Brasil é signatário do princípio de precaução aprovado na segunda Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento que ficou conhecida como ECO- 92 (TELECO, 2017) (IEE, 2000) (BOCCATO, 2006). Os resultados de medições dos campos eletromagnéticos externos de rádio- frequência e micro-ondas são informações fundamentais para a avaliação de riscos à saúde das pessoas expostas ou ao público em geral (KATZ, 2017).

1.2 O problema

Não é possível averiguar se os parâmetros definidos como limites de exposição geral na norma nacional (resolução ANATEL 303 /2002) estão sendo cumpridos nos diversos locais aonde existem ERB, sem a utilização de métodos computacionais com base nos parâmetros do sistema (EIRP, ganhos, tipo de antenas, etc.) e sem realizar medições de campo com equipamentos apropriados.

Ainda se a nossa realidade do entorno as ERB obedecem ao estipulado com relação à segurança dos limites de exposição máximos permitidos pelas demais normas internacionais, tais como: IEEE, NCRP, OMS, ICNIRP.

Então a medição das intensidades de potência (S), intensidade de campo elétrico (E) e densidade de magnético (B) gerados pelas estações rádio base (ERB) se torna fundamental para assegurar o cumprimento dos padrões normativos mínimos, garantindo assim a segurança das populações e comunidade circunvizinha do entorno de instalação das ERB.

1.3 Motivação

Diferentes fontes de campos Rádio Frequência (RF) foram introduzidas com o desenvolvimento tecnológico da humanidade durante um longo período de tempo na nossa vida cotidiana. Este tempo de introdução variou muito entre os países, dependendo de sua condição econômica e tecnológica.

As Fontes fixas de RF ao ar livre são as mais antigas, pois as antenas de transmissão de rádio e TV estão presentes por mais de um século nas nossas vidas. O sistema de telefonia portátil analógica foi introduzido na maioria dos países desenvolvidos em meados dos anos setenta e oitenta.

Mais tarde, os sistemas de telefonia móvel, analógico e, na evolução, os sistemas digitais foram crescendo na cobertura para hoje estarem presentes em quase 100% das áreas urbanas e rurais. Hoje mesmo em países em desenvolvimento como o Brasil é fácil de observar as estações base em áreas rurais ou nas cidades montadas nos topos de edifícios ou em torres espalhadas na cidade (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2005).

Desta maneira, com a evolução das comunicações pode ser observado que as estações de rádio base e antenas de telefonia móvel foram distribuídas também dentro de edifícios maiores, shoppings centers e até dentro das estações de metrô para cobrir as chamadas internas.

A nossa realidade é especialmente em áreas urbanas consiste em células macro e micro de telefonia cada vez se tornando mais densas para acomodar a crescente demanda do aumento do número de usuários e suas diversas demandas de usos que possuímos na atualidade.

O conhecimento do risco real da exposição das pessoas, comunidades e meio ambiente ainda não é muito percebido, embora já se saiba da existência do risco real em função da grande quantidade de antenas e sistemas que emitem radiação não ionizante atualmente, principalmente nos grandes centros urbanos.

1.4 justificativa

Num sentido amplo, o progresso tecnológico sempre esteve associado a riscos e perigos, tanto percebidos como reais. Não nos é estranho recordar casos em que o risco percebido evoluiu para situações de um risco real, como o uso de combustíveis fósseis que danificaram a camada de ozônio ou, por outro lado, como as pessoas se preocuparam com o desenvolvimento da aviação no início do século XX, que gradualmente se difundiu e hoje acabou se transformando em um serviço indispensável da vida moderna.

Tudo isto aconteceu e continua a acontecer porque a compreensão e adaptação à introdução de novas tecnologias depende, pelo menos em parte, de um equilíbrio entre os seus benefícios e riscos que é tanto percebido pelo público em geral, como pelas autoridades governantes dos países (IEE, 2017).

Se ainda falarmos de risco percebido ou real, é certo que quando pensamos em termos de telecomunicações atualmente, aumentar o número de estações rádio base (ERB) se faz necessário para melhorar a cobertura ou expandir os serviços de telecomunicações de forma a atender as comunidades e / ou as pessoas de uma determinada região.

Na outra mão, agora temos um fator associado que passa geralmente despercebido nas pessoas que é o crescimento da exposição à Radiação Não Ionizante (RNI) na população, este fato certamente virá junto também com o aumento da preocupação do público em geral com relação ao assunto (IEE, 2016).

A maioria dos regulamentos, normas internacionais ou diplomas legais dos países fazem a limitação dos níveis de radiação de campo eletromagnético (EMF) nas áreas que circundam as instalações de telecomunicações.

Estes fatos podem agradar ao público em geral ou os vizinhos próximos, mas não ajudam na percepção de risco global da população exposta.

Então aliado aos cálculos teóricos convencionais e medições dos relatórios exigidos para as instalações das ERB, também é importante executar as medições de campo, aliados ao uso de GPS em conjunto de softwares de GIS para auxiliar o georeferenciamento das informações obtidas, considerando um futuro mapeamento da exposição das comunidades com uma base geográfica, assim você pode aferir e monitorar se as populações estão expostas aos níveis de RNI adequados e manter uma série histórica da situação.

1.5 Limitações da pesquisa

Por motivo de limitação de tempo e outros fatores diversos, a pesquisa de campo baseou-se somente em mensurações feitas com equipamento portátil e simulações computacionais feitas com base nas informações oficiais sobre as ERB vindas do sistema da ANATEL. Desta forma as medições foram baseadas em pontos estratégicos de um distrito piloto, escolhidos levando em consideração a aglomeração de diversas estações de Rádio Base de várias operadoras em funcionamento na região.

Assim foi definido como locação piloto para o estudo um trecho do distrito do Anjo da guarda, iniciando na saída ponte do rio Bacanga e terminando no final do Viva Anjo da guarda, áreas localizadas no bairro Anjo da Guarda no município de São Luís, localizado no Estado do Maranhão.

1.6 Estrutura do trabalho proposto

Este trabalho está planejado a ser organizado em seis capítulos, da seguinte forma:

No capítulo 1, apresentar-se-á a Introdução, os objetivos propostos, a justificativa, motivação e a organização do trabalho.

No capítulo 2, teremos a Fundamentação Teórica, em que será apresentado de forma resumida uma breve revisão bibliográfica sobre os sistemas de telefonia móvel celular, bem como os princípios e componentes que o constituem, abordando as consequências do crescimento de demanda pelos mesmos.

No capítulo 3, serão abordadas as principais normas nacionais e internacionais que versam sobre RNI. Neste capítulo faremos uma breve explanação sobre os limites de tolerância para exposição geral e ocupacional e quais são os limites de tolerância para a exposição de campos eletromagnéticos, densidade de potência, campos elétricos, etc.

No capítulo 4, serão abordados os possíveis efeitos das ondas eletromagnéticas nos seres humanos, mostrando os resultados das pesquisas científicas com foco carcinogênico, alteração gênica, tumores cerebrais e hipersensibilidade eletromagnética. Serão abordados também os resultados das pesquisas científicas com foco carcinogênico, alteração gênica, tumores cerebrais e hipersensibilidade eletromagnética.

No capítulo 5, descreve-se a Metodologia utilizadas neste trabalho, seguindo as diretrizes de estatística, metodologia científica e recomendações das normas de coleta e análise quantitativa de dados.

No capítulo 6, serão apresentados os resultados e discussões das medições dos níveis de radiações eletromagnéticas oriundas de estações rádio base de telefonia celular, nos pontos escolhidos. Os níveis obtidos serão comparados com os limites normativos da Resolução nº 303/02ANATEL.

No capítulo 7 será realizada as conclusões acerca dos resultados, abordando o estado da arte sobre os efeitos das radiações eletromagnéticas de rádio frequência nos seres humanos, sob a ótica da OMS, ICNIRP, IARC. Em seguida serão feitas as recomendações pertinentes com base nos resultados.

No capítulo 8, será realizada as recomendações com base nos resultados obtidos nas medições. Ainda será feita uma análise técnica dos resultados das pesquisas, verificando se os objetivos propostos foram atingidos e, também, apresentando sugestões que possam contribuir para os trabalhos futuros oriundos desta dissertação.

No capítulo 9, será realizada a sugestão de trabalhos futuros que podem advir deste trabalho, neste capítulo será feita várias sugestões de continuação ou aprofundamento de tema proposto que possam contribuir para as pesquisas futuras.

No capítulo 10, será realizada a listada a lista de publicações e / ou artigos utilizados na confecção deste trabalho.

1.7 Objetivos

Analisar os níveis de RNI emitidos pelas Estações Rádio Base (ERB) nas frequências emitidas pelas mesmas (downlink) na faixa de 2,5 Ghz em um distrito piloto com pontos predeterminados. Desta forma, com base nas normas de controle a exposição a RNI averiguar se as populações circunvizinhas estão em situação de risco a exposição as radiações não ionizantes (RNI) emitidas pelas estações rádio base (ERB) do serviço de telefonia celular nas frequências de 4G.

1.7.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo geral mensurar com o uso de equipamentos os níveis de RNI das comunidades circunvizinhas expostas aos campos eletromagnéticos oriundos das estações rádio base (ERB) emitidas pelas estações rádio base (ERB) do serviço de telefonia celular nas frequências de 4G na faixa de 2,5 Ghz em um determinado distrito piloto da ilha de São Luís.

1.7.2 Objetivos específicos

- a) Mensurar os níveis de radiações não ionizantes (RNI) prevalentes no entorno das comunidades próximas a aglomerações de estações rádio base de telefonia celular.
- b) Analisar segundo a luz da Resolução nº 303/02 da agencia nacional de telecomunicações (ANATEL), os níveis de RNI obtidos através das medições.
- c) Comparar segundo a luz da Resolução nº 303/02 da agencia nacional de telecomunicações (ANATEL), os níveis de RNI obtidos através das medições com os limites normativos, a fim de estabelecer a conformidade ou não das exposições das comunidades.
- d) Avaliar a utilização de equipamentos de medição portáteis x simulação numérica nas medições de radiação não ionizante (RNI) oriundas de Estações Rádio Base (ERB).
- e) Propor a elaboração de mapas de radiação não ionizante (RNI) das áreas estudadas afim de casar estas informações em um sistema de georeferenciamento de informações (GIS)
- f) Contribuir para o estudo das radiações não ionizantes (RNI), principalmente as emitidas pelas Estações Rádio Base (ERB).

1.8 Contribuição esperada pelo AUTOR

Espera-se que este trabalho possa atingir alguns propósitos essenciais que são uma tentativa de mudança de paradigma sobre o tema para com a comunidade acadêmica como também para com a sociedade geral com relação ao tema proposto. Cabe enfatizar alguns pontos primordiais que pretendemos abordar, sendo eles:

- Esclarecimento de algumas dúvidas sobre as RNI provenientes do sistema celular.
- Incentivo para futuras pesquisas tecnológicas das antenas usadas nas ERB, visando obtenção de uma maior defectividade e baixos níveis de SAR.
- Nortear os municípios através de seus órgãos competentes sobre a necessidade de monitoramento constante dos níveis de radiação eletromagnéticos, por meio de medições periódicas, em ambientes públicos e afluência ao público.
- Utilizar o Princípio da Precaução, pelo menos enquanto não se tem uma resposta conclusiva das diretrizes governamentais.
- Sugerir que as empresas possam gerar através dos seus departamentos de projetos o desenvolvimento de protótipos de comunicação e que minimizem as interações de RNI ao ser vivo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Nesta seção apresentaremos a revisão teórica necessária para a fundamentação deste trabalho. Será apresentado de forma resumida a teoria eletromagnética, os sistemas de telefonia móvel celular, bem como os princípios e componentes que o constituem, abordando as consequências do crescimento de demanda pelos mesmos

Também, neste capítulo faremos um resumo das teorias eletromagnéticas, dos tipos de radiações de radiações eletromagnéticas. Serão também abordados os conceitos de campo eletromagnético em regiões de campos próximos e distantes, e ainda seu enquadramento dentro do espectro eletromagnético.

2.1 Eletromagnetismo

2.1.1 Introdução ao eletromagnetismo

Desde a Grécia Antiga, fenômenos magnéticos e elétricos são conhecidos. Mas foi somente no início do século XVII que se começaram a formular explicações científicas destes fenômenos. Durante estes dois séculos, XVII e XVIII, célebres cientistas como William Gilbert, Otto von Guericke, Stephen Gray, Benjamin Franklin e Alessandro Volta, entre outros, dedicaram-se a investigar estes dois fenômenos separadamente e chegaram a conclusões coerentes com seus experimentos. (VALVERDE, 2017).

No início do século XIX, Hans Christian Orsted obteve evidência empírica da relação entre os fenômenos magnéticos e elétricos. A partir daí os trabalhos de físicos como André-Marie Ampère, Joseph Henry, Georg Simon Ohm, Michael Faraday foram unificados por James Clerk Maxwell em 1861 por meio de equações que descreviam ambos os fenômenos como um só: o fenômeno eletromagnético.

As equações de Maxwell demonstravam que os campos elétricos e magnéticos eram manifestações de um só campo eletromagnético. Além disso, descreviam a natureza ondulatória da luz, mostrando-a como uma onda eletromagnética com uma teoria única e consistente, que descrevia os fenômenos anteriormente julgados distintos, os físicos puderam realizar vários experimentos e inventos úteis, como a lâmpada elétrica (Thomas Alva Edison) ou o gerador de corrente alternada (Nikola Tesla). O êxito preditivo da teoria de Maxwell e a busca de uma interpretação coerente das suas implicações foi o que levou Albert Einstein a formular sua teoria da relatividade, que se apoiava em alguns resultados prévios de Hendrik Antoon Lorentz (SILVA, 2017).

Na primeira metade do século XX, com o advento da mecânica quântica, o eletromagnetismo teve sua formulação refinada, com o objetivo de adquirir coerência com a nova teoria. Isto se conseguiu na década de 1940, quando se completou a teoria quântica eletromagnética, mais conhecida como eletrodinâmica quântica.

2.2 Radiação eletromagnética

2.2.1 Introdução a radiação eletromagnética

A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero absoluto (0 Kelvin). Assim, todo corpo com temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como uma fonte de energia eletromagnética. O Sol e a Terra são as duas principais fontes naturais de energia eletromagnética no nosso meio (BLUNDELL; BLUNDELL)

A energia eletromagnética não precisa de um meio material para se propagar, sendo definida como uma energia que se move na forma de ondas eletromagnéticas à velocidade da luz (300.000 km/s). Dado que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas é diretamente proporcional à sua frequência e comprimento de onda, esta pode ser expressa por:

$$\lambda = \frac{C}{f} \quad (1.0)$$

Equação 1: Relação entre comprimento de onda e frequência

Onde:

- **C:** Velocidade da luz (m/s)
- **f:** frequência (ciclos/s ou Hz);
- **λ :** Comprimento de onda (m)

Sob uma perspectiva da mecânica quântica, a radiação eletromagnética (REM) é concebida como o resultado da emissão de pequenos pulsos de energia, enquanto que sob uma perspectiva da mecânica clássica ondulatória, a REM se propaga na forma de ondas formadas pela oscilação dos campos elétrico e magnético (HUANG, 1987).

Um feixe luminoso é composto por pacotes discretos de energia, caracterizados por consistirem em partículas ou fótons. A frequência da onda é proporcional à magnitude da energia da partícula. Como os fótons são emitidos e absorvidos por partículas, eles atuam como transportadores de energia. A energia de

um fóton é calculada pela equação de Planck-Einstein:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.0)$$

Equação 2- Relação entre a frequência e a energia da partícula

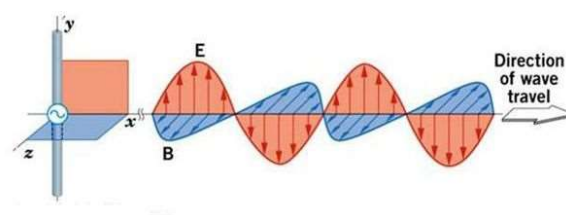
Onde:

- **E:** É a energia
- **C:** É a velocidade da luz
- **h:** É a constante de Planck
- **f:** É a frequência.

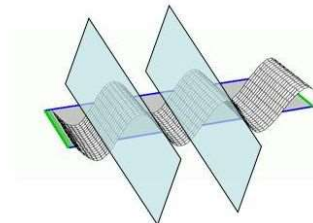
Se um fóton for absorvido por um átomo, ele excita o elétron da última camada fazendo com que o mesmo mude de nível energia. Se o nível de energia é suficiente, ele pula para outro nível maior de energia, podendo escapar da atração do núcleo e ser liberado em um processo conhecido como fotoionização.

Um elétron que descer ao nível de energia menor emite um fóton de luz igual a diferença de energia. Como os níveis de energia em um átomo são discretos, cada elemento tem suas próprias características de emissão e absorção. (HUANG, 1987).

Figura 1 –Esquema da representação dos campos elétrico e magnético e as oscilações mencionadas



- E e B propagam-se em fase.
- E e B são mutuamente perpendiculares.
- $E \times B$ aponta na direção de propagação



Fonte: Silva (2017)

Onde:

- E: campo elétrico
- M: campo magnético
- XY: plano de excitação do campo elétrico
- XZ: plano de excitação do campo magnético
- Z: direção de propagação da onda eletromagnética

2.2.2 Introdução ao espectro de radiação eletromagnética

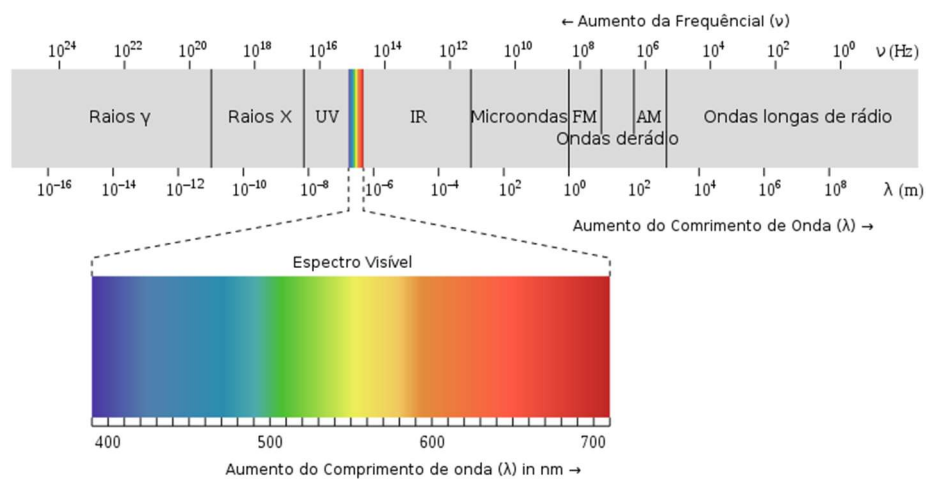
No modelo ondulatório a radiação eletromagnética (REM) é caracterizada em comprimentos de onda que representam a distância entre dois pontos de igual intensidade dos campos elétrico e magnético. O conjunto de comprimentos de onda que compõem a REM é conhecido como Espectro Eletromagnético.

A energia eletromagnética pode ser ordenada de maneira contínua em função de seu comprimento de onda ou de sua frequência, sendo esta disposição denominada de "espectro eletromagnético". Este espectro apresenta subdivisões de acordo com as características de cada região. Cada subdivisão é função do tipo de processo físico que dá origem a energia eletromagnética, do tipo de interação que ocorre entre a radiação e o objeto sobre o qual esta incide e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética.

O espectro eletromagnético é classificado normalmente pelo comprimento da onda, como as ondas de rádio, as micro-ondas, a radiação infravermelha, a luz visível, os raios ultravioletas, os raios X, até a radiação gama (KATZ, 2017).

O espectro eletromagnético se estende desde comprimentos de onda muito curtos associados aos raios cósmicos, até as ondas de rádio de baixa frequência e grandes comprimentos de onda, como mostra a figura abaixo.

Figura 1 – Espectro eletromagnético



Fonte: VILLATE (2017)

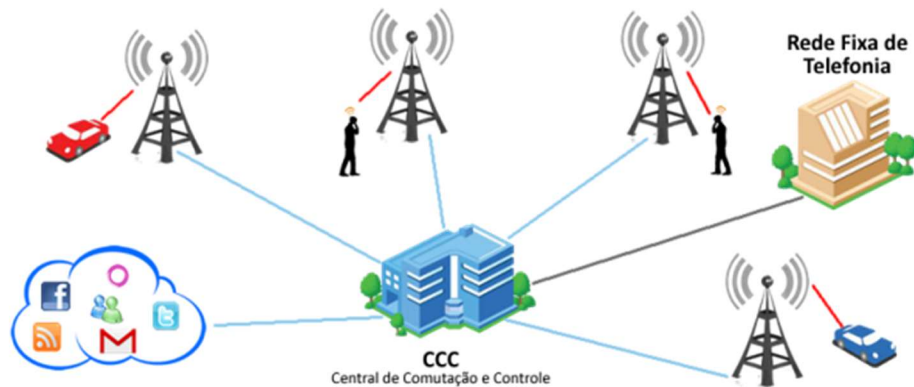
2.3 Telefonia celular

2.3.1 Introdução ao sistema celular

A telefonia celular é um sistema de comunicação na faixa de micro-ondas que utilizam aparelhos celulares (rádios transmissores – receptores portáteis) e um conjunto de antenas fixadas em torres, denominadas estações rádio base (rádios transmissor-receptores fixos), espalhadas na área de cobertura do sinal.

Uma região geográfica a ser atendida pelo serviço de telefonia móvel é subdividida em sub-regiões denominadas células. Os usuários desta célula, através dos seus aparelhos celulares se interligam a sua ERB de cobertura, que conseguinte está ligada via rádio ou fibra ótica a Central de Comutação e Controle, conforme mostra a figura-3.

Figura 2- Ideia geral do sistema de telefonia Móvel



Fonte: TELECO (2017)

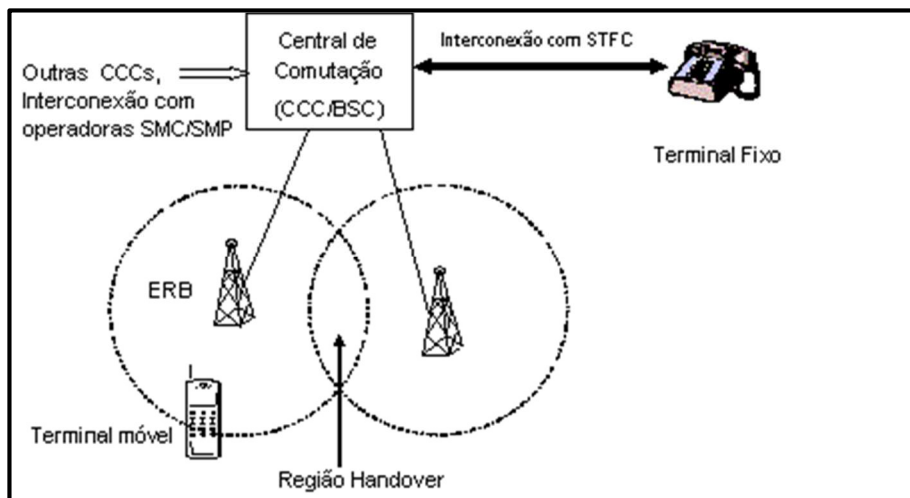
2.3.2 Composição de um sistema de telefonia móvel celular

Um sistema da telefonia móvel é composto basicamente por quatro componentes (ALENCAR, 2001), como mostra a figura abaixo.

Poderemos elencar estes componentes, conforme abaixo:

- Centro de Comutação e Controle (CCC);
- Estação Rádio Base (ERB);
- Aparelho Celular (Estação Móvel); e
- Rede de Telefonia Pública Comutada (RTPC).

Figura 3 – Composição geral do sistema de telefonia Móvel



Fonte: TELECO (2017)

2.3.2.1 Central de comutação e controle (CCC)

É um conjunto de equipamentos, mais precisamente uma central telefônica que faz o controle das Estações Rádio Base (ERB) e permite a comunicação entre outras central de comutação e controle (CCC), processamento de chamadas, interface com a rede fixa de telefonia e várias outras funções.

Uma CCC é uma central de comunicação com software que executa diversos processos como interligar terminais, executar controle e gerenciamento do hardware. De uma forma básica, uma CCC tem a função de conectar uma rede móvel (celular) à linha telefônica, porém é preciso uma série de equipamentos necessários para que estes dispositivos consigam conectar os celulares aos telefones fixos ou moveis.

2.3.2.2 Estação Rádio Base (ERB)

Estação Rádio Base (ERB) ou “Cell site” é uma denominação dada a um sistema de hardware de que faz a interligação de dados ou voz oriundos da telefonia celular para as estações Fixas comutáveis, fazendo a ligação com que os terminais móveis ou fixos do sistema fixo de telefonia comutável (ALENCAR, 2001).

A ERB está conectada a uma Central de Comutação e Controle (CCC) que tem interconexão com o serviço telefônico fixo comutado (STFC) e a outras CCC, permitindo chamadas entre os terminais celulares e deles com os telefones fixos comuns.

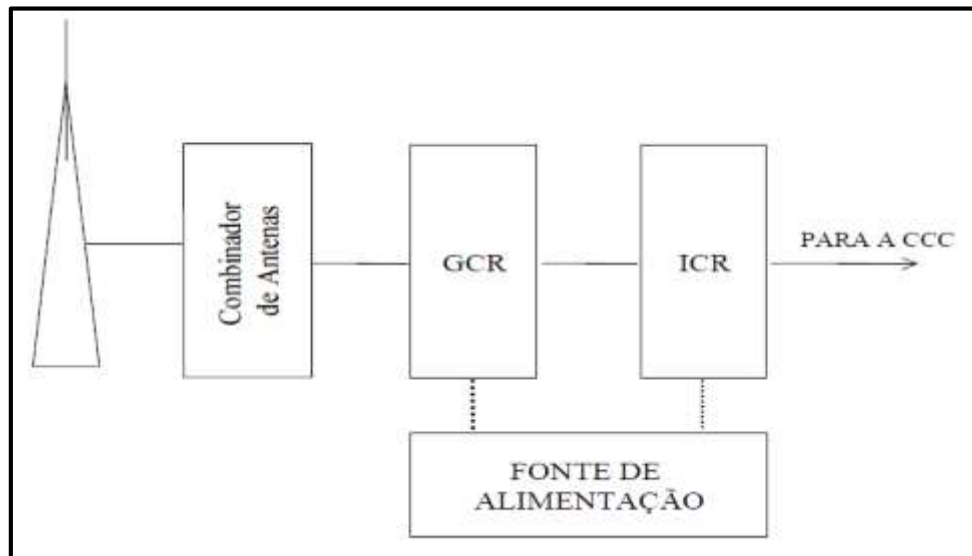
2.3.2.2.1 Partes da estação rádio base

A arquitetura básica das Estações Rádio Base (NASCIMENTO, 2000), pode ser definida, conforme abaixo.

- Local onde será implantada.
- Infraestrutura das torres para a instalação dos equipamentos de telecomunicação
- Obras civil, elétrica, climatização e energia CC, baterias, Grupo Moto Gerador (GMG).

- Colocação de antenas para comunicação com os terminais móveis e enlace de rádio para a CCC.
- Equipamentos de Telecomunicações

Figura 4 – Unidades funcionais de uma ERB



Fonte: TELECO (2017)

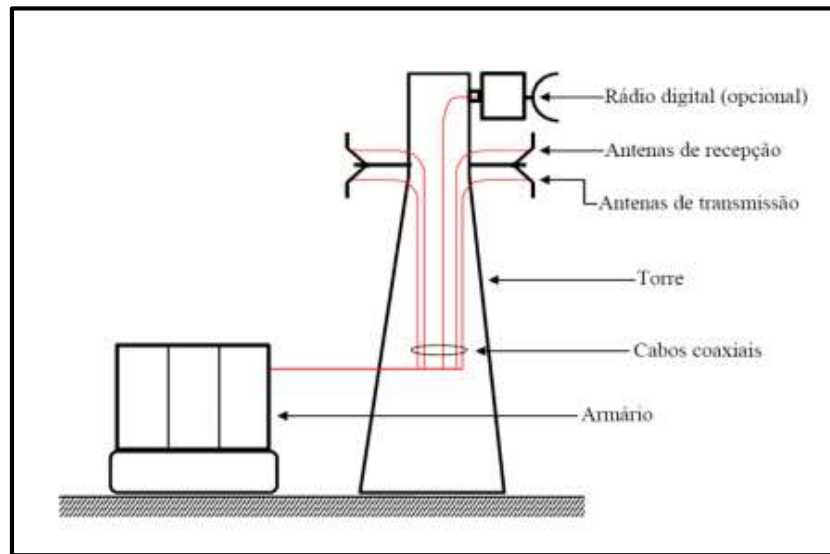
2.3.2.2.2 Tipos de Estação Rádio Base (ERB)

As estações rádio base podem utilizar equipamentos de telecomunicação “indoors” (dentro de compartimentos), cujas características de fabricação determina a necessidade de uma infraestrutura de climatização, como também equipamentos “outdoors” (fora de compartimentos), que são unidades autônomas, previamente concebidas para exposição ao ar livre e dimensionadas para obter uma ventilação apropriada.

Mas basicamente podemos afirmar que existem dois tipos de ERB, a saber:

- Greenfield – aquelas que são instaladas em terrenos, ou seja, no solo.
- Roof Top – aquelas instaladas em pavimentos de cobertura de edifícios

Figura 5 – Representação funcional de uma ERB



Fonte: TELECO (2017)

Foto 1 – ERB Rooftop



Fonte: O AUTOR

Foto 1 – ERB Greenfield



Fonte: O AUTOR

2.4 Teorias eletromagnéticas

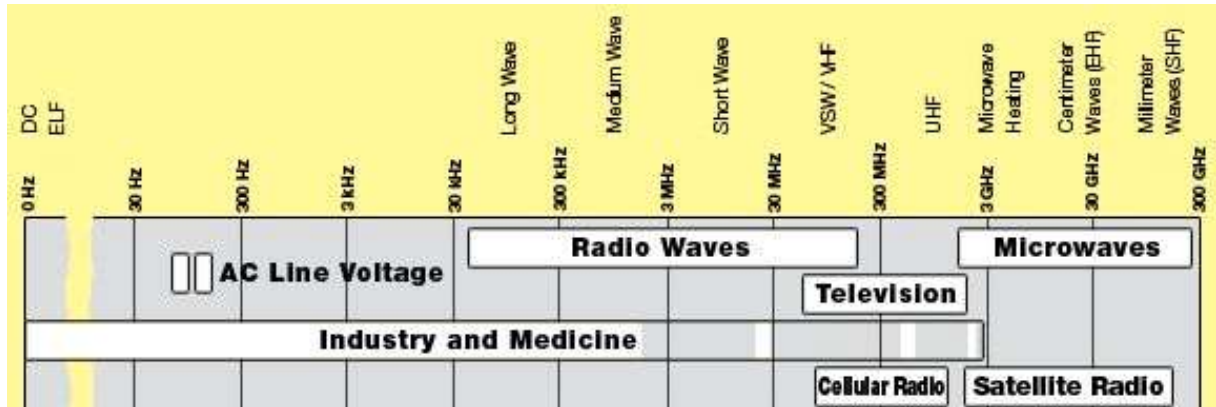
2.4.1 Introdução ao eletromagnetismo

As ondas eletromagnéticas são uma consequência da formação do campo eletromagnético, e se propagam através do vácuo com a velocidade da luz. Elas são portadoras de energia, e quando se propagam no espaço, podem transferir energia para corpos que se encontram em sua trajetória. Estas ondas são geradas por cargas elétricas que oscilam, ou seja, quando temos campos elétrico e magnético oscilante e perpendiculares entre si e à direção da propagação da onda, sendo consideradas ondas transversais. (SERWAY, 1992).

Matematicamente, um campo eletromagnético é um campo composto de dois vetores campo: o campo elétrico (E) e o campo magnético (B), que caracterizam esses dois campos e possuem um valor definido a cada ponto no espaço e tempo.

De acordo com a faixa de frequência, definimos a aplicação da onda eletromagnética, ilustrada como na figura abaixo:

Figura 6 – Faixas de ondas Eletromagnéticas



Fonte: Narda STS/USA

2.4.2 A radiação eletromagnética – teoria de campos

A radiação eletromagnética pode ser assim definida: propagação do efeito conjunto do campo elétrico e magnético. Pode-se melhorar a compreensão com o seguinte argumento: considere-se um corpo qualquer, constituído por átomos, os quais, dentre outras partículas são compostos por elétrons e prótons, partículas com uma propriedade especial de mútua atração e auto repulsão, chamada **carga elétrica**. Sempre que essas partículas são separadas, estabelece-se um desequilíbrio e o ambiente que as contém apresenta a propriedade de afetar quaisquer outras cargas ali contidas, buscando a neutralidade original, essa região é chamada **campo elétrico**. Por outro lado, uma carga em movimento tende a afetar o movimento de outra carga em sua proximidade, a região onde este efeito acontece é chamada **campo magnético**.

Assim, o campo elétrico pode ser dito como consequência da existência de carga elétrica e o campo magnético consequência de seu movimento. Dessa forma quando se tem uma carga em movimento, temos ambos os efeitos associados.

Um meio com cargas elétricas livres, submetidas a um campo elétrico, permite um fluxo destas, transferindo **energia** de um ponto a outro, pelo movimento das cargas. O efeito combinado de variação do movimento de cargas que provoca o

surgimento de novas cargas (e campo elétrico), que por ser fruto de variação também se deslocam quando um caminho o permite, criando um campo magnético também variável.

Assim pode-se dizer que um **campo magnético variável** produz um **campo elétrico variável** o qual por sua vez produz um campo magnético variável e assim sucessivamente. Esse fenômeno propaga-se independentemente da presença de cargas elétricas. O fenômeno da **radiação eletromagnética** só acontece quando se tem campos variáveis no tempo, isto é, quando as cargas elétricas têm seu movimento alternado, ora em um sentido, ora noutro.

Quando os campos não variam, não se tem radiação eletromagnética. Acrescente-se também que a propagação da radiação eletromagnética depende da rapidez (frequência) de variação dos campos.

As **Equações de Maxwell** representam a síntese das relações entre campos elétricos e magnéticos, bem como suas manifestações. De forma simples seu significado pode ser assim apresentado, conforme abaixo:

1. A Indução Magnética é proporcional à Densidade de Corrente e à variação da Indução Elétrica.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (3.0)$$

Equação 3-Equação da Indução Magnética

2. O Fluxo Magnético é conservativo

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4.0)$$

Equação 4- Equação da Indução Magnética

3. O Campo Elétrico é proporcional à variação da Indução Magnética.

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (5.0)$$

Equação 5- Equação do campo Elétrico

4. A Indução Elétrica é proporcional à Densidade de Carga Elétrica.

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (6.0)$$

Equação 6-Equação da indução Elétrica

5. Definição do vetor Rotacional (Produto Vetorial).

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{K} &= \text{Rot}K(x, y, z) \\ &= \left(\frac{\partial K_z}{\partial y} - \frac{\partial K_y}{\partial z} \right) .i + \left(\frac{\partial K_x}{\partial z} - \frac{\partial K_z}{\partial x} \right) .j + \left(\frac{\partial K_y}{\partial x} - \frac{\partial K_x}{\partial y} \right) .k \quad (7.0) \end{aligned}$$

Equação 7-Rotacional de uma função

6. Definição de vetor gradiente ou simplesmente gradiente (Produto Escalar)

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \vec{A} &= \text{grad}A(x, y, z) \\ &= \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial x} .i + \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial y} .j + \frac{\partial A(x, y, z)}{\partial z} .k \quad (8.0) \end{aligned}$$

Equação 8- Gradiente de uma função

É necessário destacar ainda as seguintes relações, complementares entre as outras grandezas eletromagnéticas conforme a seguir:

7. A Indução Magnética depende do Campo Magnético e da permeabilidade Magnética.

$$\vec{B} = \|\mu\| \cdot \vec{H} \quad (9.0)$$

Equação 9-Equação da indução do Campo Magnético

8. A Indução Elétrica depende do Campo Elétrico e da Permissividade Elétrica.

$$\vec{D} = \|\varepsilon\| \cdot \vec{E} \quad (10.0)$$

Equação 10- Equação da indução do campo Elétrico

9. A Densidade de Corrente depende do Campo Elétrico e da Condutividade Elétrica.

$$\vec{J} = \|\sigma\| \cdot \vec{E} \quad (11.0)$$

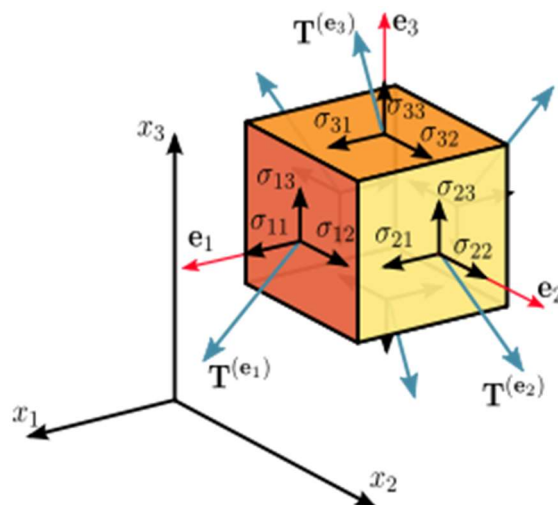
Equação 11- Equação da densidade de corrente Elétrico

O operador tensor foi usado não apenas a grandeza escalar permeabilidade magnética, mas para dar a conotação de “tensor de permeabilidade”, que significa na prática que o fluxo magnético pode ter comportamento muito adverso dentro de um determinado volume e ainda se suas propriedades forem anisotrópicas, os campos elétricos, magnéticos e densidades podem variar em diferentes direções, como também de forma não linear, variando com a intensidade do campo aplicado. Raciocínio semelhante também se aplica as demais grandezas: Fluxo Elétrico e à Densidade de Corrente.

10. Tensor de uma grandeza

Tensores são entidades geométricas introduzidas na matemática e na física para generalizar a noção de escalares, vetores e matrizes. Assim como tais entidades, um tensor é uma forma de representação associada a um conjunto de operações tais como a soma e o produto.

Figura 7 – Ilustração de Tensor



Fonte: O AUTOR

$$\|\sigma\| = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} \quad (12.0)$$

Equação 12-Forma vetorial de um tensor de sum sistema cartesiano x,y,z

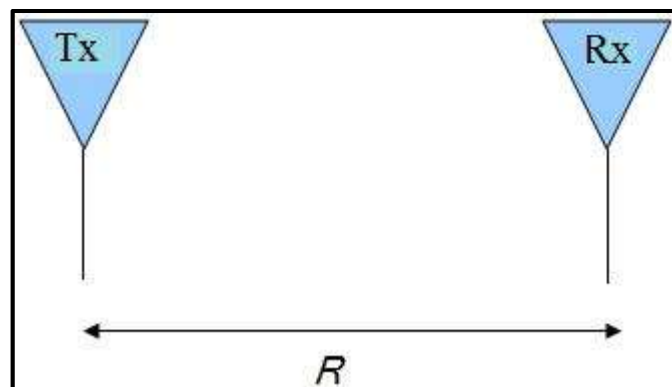
2.4.3 Antenas

Antena é um dispositivo que transforma energia eletromagnética guiada pela linha de transmissão em energia eletromagnética irradiada, ou o contrário, isto é, transforma energia eletromagnética irradiada em energia eletromagnética guiada para a linha de transmissão.

Desta maneira, a função da antena é primordial em qualquer comunicação realizada por radiofrequência. A relação entre as potências de emissão e recepção é proporcional e obedece à Fórmula de Friis.

Esta equação relaciona a potência transmitida de uma antena para outra em determinadas condições. Esta equação considera, a razão da potência recebida pela antena de recepção, sobre a potência transmitida à antena de transmissão.

Figura 8 – Representação simbólica de 02 antenas Tx:Transmissão e Rx:Recepção



Fonte: O AUTOR

A equação mostra que a quantidade de potência transferida entre duas antenas é proporcional ao produto dos ganhos das antenas. De acordo com isto, deficiências de baixo ganho em antenas de transmissão podem ser compensadas com um ganho alto em antenas de recepção e vice-versa. Isto é muito importante em várias aplicações práticas, dado que é por vezes necessário uma antena ter baixo ganho devido a restrições de tamanho, peso ou potência disponível, como acontece com as antenas situadas em satélites ou naves espaciais.

$$\frac{P_t}{P_r} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4 \pi R} \right)^2 \quad (13.0)$$

Equação 13-Formula de Friis

Onde:

- P_t : Potencia de transmissão
- G_t : Ganho da antena de transmissão
- P_r : Potencia de Recepção
- G_r : Ganho da antena de Recepção

Os ganhos das antenas são medidos com respeito a antenas isotrópicas (em unidades lineares e não em decibéis), com o comprimento de onda e a distância nas mesmas unidades.

A fórmula postula que a quantidade de potência transferida entre duas antenas é proporcional ao produto dos ganhos das antenas. De acordo com isto, deficiências de baixo ganho em antenas de transmissão podem ser compensadas com um ganho alto em antenas de recepção e vice-versa. Isto é muito importante em várias aplicações práticas, dado que é por vezes necessário uma antena ter baixo ganho devido a restrições de tamanho, peso ou potência disponível, como acontece com as antenas situadas em satélites ou naves espaciais.

As antenas devem estar com a mesma polarização e também devem estar orientadas de maneira a que cada antena radie na direção de máxima radiação da outra. As condições ideais quase nunca são alcançadas em condições terrestres ordinárias, devido a obstruções, reflexões em edifícios e, ainda mais importante, devido a reflexões na terra.

Se as antenas não tiverem a mesma polarização, deveremos incrementar a fórmula o fator de perda de polarização (PLF), ficando a fórmula com a seguinte postulação.

$$\frac{P_t}{P_r} = PLF \times G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4 \pi R} \right)^2 \quad (14.0)$$

Equação 14-Formula de Friis para antenas não polarizadas

Onde:

- P_t : Potencia de transmissão
- G_t : Ganho da antena de transmissão
- P_r : Potencia de Recepção
- G_r : Ganho da antena de Recepção
- PLF: Polarization Loss Factor (fator de perda de polarização)

A equação de Friis pode ser simplificada introduzindo-se o conceito de decibel e usando artifícios matemáticos, como a aplicação do logaritmo de base 10. Fazendo-se as devidas aplicações em ambos os membros da equação a mesma ficará com a forma a seguir.

$$[P_r]_{dB} = [P_t]_{dB} + [G_t]_{dB} + [G_r]_{dB} + \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \right]_{dB} \quad (15.0)$$

Equação 15-Formula de Friis remodelada com o uso do logaritmo

Onde:

- Pt: Potencia de transmissão
- Gt: Ganho da antena de transmissão
- Pr: Potencia de Recepção
- Pt: Ganho da antena de Recepção

2.4.3.1 Histórico das antenas

As primeiras antenas, presume-se, foram criadas por Heinrich Hertz, em 1886, com a finalidade de auxiliar no estudo e desenvolvimento das teorias eletromagnéticas. Hertz pesquisou diversos dispositivos durante a realização de seus experimentos para testar e provar a teoria eletromagnética, proposta pelo matemático e físico James Clerk Maxwell.

Estas primeiras antenas de que se tem notícia eram formadas por duas placas de metal conectadas a dois bastões metálicos. Estes dispositivos eram ligados a duas esferas, separadas entre si por uma distância pré-determinada. Nas esferas era adaptada uma bobina, que gerava descargas por centelhamento, e as centelhas, ao atravessarem o espaço entre esferas, produziam ondas eletromagnéticas oscilatórias nos bastões.

Em 1901, Marconi estava emitindo a informação através do atlântico. Por uma antena de transmissão, ele usou vários fios verticais presos ao solo. Do outro lado do Oceano Atlântico, a antena de recepção era um fio de 200 metros sustentado por uma pipa (SERWAY, 1992).

Desde as primeiras antenas, no fim do século 19, até a atualidade, os princípios físicos que regem seu projeto e desenvolvimento foram aprimorados, com novas maneiras e tecnologias de se transmitir e receber sinais eletromagnéticos.

Fazendo um breve relato no tempo de algumas das principais antenas e suas datas da descoberta / fabricação, poderemos enumerar (BALANIS, 1992):

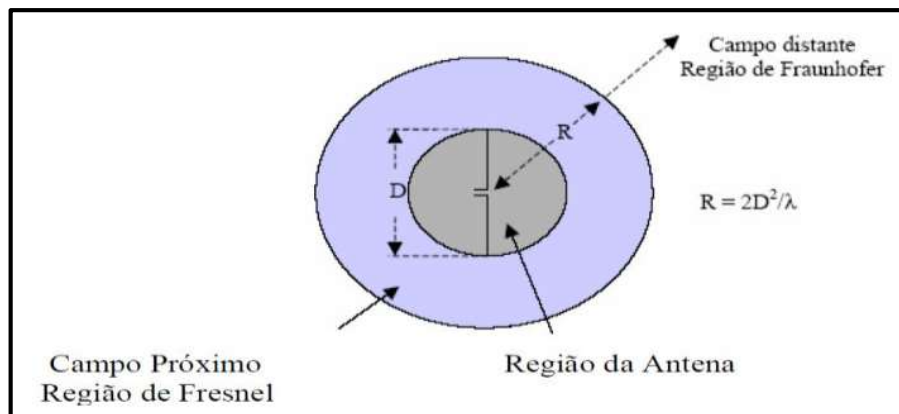
- Antena Yagi-Uda, 1920
- Antenas de chifre (Horn), 1939.
- Antena em Malha (Arrays), anos 40
- Refletores parabólicos, final dos anos 1940 -1950
- Antenas tipo Patch (Rectangular Microstrip Antenas), 1970.
- Antenas tipo PIFA (Planar Inverted -F Antenas), década de 1980.

As antenas atuais em alguns casos são estruturas de extrema complexidade e importância nas comunicações, sendo talvez para o homem moderno tão importantes quanto foi a descoberta do fogo e a invenção da roda para o desenvolvimento tecnológico humano.

2.4.3.2 Regiões de campo eletromagnético das antenas

As linhas de fluxo oriundas da emissão de ondas eletromagnéticas são linhas concêntricas que transportam energia em forma de ondas. Este deslocamento da energia, define-se como propagação, e a energia contida nas ondas, chama-se energia irradiada.

Figura 9 – Figura Ilustrativa dos regiões dos campos em uma antena adaptado



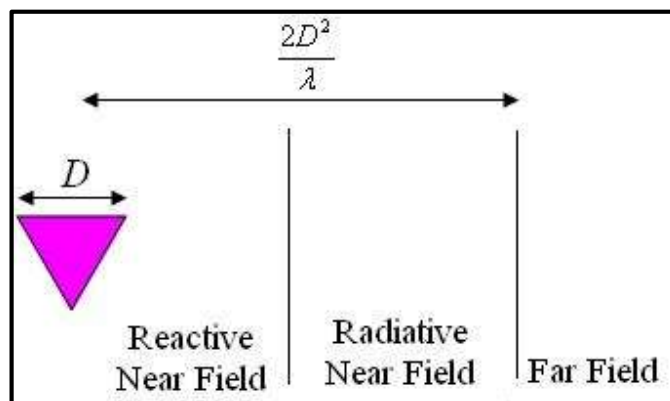
Fonte: RAWER (1992)

O “**campo próximo**” por definição são os campos mais próximos da antena que deixam de existir imediatamente ao cessar a passagem de corrente elétrica. Também são chamados de campo de "Fresnel" ou “campo de indução”.

Analogamente ao caso anterior as linhas que se propagam no espaço e continuam carregando consigo toda a energia irradiada, se denomina “**campo distante**” também conhecidos como " campo de Fraunhofer" ou "campo de irradiação".

Desta definição, poderemos afirmar que o campo elétrico na região distante varia com o inverso da distância, enquanto que na região próxima isto não acontece.

Figura 10 – Figura Ilustrativa dos tipos de Campo adaptado



Fonte: RAWER (1992)

Na região de campo próximo, os campos elétricos e magnéticos variam ao longo da direção de propagação. Os campos elétrico e magnético não são mais perpendiculares. Nesta região, a estrutura do campo eletromagnético não é homogênea. Neste caso, são necessárias medições dos dois campos (elétrico e magnético) para determinação dos valores exatos. Nas imediações da antena, temos o campo próximo reativos. Em sua região, os campos magnético e elétrico estão fora da fase em 90 graus entre si (TEORY, 2017).

As regiões de campo próximo e distante obedecem a relação abaixo:

$$\frac{2 D^2}{\lambda} \leq R \leq 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (16.0)$$

Equação 16-Relação entre as distancias de campo próximo reativo, campo próximo e campo distante em uma antena [24]

Onde:

- D: É a maior dimensão da antena da Antena;
- R: É a distância da antena;
- Λ : É o comprimento de onda.

Conforme explicado anteriormente as regiões de campo distante, tem relações bem definidas entre as grandezas, devido as características das ondas, fazendo com que as mesmas obedeçam a relação abaixo:

$$S = E \times H = \frac{E^2}{377} = H^2 \times 377 \quad (17.0)$$

Equação 17-Relação entre campo elétrico e magnético e vetor de Vector de Poynting

Onde:

- S: É o valor do Vector de Poynting;
- E: É a intensidade do campo elétrico;
- H: É a intensidade do campo magnético;
- Zo: É a Impedância do espaço livre ($120\pi=377$);

Um campo magnético pode ser especificado em duas maneiras: Ou como fluxo de densidade magnética B, expressa em Tesla (T) ainda como campo magnético H, expresso em ampère por metro (A / m). As duas quantidades são relacionadas pela fórmula:

$$B = \mu_0 H \quad (18.0)$$

Equação 18-Relação entre densidade de fluxo de campo magnético e intensidade de campo magnético

Onde:

- B: É a Densidade de fluxo de campo magnético.
- μ_0 : É a constante de permeabilidade magnética ($4\pi \times 10^{-7}$)
- H: É a intensidade do campo magnético.

O campo elétrico interno e a densidade de corrente estão relacionados com a condutividade elétrica do meio (σ). As duas quantidades são relacionadas pela Lei de Ohm:

$$J = \sigma E \quad (19.0)$$

Equação 19-Relação entre intensidade de carga e campo elétrico

Onde:

- J: É a intensidade de corrente das cargas livres
- σ : É condutividade elétrica do meio
- E: É a intensidade do campo magnético.

Para a avaliação de campos eletromagnéticos a intensidade de campo elétrico e a densidade de corrente são grandezas comumente aceitas, sem que se

faça distinção em frequência. No entanto, as quantidades normalmente usadas em normas nacionais e internacionais levam em conta diferentes faixas de frequências:

Densidade de corrente (J), na faixa de frequências até 10 MHz; Corrente (I), na faixa de frequências até 110 MHz;

- Taxa de absorção específica SAR, para campos pulsados, na faixa de frequências de 300 MHz a 10 GHz;
- Densidade de potência (S), na faixa de frequências de 10 GHz a 300 GHz.

A taxa de absorção específica (SAR), definida como a taxa de absorção de energia pelos tecidos do corpo, é medida em watt por quilograma (W/kg). A SAR então, depende dos parâmetros do campo, frequência, intensidade, polarização e configuração fonte-objeto; das características do corpo, tamanho, geometria interna e externa e propriedades dielétricas dos vários tecidos; e dos efeitos de aterramento e reflexão de outros objetos no campo próximo ao corpo exposto. Assim, define-se:

$$SAR = \frac{1}{V} \int_{amostra} \frac{\sigma(r) \times |E(r)|^2}{\rho(r)} \quad (20.0)$$

Equação 20-Relação entre SAR e o campo elétrico a qual a amostra é submetido.

Onde:

- SAR: É a taxa de absorção específica do material da amostra
- V: É o volume do material da amostra
- E: É o campo elétrico aplicado na amostra
- σ : É a condutividade elétrica da amostra
- ρ : É a densidade da amostra.

Fazendo as considerações que a temperatura do corpo tendera a aumentar (efeito térmico), teremos também a seguinte relação.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{SAR}{c} \quad (21.0)$$

Equação 21-Relação entre a SAR e a temperatura

Onde:

- SAR: É a taxa de absorção específica do material da amostra (W/kg)
- T: É a temperatura do material da amostra (°C)
- t: É o tempo de verificação aplicado na amostra (s)
- c: É a capacidade de calor específico da amostra (J/kg)

Desta maneira, a SAR pode ser entendida como a quantidade de radiação que é absorvida pelos tecidos humanos ao usar os telefones celulares. Quando a taxa SAR é muito alta representa a radiação absorvida também é muito alta. Este valor de SAR é normalmente medido em unidades de watts por quilograma (W / kg) em 1 ou 10 gramas de tecido, simplificando os cálculos em níveis de RMS, teremos:

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (22.0)$$

Equação 22-Equação da SAR em função do campo elétrico e a condutividade do tecido

Onde:

- SAR: É a taxa de absorção específica (W/kg)
- E: É o valor RMS do campo elétrico submetido a amostra (V/m)
- t: É a Condutividade de vários tecidos humanos
- P: É a Densidade do tecido humano (kg/m³)

Haja vista a grande quantidade de grandezas envolvidas, faremos um breve resumo das grandezas e suas respectivas unidades, conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 – Principais grandezas eletromagnéticas

| GRANDEZA | SÍMBOLO | UNIDADE |
|------------------------------|------------|---|
| Condutividade | σ | Siemens por metro (S / m) |
| Corrente | I | Ampere (A) |
| Densidade de corrente | J | Ampere por m ² (A / m ²) |
| Frequência | f | Hertz (Hz) |
| Campo elétrico | E | Volt por metro (V / m) |
| Campo magnético | H | Ampère por metro (A / m) |
| Densidade de fluxo magnético | B | Tesla (T) ou Gauss (G) |
| Permeabilidade magnética | μ | Henry por metro (H / m) |
| Permissividade | ϵ | Farad por metro (F/m) |
| Densidade de potência | S | Watt por metro quadrado (W/m ²) |
| Absorção específica | AS | Joule por quilograma (J/Kg) |
| Taxa de absorção específica | SAR | Watt por quilograma (W/Kg) |

Fonte: O AUTOR: Adaptado das diretrizes da ANATEL

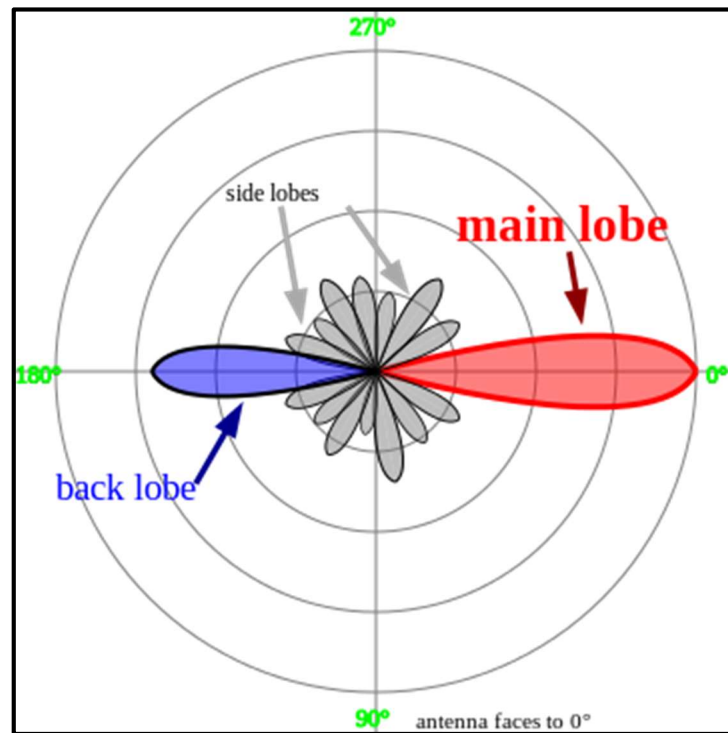
2.4.3.3 Diagrama de radiação das antenas

O diagrama de irradiação nada mais é do que o mapeamento da distribuição de energia irradiada, levando em conta o campo tridimensional. Este se faz de duas maneiras, ou em campo ou através de simulação computacional. Geralmente a radiação de uma antena é mensurada com a unidade dBi.

Para levantar-se o diagrama de irradiação, deve-se tomá-lo a partir de uma distância e localização onde não seja possível a interferência de elementos estranhos ao meio onde se encontram a antena de prova e a antena de teste.

O resultado deste levantamento temos o que chamamos de diagrama de irradiação do campo da antena, e por consequência torna-se mister em suas especificações se tratamos de campo ou de potência, se a polarização é vertical, ou horizontal, e o principal, o levantamento, sempre que possível deve ser executado em 360 graus.

Figura 11 – Exemplo de Diagrama de antenas



Fonte: RAWER (1992)

2.4.3.4 Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é o intervalo completo de todas as possíveis frequências da radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético se estende desde as ondas de baixa frequência, ondas de rádio, até as de maior frequência como as da radiação gama (VILLATE, 2011).

As interações eletromagnéticas se fazem das mais diversas maneiras com a matéria pois, interagem de diferentes formas ao longo do espectro. Os tipos de interações podem ser tão diferentes que se pode referir a elas como diferentes tipos de radiações. Ao mesmo tempo há uma continuidade entre as diferentes radiações. Por este motivo, dividimos o espectro baseado em suas diferentes interações com a matéria, segue tabela ilustrativa deste fenômeno abaixo:

Tabela 2-Principais interações do espectro eletromagnético com a matéria adaptado

| Região do Espectro | Principais Interações com a Matéria |
|----------------------------|---|
| Radio | Oscilações coletivas de partículas. Um exemplo seria a oscilação de elétrons em uma antena. |
| Micro-ondas | Oscilação plasma, rotação molecular |
| Infravermelho | Vibração molecular, oscilação plasma (apenas em metais) |
| Visível | Excitação de elétron molecular, oscilação plasma (apenas em metais) |
| Ultravioleta | Excitação molecular e de elétrons de valência, incluindo ejeções de elétrons (efeito fotoelétrico) |
| Raio-X | Excitação e ejeção de elétrons, Efeito Compton (para números atômicos baixos) |
| Raios gama | Ejeção energética de elétrons do átomo, Efeito Compton excitação do átomo do núcleo, incluindo dissociação do núcleo |
| Raios gama de alta energia | Criação de pares de partícula-antipartícula. Um único fóton de alta energia pode criar várias partículas de alta energia e antipartícula através da interação com a matéria |

Fonte: CARDOSO (2004)

Tabela 3- Espectro eletromagnético e suas aplicações adaptado

| Frequência | Símbolo | Nome | Aplicação |
|-------------------|----------------|--------------------------|---|
| 3 a 30 Hz | ELF | Extremamente Baixa | Comunicação com submarinos. |
| 300 a 3000 Hz | ULF | Ultra Baixa | Comunicação com minas. |
| 30 a 300 KHz | LF | Baixa (Ondas longas) | Transmissão de dados internacionais, torres de auxílio de navegação (marinha e aeronáutica). |
| 300 a 3000 KHz | MF | Média (Ondas médias) | Rádios AM, torres de auxílio de navegação (marinha e aeronáutica). |
| 3 a 30 MHz | HF | Alta (Ondas curtas) | Rádio HF, Radiodifusão (civil, militar, comercial). Propagam-se até grandes distâncias através de saltos por deflexão nas camadas da ionosfera. |
| 30 a 300 MHz | VHF | Muito Alta | Rádio FM, televisão, polícia, bombeiros, tráfego aéreo. |
| 300 a 3000 MHz | UHF | Ultra Alta | Telefonia celular, redes sem fio. Televisão, polícia, bombeiros, tráfego aéreo. |
| 3 a 30 GHz | SHF | Super Alta (Micro-ondas) | Redes sem fio e satélites. |

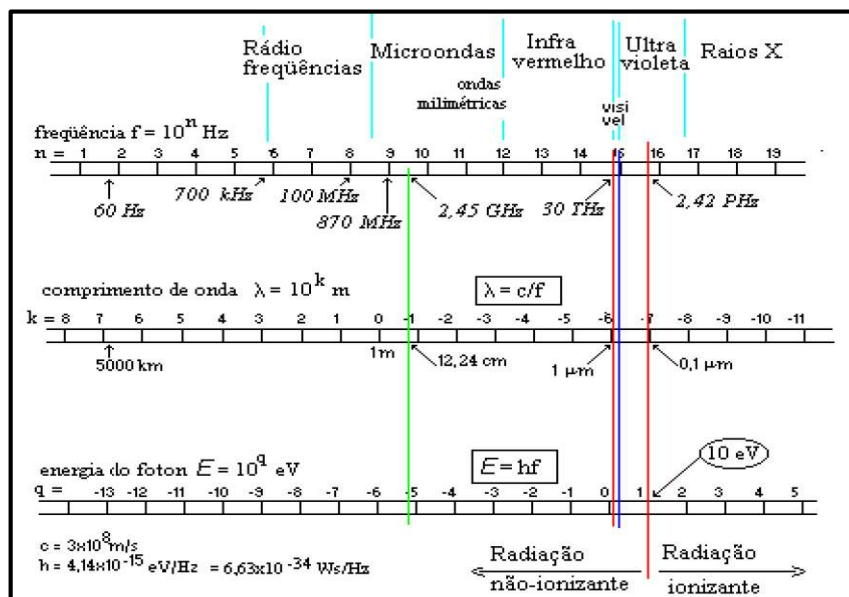
| | | | |
|--------------|-----|--------------|--|
| 30 a 300 GHz | EHF | Extremamente | Micro-ondas em celulares, redes de computadores sem fio, radares, radioastronomia e sistemas de armas avançadas. |
|--------------|-----|--------------|--|

Fonte: CARDOSO (2005)

Uma comparação ilustrativa do espectro eletromagnético é feita a seguir levando em consideração outros aspectos e também localizando as principais regiões de aplicação tecnológica é mostrado na figura 12 e 13 abaixo.

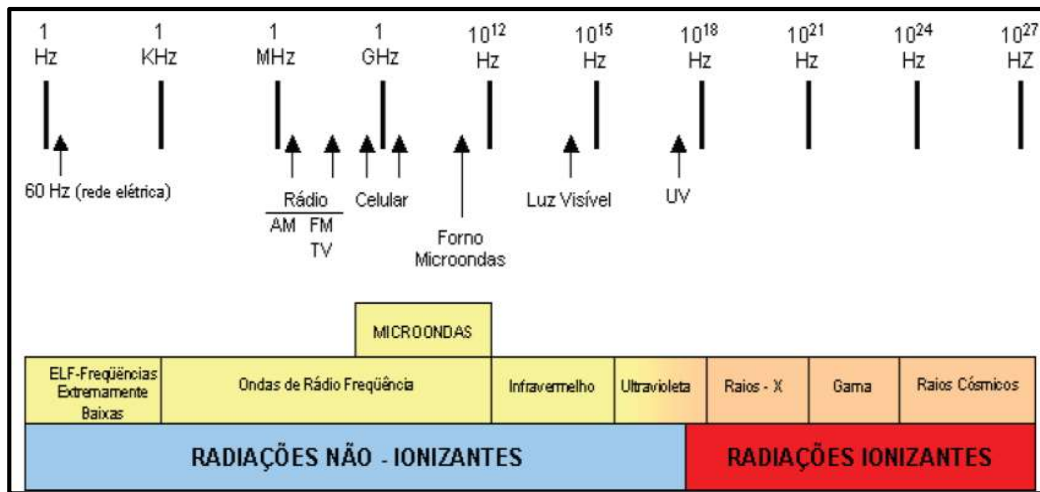
Na figura 13 destaca-se a distância, nos níveis de frequência, entre a radiação não ionizante e ionizante.

Figura 12 – Espectro magnético e suas aplicações adaptado



Fonte: NASCIMENTO (2000)

Figura 13 – Espectro magnético e a comparação das radiações Ionizantes x não ionizantes adaptado



Fonte: SALLES (2004)

3 NORMAS E LIMITES DA EXPOSIÇÃO HUMANA A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

3.1 Introdução às normas

Com a proliferação de fontes de energia eletromagnética na faixa de frequência não ionizante no meio ambiente, principalmente em função do sistema de telefonia celular, torna-se necessário dispor de normas que determinem o limite máximo de exposição com recomendações de segurança para todo espectro de frequência eletromagnética, tanto para a exposição profissional, quanto para o público em geral.

As normas distinguem sempre dois ambientes para a sua aplicação: O ambiente ocupacional, também conhecido como controlado e de público geral, também conhecido como não controlado. Nos ambientes não controlados é aplicado um maior fator de segurança, devido incluir pessoas mais sensíveis (crianças, idosos), maior tempo de exposição (24 horas/dia), exposição não voluntária e falta de proteção e conhecimento específico.

Estas normas de segurança são baseadas em dados fornecidos por estudos científicos em todo mundo e são revisadas periodicamente. Elas são focadas principalmente na preocupação com os possíveis efeitos biológicos, abordam também

os parâmetros que trazem consequência para saúde humana, resultante da exposição à rádio frequência (RF), seja através dos efeitos térmicos e/ ou não térmicos.

O primeiro esforço significativo para estabelecer limites internacionais de exposição às radiações não ionizantes (RNI) foi por iniciativa da Internacional Radioactive Protection Association (IRPA), que formou um grupo de trabalho sobre RNI para examinar as questões de radioproteção. Em 1977, este grupo de trabalho tornou-se o International Non Ionizing Radiation Commission (INIRC).

Dentro do programa da Organização Mundial da Saúde (OMS) sobre Saúde Ambiental, a IRPA e o INIRC desenvolveram vários critérios de saúde ambiental e documentos sobre RNI, cada um dos quais incluía diversos resumos das características físicas, medição e instrumentação, origens e aplicações da RNI, uma ampla revisão da literatura sobre efeitos biológicos, e uma avaliação dos riscos para a saúde da exposição à RNI. Estes critérios de saúde ambiental forneceram a base de dados científicos para o desenvolvimento posterior dos limites de exposição e códigos de boas práticas relativas à proteção da exposição às RNI (LASR, 2010).

Em 1996, a Organização Mundial de Saúde (OMS), iniciou o Projeto Internacional de Campos Eletromagnéticos e Saúde (International EMF Project), com os seguintes objetivos [36] (WHO, 2006).:

- Adotar normas internacionais de cunho científico;
- Harmonizar as normas nacionais;
- Ordenar as pesquisas, discutir e padronizar os níveis de segurança;
- Atender a crescente preocupação pública sobre os possíveis efeitos deletérios da exposição humana a campos eletromagnéticos

A OMS ainda examina, aprova e publica as recomendações e as normas internacionais, sobre radiações eletromagnéticas não ionizantes, desenvolvidas pelos principais órgãos reconhecidos mundialmente, como:

- ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection);
- IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers);
- ITU (International Telecommunications Union);
- FCC (Federal Communications Commission);

Depois de 1992, a ICNIRP se destacou como principal entidade independente responsável pelo desenvolvimento e manutenção de diretrizes internacionais para a radiação não ionizante. Em 1998 a ICNIRP publicou suas

diretrizes, estabelecendo os limites máximos admissíveis contra a exposição a radiações não ionizantes, para o público em geral e ocupacional, tornando-se assim as diretrizes mais credíveis no mundo sobre o assunto em pauta, sendo aprovada pela OMS e OIT (Organização Internacional do Trabalho).

Até 2009, a norma da ICNIRP foi adotada como padrões nacionais em mais de 50 países, principalmente na América do Sul e Europa.

A Europa através do CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique), representante de vários países europeus. A América do Norte por sua vez através da FCC (Federal Communications Commission) adota os padrões IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), que é muito semelhante a ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), porém menos restritivo.

Diante dos resultados das pesquisas científicas atuais, a OMS conclui que a exposição humana a campos eletromagnéticos não ionizantes abaixo dos limites internacionais recomendados pelas diretrizes do ICNIRP, não parecem ter qualquer consequência conhecida para a saúde (LASR, 2010)

A seguir serão apresentadas as principais normas de segurança de maior aceitação a nível mundial e o regulamento da ANATEL, com seus níveis de referência para a exposição humana à radiação de RF.

3.2 Limites de exposição às RNI

A proteção de pessoas quanto a exposição aos campos eletromagnéticos nas faixas de radiofrequências (CEMRF) pode ser entendida em três tipos de contextos. Em primeiro lugar poderemos citar as recomendações diversas dos comitês de especialistas que norteiam através de suas publicações as autoridades nacionais e internacionais e estas assim definem e estabelecem os textos bases dos diplomas legais de cada país ou região sobre o assunto.

Ainda poderemos ter as normas ou condutas com base em estudos desenvolvidos nas diversas áreas do conhecimento, organismos internacionais reconhecidos (OMS, ICRNP, NIOSH, OSHA) que realizam periodicamente revisões desses estudos estabelecendo novas diretrizes ou revisões com restrições básicas e/ou níveis de referência para o público em geral e ocupacional.

Por último poderemos citar que algumas normas que foram desenvolvidas com base no empirismo dos diversos fabricantes de equipamentos de medição de RNI que fornecem os instrumentos de medição para tais fins, assim com métodos e protocolos definidos para fazer a aferição das medidas desejadas nos CEMRF (Campo Eletromagnético oriundo de Rádio Frequência) ou nas RNI.

A aplicação destes textos, pode assegurar de uma forma geral que a exposição acidental ou ocupacional a uma certa quantidade de energia ou CEMRF sob certas premissas será feita em condições seguras ou não.

Desta maneira cada país através de suas normas e regulamentos adota seus próprios limites que geralmente tem por base as diretrizes internacionais. Por exemplo no Brasil, os limites da ANATEL, forma determinados com base nas normas da ICNIRP. Desta maneira podemos afirmar que as diretrizes limitam certos parâmetros dos CEMRF do diploma legal brasileiro, como: Intensidade de campo Elétrico (E), Densidade de Campo Magnético (B), densidade de corrente (J), taxa de absorção específica (SAR), densidade de potência (S), etc.) foram definidos com base em efeitos comprovados cientificamente.

Em geral estes efeitos são relacionados a exposições intensas de curta duração pois os dados científicos acerca das exposições de longa duração são insuficientes para estabelecer limites. Estes documentos diferenciam entre si geralmente pelo critério de exposição para público geral e para o público ocupacional:

- Público geral – compreende indivíduos de todas as idades e em condições de saúde variáveis, podendo incluir grupos ou indivíduos particularmente susceptíveis.
- Público ocupacional – consiste em adultos que estão expostos a CEMRF sob condições conhecidas, durante o horário de trabalho.

Geralmente os membros do público não tem consciência da sua exposição aos CEMRF então, não é esperado que os mesmos tomem precauções para minimizar ou evitar sua exposição que muitas vezes pode ser de até 24 horas. Por outro lado, o público ocupacional é treinado para estar ciente do risco ao qual estão submetidos e saber tomar precauções apropriadas. Estas diferenças, são levadas em conta no estabelecimento destas diretrizes, fixando limites mais restritivos para o público geral do que para os trabalhadores. Assim as normas levam em consideração os conceitos abaixo:

- Restrições básicas (RB) – são os limites relativos à exposição a campos eletromagnéticos baseados diretamente em efeitos sobre a saúde já estabelecidos e em considerações biológicas.
- Níveis de referência ou valor limite de exposição (VLE) – limites estabelecidos para efeitos práticos de avaliação da exposição a fim de determinar a probabilidade das restrições básicas serem ultrapassadas.

Dependendo da frequência do campo, as grandezas físicas usadas para especificar as restrições básicas são:

- Densidade de corrente (J);
- Taxa de absorção específica de energia (SAR);
- Densidade de potência (S);

Alguns níveis de referência são derivados de restrições básicas usando as medições e/ou técnicas computacionais e alguns incidem sobre a percepção e efeitos indiretos dos CEMRF.

As grandezas físicas que derivam das restrições de base são:

- Intensidade de campo elétrico (E);
- Intensidade do campo magnético (H);
- Densidade de fluxo magnético (B);
- Densidade de potência (S);
- Corrente induzidas nos membros (I_L);

As grandezas físicas que se referem a percepção e outros efeitos indiretos são:

- Corrente de contato (I_c);
- Absorção específica de energia (SA) para campos alternados ou pulsantes;

A observância aos diversos níveis de referência garantirá a observância da restrição básica pertinente. O fato de ter havido um valor medido que ultrapassou em algum ponto o nível de referência não implica necessariamente que a restrição básica foi ou será ultrapassada. No entanto, ao analisar estas circunstâncias, é necessário determinar se no mínimo a restrição básica foi cumprida ou não.

3.3 Principais normas sobre RNI considerando as radiações oriundas dos CEMRF

No final do século XIX, o médico e físico francês Jaques-Arsenè d'Arsonval conduziu os primeiros estudos relacionando ondas de rádio à saúde humana (CARDOSO, 2005) (CARDOSO, 2004) (KATZ, 2017). Atualmente, diversos organismos têm se dedicado a pesquisar os efeitos da radiação não-ionizante em tecidos humanos e a determinar os limites aos quais a população pode ser exposta sem incorrer em risco à saúde. Desde então vários organismos internacionais, inclusive a OMS (Organização Mundial de Saúde) tem promulgado e divulgado vários estudos com finalidade de compreender melhor esta temática.

Assim, neste subcapítulo abaixo apresentaremos uma breve revisão das principais diretrizes internacionais publicadas e adotadas por muitos países para proteção contra radiações não-ionizantes.

Entre as principais, citaremos como exemplo: ICNIRP (Comissão Internacional para Proteção contra Radiações Não Ionizantes), ITU-T (International Telecommunications Union), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), e US Federal Communications Commission (FCC).

Para melhor entendimento, aqui faremos uma breve explanação de alguns itens a serem resumidos nas normas a seguir.

3.3.1 Restrições básicas das normas

As restrições básicas são as restrições à exposição a CEMRF com base nos efeitos cientificamente conhecidos e definidos como prejudiciais à saúde. Estas restrições dependem exclusivamente da faixa de frequência dos CEMRF e estão associadas a análise de as grandezas como: densidade de potência, os gradientes de Campos Elétricos ou Magnéticos ou ainda com as taxas de absorção específica (Specific Absorption Rate - SAR). A ICNIRP afirma que "a proteção contra os efeitos adversos à saúde requer que os valores destas restrições não sejam ultrapassados em momento algum"

3.3.2 Níveis de referência das normas

Os níveis de referência são valores determinados a partir dos mecanismos de interação que produzem efeitos adversos à saúde. No entanto, eles são difíceis de medir no campo. É por isso que estão relacionadas aos níveis de referência equivalentes, que são mais fáceis de medir com os instrumentos no campo. Esses níveis de referência são obtidos a partir das restrições básicas geralmente com o auxílio de modelos computacionais e métodos estatísticos de comparação de resultados das com as medições em campo.

Os níveis de referência têm a intenção de ser valores espaciais médios para todo o corpo, mas com a ressalva de que as restrições básicas relativas à exposição localizada não sejam ultrapassadas.

3.3.3 Norma ICNIRP

Em 1992, a IRPA e INIRC tornaram-se a Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não-Ionizante (ICNIRP), uma organização independente de análise de dados científicos para a finalidade de avaliar a pesquisa existente e desenvolver as diretrizes internacionais sobre limites de exposição à RNI.

As diretrizes da ICNIRP (Comissão Internacional para Proteção contra Radiações Não Ionizantes) são as mais aceitas para RNI em todo o mundo. Os textos completos das orientações da ICNIRP podem ser encontrados no seu site na Web.

3.3.3.1 Restrições básicas da norma

Restrições básicas são as restrições à exposição a CEM com base em efeitos cientificamente estabelecidos sobre a saúde. Estas restrições básicas dependem da frequência dos CEMRF e são dadas em termos de densidade de potência, gradiente de CEMRF ou taxas de absorção específica (Specific Absorption Rate - SAR).

3.3.3.2 Níveis de referência da norma

Após a determinação dos níveis limiares (os níveis de RNI em que são produzidos pela primeira vez efeitos adversos à saúde), eles são divididos por um fator de segurança de 10, levando ao valor para as restrições básicas para os trabalhadores que são expostos rotineiramente a esses campos (limites ocupacionais). As restrições básicas para a exposição do público em geral são obtidas dividindo-se os limiares por um fator de 50. Isto demonstra que, em geral os limites de exposição pública são cinco vezes mais rigorosos do que para a exposição ocupacional.

Tabela 4: Valores de E, H, S , T para a norma ICNIRP (Limitações de 100 KHz a 300 GHz)

| Categoria da exposição | Faixa de frequências (MHz) | Campo Elétrico E (V/m) | Campo Magnético H (A/m) | Densidade de potência S (mW/cm²) | Tempo médio de exposição (minutos) |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|---|
| Ocupacional | 0,1 – 3 | 614 | | | |
| | 3 – 30 | 1842/f | | | |
| | 300 – 100 | 61,4 | | | |
| | 100 – 300 | 61,4 | | | |
| | 300 – 3000 | | | | |
| | 3000 – 15000 | | | | |
| | 15000 – 300000 | | | | |
| Público em geral | 0,1 – 1,34 | 614 | | | |
| | 1,34 – 3,0 | 823.8/f | | | |
| | 3 – 30 | 823.8/f | | | |
| | 30 – 100 | 27,5 | | | |
| | 100 – 300 | 27,5 | | | |
| | 300 – 3000 | | | | |
| | 3000 – 15000 | | | | |
| | 15000 – 300000 | | | | |

f – frequência em MHz.

Fonte: O AUTOR ADAPTADO ICNIRP

Tabela 5: Valores de SAR para a norma ICNIRP (Limitações de 100 KHz a 10 GHz)

| Categoria da exposição | SAR média de corpo inteiro (W/kg) | SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg/10g) | SAR localizada (membros) (W/kg/10g) |
|------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|
| Ocupacional | 0.4 | 10 | 20 |
| Público em geral | 0.08 | 2 | 4 |

Fonte: O AUTOR ADAPTADO ICNIRP

3.3.4 Recomendações ITU-T K.52: "Orientação Sobre o Cumprimento dos Limites de Exposição Humana aos Campos Eletromagnéticos"

A Internacional Telecommunications Union (ITU) é o órgão das Nações Unidas com a responsabilidade pela normatização dos serviços de telecomunicações. Ele emitiu recomendações sobre os limites de segurança para CEMRF utilizados em sistemas de telecomunicações.

A Recomendação ITU-T K.52 (ITU, 2004) ajuda a determinar os limites de segurança para a exposição humana a campos eletromagnéticos provenientes de instalações de telecomunicações, de telefones celulares ou outros dispositivos emissores de RF.

3.3.4.1 Restrições básicas da norma

Apresenta uma orientação geral, um método de cálculo, e um processo de avaliação de instalações. O processo de avaliação de instalações de telecomunicações é baseado em limites de segurança fornecidos pela ICNIRP e ajuda os usuários a determinar a probabilidade de cumprimento das normas para uma instalação, baseado em critérios de acessibilidade, as propriedades da antena e a potência do emissor.

3.3.4.2 Níveis de referência da norma

A Recomendação ITU-T K.52 afirma que o cumprimento dos limites de segurança da ICNIRP para telefones celulares ou outros dispositivos de RF operando na faixa de 300 MHz a 3 GHz, e usados junto à cabeça, pode ser conseguido através da aplicação dos procedimentos de medição do SAR contidos em na norma IEC 62.209 (2004).

3.3.5 Norma IEEE

Os padrões do IEEE (Institute of Electric and Electronics Engineers), foi um padrão determinado independentemente da ICNIRP para definir os níveis de segurança de exposição humana a campos eletromagnéticos oriundos de radiofrequência na faixa de 3 kHz e 300 GHz (IEEE, 2006) .

Tem como objetivo principal proteger as pessoas contra os comprovados efeitos adversos para a saúde de seres humanos expostos a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos nesta faixa de frequências.

O padrão atual é IEEE C95.1-2005 que nada mais é que a revisão do padrão IEEE C95.1-1991. Estas recomendações são expressas em termos de restrições básicas (BR) e valores de exposição máxima admissível (EMA).

3.3.5.1 Restrições básicas da norma

As restrições básicas são as restrições à exposição a campos eletromagnéticos com base em efeitos de saúde estabelecidos. Os valores de exposição máximos admissíveis ou MAE (Maximum Admissible Exposure) são derivados das BR (Basic Restrictions) e são limites a campos externos, campos induzidos e de contato. Estas recomendações não se destinam a evitar a interferência com os dispositivos médicos e outros que podem ser suscetíveis a radiofrequência (RF), para os quais o IEEE determinou outros padrões.

3.3.5.2 Níveis de referência da norma

Em geral, o padrão do IEEE é menos rigoroso do que as diretrizes da ICNIRP, embora ambos sejam baseados na mesma evidência científica.

3.3.6 Norma FCC (Federal Communications Commission)

As orientações da Federal Communications Commission (FCC, 1997), o órgão de regulamentação federal dos EUA, são utilizadas atualmente por alguns países latino americanos, por exemplo Bolívia e Peru.

3.3.6.1 Restrições básicas da norma

As recomendações revisadas publicadas no OET Bulletin 65, pela Comissão Federal de Comunicações dos Estados Unidos (FCC) em agosto de 1997 incluem os limites máximos permitidos de exposição. Estas orientações ajudam a determinar se uma instalação ou dispositivo de transmissão estão em conformidade com os limites adotados pela FCC.

3.3.6.2 Níveis de referência da norma

Os limites adotados pela FCC são geralmente baseados no "Padrão IEEE para Níveis de Segurança de Exposição Humana a Campos de Radiofrequência, 3 kHz e 300 GHz" e ANSI / IEEE C95.1-1992

Tabela 6: Valores de SAR para a norma ANSI/IEEE e FCC (Limitações de frequência de 100 kHz a 6 GHz)

| Categoria da exposição | SAR média de corpo inteiro (W/kg) | SAR localizada (cabeça e tronco) (W/kg/1g) | SAR localizada (membros) (W/kg/10g) |
|-------------------------------|--|---|--|
| Ocupacional | 0.4 | 8 | 20 |
| Público em geral | 0.08 | 1.6 | 4 |

Fonte: O AUTOR ADAPTADO ANSI /IEEE

3.3.7 Norma ANATEL

A agência nacional de telecomunicações –ANATEL, publicou as diretrizes básicas para a limitação de exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo na faixa de rádio frequência de 9KHz a 300 KHz.

Estas recomendações são basicamente as mesmas da ICNIRP, e foram ratificadas através da resolução 303.

3.3.7.1 Restrições básicas da norma

São basicamente as mesmas restrições previstas na norma ICNIRP que leva em consideração os campos elétricos, magnéticos e SAR oriundos dos CEMRF de equipamentos transmissores ou receptores.

3.3.7.2 Níveis de referência da norma

Os níveis de referência desta norma também foram adotados pela legislação brasileira, por meio da Lei 11.934/2009, que passou a estabelecer novos parâmetros sobre a exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.

Tabela 7 - Restrições Básicas para densidade de potência, para radiofrequências entre 10 GHz e 300 GHz.

| Características da exposição | Densidade de potência da onda plana equivalente (W / m²) |
|-------------------------------------|--|
| Exposição ocupacional | 50 |
| Exposição da população em geral | 10 |

Fonte: O AUTOR, adaptado da resolução 303 - ANATEL.

Tabela 8- Limites para exposição ocupacional a CEMRF, faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz

| Faixa de Radiofrequências | Intensidade de Campo, E (V / m) | Intensidade de Campo, H (A / m) | Densidade de potência da onda plana equivalente, Seq (W / m²) |
|----------------------------------|--|--|---|
| 9 kHz a 65 kHz | 610 | 24,4 | — |
| 0,065 MHz a 1 MHz | 610 | 1,6/ f | — |
| 1MHz a 10 MHz | 610/ f | 1,6/ f | — |
| 10 MHz a 400 MHz | 61 | 0,16 | 10 |
| 400 MHz a 2000 MHz | 3 f 1/2 | 0,008 f 1/2 | f /40 |
| 2 GHz a 300 GHz | 137 | 0,36 | 50 |

Fonte: O AUTOR, adaptado da resolução 303 - ANATEL.

Tabela 9- Limites para exposição da população em geral a CEMRF faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz

| Faixa de Radiofrequências | Intensidade de Campo, E (V / m) | Intensidade de Campo, H (A / m) | Densidade de potência da onda plana equivalente, Seq (W / m²) |
|----------------------------------|--|--|---|
| 9 kHz a 150 kHz | 87 | 5 | — |
| 0,15 MHz a 1 MHz | 87 | 0,73/ f | — |
| 1 MHz a 10 MHz | 87/ f 1/2 | 0,73/ f | — |
| 10 MHz a 400 MHz | 28 | 0,073 | 2 |
| 400 MHz a 2000 MHz | 1,375 f 1/2 | 0,0037 f 1/2 | f /200 |
| 2 GHz a 300 GHz | 61 | 0,16 | 10 |

Fonte: O AUTOR, adaptado da resolução 303 - ANATEL.

Tabela 10- Limites de SAR para exposição a CEMRF, faixa de radiofrequências entre 9 kHz e 10 GHz

| Características de exposição | Faixa de Radiofrequências (Hz) | Densidade de corrente para cabeça e tronco (mA / m ²) (RMS) | SAR média do corpo inteiro (W / kg) | SAR localizada (cabeça e tronco) (W / kg) | SAR localizada (membros) (W / kg) |
|------------------------------|--------------------------------|---|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 9 kHz a 100 kHz | f / 100 | — | — | — | Exposição Ocupacional |
| 100 kHz a 10 MHz | f / 100 | 0,4 | 10 | 20 | |
| 10 MHz a 10 GHz | — | 0,4 | 10 | 20 | |
| 9 kHz a 100 kHz | f / 500 | — | — | — | Exposição da população em geral |
| 100 kHz a 10 MHz | f / 500 | 0,08 | 2 | 4 | |
| 10 MHz a 10 GHz | — | 0,08 | 2 | 4 | |

Fonte: O AUTOR, adaptado da resolução 303 - ANATEL.

3.4 Princípio da precaução

A busca do “risco zero” é uma utopia irrealizável para a humanidade, porem a muitos séculos falada e tão perseguida. Sem dúvida que ao longo da história, graças ao desenvolvimento da ciência e da tecnologia, o balanço global nesse sentido é positivo, como o aumento progressivo da “esperança de vida” torna-se bem mais aparente no nosso dia a dia. Mas a aplicação do princípio da precaução com a finalidade de alcançar um hipotético “risco 0” para uma dado aspecto ou impacto em comunidade ou para um dado fator de exposição as mesmas em uma certa época ou perdido de uma certa época, sem atentar aos seus impactos globais, pode revelar-se muito perniciososa.

Esta é a perspectiva jurídica dos primórdios deste princípio que inspira várias legislações no mundo no tocante da RNI oriunda de campo Eletromagnético de Alta frequência (CEMRF) e que foco da discussão deste capítulo de nosso estudo.

Julgamos nos aqui útil proporcionar à opinião geral da engenharia, que nos legitimamente devemos estar também preocupados com questões ambientais, pois as mesmas englobam no novo paradigma moderno o homem as comunidades e ecossistema que o mesmo se encontra.

O princípio da precaução teve a sua gênese nos anos 70, no Direito Alemão, que já o adotava como fundamento das políticas ambientais nesta época. Posteriormente, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, em 1972 e a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente– PNUMA, impulsionaram a introdução do referido princípio nos debates internacionais sobre a proteção do meio ambiente.

Na década de 80, a ideia de precaução foi incorporada nos textos de diversas declarações e tratados internacionais sobre questões ambientais específicas, especialmente em matéria de controle da poluição. Finalmente, em 1992 foi consagrado pela Declaração do Rio de Janeiro, formulada por ocasião da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (MULLER et. al.)

É um critério de abordagem de riscos, aplicado em circunstâncias com um alto grau de incerteza científica, refletindo a necessidade de tomar atitudes em face de riscos potencialmente sérios, sem esperar os resultados da pesquisa científica (MULLER et al.).

A maioria dos países adotam esse princípio como base em suas normas, porem os resultados científicos das normas anteriormente citadas são a base dos valores admissíveis ou níveis de referência. Porem existem alguns países que as normas diferem significativamente das mencionadas, pois são muito mais restritas, tornando-as muito mais restritivas do que as já mencionadas anteriormente. Desta maneira os enfoques e critérios empregados para o estabelecimento dos limites de exposição são muito diferentes. Como exemplo podemos citar: Suíça Itália, Rússia, dentre outros.

Por exemplo, desde 1959 a antiga União Soviética (e atualmente a Rússia) adotou como limite de densidade de potência para toda a faixa de RF o valor único de 0,01 mW/cm² (MOULDER, 2000).

A fixação de um valor único para o máximo de densidade de potência representa um retrocesso, pois a época havia normas que estabeleciam valores

diversos, conforme a faixa de frequências. Hoje todas as normas internacionais recentes incluem essa diversidade (MOULDER, 2000).

Na Itália, através do Decreto nº 381 de 10 setembro de 1998 do Ministério do Meio ambiente, foi adotado este mesmo valor de 0,01 mW/cm² na faixa das emissões de rádio AM e FM, TV e de telefonia celular (aproximadamente de 500 kHz a 2 GHz). Ainda delega poderes aos governos regionais para reduzir ainda mais esse limite, existindo regiões onde os valores regulamentados são até 4 vezes menores (0,0025 mW/ cm²).

Observa-se que os níveis nesses países são até mais de cem vezes mais rigorosos do que os recomendados pelas anteriormente citadas. Por exemplo, para as faixas de frequências da telefonia celular (800 a 2200 MHz), a ICNIRP recomenda limites de exposição de densidade de potência para o público em geral de 0,4 a 1,0 mW/cm². No caso ANSI/IEEE, na mesma faixa, os valores são 0,53 a 1,46 mW/cm² e da FCC 0,53 a 1,0 mW/ cm².

Com esses limites de tolerância adotados, nos mostra que os órgãos regulamentadores desses países (China , Itália , Suíça , Rússia ,etc.) mostram uma total desconfiança ou simplesmente ignoram os nos resultados das pesquisas desenvolvidas pela comunidade científica atualmente em relação aos efeitos biológicos não térmicos das radiações oriundas de CEMRF , talvez antecipando-se com suas rígidas normas a uma possível comprovação futura de que os valores atuais verdadeiramente não existam e portanto impliquem riscos reais à saúde.

De certa forma, estes países estão adotando o “Princípio de Precaução” que, segundo a OMS (WHO, 2017):

[...]. É um critério de abordagem de riscos aplicado em circunstâncias com alto grau de incerteza científica, refletindo a necessidade de tomar atitudes em face de riscos potencialmente sérios, sem esperar resultados da pesquisa científica.

O Brasil por sua vez, através da Resolução nº 303, de 2 de julho de 2002 (ANATEL), seguiu as diretrizes sugeridas pela ICNIRP. Em outras palavras o Brasil teve estes padrões incorporados no seu diploma ou regulamento legal pela Lei Federal nº 11.934, de 05 de maio de 2009. No seu texto apresenta os limites de exposição para população geral exposta as CEMRF oriundas das torres de telefonia

celular, para as frequências de 900 MHz e 1800 MHz, com os seguintes níveis de densidade de potência, respectivamente: 4,5 W/m² e 9,0 W/m².

Para a mesma faixa de frequência, já o governo Suíço através da “Regulamentação sobre Proteção contra Radiação Não Ionizante”, do Conselho Federal Suíço (1999), adota os seguintes valores de densidade de potência: para faixa da frequência em 900 MHz, de 0,042 W/m² e, para a faixa de frequência em 1800 MHz, 0,095W/m² (MOULDER, 2000)

De acordo com o exposto, observa-se que esses países adotam níveis de densidade de potência mais restritivos, chegando a ser mais de 100 vezes menores, dos que os recomendados pela OMS, através da ICNIRP, adotados pela ANATEL. Tais decisões ressaltam a desconfiança nos resultados das pesquisas desenvolvidas pela comunidade científica atual com relação aos efeitos biológicos não térmicos das radiações oriundas de CEMRF.

Atualmente o Princípio de Precaução que foi concebido originalmente com o intuito de evitar consequências catastróficas para a humanidade devido à aplicação de novas tecnologias, como por exemplo, as que atentam contra a camada de ozônio e contribuem para o “efeito estufa” (MULLER et. al.) tem assumido uma outra perspectiva.

Nos últimos anos, fundamentalmente na Europa, existe uma tendência crescente (promovida principalmente por alguns movimentos ambientalistas extremistas) para atacar, sob pena de que representam um perigo potencial, qualquer avanço tecnológico, incluindo os relacionados com a energia eletromagnética. Assim, essas novas tendências do Princípio de Precaução são totalmente contrárias às atuais Normas de proteção às radiações oriundas de CEMRF, advogando pela imposição de limites ultra rigorosos, com o intuito de controlar ao máximo e, até mesmo, eliminar os atuais equipamentos geradores de radiações eletromagnéticas.

Tal linha de pensamento é totalmente injustificada, pois ante os argumentos expostos, normas e pesquisas realizadas na atualidade, é factível afirmar que esta tendência extremista está ligada à “eletrofobia” (Base do Princípio de Precaução), e atualmente constitui um dos principais paradigmas que a comunidade científica deverá enfrentar neste novo século afim de preservar as bases verdadeiramente científicas das Normas e estudos.

4 OS POSSÍVEIS EFEITOS DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NOS SERES HUMANOS

4.1 O ambiente eletromagnético atual no Brasil

Atualmente, segundo pesquisa no site da ANATEL, há aproximadamente 100.000 Estações Rádio Base (ERB) instaladas no Brasil, Ainda de acordo com a ANATEL, o Brasil atingiu em 2017, indicam que o Brasil terminou o ano de 2017 com 236,5 milhões de celulares e uma densidade de 113,52 cel /100 hab. Este número que tende a aumentar exponencialmente devido à crescente demanda por maior cobertura e capacidade de tráfego atual, além da introdução de novas tecnologias que operam em faixas de frequências cada vez mais altas. A disseminação de estações de radiocomunicação implica cada vez em maior nível de radiação eletromagnética no ambiente, o que tem despertado uma preocupação mundial quanto aos efeitos associados aos campos eletromagnéticos nas faixas de radiofrequências (CEMRF) radiados pelas antenas dessas estações e outros equipamentos que existem na atualidade.

No caso da exposição humana a CEMRF, existem duas abordagens: sob a óptica dos possíveis efeitos adversos à saúde; e sob o prisma da caracterização do ambiente eletromagnético. Em relação à primeira abordagem, a Organização Mundial de Saúde (OMS), e a Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não-ionizante (ICNIRP) em conjunto com o Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas (IEEE) desenvolvem estudos para estabelecer limites de exposição e avaliação dos efeitos biológicos dessa exposição. Em relação à segunda abordagem, a Comissão Internacional de Eletrotécnica (IEC), o IEEE e a União Internacional de Telecomunicações (ITU) são os organismos internacionais desenvolveram independentemente várias normas e recomendações para caracterizar o ambiente e avaliar a conformidade da exposição aos limites estabelecidos.

Basicamente, as normas e recomendações internacionais específicas possibilitam avaliação da exposição de duas formas: a primeira, mais simples, considera apenas os cálculos teóricos, enquanto a segunda considera medições em campo.

Em relação as medições em campo, para possibilitar a correta configuração dos equipamentos de medição, deve ser considerado além dos parâmetros do sistema radiante, como altura, ganho, tilt da antena, potência efetiva isotopicamente radiada (EIRP), são considerados aspectos da tecnologia utilizada como, por exemplo, largura de faixa, tipo de modulação e técnica de acesso ao meio.

4.2 A radiação eletromagnética e seus efeitos nos seres humanos

As ondas eletromagnéticas de origem de ERB ou equipamentos celulares geram os campos elétrico e magnético que se acoplam e se transmite junto as ondas portadoras com os corpos e objetos em seu em torno. Esse modelo é válido para frequências diversas até alguns GHz. Elas seguem criando correntes superficiais e internas sobre o corpo.

Desta maneira a fim de proteger trabalhadores e o público em geral dos possíveis efeitos da radiação dos campos eletromagnéticos, limites máximos de exposição foram determinados com base no conhecimento disponível sobre efeitos biológicos provocados nos seres humanos, por esses campos.

Os limites são baseados nas orientações da Organização Mundial de Saúde (WHO – World Health Organization), IRPA (International Radiation Protection Association) e ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection).

Existem assim dois conjuntos de limites: um para a exposição dos trabalhadores (exposição ocupacional em ambientes controlados) e outro para o público em geral (exposição pública em ambientes não-controlados) os quais explanaremos a seguir:

- Ambientes controlados são aqueles nos quais circulam pessoas treinadas, que estão conscientes de sua exposição aos campos eletromagnéticos (técnicos de laboratório e operadores de equipamentos que emitem radiação eletromagnética) que tomam precauções apropriadas.
- Ambientes não-controlados são aqueles onde circulam indivíduos que não estão cientes dos níveis de campos eletromagnéticos a que estão sujeitos,

(usuários de aparelhos celulares, fornos de micro-ondas, etc.) e não tomam nenhum tipo de precaução para evitar ou minimizar essa exposição.

As restrições mais rígidas são adotadas para ambientes não-controlados. Os valores de referência para os limites de exposição à radiação eletromagnética são definidos pelas respectivas normas e foram explicadas nas seções anteriores.

A interação dos campos eletromagnéticos com as células dos seres vivos é dependente na maior parte da faixa de frequência da RNI. Outros fatores também influenciam nesta interação, tais como:

- Forma do sinal (analógico ou digital)
- Tipo de modulação (GSM, LTE, 3G, etc)
- Intensidade da radiação
- Distância da fonte
- Tempo de exposição

Não obstante estes fatores também têm sido foco de estudos diversos quanto sua contribuição com os efeitos biológicos. Atualmente, sabe-se que a faixa de frequências dos campos eletromagnéticos pode ser dividida em três partes, para fins de determinação de níveis de restrição aos efeitos dos CEMRF nos seres vivos:

1. Baixas frequências até 30 KHz, onde a absorção de energia pelos tecidos biológicos pode ser negligenciada, comparada com o efeito dominante que é a excitação das células.
2. Altas frequências, na faixa de 30 KHz a 3000 THz onde predominam os efeitos térmicos.
3. Faixa de frequência da radiação ionizante, acima de 3000 THz, onde a energia da radiação eletromagnética é alta o suficiente para remover elétrons dos átomos e moléculas.

É importante ressaltar que mesmo uma alta intensidade de radiação não-ionizante não provoca ionização no sistema biológico. Tem sido mostrado, entretanto, que esse tipo de radiação produz outros efeitos biológicos, seja por aquecimento, alteração das reações químicas ou indução de corrente elétrica nos tecidos e células. As ondas eletromagnéticas podem provocar efeitos biológicos que podem, mas nem sempre levam a um fator nocivo à saúde. É importante entender essa diferença

(MOBILE, 2004). Um efeito biológico ocorre quando a exposição as CEMRF causa algum efeito detectável no sistema biológico, não necessariamente um feito prejudicial à saúde. Um fator nocivo à saúde ocorre quando esse efeito está fora dos padrões considerados normais, levando a alguma condição prejudicial à saúde. Deve ser considerado também que se o organismo é capaz ou não de compensar essa alteração, ou seja, se o efeito provocado é reversível ou não, uma vez cessada a emissão da radiação.

Alguns efeitos podem ser inócuos, como o aumento do fluxo sanguíneo na pele, como reação a um ligeiro aumento da temperatura devido ao aquecimento térmico gerado por altas frequências de CEMRF.

Entretanto, conforme Paracelsius já afirmara, remédios em pequenas doses são benéficos e em altas doses tornam-se venenos. Então as pequenas doses de calor podem simular o efeito da radiação solar (estimula-se a criação de vitamina D), mas em altas doses, esse efeito biológico também pode levar a um fator nocivo à saúde, como queimaduras ou mesmo câncer de pele.

Os principais efeitos biológicos das ondas eletromagnéticas podem ser divididos em dois tipos:

- **Efeitos térmicos:** Sem dúvida alguma, o efeito predominante da exposição aos campos eletromagnéticos de alta frequência. Para verificar o impacto desse aquecimento no organismo é preciso conhecer qual a quantidade de energia que o corpo pode tolerar e que tipo de risco o processo de aquecimento pode trazer para o organismo.

Alguns fatores ainda influenciam a maior eficácia dos efeitos térmicos, entre eles poderemos citar:

- a) **Aceleração do sistema termorregulador do corpo humano:** É bastante conhecido que a exposição ao calor ou frio não é o problema, pois nosso sistema homeotérmico permite manter a nossa temperatura interna praticamente constante mesmo com as oscilações da temperatura externa, ou mesmo com variações da temperatura interna pelo calor devido à atividade muscular. Entretanto, a termo regulação é caracterizada por uma reação lenta, ou seja, por grandes constantes de tempo. Assim, para responder a rápidas variações das condições externas provocadas pelos CEMRF de altas frequências, o corpo humano possui não somente sensores internos, mas também sensores externos, na superfície da pele,

que permitem ao organismo perceber e reagir a mudanças ambientais antes que a temperatura interna seja substancialmente afetada, causando assim uma desregulação momentânea ou perene do sistema sudorífero, para compensar tais variações.

- b) **Localização da concentração da Onda incidente:** O local do aquecimento é um ponto fundamental, pois a transferência de calor é mais efetiva nos tecidos com alto conteúdo de água. O corpo humano é muito sensível ao aumento da temperatura. Um pequeno aumento de temperatura da ordem de alguns decigraus Celsius pode ser considerado estado febril. Entretanto, os organismos vivos, como também os vários tecidos e órgãos do corpo possuem sensibilidades diferentes à absorção do calor. Os efeitos não-térmicos da energia eletromagnética trazem maior preocupação, pois envolvem campos com níveis de energia bem baixos e com efeitos quase imperceptíveis a curto e imediato prazo.
- **Efeitos não-térmicos:** Esses efeitos são dependentes da frequência, da densidade de potência da onda eletromagnética e outros fatores como modulação e polarização da onda. Nas frequências próximas da frequência natural de ressonância do corpo, a energia das ondas de radiofrequência são absorvidas de maneira mais eficiente, provocando maior aquecimento.

Alguns fatores ainda influenciam a maior eficácia dos efeitos não térmicos, entre eles poderemos citar:

- a) **Frequência natural de ressonância do corpo:** Nos adultos, essa frequência é em torno de 35 MHz, se a pessoa estiver em contato com o solo, e 70 MHz se o corpo da pessoa estiver isolado do solo. Além disso, outras partes do corpo podem ser ressonantes: A cabeça de um adulto tem uma frequência de ressonância por volta de 400 MHz, enquanto que em uma criança, devido ao tamanho menor da cabeça, a ressonância ocorre próximo dos 700 MHz.
- b) **Tamanho do corpo:** Determina a frequência na qual haverá maior absorção de energia. Se o corpo inteiro é exposto à radiação, ele se comporta como uma antena absorvendo certa quantidade da energia, quantidade essa que

depende da orientação, polarização e tamanho em relação ao comprimento de onda.

- c) Distribuição do gradiente de temperatura gerado: Entre as baixas frequências até a frequência de ressonância podemos considerar que o calor é distribuído igualmente no corpo todo (comprimento de onda maior que o comprimento do corpo), com uma certa preferência para os tecidos que contenham grande quantidade de água. Acima da frequência de ressonância a interação da radiação eletromagnética com a estrutura do corpo é regida pelas leis da ótica (comprimento de onda menor que o comprimento do corpo), com alguma reflexão ocorrendo dentro do corpo. Isso pode levar a uma distribuição não homogênea do calor com pontos de concentração mais intensa, pontos esses conhecidos como “pontos quentes”. Mas devido à grande capacidade de absorção dos tecidos, em qualquer situação o calor irá se concentrar na superfície do corpo.

Ao contrário dos efeitos térmicos, que dependem basicamente da energia absorvida, os efeitos não-térmicos podem depender significativamente das características do sinal, seja ele analógico ou digital, além do tipo de modulação (MOULDER, 2000). De fato, os campos de radiofrequência podem influenciar as propriedades das membranas das células como permeabilidade e resposta do sistema imunológico, além da atividade de algumas enzimas. Pesquisas a respeito dos possíveis efeitos nocivos à saúde, resultantes de campos eletromagnéticos de baixa intensidade (efeitos não-térmicos) são de dois tipos básicos:

a) Pesquisa Epidemiológicos.

Esses estudos observam padrões de saúde de grupos com grande número de pessoas utilizando métodos estatísticos. O estudo epidemiológico ainda tem se mostrado inconclusivo, pois não tem demonstrado relações de causa e efeito nem determinado o mecanismo das eventuais doenças.

b) Pesquisa em laboratório

As pesquisas em laboratório geralmente têm como destino a elaboração de normas e é geralmente composta por equipes multidisciplinares, compostas por cientistas, engenheiros e outros profissionais provenientes de universidades, do setor produtivo e de entidades governamentais.

Estas equipes têm a difícil tarefa de examinar criticamente toda a literatura científica publicada sobre os efeitos biológicos dos campos eletromagnéticos até a data de elaboração das normas. Para se ter uma ideia da magnitude das fontes de pesquisa, até outubro de 2017, segundo o metrics do google scholar (<https://scholar.google.com>), temos a existência de mais de (600.000) seiscentos mil artigos e publicações tratando de diversas variáveis sobre o tema (Non Ionizing Radiation –NRI).

Os trabalhos de laboratório, são classificados por categorias:

- Estudos experimentais em animais (in vivo);
- Estudos experimentais in vitro em tecidos de animais e humanos;
- Estudos experimentais com humanos (voluntários).
- Estudos Dosimétricos.

É fácil entender que resultados de pesquisas, para constituírem base de critério para o estabelecimento de normas de proteção, devem passar por um crivo extremamente rigoroso, que inclui, entre outros, um exame crítico da metodologia empregada, da consistência dos resultados, da reprodutibilidade (esse é um dos pontos chaves: o mesmo resultado deve ser obtido por grupos independentes de pesquisadores) e finalmente definir uma estimativa de risco. Este longo processo de revisão conclui-se apenas após as comissões revisoras de normas terem consenso em relação à identificação dos efeitos biológicos cientificamente comprovados das radiofrequências.

Como foi exposto acima, muitos estudos foram realizados nas últimas décadas sobre este assunto, mas os resultados ainda não são conclusivos. Mesmo assim, procurando estabelecer condições de segurança para a saúde pública, várias instituições de referência em saúde estabeleceram valores limites de exposição à radiação eletromagnética.

Considerando que esses valores foram determinados de forma bastante conservadora, podemos entender pelo menos agora que com o nível de conhecimento científico atual que se as normas atuais forem respeitadas na integra em conjunto com os limites de tolerância das mesmas, estaremos seguros quanto a eventuais danos à nossa saúde das populações.

4.3 Introdução aos efeitos das RNI

Nesta secção faremos a exposição do ponto de vista científico com base no conhecimento atual dos possíveis efeitos sobre os seres humanos com relação a exposição humana a CEMRF.

Não obstante sabemos que existem outros tipos de RNI, oriundas de outras faixas de frequência, pois como qualquer onda eletromagnéticas as RNI em especial são aquelas que não possuem energia suficiente para ionizar os átomos e as moléculas com as quais interagem, sendo as mais conhecidas (CHILTON, 2000):

- Luz visível;
- Luz infravermelha;
- Luz ultravioleta;
- Micro-ondas de aquecimento;
- Micro-ondas de rádio telecomunicações;
- Luz de Raios UV (A, B, C)
- Corrente elétrica;
- Luz a Laser;
- Luz de LED, entre outras da faixa de espectro de RNI.

As radiações acima pertencem ao espectro eletromagnético e ocupam diferentes posições de acordo com a sua energia e comprimento de onda associado.

Pois, como explanado anteriormente, as radiações não ionizantes são de natureza eletromagnética e seus efeitos dependerão de fatores como duração e intensidade da exposição, comprimento de onda da radiação, região do espectro em que se situam etc.

As radiações não ionizantes são de natureza eletromagnética e seus efeitos dependerão de fatores como duração e intensidade da exposição, comprimento de onda da radiação, região do espectro em que se situam etc.

Faremos aqui em breve relato sobre as principais radiações não ionizantes e seus efeitos conhecidos (MOBILE PHONES AND HEALTH, 2017):

- Radiação Infravermelha – também chamada de calor radiante é bastante comum em indústrias metalúrgicas, de fabricação de vidro e outras, onde

existem fornos e materiais altamente aquecidos. É encontrada igualmente em trabalhos ao ar livre, onde os operários ficam expostos à radiação solar.

Além de contribuir para a sobrecarga térmica imposta as pessoas expostas, a radiação infravermelha poderá causar queimaduras assim como a catarata que é uma doença irreversível.

- Radiação Ultravioleta é encontrada em pessoas expostas a trabalhos em sol aberto, mas suas maiores concentrações são observadas em atividades de utilização de solda elétrica, na indústria metalúrgica nas atividades de fusão de metais e no controle de qualidade de peças com lâmpadas especiais.

Seus efeitos principais são queimaduras, eritema, conjuntivite e câncer de pele.

- Radiação Laser – é energia eletromagnética altamente concentrada num determinado comprimento de onda do espectro. Vêm encontrando cada vez maiores aplicações na indústria sendo utilizada também em outras atividades profissionais como levantamentos topográficos e geodésicos, na medicina e nas comunicações.

Seus principais efeitos são queimaduras na pele e nos olhos que podem ser bastante graves, conforme o tipo e duração da exposição à radiação.

- Micro-ondas – são bastante utilizadas nas comunicações sendo produzidas em instalações de radar e de rádio transmissão. São utilizadas ainda em alguns processos industriais químicos, em fornos de micro-ondas e em secagem de materiais. Conforme a potência das estações de transmissão ou da energia liberada no processo poderão ficar submetidos as populações expostas (ocupacional ou público geral) a intensidades prejudiciais.

Os efeitos mais graves são os de natureza aguda como a catarata, e o superaquecimento dos órgãos internos que, em determinados casos, podem levar à morte. Efeitos crônicos podem ainda resultar de exposições prolongadas às micro-ondas de baixa potência, entre as quais inclui-se a hipertensão, as alterações no sistema nervoso central, o aumento da atividade da glândula tireoide etc.

Não temos aqui nesta secção a intenção de encerrar ou exaurir o assunto, mas sim chamar a atenção as possibilidades que embora existam, não tem embasamento científico suficiente para apontar se de fato existe o risco real ou apenas são suposições baseadas em fatos isolados que geraram os pressupostos que serão explanados a frente. De uma forma sintética, tentaremos fazer um estudo de estado da arte sobre o assunto de forma a facilitar o entendimento sobre o mesmo.

4.4 Efeitos diretos das RNI nos seres humanos

As exposições a radiações não ionizantes acima dos limites de tolerância acarretam os seguintes danos à saúde. Para campos elétricos e magnéticos de baixa frequência (até 100 kHz) podemos ter correntes elétricas induzidas que podem ocasionar fibrilação ventricular, pois as correntes induzidas podem estar na faixa de 0,1 A/m² ou 100 mA/m². Sabe-se que acima de 30 mA ocorre a fibrilação ventricular, desde que a corrente passe pelo ou próxima ao coração. Para campos eletromagnéticos de frequências entre 100 kHz e 300 GHz podemos ter absorção de energia com aumento de temperatura, podendo ocasionar queimaduras da pele e internas.

Exposições a radiações não ionizante acima do limite de 4,35 W/m² comprovadamente produzem dependendo da potência e da frequência do campo, assim como do tempo de exposição: cataratas, queimaduras, alterações em válvulas cardíacas e marca-passos, derrame, parada cardíaca, má formação fetal. Estão em estudos, entretanto não foram comprovados em laboratório, os seguintes efeitos das radiações não ionizantes tais como cansaço, mudanças de comportamento, perda de memória, mal de Parkinson, mal de Alzheimer, alterações genéticas, câncer, redução da fertilidade, delírio e convulsões, lesões na boca podem incluir úlceras bucais, lesões no estômago e intestino que provocam náuseas, vômitos e até infecções, lesões na medula óssea podem conduzir a hemorragias ou comprometer o sistema imunológico, ruptura de vasos sanguíneos que acarretam a formação de hematomas.

Por fim, é importante salientar que se sabe que diferentes organismos vivos têm diferentes compostos em suas camadas superficiais; dessa forma, o levantamento de efeito biológico em uma dada espécie não pode ser estendido às demais, apenas por pertencerem ao mesmo reino, é necessário considerar a composição específica dos tecidos sujeitos ao campo eletromagnético. Sugere-se, então que esta seja uma das fontes de conflito nos resultados da pesquisa in vivo, bem como na extensão de resultados de experimentos com ratos, ou outras cobaias ou mesmo seres humanos.

4.5 Efeitos indiretos das RNI nos seres humanos

As linhas de campo magnético induzem a circulação de corrente elétrica em outro condutor separado fisicamente daquele causador do campo, desde que haja movimento relativo entre ambos, de acordo com a Lei de Lenz da Indução Eletromagnética. No caso a onda eletromagnética possui uma parcela de campo magnético e outra de campo elétrico, ambas variantes no tempo, caracterizando estas ondas como indutivas. Podemos definir como interferência qualquer distúrbio introduzido em um sistema. Quando indesejado degradará a qualidade e a funcionalidade do sistema. Portanto as correntes induzidas geradas pelas radiações, em qualquer equipamento ou sistema, criam distúrbios nos mesmos, afetando sua funcionalidade e confiabilidade. Portanto, os efeitos indiretos das radiações não ionizantes, são aqueles relacionados as correntes induzidas em equipamentos eletrônicos. Tais interferências em um sistema podem criar condições inseguras e acidentes de trabalho, pode até acarretar a morte por mau funcionamento de um equipamento eletrônico.

4.6 Classificação dos efeitos das RNI nos seres humanos

Os efeitos das radiações não ionizantes podem ser classificados da mesma maneira que as ionizantes. De óticas distintas poderemos de várias maneiras, analisá-las: Do ponto de vista do período de acometimento ou do ponto de vista da ação degenerativa nos indivíduos, se constatados ou assim considerados, desta maneira poderemos classificar em (MICHAELSON, 1982):

- Somáticos, se aparecerem em determinado intervalo de tempo após a exposição no indivíduo exposto
- Hereditários, se afetarem os descendentes do mesmo.

Os efeitos das radiações não ionizantes, assim como as radiações ionizantes podem ainda se classificar quanto a forma de aparição nos indivíduos ou nas populações expostas, como:

- Efeitos probabilísticos ou estocásticos: são aqueles que são tanto mais prováveis quanto maior for a quantidade de radiação recebida. Ainda que não existam certezas absolutas, aceita-se que, por muito pequena que seja a quantidade de radiação recebida, poderá fazer algum tipo de efeito, o qual, uma vez que apareça.
- Efeitos deterministas ou não estocásticos: são aqueles que só ocorrem quando a dose de radiação excede um determinado valor ou limiar e cuja gravidade depende da dose e do tempo de exposição.

4.7 Efeitos biológicos x efeitos a saúde

Efeito biológico é qualquer alteração biológica produzida no organismo, capaz de provocar ou não, problemas de ordem de saúde nos indivíduos.

Aqui em especialmente trataremos a exposição de seres humanos à radiação de origem do CEMRF na faixa de frequência dos aparelhos celulares a título de exemplificação. Esta independente da faixa de frequência propicia efeitos biológicos já conhecidos pela comunidade científica, como, por exemplo, mudanças na velocidade de reação das ondas cerebrais durante o sono.

Porém, isto não necessariamente significa dizer que esta alteração seja prejudicial à saúde do indivíduo. Por que o sistema imunológico elimina as células modificadas por esta radiação (GEZONDHEIDSRAAD, 2002).

Estudos têm mostrado que os níveis ambientais de energia de CEMRF, rotineiramente encontrados pelo público em geral, estão muito abaixo dos níveis necessários para produzir aquecimento significativo. Há, entretanto, situações, particularmente em ambientes de trabalho, próximo a fontes de alta potência de RF, em que os limites recomendados para exposição segura são ultrapassados; nesses casos, as medidas restritivas ou ações devem ser tomadas para garantir o trabalho ou permanência segura nas proximidades das fontes de radiação eletromagnéticas.

Recentemente em laboratórios científicos nos EUA e Europa têm relatado alguns efeitos biológicos após a exposição de animais (in-vivo), bem como tecido animal (in vitro), para baixos níveis de radiação de RF. Tais relatórios incluem certas mudanças no sistema imunológico, efeitos neurológicos, alteração de comportamento, evidência para uma ligação entre exposição a micro-ondas e a ação de certas drogas e seus compostos, um efeito tipo “fluxo de cálcio” no tecido cerebral (exposto a situações muito específicas) e efeitos no DNA (OSEPCHUK; PETERSEN, 2001).

Alguns estudos também têm examinado a possibilidade de uma ligação entre a exposição à radiação de CEMRF (e micro-ondas) e o câncer. Até agora os resultados têm sido inconclusivos. Enquanto alguns dados experimentais sugerem uma possível ligação entre a exposição e a formação tumoral em animais, expostos sob certas condições muito específicas, os resultados não têm sido reproduzidos em experimentos independentes. De fato, outros estudos têm falhado em encontrar evidência causal com o câncer em quaisquer condições relatadas. Muitas pesquisas estão em andamento em diversos laboratórios para ajudar a resolver essa questão.

De forma geral, a possibilidade de existir efeito biológico não-térmico, podendo ou não tal efeito indicar perigo à saúde humana, ainda é uma incógnita. Muita pesquisa ainda é necessária para determinar a abrangência de tais efeitos e sua possível relevância, se houver, para a saúde humana.

Enquanto isso, as organizações de normatização e agências governamentais continuam a monitorar as mais recentes descobertas, para confirmar a validade e determinar onde alterações de limite tenham que ser efetuadas para proteger a saúde humana.

As evidências epidemiológicas de uma associação entre as radiação oriundas de CEMRF e O câncer são inconsistentes, pois os estudos atuais de laboratório geralmente não sugerem que a radiação oriunda dos CEMRF tenha atividade genotóxica (propriedade de alteração do genoma de um organismo, produzindo efeitos adversos na prole) ou epigenética (modificação das características do organismo devido a alterações na informação genética) sem mudança no genoma, o que ocorre na transformação de células normais para cancerosas., portanto a ligação entre telefone celular e o câncer é fisicamente ainda improvável. De forma mais ampla, os estudos têm indicado que uma relação causal entre telefone celular e câncer é muito fraca ou inexistente [58].

A Biofísica, a epidemiologia e os estudos de laboratório, relevantes para a determinação do risco potencial das radiações oriundas de CEMRF, estão sintetizadas na tabela 8. Através da avaliação biofísica indica ser implausível supor que as radiações oriundas de CEMRF possa ter alguma atividade biológica em potência sub-térmica, característica das intensidades geradas pelos aparelhos celulares na recepção ou transmissão. Ainda alguns estudos epidemiológicos publicados sobre radiação de RF e câncer não sugerem uma associação causal, mas estes estudos ainda são poucos e têm muitas deficiências quanto ao quesito de avaliação da exposição.

Os estudos sobre os celulares, em geral, são limitados aos testes de genotoxicidade. Embora alguns desses estudos tenham sugerido a possibilidade de genotoxicidade, por força das evidências, a radiação oriunda de CEMRF não é genotóxica. A avaliação do potencial epigenética das radiações de CEMRF em cultura de células tem sido mínima e os melhores resultados têm sido duvidosos. Os estudos de exposição de animais por longos períodos não apresentam evidência convincente de que a exposição prolongada produza efeitos negativos à saúde geral, nem mesmo que a radiação de RF produza efeito genotóxico em animais. Alguns dos estudos de exposição prolongada, entretanto, sugerem a possibilidade de que a radiação de CEMRF tenha efeito epigenético, particularmente em elevados níveis de exposição.

Uma avaliação pelo critério da “força-da-evidência” conforme a tabela - 8, indica que a evidência para uma associação causal entre a exposição à radiação de RF e o risco de câncer é fraca. Embora existam dados relevantes sobre o assunto em algumas áreas, no entanto, ainda são esparsos. A evidência epidemiológica é particularmente limitada, ainda que tenha havido uma pequena perspectiva de melhora, porque em populações sujeitas a altas exposições são muito pequenas, fazendo da avaliação ainda um sério problema. O estudo de exposições prolongadas em animais ainda é muito fraco.

Tabela 11- Avaliação pela força da evidência adaptado de [58] e [59]

| Critério | Evidências Atuais |
|---|---|
| Quantidade e qualidade da evidência epidemiológica | Dados limitados: pobres ou completamente falhos |
| Intensidade da associação epidemiológica | Nenhuma ou fraca – risco relativo de 0,6 a 2,5 |
| Consistência epidemiológica | Estudos não mostram associação consistente entre a exposição e específicos tipos de câncer, consistentemente não há associação entre a exposição e câncer em geral. |
| Relação exposição-resposta | Mesmo os estudos que mostram alguma associação, revelam pouca ou nenhuma evidência para uma relação exposição-resposta. |
| Número de evidências de laboratório relevantes para avaliar a genotoxicidade | Extensivos estudos de genotoxicidade em cultura de células, mas apenas estudos limitados sobre exposição total de animais. |
| Força das evidências de laboratório | Estudos celulares fortemente inconsistentes, estudos de animais pouco consistentes. |
| Número de evidências de laboratório relevantes para avaliar atividade epigenética | Poucos estudos celulares relevantes, alguns estudos com animais. |
| Força das evidências de laboratório da atividade epigenética | Algumas evidências não-replicadas de atividade epigenética para elevados (possivelmente térmicos) níveis de exposição |
| Coerências com a física da radiação de RF | Efeitos biológicos substanciais são improváveis para níveis de exposição sub-térmica. |
| Conexão causal | Nada na epidemiologia, biologia ou biofísica, sugere uma associação, apenas poucos estudos de exposição animal de longa duração, nenhuma significativa epidemiologia. |

Fonte: O AUTOR ADAPTADO SALLES (2004)

Tem sido frequentemente dito que os riscos da exposição à radiação de CEMRF, se real, são muitos baixos para alguma significância à saúde pública. Se, porém, o risco de câncer sugerido por alguns estudos for real, então a radiação de RF pode ser concebível como uma significativa causa ambiental para o câncer.

Se uma pesquisa de exposição aos CEMRF muitas pessoas estão expostas e o resultado é positivo para o aparecimento de câncer ou tumores por exemplo, mesmo por um pequeno incremento na incidência, isto pode representar um sério risco para a saúde pública. Somente se for demonstrado que a radiação oriunda dos CEMRF é carcinogênica e se houver alguma compreensão das condições nas quais tais riscos ocorrem, as medidas efetivas podem ser tomadas para proteger a saúde pública.

Tal assunto, todavia, é um dos de mais difícil identificação, isto é, a radiação de CEMRF causa ou contribui para o câncer sob condições de exposição que sejam relevantes para a saúde humana? Mesmo após décadas de estudo não se tem identificado as radiações oriundas de RF como carcinogênicas. **Por outro lado, também é certo que não se pode provar que o risco à saúde pela exposição à radiação de CEMRF dos oriundas de fontes como telefones ou ERB seja impossível.** (Grifo nosso)

A natureza intrínseca da pesquisa e do método científico sempre admitem conclusões abertas e descobertas inesperadas. **Novas pesquisas adicionais em laboratório ou epidemiológicas podem resolver algumas dessas incertezas no futuro, mas não é plausível esperar uma certeza definitiva em curto prazo.** (Grifo nosso)

Em parte, a controvérsia sobre campos eletromagnéticos e câncer reflete as intrínsecas dificuldades sobre a avaliação do risco de câncer. É relativamente fácil provar que a exposição a um agente não esteja associada estatisticamente ao significativo aumento na incidência de um tipo específico de câncer, sob específicas condições de exposição. É impossível, contudo, provar que a exposição não tem associação com algum tipo de câncer sob todas as condições de exposição.

Essa controvérsia também reflete o fato de que não há uma simples causa para o câncer e que a não-ambígua identificação de um carcinogênico é frequentemente impossível. A questão científica não é se “o telefone celular ou as ERB causam câncer?”, já que esta pergunta nunca poderá ser negativamente respondida! Então, seria preferível a seguinte pergunta: “Quão forte é a evidência entre a radiação oriunda de CEMRF do telefone celular ou ERB e o câncer? ”, e ainda também: “Quão atentamente temos buscado evidência de que a radiação de CEMRF causa câncer?”

Estes são os paradoxos de uma investigação científica que por ora encontra-se em estado desconhecido. Assim, resposta definitiva a tais perguntas requer um exame detalhado do conjunto de evidências em disciplinas que vão desde a biofísica à epidemiologia e mesmo assim é plausível que nenhuma das evidências encontradas seja provavelmente tida como definitiva. Além disso, por não haver regras precisas para decidir quanta pesquisa seja “suficiente”, para uma resposta final, este será passível de crítica ou rejuízo. Na verdade, tem-se argumentado que a avaliação do risco não é uma questão científica, mas uma forma de análise política que requer um alto grau de contribuição científica.

Infelizmente esta definição parece ser é um campo de batalha, cujas disputas sobre riscos reais ou passageiros podem ser estabelecidas por acomodação política, econômica, financeira, e não por consenso científico.

Se esse for o caso para o risco de câncer associado aos telefones celulares, ERB, antenas, etc. A comunicação do risco e seu gerenciamento tornar-se-ão questões muito complexas. Esta controvérsia sobre os telefones celulares e o câncer provavelmente continuará até que evidências mais precisas dos riscos sejam estabelecidas, ou até que o público (incluindo os políticos, empresários, advogados e jornalistas) conclua que pode haver pequena probabilidade de um perigo real e significativo. Talvez a grande contribuição que os cientistas possam fazer, para este debate, seja tentar conscientizar o público e a comunidade de cientistas, sobre as incertezas da avaliação do risco e o rigor da análise para que se atinja uma avaliação de risco de alta qualidade.

4.8 Dilemas sobre as pesquisas de CEMRF X efeitos biológicos

Pelo exposto, na seção anterior algumas considerações merecem destaque, notadamente em relação a conclusões precipitadas. Não se pode afirmar categoricamente se o risco a partir do efeito biológico, nem a total inofensividade da radiação eletromagnética não-ionizante, uma vez que a pesquisa científica, nesse caso, demanda um grande conjunto de variáveis interferentes, além das de interesse imediato.

Por outro lado, a maioria dos efeitos prováveis, além de estocásticos, são de manifestação a longo prazo, o que demanda um acompanhamento do problema por muitos anos, senão décadas. O conflito nos resultados das pesquisas é a questão mais polêmica do problema. Carece-se então da criação de protocolos universais para assegurar a garantia das conclusões, neste sentido uma das tentativas é a adoção do “Critério de Hill” [60], que considera os seguintes aspectos para a confirmação de resultados científicos:

- **Força da Associação:** definir com clareza a relação entre causa e efeito;
- **Consistência:** Garantir que as amostras de experimentação e controle; sejam consistentes no fornecimento de dados e que o experimento destaque o objetivo da pesquisa;
- **Relação dose-incidência:** muitos experimentos trabalham com doses excessivamente elevadas em relação às encontradas nos ambientes reais, as extensões de tais estudos tornam-se duvidosas, uma vez que alterações qualitativas em processos vitais dependem muito dos níveis quantitativos;
- **Evidências de Laboratório:** determinar tendências dos resultados não são suficientes para identificar causa-efeito, uma vez que são necessárias evidências claras nas pesquisas para que uma extensão dos resultados seja plausível;
- **Mecanismos Biológicos Plausíveis:** é fundamental que os mecanismos biológicos em estudo sejam coerentemente relacionados aos efeitos biológicos, efeito secundário não pode ser superestimado em estudos com muitas variáveis;
- **Coerência:** aspecto fundamental é a determinação de protocolos reprodutíveis em outras circunstâncias, permitindo a confirmação de resultados, não necessariamente os mesmos valores, mas ao menos os mesmos efeitos. Quando os métodos de pesquisa diferem muito, sobre um mesmo experimento, seus resultados não podem ser comparáveis.

4.9 Possíveis efeitos das RNI NOS seres humanos

Agora, faremos uma breve exposição dos possíveis efeitos biológicos que as radiações não ionizantes podem trazer a todos nós, já que estamos a todo momento em contato com este tipo de radiação, por meio de celulares, rádios, lâmpadas, o Sol, etc.

A grande variedade de radiações não ionizantes na qual convivemos em nosso dia a dia, fazem com que os efeitos relativos à exposição a cada uma delas dependam de diversos fatores, como tempo de exposição, intensidade, tipo de radiação, etc.

Analisando, aqui as de origem nos CEMRF, poderemos inferir que as ondas eletromagnéticas neste espectro quando interagem com o meio biológico, transferem energia a este meio por irradiação, refração ou absorção.

No caso das radiações de radiofrequência e correlatas, esta troca de energia ocorre principalmente entre o campo elétrico e as moléculas polares de água, fazendo com que os tecidos, músculos e pele, que contém grande conteúdo de água, absorvam uma quantidade maior de energia quando comparados a tecidos como ósseo e adiposo, que contém menor quantidade de água.

Quando esta energia é absorvida pelo material biológico, pelas leis da termodinâmica e feita a transferência de energia e logo ocorre sua transformação em energia cinética nas moléculas, fazendo com que haja um aquecimento na região irradiada e criando focos de calor no interior do tecido (CHILTON, 2000).

Dois fatores são de grande importância nesta análise: Primeiramente quanto desta energia está sendo absorvida pelo tecido. O outro é quanto desta energia (campo eletromagnético) é refletida de volta pelo corpo, ambos os fatores dependem das suas dimensões do objeto irradiado e do comprimento de onda da radiação incidente. Sabemos ainda que para uma determinada densidade de potência, quanto maior o comprimento de onda da radiação incidente, maior a sua profundidade de penetração no tecido biológico (MOBILE PHONES AND HEALTH, 2017).

A partir da ideia acima, sabendo a forma e características do corpo irradiado e da maneira que este foi exposto, foi desenvolvido uma metodologia para calcular o quanto de energia este corpo absorve, desta maneira criou-se o conceito de taxa de absorção específica (SAR – Specific Absorption Rate), que auxilia os estudiosos e engenheiros na quantificação da quantidade de radiação emitida pelos equipamentos que usam CEMRF e assim auxiliam no desenvolvimento de tecnologias para a minimização dos efeitos das radiações de radiofrequência.

A SAR é calculada como a taxa de absorção de energia por unidade de massa do corpo exposto, e é a medida da energia absorvida, que pode ou não ser dissipada em forma de calor (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002).

A partir deste conceito, diversos estudos comprovaram que órgãos e sistemas orgânicos podem sofrer distúrbios de funcionalidade ou modificações estruturais quando entram em contato com micro-ondas ou radiofrequência (STEWART, 2004). Estes efeitos podem ser considerados normais quando não trazem nenhuma alteração anormal ao organismo, afinal, um efeito nem sempre constitui um prejuízo; ou pode ser considerado potencialmente prejudicial à saúde.

Desta maneira do ponto de vista técnico poderemos classificar os efeitos biológicos como:

- Térmicos aonde é observada alterações causadas pelo aquecimento do organismo e podem ser observadas a partir de técnicas convencionais de aquecimento.
- Não térmicos que são o resultado da interação direta do campo eletromagnético da radiação com o organismo.

Os efeitos térmicos são geralmente oriundos da exposição aos campos eletromagnéticos de alta frequência. O principal problema não é o calor gerado, mas sim a quantidade excessiva gerada.

Regiões como o cristalino e os testículos são exemplos de regiões corporais que sofrem bastante com o efeito térmico gerado pelas altas frequências das ondas eletromagnéticas.

O cristalino apresenta algumas características que o tornam suscetível a danos fruto da exposição a esse tipo de radiação: é envolvido por meio aquoso, fica em posição superficial, tem vascularização reduzida, etc. A elevação térmica do tecido pode causar a catarata, patologia conhecida por opacar o cristalino. Já na região dos testículos, as características que fazem com que ele se torne alvo de dano devido à exposição são: a grande sensibilidade ao calor por parte das células germinativas e localização superficial em relação ao corpo (GEZONDHEIDSRAAD, 2002).

Os estudos mostraram que tanto a exposição com altas densidades de potência quanto as exposições crônicas de baixas densidade de potências podem trazer os danos citados (GEZONDHEIDSRRAD, 2002) (CHILTON, 2000) (MOBILE PHONES AND HEALTH, 2017).

Sabemos então, que ocorrem alterações em organismos vivos causadas pela interação deles com as radiações não ionizantes, e que estas dependem principalmente das propriedades dos tecidos biológicos, da frequência e da densidade de potência da radiação e das condições de exposição. Assim como os efeitos apresentados podem causar certos danos ao tecido sadio quando expostos de maneira incorreta, estes também podem ser usados também em diversos tratamentos e diagnósticos (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002).

Então, podemos entender que este tipo de radiação pode ser usado para beneficiar a medicina diagnóstica, desde que seja utilizada de maneira correta, entendendo os seus efeitos e potenciais de danos. Diversos estudos já foram e continuam sendo realizados sobre os efeitos das radiações não ionizantes no tecido biológico, e muitos métodos de diagnóstico e tratamento de patologias fazem uso deste tipo de aplicação das RNI, constituindo uma longa estrada de conhecimento que só estamos no começo dela, precisando assim de mais tempo e estudo para conhecê-la melhor.

4.10 Identificação dos riscos biológicos comprovados

No atual estágio do conhecimento, existe quase consenso na comunidade científica internacional nos seguintes pontos chaves, relativos aos efeitos biológicos da radiofrequência (incluem-se nesta lista os principais órgãos de estudo sobre RNI a nível mundial: ANSI/IEEE, ICNIRP, NCRP, FCC, NRPB, CENELEC) (MOUDER, 2000):

- Na interação dos campos (acima de 100 kHz) com os meios biológicos, o único fenômeno associado com efeitos reproduzíveis que levem a riscos para a saúde é o da absorção de energia eletromagnética pelo corpo, com a conseqüente elevação de temperatura dos tecidos (efeito térmico);
- Os efeitos biológicos dos campos (e os riscos) são proporcionais à energia eletromagnética absorvida;
- O nível de absorção de energia é decorrente de vários fatores: da frequência, intensidade e polarização da onda eletromagnética que atinge o corpo; das propriedades elétricas, do tamanho e geometria do corpo exposto; da separação fonte – corpo (exposição a “campos próximos” ou “campos distantes”); efeitos de aterramento e reflexivos de outros objetos próximos ao corpo exposto;
- Para um mesmo nível de energia absorvida pelo corpo, os efeitos biológicos são independentes dos fatores de exposição supracitados;
- A exposição às ondas pode ser perigosa se determinados níveis de absorção de energia são excedidos, mesmo para períodos de tempo relativamente curtos (de acordo com o limiar fisiológico de risco);
- Para baixos níveis de absorção de energia, mesmo em longos períodos de tempo (“low level”, “long-term”), não se têm relatado efeitos biológicos reproduzíveis que levem a riscos para a saúde humana;
- As atuais evidências de ocorrência de efeitos biológicos “não térmicos” são ambíguas e inconsistentes;

4.11 Riscos biológicos dos CEMRF em baixas frequências

Como visto até agora, para a faixa de RF de 100 kHz a 300 GHz os efeitos biológicos são predominantemente de natureza térmica, devido à absorção de energia pelo organismo.

Para frequências mais baixas (3 kHz – 100 kHz) o efeito predominante consiste na eletro-estimulação do organismo, em que o principal mecanismo de interação é a indução de correntes em tecidos. Esse efeito pode ser percebido ainda até poucos MHz.

Os principais efeitos poderão ser enumerados a seguir:

- **Correntes induzidas:** São a interação física de campos elétricos e magnéticos externos, com o corpo humano, resulta na indução de correntes elétricas circulantes, cuja distribuição depende das condições de exposição, do tamanho, da forma e das propriedades elétricas do corpo, da posição deste no campo e, fundamentalmente, da frequência.
- **Correntes de contato (efeito indireto):** São efeitos indiretos de campos de CEMRF e podem resultar do contato físico (ou apenas da aproximação) de uma pessoa com um objeto condutor nas seguintes condições: um dos dois (a pessoa ou o objeto) não esteja aterrado e tenha sido carregado eletricamente pela exposição a campos eletromagnéticos e o outro elemento (a pessoa ou o objeto) esteja em contato com a “terra”, possuindo um potencial elétrico diferente.

Nessa situação, no caso do contato físico, acontece um fluxo de carga elétrica (corrente de contato) através do corpo humano. A amplitude e a distribuição espacial de tais correntes dependem da frequência, do tamanho do objeto, do tamanho da pessoa e da área de contato, entre outros fatores.

No segundo caso, quando um indivíduo chega muito próximo ao objeto, sem mesmo tocá-lo, podem ocorrer descargas elétricas transitórias, transmitindo-se rapidamente a energia de radiofrequência acumulada para a pele, podendo ocasionar danos nos tecidos.

4.12 Breve resumo de alguns estudos polêmicos sobre CEMRF oriundos de telefonia celular

Conforme explicitado nas subsecções anteriores é sabido que as radiações não ionizantes têm alguns efeitos sobre as moléculas e células dos tecidos nos seres e organismos vivos. Sabemos também que os efeitos podem ser de intensidade e duração variadas dependendo de uma série de fatores. Ainda é factível inferir que os efeitos poderão trazer problemas clínicos passageiros ou imperceptíveis, como também perenes ou crônicos.

Desta então, que ocorrem alterações em organismos vivos causadas pela interação deles com as radiações não ionizantes,

4.12.1 CEMRF oriundos de telefonia celular x alterações no sono

Foram feitos alguns estudos e pesquisas na Universidade de Zurique sobre os efeitos da exposição à radiação não ionizante emitida pelos telefones celulares enquanto os mesmos dormiam.

Os testes experimentais noturnos ocorreram em dois dias. Os voluntários eram expostos aleatoriamente a uma densidade de potência e SAR máximos permitidos pelo regulamento europeu durante a primeira ou a segunda noite.

Após a exposição, eles disseram que se sentiram normais no dia seguinte. Estudos similares. Posteriormente foram realizados novos estudos com voluntários submetidos a uma densidade de potência e SAR de menos da metade, obtendo-se o mesmo resultado. Percebe-se, então que de acordo com este último resultado, que a radiação emitida pelo aparelho de celular não interferiu no sono das pessoas (STEWART, 2004).

No entanto, pesquisas realizadas por pesquisadores norte-americanos sugeriram que as CEMRF emitidas por celulares podem prejudicar o sono das pessoas:

Uma pesquisa executado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts, EUA, expôs um grupo de homens e mulheres, com idades entre 20 e 50 anos, à radiação do celular enquanto dormiam. Os cientistas observaram que as fases iniciais do sono foram diretamente afetadas e que outras, importantes para a recuperação dos desgastes, sofridos durante o dia, também foram prejudicadas pelas radiações. A mesma pesquisa indicou também que, pessoas que dormem com o celular muito próximo do corpo sofrem mais dores de cabeça” .

Pode-se inferir algumas considerações sobre os resultados divergentes das pesquisas citadas com relação a alteração do sono devido à CEMRF oriundas do aparelho celular. O estudo realizado em Zurique mostrou que a radiação advinda do celular não altera o sono das pessoas, enquanto que a realizada nos Estados Unidos indicou uma alteração do sono, principalmente na sua fase inicial. Esses resultados contraditórios podem indicar que as pesquisas ainda não são conclusivas. Porém ambas as pesquisas indicam que a exposição à RNI diminui a produção de melatonina, hormônio responsável pelo sono, produzido na glândula pineal. Não se sabe ao certo também qual a influência da frequência da CEMRF sobre os resultados uma vez que as pesquisas foram conduzidas em aparelhos de tecnologias de transmissão diferentes.

4.12.2 CEMRF oriundos de telefonia celular x aumento da temperatura da cabeça

Experiências realizadas no Reino Unido e as pesquisas de Gandhi apud (GEZONDHEIDSRAAD, 2002) apontam um acréscimo de temperatura, proveniente da radiação do telefone celular. Nos testes feitos no Reino Unido foi medida a temperatura da pele de um grupo de adultos, durante uma chamada de celular com duração de 30 minutos. Os resultados mostraram um aumento máximo de temperatura de cerca de 2,3 °C do lado da cabeça em que o celular foi apoiado. Um comitê holandês, que dita limites de exposição à radiação emitida pelo celular, analisou os dados e suspeita que houve uma falha nos procedimentos de medida. O comitê acredita que houve uma influência direta das ondas eletromagnéticas emitidas pelos telefones celulares sobre os instrumentos de medida utilizados. Nenhum acréscimo de temperatura foi verificado com o telefone desligado. Gandhi também verificou um aumento de 0,1 a 0,2 °C na temperatura no cérebro e no olho em consequência da presença de um telefone celular, valor bem abaixo do limite aceitável

de 1 °C, como se pode constatar a radiação emitida pelo telefone celular aumenta a temperatura dos tecidos biológicos. Entretanto, esses acréscimos são atenuados pela circulação do sangue e pelo suor. Deve-se, portanto, limitar o uso de aparelhos celulares pelas crianças, principalmente porque seus tecidos auditivos e oculares ainda estão em desenvolvimento e possuem poucos vasos sanguíneos.

4.12.3 CEMRF oriundos de telefonia celular x alterações no sistema cárdico vascular

Não há nenhuma evidência para afirmar que campos eletromagnéticos originados de telefones celulares produzam algum efeito sobre o sistema cardiovascular nas pesquisas feitas com voluntários saudáveis. A exposição ao sinal do telefone celular parece não influenciar as variações naturais do ritmo cardíaco. Algumas pesquisas indicam uma possível influência na pressão sanguínea (GEZONDHEIDSRAAD apud HARDELL).

Entretanto, cientistas provaram posteriormente que as alterações eram devidas à ação direta do campo eletromagnético no equipamento de medição. Apesar disso, os usuários de marca-passos precisam ter cuidado. Com relação ao uso desse instrumento ou outros dispositivos médicos eletroeletrônicos, geralmente os manuais de instruções de um aparelho celulares alertam: “É possível que haja interferências na função de equipamentos médicos, como por exemplo, próteses auditivas e marca-passos.

Deve-se assim de acordo com os manuais de fabricantes de aparelhos celulares manter uma distância mínima de 20 cm entre o marca-passos e o celular. Ainda ao telefonar, coloque o celular no ouvido oposto ao do marca-passos” (Excertos do Manual de um celular da marca Motorola).

Isto geralmente ocorre devido a possível interferência eletromagnética no funcionamento de tais dispositivos

4.12.4 CEMRF oriundos de telefonia celular x tipos de câncer

O debate atual sobre a possibilidade de as radiações emitidas pelos celulares provocar câncer se intensificou nos últimos anos, devido ao aumento do número desses aparelhos. Esta discussão foi levantada após uma reclamação de um habitante da Flórida, em 1993, que atribuiu à radiação emitida pelo celular o desenvolvimento de um tumor cerebral em sua esposa. Nesta época não se conhecia praticamente nada sobre os efeitos adversos causados pela exposição regular (a curto ou longo prazo) a estes campos eletromagnéticos. Desde então, a sociedade demonstra muito interesse em relação à segurança destes telefones móveis. De acordo com Moulder (STUCHLY, 1995), a radiação emitida pelas antenas de celulares não possui energia suficiente para quebrar a molécula de DNA.

Agora faremos uma breve consideração sobre alguns estudos relacionados a alguns tipos de câncer.

4.12.4.1 Câncer de cabeça x CEMRF de celulares

Estudos epidemiológicos investigaram uma possível relação entre o uso do telefone móvel e o desenvolvimento de tumor cerebral. Hardell (GEZONDHEIDSRAAD, 2002) elaborou um estudo envolvendo 209 pacientes que apresentavam tumor cerebral. Uma análise desses tumores não indicou nenhuma ligação entre a utilização do telefone móvel e o crescimento dos mesmos, tanto para telefones analógicos quanto para digitais. Segundo Johansson (GEZONDHEIDSRAAD, 2002), este monitorou um grupo de 420.000 usuários de telefone móvel de 1982 a 1995. Neste grupo, a probabilidade de desenvolver tumores cerebrais não diferiu daquela da população dinamarquesa como um todo. Nenhuma correlação foi encontrada com o tempo médio da chamada, duração do uso do telefone, idade no começo da utilização do telefone celular, ou tipo do telefone (analógico ou digital).

4.12.4.2 Câncer de olhos X CEMRF de celulares

Estudos realizados por cientistas alemães liderados por STANG (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002), indicaram que o uso do celular aumenta o risco relativo de melanoma ocular. Diante destes estudos é razoável acreditar que ocorrerá aumento da incidência deste tipo de câncer no decorrer do tempo, pois o número de assinantes de telefone celular aumenta cada vez mais INSKIP (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002).

Para testar essa hipótese, a avaliação da incidência de melanoma ocular foi correlacionada com o número de assinantes de telefones celulares na Dinamarca por Johansen (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002)., como resultado apesar do aumento significativo do número de assinantes de telefone celular, percebe-se que a taxa de incidência de câncer no olho permaneceu constante durante todo o período analisado. É importante observar que a tecnologia de celular é recente se comparada com o aparecimento de câncer no olho.

Não obstante, não podemos inferir sobre as tendências estatísticas com esta pesquisa em função do curto intervalo de amostragem, assim para longos períodos de tempo não é possível afirmar se o câncer no olho está relacionado com o número de assinantes de aparelhos móveis. No entanto, o IEGMP acredita que crianças são mais suscetíveis à influência de campos eletromagnéticos.

4.12.5 CEMRF oriundos de telefonia celular x alterações nos hormônios cortisol e melatonina

Segundo Hardell (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002). um grupo de voluntários saudáveis foram expostos durante o sono a um sinal GSM de 900 MHz com uma densidade de potência de 0,2 W/m². A cada 20 minutos, foi feito exame de sangue para verificar as concentrações de cortisol e melatonina. Somente uma mudança no nível do cortisol foi encontrada - um aumento pequeno na primeira hora de exposição, voltando ao nível normal após esse tempo. Os autores justificam tal comportamento como uma adaptação do corpo ao sinal emitido.

Randon (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002). fez uma avaliação da concentração de vários hormônios, incluindo melatonina e cortisol na saliva de humanos. Estes foram expostos a um sinal GSM com uma densidade de potência de

1 W/m² por quatro horas, tendo por resultado um SAR máximo de 0,025 W/kg na cabeça. Devido às variações diárias dos níveis desses hormônios, a exposição ocorreu durante o dia e a noite. Os investigadores concluíram que não houve alteração na concentração de nenhum dos hormônios presentes na saliva dos voluntários, após a exposição ao sinal de celular.

As pesquisas de Gezondheidsraad (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002), entretanto mostraram uma alteração no nível de cortisol de pessoas saudáveis. A escassez desse hormônio, ou excesso dele, pode propiciar o aparecimento de duas moléstias: A doença de Addison (causada pela baixa produção de cortisol pelas glândulas supra-renais) e a Síndrome de Cushing (Desordem endócrina causada por níveis elevados de cortisol, no sangue).

Ainda, De Sèze (BOICE; MCLAUGHLIN, 2002) investigou se a exposição à radiação emitida por telefones celulares digitais teria algum efeito sobre o nível de melatonina no sangue. Os voluntários foram expostos a campos eletromagnéticos de 900 MHz ou 1800 MHz com potência máxima. Esta exposição foi feita duas horas por dia, durante cinco dias por semana em quatro semanas. Os valores do SAR encontrados no local da cabeça, onde foi apoiado o celular, estavam entre 0,1 e 0,3 W/kg.

Foi realizado um exame de sangue quatro vezes por dia em intervalos de três horas, antes, durante e após o período da exposição. Em nenhum desses períodos foi encontrada uma anomalia nas variações diárias do nível de melatonina no sangue.

5 METODOLOGIA

5.1 Argumentação preliminar

Como metodologia de trabalho, adotou-se dois tipos de pesquisa: A pesquisa exploratória qualitativa e a pesquisa de campo. Na primeira fase da pesquisa, foi utilizada a revisão bibliográfica como apoio, por meio da leitura e seleção de artigos, publicações internacionais diversas com base na pesquisa das palavras-chave, abrangendo um período de 2000 a 2015. Uma vez que o tema pesquisado é bastante complexo e abrangente, foi também necessário estudar disciplinas correlatas porém diferentes, mas pertinentes ao tema, tais como Direito, Eletromagnetismo, Engenharia de antenas, Sistemas de Telecomunicações, Higiene Ocupacional, Telefonia Celular de voz e dados, Sistema Geográfico de Informações (GIS), entre outras.

O tipo de pesquisa mais utilizado nessa etapa foi a pesquisa bibliográfica, buscando-se as contribuições científicas do passado até o presente recente sobre o assunto. É consenso entre a comunidade científica que a pesquisa bibliográfica é um meio de formação ou excelência que constitui o procedimento básicos para os estudos monográficos pelos quais se buscam o domínio do estado da arte sobre o tema.

Desta maneira entende-se por pesquisa bibliográfica a revisão da literatura sobre as principais teorias que norteiam o trabalho científico. Essa revisão é o que chamamos de levantamento bibliográfico ou revisão bibliográfica, a qual pode ser realizada em livros, periódicos, artigo de jornais, sites da Internet entre outras fontes (BOCCATO, 2006).

Na segunda fase, foram realizadas avaliações quantitativas dos níveis de radiações não ionizantes emitidos pelas Estacoes Radio Base (ERB) nas frequências de downlink normatizadas de telefonia celular das operadoras que possuem ERB emissoras de frequência de telefonia 4G ou sistema LTE nas bandas de 2,5 GHz que estão localizadas na área do distrito piloto, previamente escolhido no município de São Luís no estado do Maranhão.

Existiam outras frequências que foram identificadas no levantamento de campo e elas possuem origens diversas como: WIFI, FM, TV, GSM, 1G, 2G, 3G, TV analógica (a época dos levantamento de campo iniciais) entre outras ondas de rádio frequência identificadas. Elas foram excluídas do mapeamento com vistas a identificar somente os níveis de radiações eletromagnéticas existentes em tais locais oriundas de ERB na faixa de downlink 4G na faixa de frequência de 2,5 GHz.

5.2 Seleção do local e dos pontos de medição

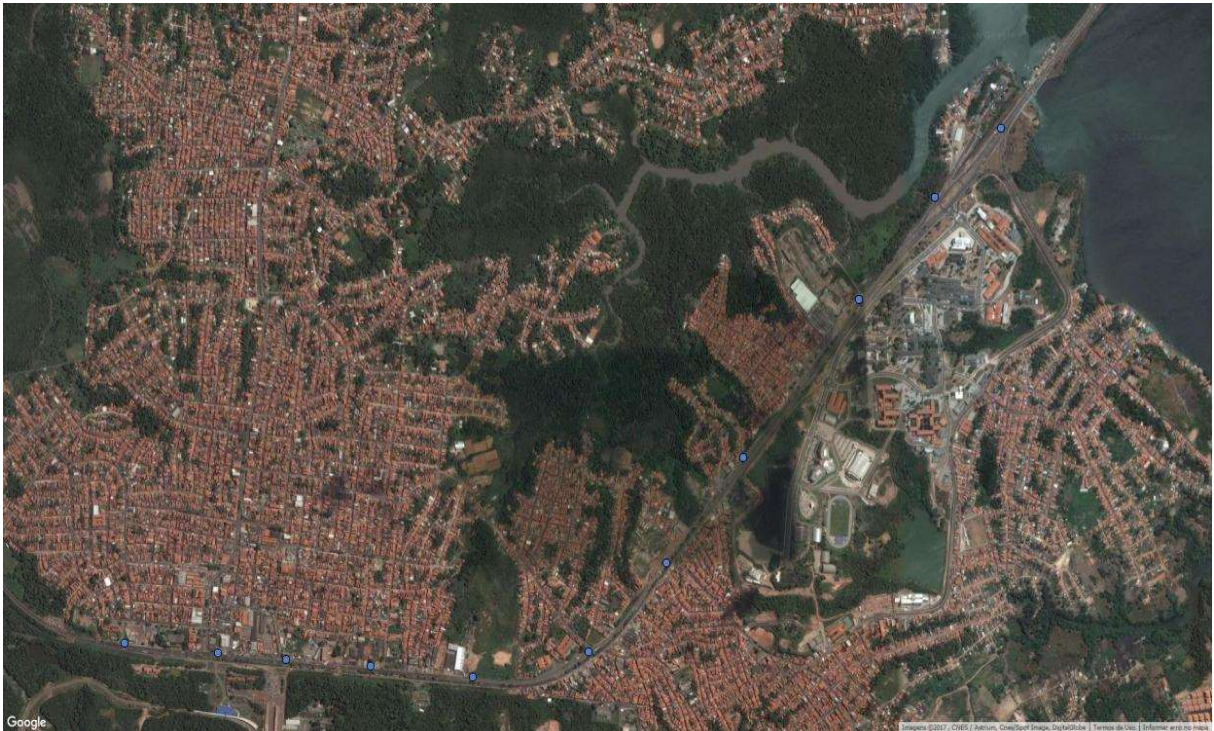
A área foi definida foi definida primeiramente em função do baixo nível de urbanização e alta concentração de pessoas e ERB. Ainda a locação dos pontos de medição foi feita com base na proximidade de locais de afluência de público geral, como escolas, praças, supermercados, igrejas, proximidade de feiras, comércios, paradas de ônibus em frente a universidade, etc.

Assim os pontos de medição foram mapeados e distribuídos ao longo da linha da BR-135 que acompanha a avenida dos portugueses (Anjo da Guarda, UFMA, Vale e mediações), aonde possuem vários pontos de afluência de pessoas (público em geral), definindo assim a área a ser avaliada.

Levando-se em consideração as regiões definidas por coordenadas de GPS, aonde teoricamente se apresentam as ondas eletromagnéticas oriundas das ERB, foram executadas as medições de Campo Elétrico (E), Campo Magnético (B) e Densidade de Potência (S) com equipamentos a fim de aferir os níveis medidos e compara-los com os valores médios teóricos esperados.

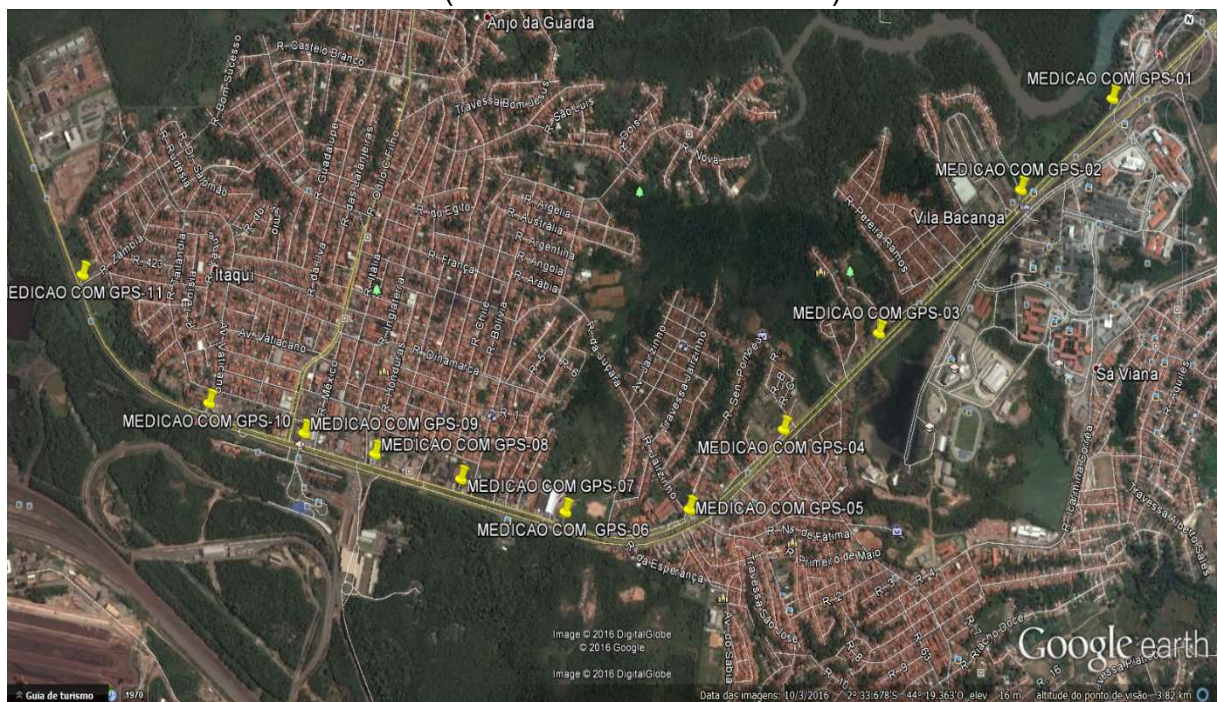
Os locais para medição dos níveis de RNI, através da aferição dos valores medidos em campo das intensidades de campo Elétrico (E) e intensidades de Campo Magnético (H) e conseqüentemente densidade média de potência (S) da onda plana na frequência de downlink , foi ser previamente selecionados, através de avaliação das localização das torres , existência de comunidades circunvizinhas e principalmente uma área que não existe edificações tipo edifícios e com topografia mais o menos plana, para tentar obter com maior fidelidade o valor teórico dos níveis acima e compara-los com os valores calculados.

Figura 14 – Foto dos pontos georeferenciados utilizando o software QGIS (Sistema baseado em GIS)



Fonte : O AUTOR

Figura 15 – Foto dos pontos georeferenciados utilizando o software Google Earth Pro (Sistema baseado em GPS)



Fonte : O AUTOR

Ainda, estes locais foram definidos, de forma a ter fácil acesso e cuja a localização fosse bastante afastada de outros pontos medidos de forma a evitar interferências de outras fontes emissoras eletromagnéticas. Especialmente nas avaliações de níveis de Densidade de potência (S), Campo Elétrico (E) e magnético (H), recomenda-se que os pontos de medição apresentem localização afastada de árvores e massas metálicas, que interferem no resultado das medições. Na impossibilidade de se atender a tal premissa, todos os agentes interferentes citados deverão ser identificados e discriminados com suas respectivas características, geometria e locação em relação aos respectivos pontos de medição, para que sejam considerados na avaliação final dos valores medidos.

A norma da ANATEL, portaria 303 foi utilizada e estabelece métodos de medição e níveis de referência para exposição aos limites de tolerância aos campos elétricos e magnéticos, densidade de potência nas frequências de 2500 Ghz a 2600 GHz. Esta norma ainda define a metodologia de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos para uma gama de frequências para o público geral, ao redor das instalações de ERB e seus entornos. Para tal, primeiramente utilizou-se a pesquisa na base de dados da ANATEL, pelo sistema STEL (Sistema STEL - ANATEL / Sistemas) que pode ser acessado livremente pelo site: <https://sistemas.ANATEL.gov.br/stel/>. Com base nestes dados foram isoladas as antenas das operadoras 4G presentes nos locais (pontos de medição).

Figura 16 – Tela do STEL

Fonte: O AUTOR

5.3 Modelo matemático para cálculos dos níveis de RNI nos pontos de medição

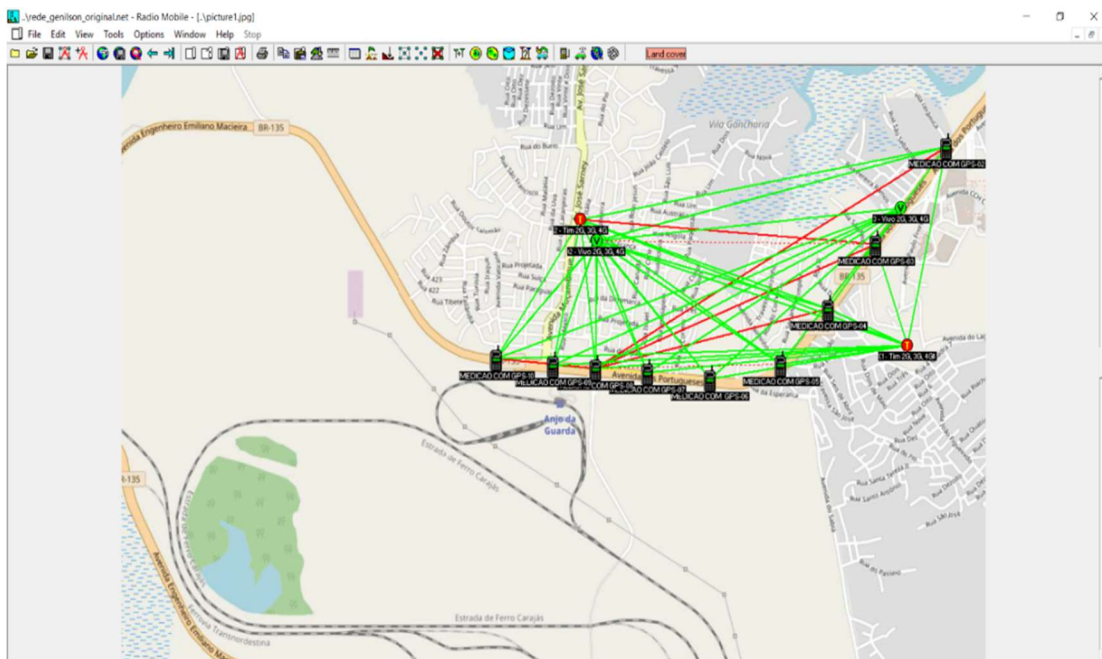
Os valores da potência irradiada ou dos campos criados pelas ERB foram determinados com base no levantamento de dados do STEL e para se realizar os cálculos matemáticos de níveis de intensidade de campos elétricos e magnéticos e níveis de potência foi utilizado o software livre radio mobile, que pode ser obtido no site : <http://www.ve2dbe.com/english1.html> . As simulações utilizaram o software Radio mobile Ver. 6. 6 , rodando em um computador DELL serie i7-7000, equipado com um processador Pentium core i7, 3,2 Ghz e 16 Gb de memória RAM, rodando em Windows 10 profissional.

O resultado das simulações foi tabulado por meio de planilhas de Excel e foram aplicadas as equações da resolução da 303 da ANATEL, as equações das recomendações do ITU-T P.525 e uma serie de planilhas de Excel com dados advindos do levantamento do software radio mobile alimentados com os dados das ERB vindos do STEL.

Assim tornou-se viável os verificar os seguintes pontos:

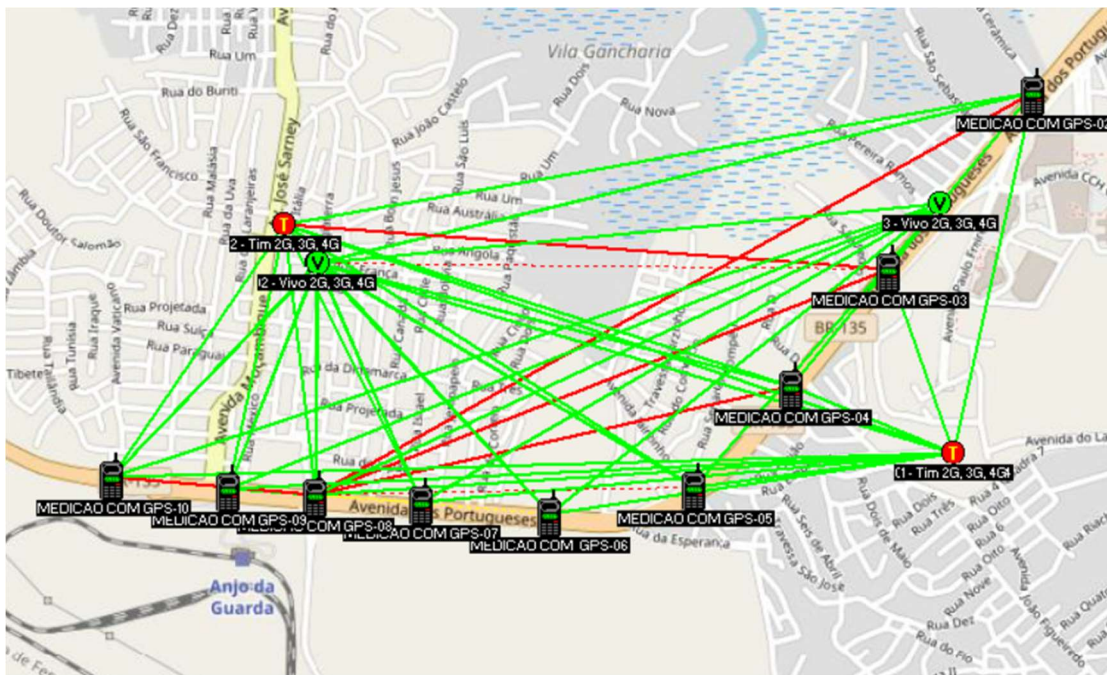
- Definir através de cálculos matemáticos os valores teóricos esperados através de cálculos matemáticos.
- Saber quais ERB de fato contribuíram na medição do ponto
- Saber quais ERB tinham visada nos pontos de medição
- Obter valores (teóricos) para fazer comparação com as medições dos equipamentos de medição utilizados (Sonda Isotrópica, Analisador de Espectro).

Figura 17 – Tela do programa com os dados e coordenadas dos pontos



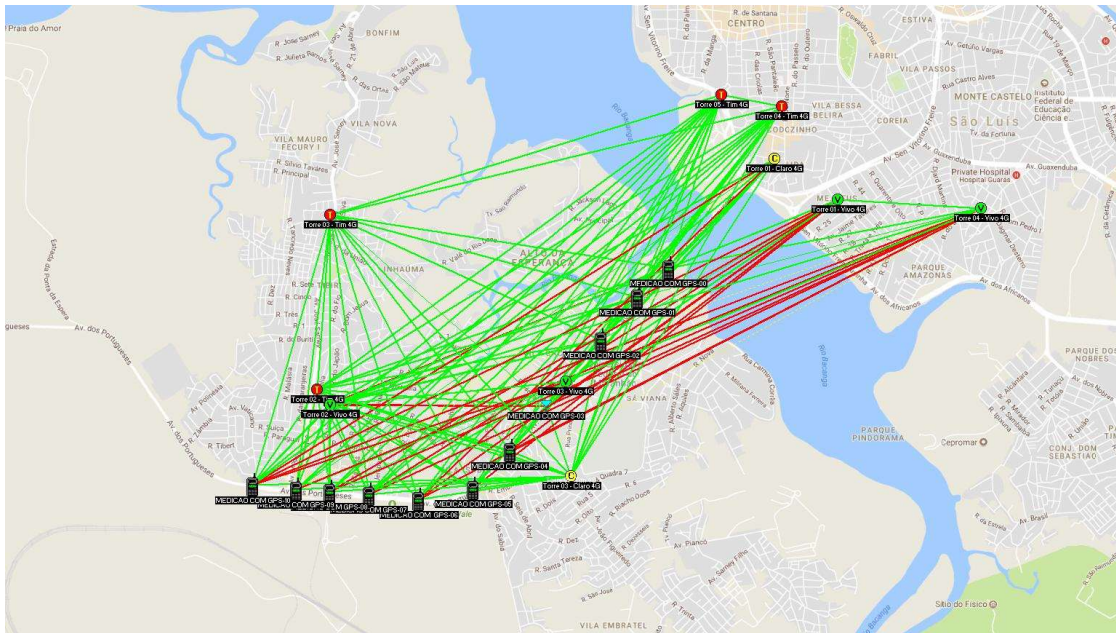
Fonte: O AUTOR

Figura 18 – Tela do programa com detalhes dos enlaces calculados



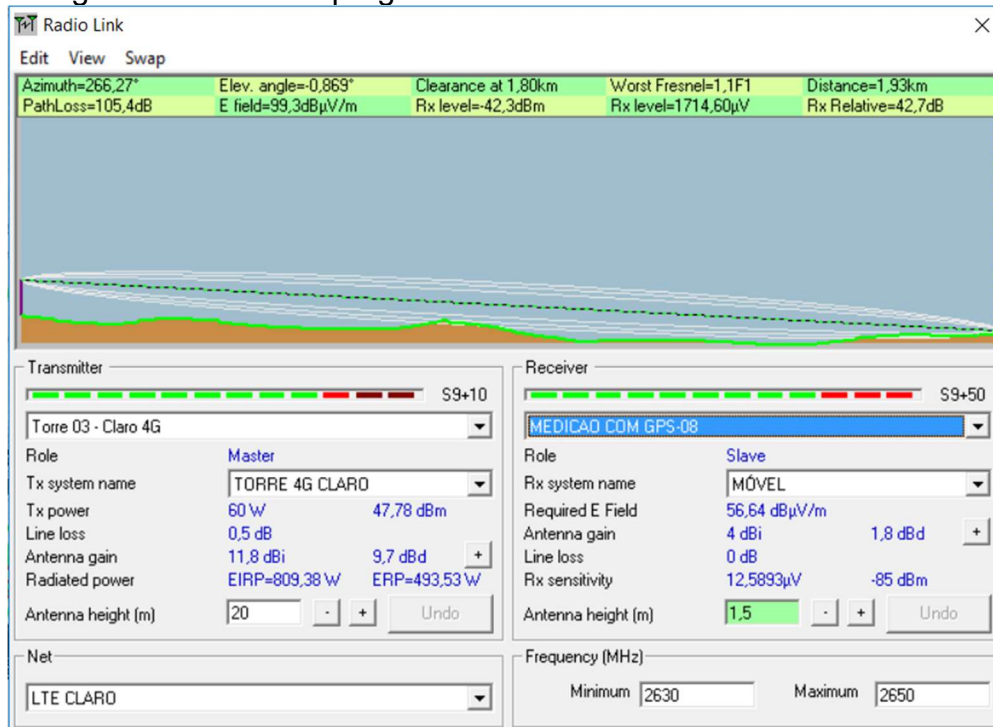
Fonte: O AUTOR

Figura 19 – Tela do programa com todos os enlaces calculados



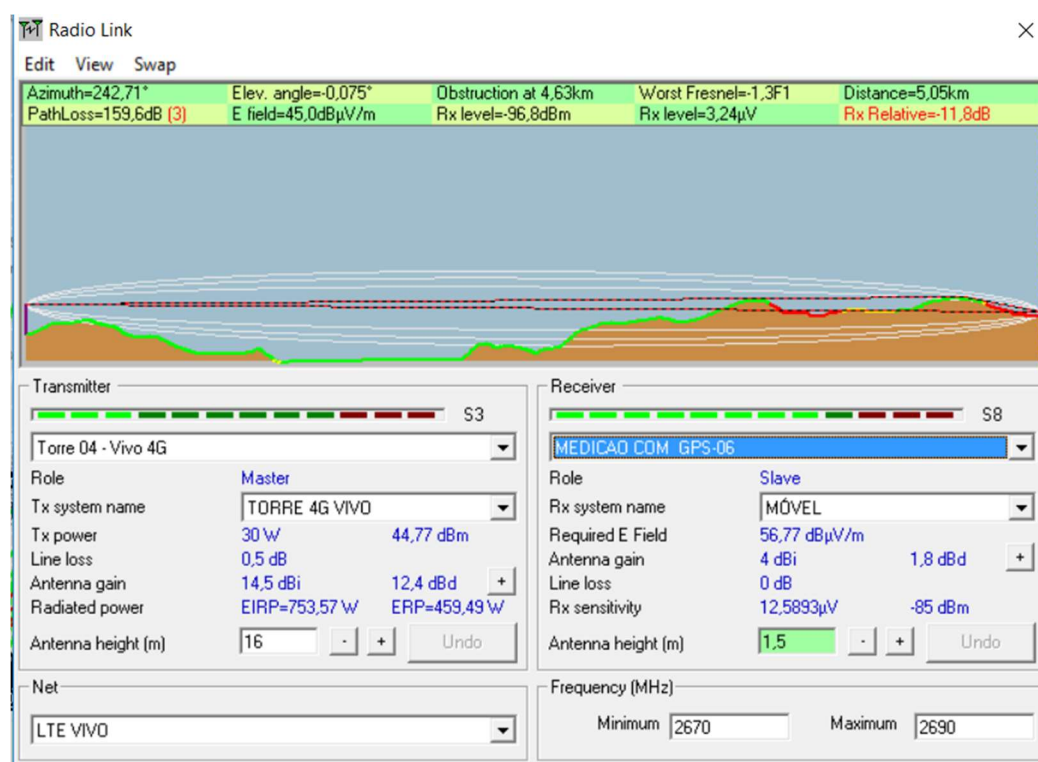
Fonte: O AUTOR

Figura 20 – Tela do programa com os enlaces viáveis simulados



Fonte: O AUTOR

Figura 21 – Tela do programa com os enlaces não viável simulados



Fonte: O AUTOR

5.4 Diretrizes e procedimentos para as medições

As medições foram realizadas em campo distante (Consideram-se que os campos elétrico e magnético, componentes da onda eletromagnética, são normais entre si e a direção de propagação da onda e a sua magnitude tem uma relação definida).

As medições foram todas em dias alternados, durante o período de 01 mês (entre novembro e dezembro de 2017) sempre nos mesmos locais e em horários alternados, levando-se em conta sempre as condições climáticas de dia claro e com sol de forma a obter a uniformidade dos resultados obtidos.

Foi adotada como as frequências de levantamento dos níveis de radiação não ionizante (RNI) para o presente estudo as frequências centrais da faixa de frequência de downlink das estações rádio base (ERB) de telefonia celular para o tabulamento dos dados dos níveis de RNI em que as populações estão expostas e sua comparação com os níveis normativos definidos pela resolução da ANATEL, a fim

de inferir se os mesmos estão acima ou abaixo dos níveis permitidos.

5.4.1 Diretrizes para medições no método – 01 (analisador de espectro)

Como procedimento de medição foram tomadas as medições em intervalos de 06 minutos, sempre procurando-se fazer a varredura de todas as frequências existentes na direção de 360° em torno do ponto de referência GPS de forma a descobrir quais frequências e em qual direção a mesma apresentava maior intensidade.

5.4.2 Diretrizes para medições no método – 02 (sonda isotrópica)

Uma vez definidos os pontos de maior intensidade com o analisador de espectro, A análise campos elétricos e magnéticos e densidades de potência deverão ser medidos a uma altura de 1 (um) metro acima do nível do solo, para comparação com os níveis de segurança recomendados. Eventualmente, poderão ser realizadas medições ao nível de 1,50 (um e cinquenta) metros acima do solo, altura compatível com os membros superiores da escala humana. Assim sendo, com a utilização de aparelhos portáteis é suficiente apenas mensurar ou o campo elétrico ou ainda o campo magnético ou ainda a densidade de potência que foi o caso das nossas medições para determinar a outra grandeza de forma analítica.

5.5 Instrumentos de medição utilizados

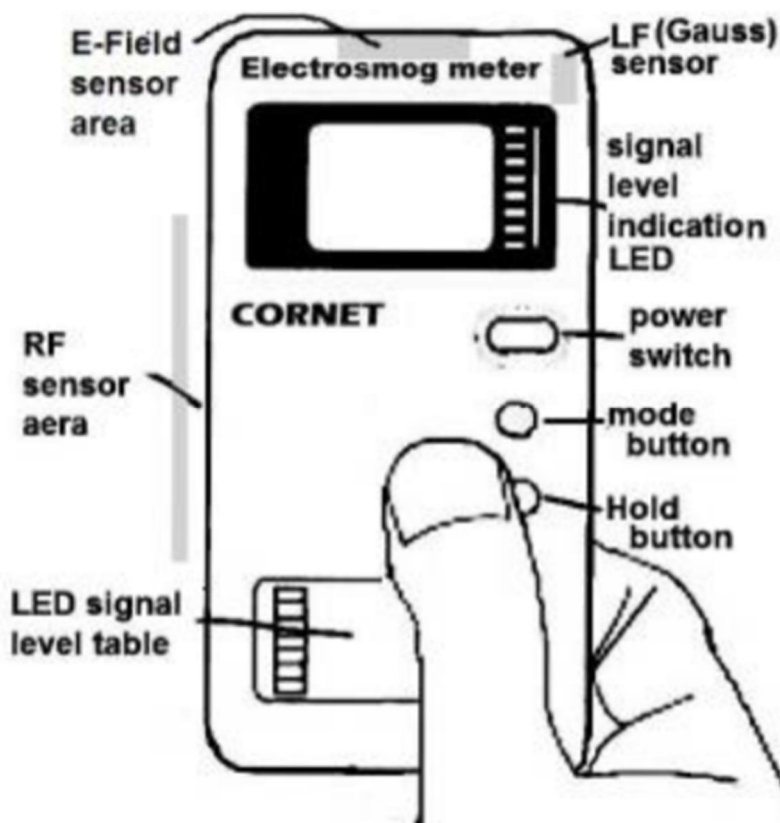
Aqui faremos uma breve discussão dos instrumentos usados nas medições de campo executadas. A densidade de potência (S), Campo Elétrico (E) e Campo Magnético (H) oriundos das ondas de rádio frequências emitidas pelas ERB (Estações Rádio Base) no sentido downlink foram medidas e comparadas nas recomendações da Resolução 303/02 da ANATEL, utilizando-se de equipamentos descritos a seguir.

5.5.1 Instrumentos de medição utilizados no método - 01 (analisador isotrópico)

O instrumental utilizado nesta metodologia está descrito conforme abaixo e tem a configuração mostrada nas figuras- 23, 24 para os equipamentos utilizados:

1. O analisador **ISOTROPICO – Portatil** : É do tipo tri-axial portátil, antena isotrópica embutida, Fabricante: CORNET (USA) Modelo ED88T, com as seguintes funções:
 - a) Detector de radiofrequência básico (100 MHz - 8 GHz)
 - b) Detector de campo magnético ((0.1 uT - 60 uT))
 - c) Detector de campo elétrico (10 V/m - 100 V/m)
 - d) Análise de densidade de potência (S)

Figura 22 – O Sistema de Medição do **Medidor Isotrópico: CORNET ED88T** –Ilustração



Fonte: Manual do Fabricante

As medições serão feitas em paralelo com os medidor **ISOTROPICO – AI** , de forma seletiva das bandas de interesse , fazendo medições de **campo elétrico (E)**, e calculando analiticamente os campo magnético e densidade de potencia . Enquanto que o analisador **Espectro – AE** será utilizado para medir as bandas de forma seletiva , mas como parâmetro principal de medição a densidade média de potência convertida em **(w/m²)** dos pontos , assim de forma análoga será calculado analiticamente a partir destes resultados os demais parâmetros - campo elétrico e magnético .

5.5.2 Instrumentos de medição utilizados no método - 02 (analisador de espectro)

O instrumental utilizado nesta metodologia está descrito conforme abaixo e tem a configuração mostrada na figura 23, os equipamentos utilizados foram:

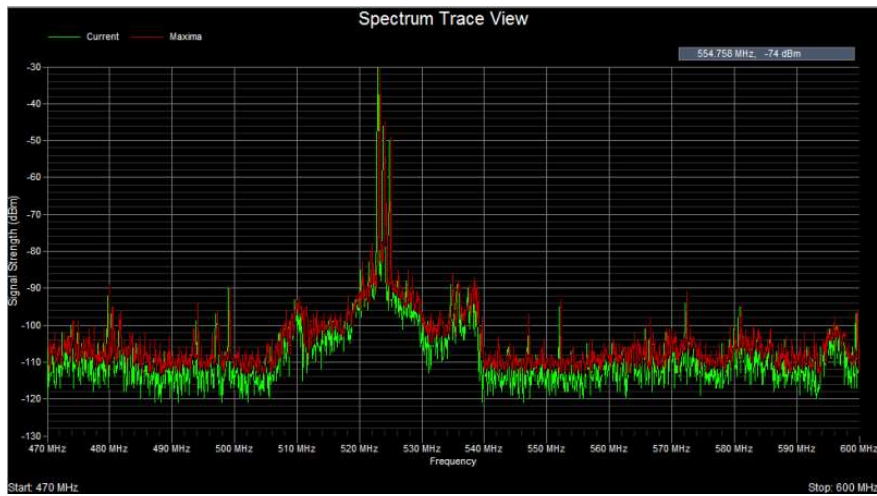
2. Analisador de Espectro portátil, Fabricante: Nuts about Net (USA) Modelo RF-EXPLORER 6G COMBO
3. Laptop HP PROBOOK (INTEL CORE I7, 16 GB RAM)
4. Antena para conexão 4G (LTE), Fabricante: DLINK, Modelo: DWR 922B
5. Software de análise - Touchstone-Pro for Windows

Figura 23 – O Sistema de Medição Laptop + Analisador de Espectro –Ilustração



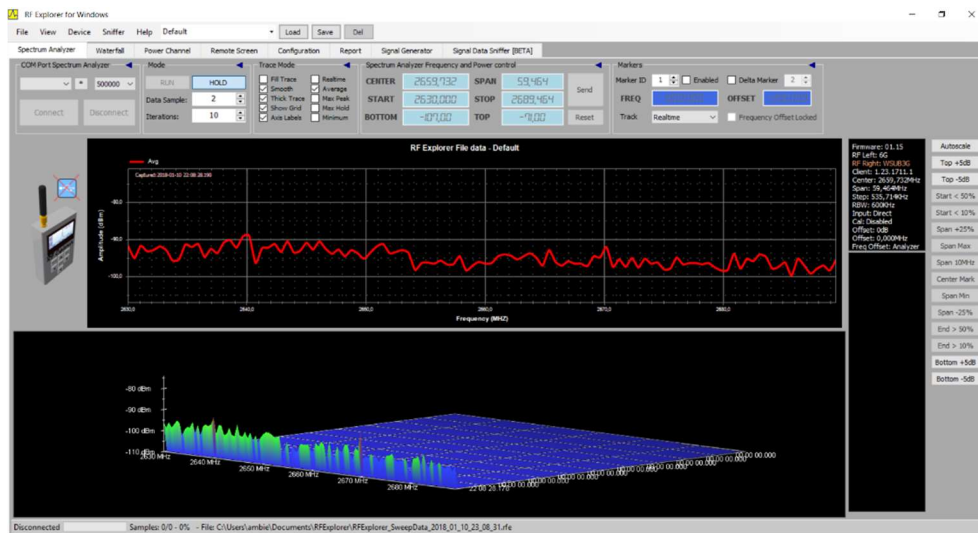
Fonte: O Fabricante (<http://nutsaboutnets.com>)

Figura 24 – Vista da tela do espectro das ondas analisadas –Ilustração



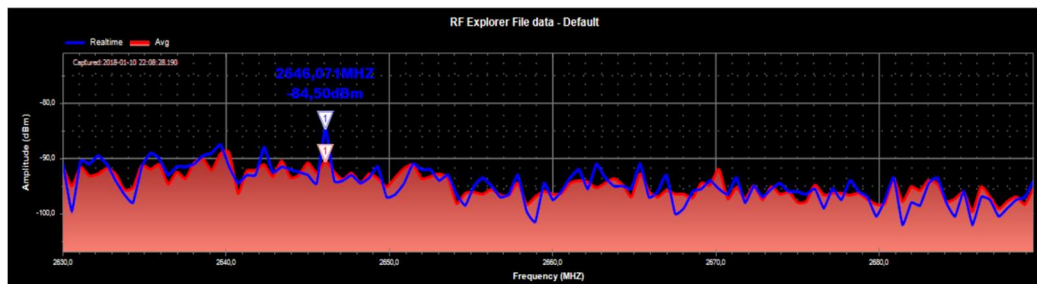
Fonte: O Fabricante (<http://nutsaboutnets.com>)

Figura 25 – Tela do software de Análise



Fonte: O AUTOR

Figura 26 – Análise das banda em tempo Real-Ilustração



Fonte: O AUTOR

O analisador de espectro portátil RF Explorer é um medidor que permite realizar medição seletiva em frequência, principalmente, para os casos em que a energia eletromagnética presente é resultante da soma de componentes de diferentes frequências, e os limites variam em função da frequência, ou ainda, quando se deseja saber qual a contribuição de determinada banda de frequência (4G downlink faixa de 2,5 Ghz) neste somatório. Através de uma interface USB com o computador o analisador de espectro (AE) pode ser totalmente controlado pelo uso de um computador com o software específico no processo de aquisição de dados.

5.5.3 Calibração dos instrumentos de medição

No capítulo IV, Artigo 33º, da Resolução nº. 303/2002 da ANATELL exige que os instrumentos a serem utilizados nas medições devem ser calibrados em laboratório credenciado pelo INMETRO.

Tal exigência não é aplicável para nossa pesquisa uma vez que o intuito é medir grandezas e compará-las e não emitir certificado de conformidade, como prevê a resolução. Ademais os equipamentos usados no presente estudo foram todos adquiridos novos e foram comprados no exterior e porquanto possuem as calibrações laboratório de acordo com os padrões internacionais de referência o que é mais adequado do ponto de vista metrológico. Vale lembrar que o medidor isotrópico e autocalibrável, portanto não precisa de calibração, embora ele também possua certificado de conformidade internacional.

5.5.4 Limitações das medições e dos instrumentos de medição

O presente estudo foi focado principalmente nas radiações não ionizantes (RNI) oriundas das estações rádio base de telefonia celular, não levando em consideração outros emissores de radiações eletromagnéticas de RF, eventualmente instalados nas ERB ou nas proximidades, tais como rádio enlaces ponto a ponto em micro-ondas, antenas de rádio difusão, uma vez que tais sistemas usam antenas parabólicas altamente diretivas, com feixe de radiação sem dispersão.

Não faz parte de escopo deste trabalho, tampouco, a análise da exposição de pessoas às emissões de Rádio frequência (RF) emitidas do celular para as antenas (uplink), oriundas do uso dos telefones celulares no seu cotidiano.

Ainda é importante frisar que esta dissertação também não abrange a avaliação de campos eletromagnéticos oriundos de Rádio frequência (RF), nas regiões de campos próximos ou nas proximidades de entorno de antenas das Estações Rádio Base (ERB), uma vez que esses campos estão presentes apenas no ambiente ocupacional ou seja dos trabalhadores das prestadoras de serviço de telefonia celular ou similares, não sendo assim o foco atual desta pesquisa.

Ainda o estudo das associações de efeitos de todas as faixas de radiação não ionizante nos pontos medidos não é escopo desta pesquisa também, pois como citado a mesma tem como foco principal a análise da exposição das pessoas comuns, ou seja, o ambiente populacional em geral as frequências na faixa de 4G downlink de 2,5 MHz.

5.6 Fontes de erros nas medições

As fontes mais prováveis de erros nas medições de executadas, são entre outros:

- Dificuldades no posicionamento do medidor na direção da maior intensidade do sinal
- Efeitos da umidade nos fenômenos de reflexão e refração das ondas eletromagnéticas
- Efeitos da temperatura de reflexão e refração das ondas eletromagnéticas
- Variações no nível de intensidade do sinal em função das movimentações de pessoas e automóveis e outros que interferem fenômenos de reflexão e refração das ondas eletromagnéticas
- As baixas sensibilidades dos equipamentos de medição
- Utilização de equipamentos portáteis de pequeno porte
- Efeitos da proximidade do operador.
- Erros de leitura e paralaxe

5.7 Procedimentos de medições utilizados nas medições

Aqui faremos uma breve explicação sobre os métodos de medição utilizados em ambas as campanhas de medição.

5.7.1 Procedimentos de medições utilizados no método – 01

Nesta abordagem foi utilizada para medir os pontos já definidos um conjunto de medidores isotrópicos com a finalidade de aferir os dados da pesquisa:

- Ligar o Medidor Isotrópico- A: ED88T;
- Medidor A (ED88T) selecionar a unidade de medidas para V/m;
- Fazer as medições por um tempo intervalo de tempo de 6 minutos;
- Posicionar os medidores de forma a obter o melhor sinal (direção do lóbulo principal);
- Medir no ponto seguinte;

5.7.2 Procedimentos de medições utilizados no método – 02

Nesta abordagem foi utilizado o analisador isotrópico e o computador em conjunto com a finalidade de aferir os dados da pesquisa:

- No local das medidas preparar o instrumental seguindo as diretrizes gerais de medição da norma ANATEL 303;
- Ligar o AE e realizar a auto calibração;
- Inserir a frequência inicial e final dentro da banda de downlink;
- Selecionar o nível de referência, normalmente 0 dBm;
- Aquisitar o nível de potência do sinal recebido (dBm) mostrado na tela do AE, reproduzido e armazenado num arquivo no programa e controle no Laptop por 6 minutos;
- Os níveis de potência em dBm serão convertidos em densidade de potência (S) por planilhas de Excel;

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são mostrados alguns locais, dentre vários, onde foram realizadas as medidas dos níveis de radiação dos campos eletromagnéticos (CEMRF) emitidos pelas antenas das ERB, e também, os resultados destas medidas. Foi considerado somente um tipo de medidas de exposição: A Exposição da população em geral, esta também chamada de exposição não controlada, pois caracteriza-se pela situação em que a população em geral possa estar exposta a campos de CEMRF, ou ainda, pessoas possam estar expostas em consequência de seu trabalho, sem estar cientes da exposição ou sem possibilidade de adotar medidas preventivas.

Figura 27 – Medição dos níveis de Densidade de Potência da População Geral com Medidor Isotrópico



Fonte: O AUTOR

6.1 Realização das medidas

Nesta seção faremos o tratamento dos dados obtidos em campo e tabularemos os resultados de forma a fazer compreender os resultados de forma clara e concisa para poder fazer as considerações pertinentes. Anexamos os resultados das campanhas de medição e formaremos gráficos como estratégia entendimento visual dos dados.

As medidas dos níveis de radiação utilizando as duas metodologias foram realizadas nos seguintes locais e nas faixas centrais das frequências de downlink, conforme as tabelas a seguir:

Tabela 12 - Localização dos Pontos medidos

| PONTO | Medição | Latitude | Longitude | ENDEREÇO /Localização |
|--------------|----------------|-----------------|------------------|---------------------------------|
| PONTO -00 | MEDIÇÃO -00 | 2°32'58.62"S | 44°18'19.92"O | Av. dos Portugueses ponto GS-00 |
| PONTO -01 | MEDIÇÃO -01 | 2°33'6.09"S | 44°18'27.99"O | Av. dos Portugueses ponto GS-01 |
| PONTO -02 | MEDIÇÃO -02 | 2°33'17.18"S | 44°18'37.33"O | Av. dos Portugueses ponto GS-02 |
| PONTO -03 | MEDIÇÃO -03 | 2°33'34.33"S | 44°18'51.47"O | Av. dos Portugueses ponto GS-03 |
| PONTO -04 | MEDIÇÃO -04 | 2°33'45.76"S | 44°19'0.92"O | Av. dos Portugueses ponto GS-04 |
| PONTO -05 | MEDIÇÃO -05 | 2°33'55.48"S | 44°19'10.46"O | Av. dos Portugueses ponto GS-05 |
| PONTO -06 | MEDIÇÃO -06 | 2°33'58.20"S | 44°19'24.66"O | Av. dos Portugueses ponto GS-06 |
| PONTO -07 | MEDIÇÃO -07 | 2°33'57.06"S | 44°19'37.25"O | Av. dos Portugueses ponto GS-07 |
| PONTO -08 | MEDIÇÃO -08 | 2°33'56.28"S | 44°19'47.58"O | Av. dos Portugueses ponto GS-08 |
| PONTO -09 | MEDIÇÃO -09 | 2°33'55.62"S | 44°19'56.04"O | Av. dos Portugueses ponto GS-09 |
| PONTO -10 | MEDIÇÃO -10 | 2°33'54.54"S | 44°20'7.50"O | Av. dos Portugueses ponto GS-10 |

Fonte: O AUTOR

Tabela 13 - Faixas das frequências de downlink analisadas das ERB que existem na área de estudo

| Subfaixa (MHz) | Blocos(MHz) | Transmissão da | | Operadora |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------|------------------|
| | | Estação Móvel | ERB | |
| W | 20+20 | 2.510- 2.530 | 2.630- 2.650 | Claro |
| V1 | 10+10 | 2.530- 2.540 | 2.650- 2.660 | TIM |
| V2 | 10+10 | 2.540- 2.550 | 2.660- 2.670 | Oi |
| X | 20+20 | 2.550- 2.570 | 2.670- 2.690 | Vivo |

Fonte: O AUTOR adaptado ANATEL

Tabela 14 - Localização das ERB que emitem radiação RNI em 4G no entorno dos pontos medidos

| TORRE | OPERADORA | LOCALIZAÇÃO | |
|---------------|------------------|--------------------|------------------|
| CODIGO | NOME | Latitude | Longitude |
| T1-CLARO | CLARO | 2°32'30.41"S | 44°17'52.62"W |
| T2 -CLARO | CLARO | 2°33'33.62"S | 44°19'46.92"W |
| T3-CLARO | CLARO | 2°33'52.4"S | 44°18'44.34"W |
| T1-OI | OI | 2°32'17.0"S | 44°17'50.40"W |
| T2 -OI | OI | 2°33'29.50"S | 44°19'50.50"W |
| T1-TIM | TIM | 2°33'52.40"S | 44°18'45.20"W |
| T2-TIM | TIM | 2°33'29.60"S | 44°19'50.60"W |
| T3-TIM | TIM | 2°32'45.0"S | 44°19'47.10"W |
| T4-TIM | TIM | 2°32'17.0"S | 44°17'50.50"W |
| T5-TIM | TIM | 2°32'14.0"S | 44°18'6.0"W |
| T1-VIVO | VIVO | 2°32'41.6"S | 44°17'36.12"W |
| T4-VIVO | VIVO | 2°32'43.0"S | 44°16'59.0"W |
| T3-VIVO | VIVO | 2°33'28.0"S | 44°18'46.40"W |
| T2-VIVO | VIVO | 2°33'33.98"S | 44°16'44.4"W |

Fonte: O AUTOR adaptado dos dados do STEL (ANATEL)

6.2 Medições nas Locações

A seguir mostraremos as áreas levantadas e seus resultados por método.

Tabela 15 - Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora CLARO

| AS TORRES DE 4G CONTRIBUIÇÃO POR PONTO | | | |
|--|--|-----------------------|------------------------------------|
| OPERADORA : CLARO | VALORES CALCULADOS A PARTIR DOS DADOS STEL + SIMULAÇÃO | | |
| | Dens. De Potencia (mW/m ²) | Campo Eletrico (mV/m) | Desnidade de Campo Magnetico (µG) |
| Medição com GPS 00 | 2,28 | 9,27E+02 | 30,73 |
| Medição com GPS 01 | 2,07 | 8,82E+02 | 29,26 |
| Medição com GPS 02 | 2,62 | 9,94E+02 | 32,95 |
| Medição com GPS 03 | 6,93 | 1,62E+03 | 53,61 |
| Medição com GPS 04 | 8,53 | 1,79E+03 | 59,47 |
| Medição com GPS 05 | 4,67 | 1,33E+03 | 44,01 |
| Medição com GPS 06 | 3,46 | 1,14E+03 | 37,85 |
| Medição com GPS 07 | 4,32 | 1,28E+03 | 42,33 |
| Medição com GPS 08 | 5,01 | 1,37E+03 | 45,59 |
| Medição com GPS 09 | 4,53 | 1,31E+03 | 43,31 |
| Medição com GPS 10 | 3,02 | 1,07E+03 | 35,40 |
| LIMITES ESTABELECIDOS PELA ANATEL | 10000 | 6,10E+04 | 2000,00 |

Fonte: O AUTOR

Tabela 16 - Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora OI

| TODAS AS TORRES DE 4G CONTRIBUIÇÃO POR PONTO | | | |
|--|--|-----------------------|------------------------------------|
| OPERADORA : OI | VALORES CALCULADOS A PARTIR DOS DADOS STEL + SIMULAÇÃO | | |
| | Dens. De Potencia (mW/m2) | Campo Eletrico (mV/m) | Desnidade de Campo Magnetico (µG) |
| Medição com GPS 00 | 0,90 | 5,81E+02 | 19,27 |
| Medição com GPS 01 | 0,72 | 5,20E+02 | 17,25 |
| Medição com GPS 02 | 0,64 | 4,91E+02 | 16,30 |
| Medição com GPS 03 | 0,70 | 5,14E+02 | 17,05 |
| Medição com GPS 04 | 0,81 | 5,51E+02 | 18,27 |
| Medição com GPS 05 | 0,91 | 5,86E+02 | 19,42 |
| Medição com GPS 06 | 1,33 | 7,09E+02 | 23,50 |
| Medição com GPS 07 | 2,08 | 8,85E+02 | 29,34 |
| Medição com GPS 08 | 2,64 | 9,98E+02 | 33,08 |
| Medição com GPS 09 | 2,70 | 1,01E+03 | 33,44 |
| Medição com GPS 10 | 2,10 | 8,90E+02 | 29,50 |
| LIMITES ESTABELECIDOS PELA ANATEL | 10000 | 6,10E+04 | 2000,00 |

Fonte: O AUTOR

Tabela 17 - Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora TIM

| TODAS AS TORRES -CONTRIBUIÇÃO | | | |
|--|---|------------------------------|---|
| OPERADORA : TIM | VALORES CALCULADOS A PARTIR DOS DADOS STEL + SIMULAÇÃO | | |
| | Dens. De Potencia (mW/m2) | Campo Eletrico (mV/m) | Desnidade de Campo Magnetico (µG) |
| Medição com GPS 00 | 11,92 | 2,12E+03 | 70,27 |
| Medição com GPS 01 | 8,63 | 1,80E+03 | 59,82 |
| Medição com GPS 02 | 6,61 | 1,58E+03 | 52,33 |
| Medição com GPS 03 | 5,62 | 1,46E+03 | 48,27 |
| Medição com GPS 04 | 5,51 | 1,44E+03 | 47,77 |
| Medição com GPS 05 | 5,53 | 1,44E+03 | 47,89 |
| Medição com GPS 06 | 7,06 | 1,63E+03 | 54,09 |
| Medição com GPS 07 | 9,92 | 1,93E+03 | 64,13 |
| Medição com GPS 08 | 12,05 | 2,13E+03 | 70,67 |
| Medição com GPS 09 | 12,22 | 2,15E+03 | 71,16 |
| Medição com GPS 10 | 9,84 | 1,93E+03 | 63,85 |
| LIMITES ESTABELECIDOS PELA ANATEL | 10000 | 6,10E+04 | 2000,00 |

Fonte: O AUTOR

Tabela 18-Mapeamento dos Valores de Densidade de potência x Campo Elétrico e Campo Magnéticos de todas as torres da operadora que contribuem em 4G nos pontos medidos na operadora VIVO

| TODAS AS TORRES -CONTRIBUIÇÃO | | | |
|--|---|------------------------------|---|
| OPERADORA : VIVO | VALORES CALCULADOS A PARTIR DOS DADOS STEL + SIMULAÇÃO | | |
| | Dens. De Potencia (mW/m2) | Campo Eletrico (mV/m) | Desnidade de Campo Magnetico (µG) |
| Medição com GPS 00 | 1,82 | 8,29E+02 | 27,49 |
| Medição com GPS 01 | 3,02 | 1,07E+03 | 35,38 |
| Medição com GPS 02 | 11,01 | 2,04E+03 | 67,56 |
| Medição com GPS 03 | 31,65 | 3,45E+03 | 114,53 |
| Medição com GPS 04 | 4,82 | 1,35E+03 | 44,67 |
| Medição com GPS 05 | 2,71 | 1,01E+03 | 33,50 |
| Medição com GPS 06 | 2,75 | 1,02E+03 | 33,77 |
| Medição com GPS 07 | 3,83 | 1,20E+03 | 39,82 |
| Medição com GPS 08 | 4,56 | 1,31E+03 | 43,46 |
| Medição com GPS 09 | 4,14 | 1,25E+03 | 41,41 |
| Medição com GPS 10 | 2,76 | 1,02E+03 | 33,85 |
| LIMITES ESTABELECIDOS PELA ANATEL | 10000 | 6,10E+04 | 2000,00 |

Fonte: O AUTOR

6.2.1 Locação – 00

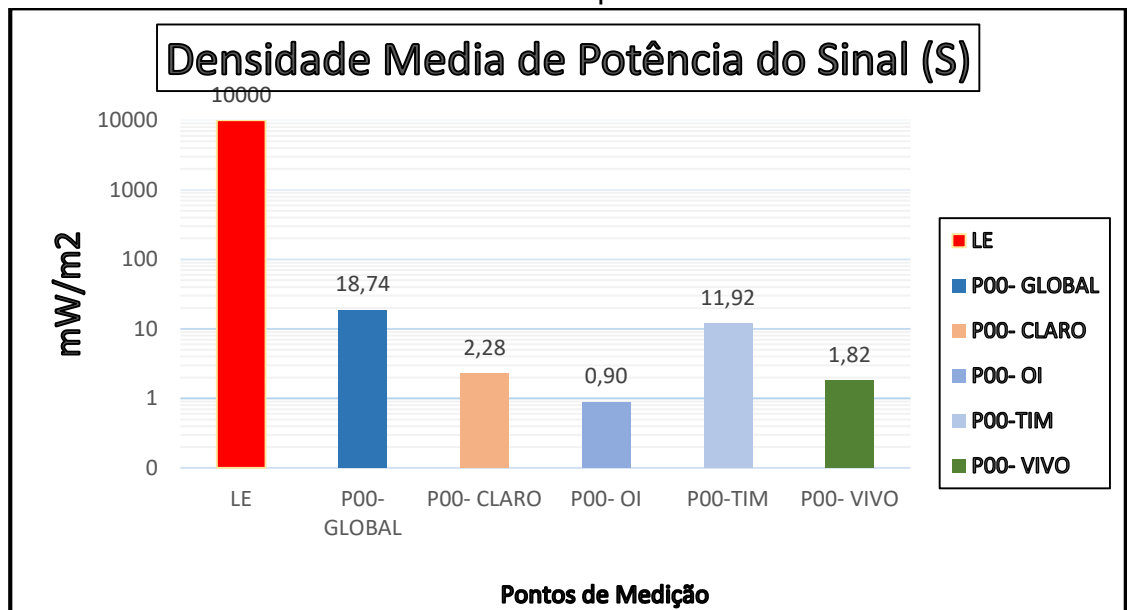
Figura 28 – LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 00



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Mapas

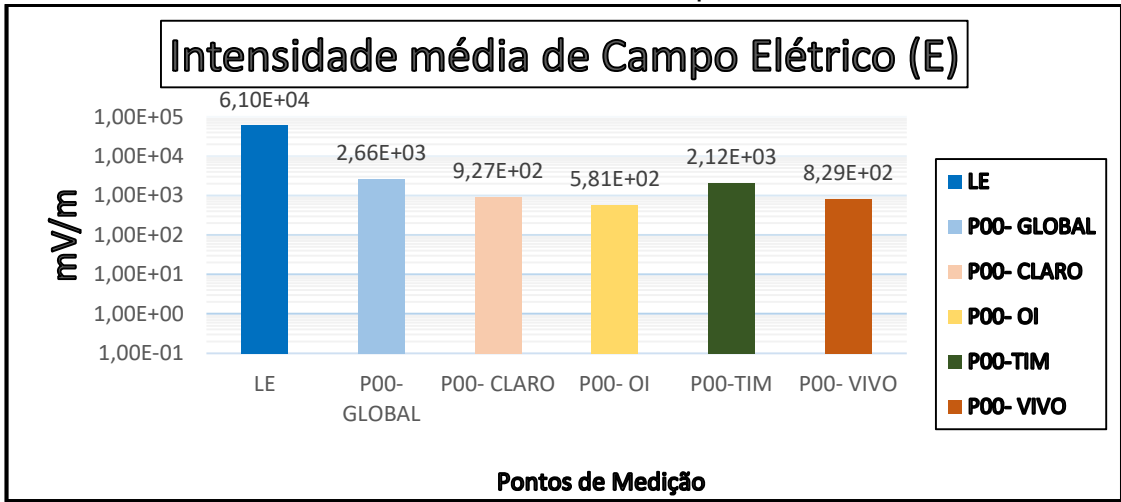
Através das metodologias descrita acima –Analisador de Espectro os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 1: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 00 x Limites da ANATEL nos pontos



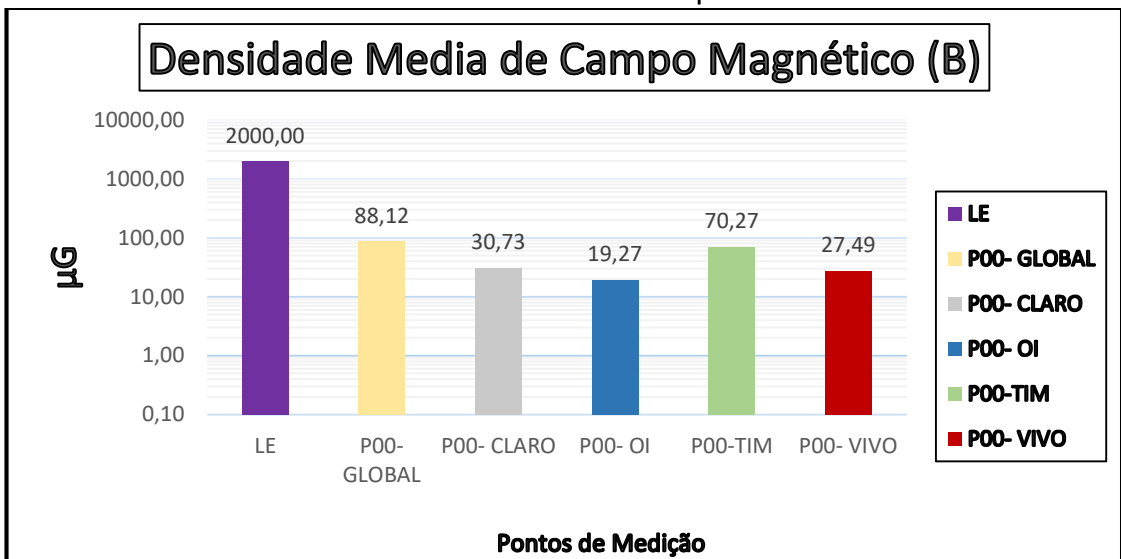
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 2: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 00 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte : O AUTOR

Gráfico - 3: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 00 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte : O AUTOR

6.2.2 Locação – 01

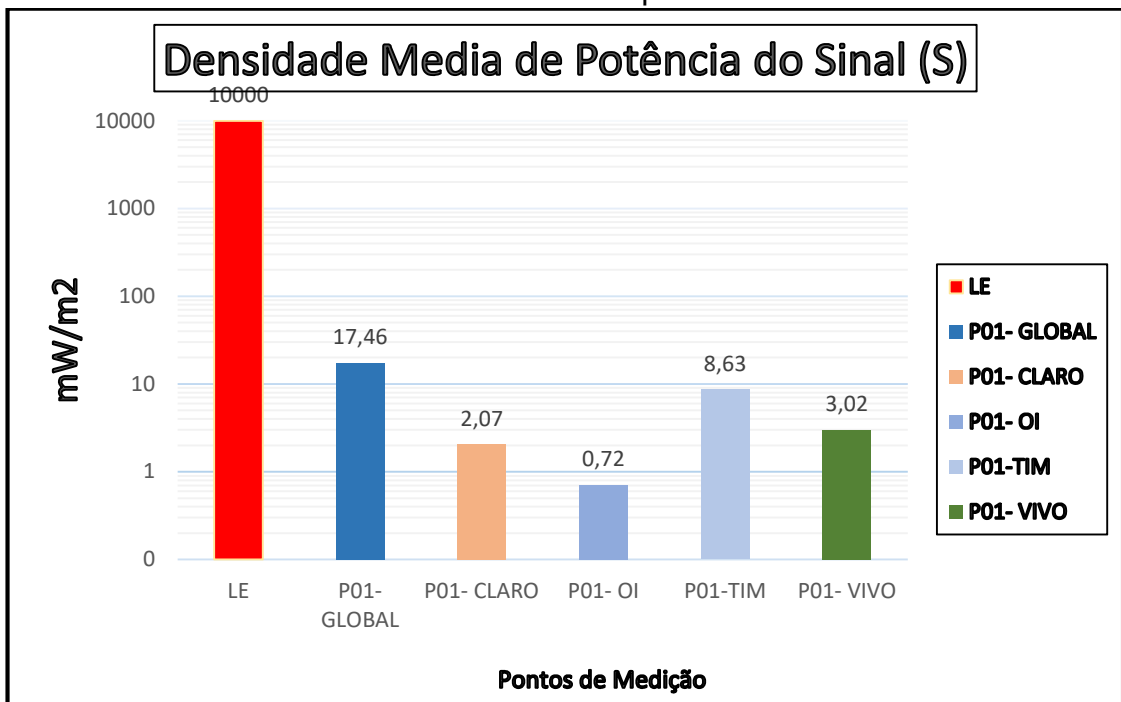
Figura 29 – LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 01



Fonte: O AUTOR adaptado do Google

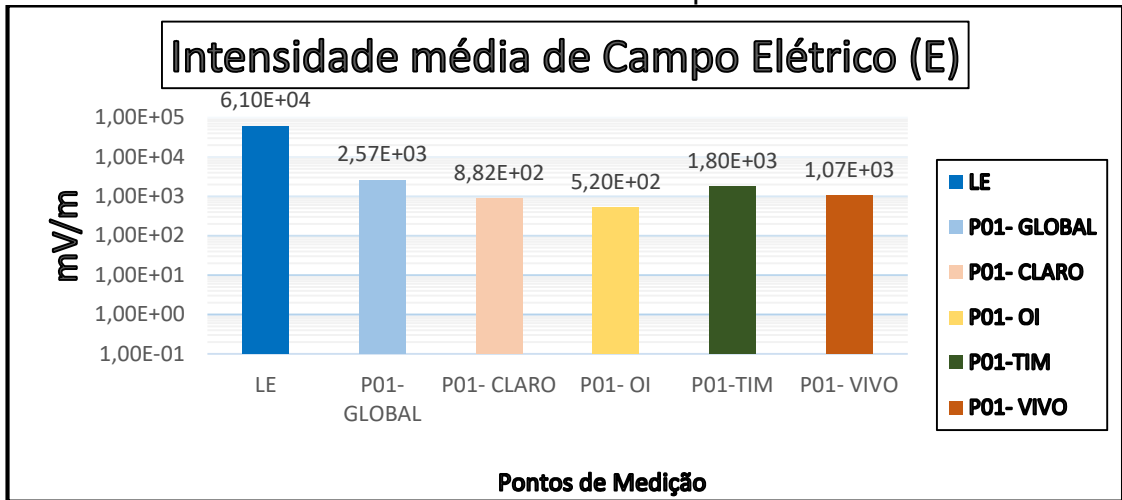
Através das metodologias descrita acima –Analisador de Espectro os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 4: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 01 x Limites da ANATEL nos pontos



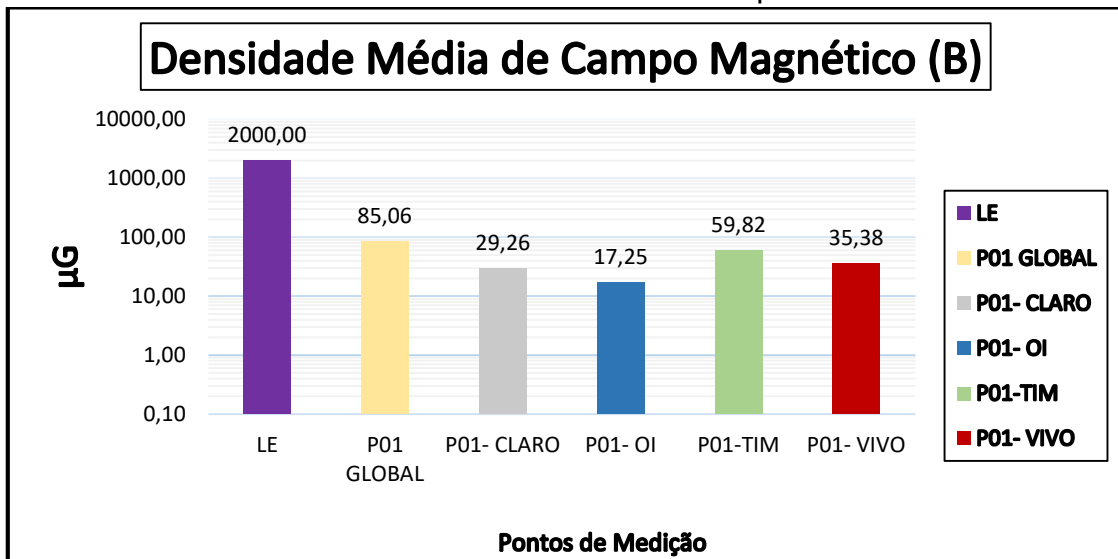
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 5: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 01 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 6: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 01 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte : O AUTOR

6.2.3 Locação – 02

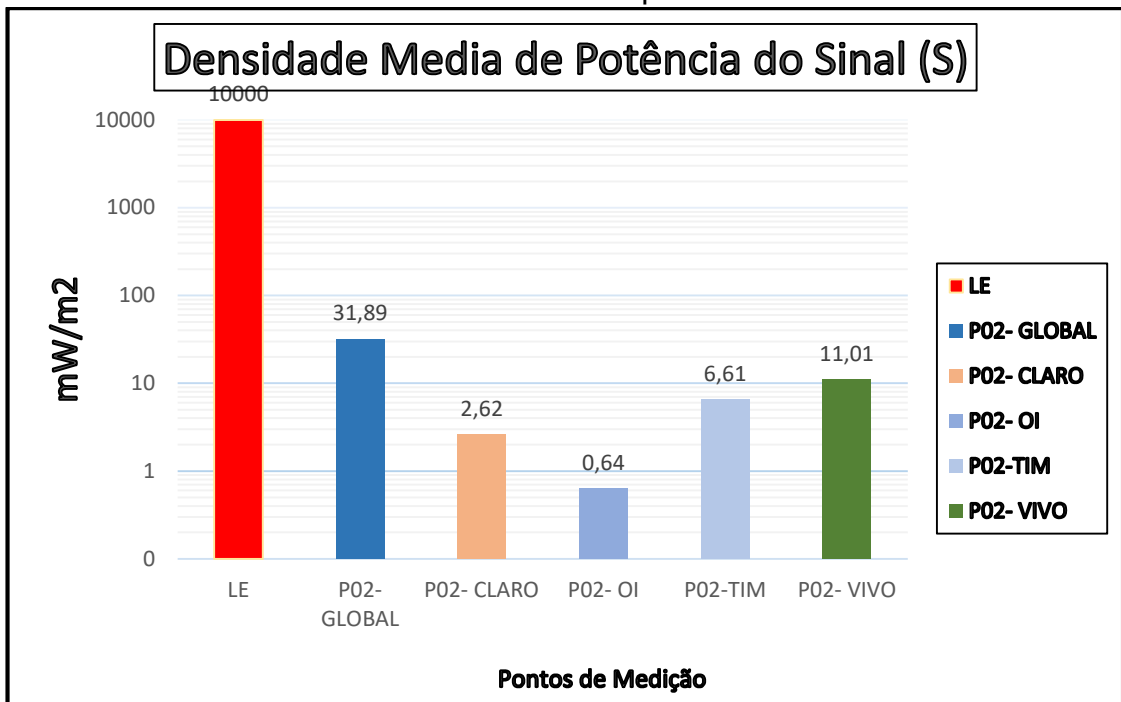
Figura 30 – LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO - GPS 02



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Mapas

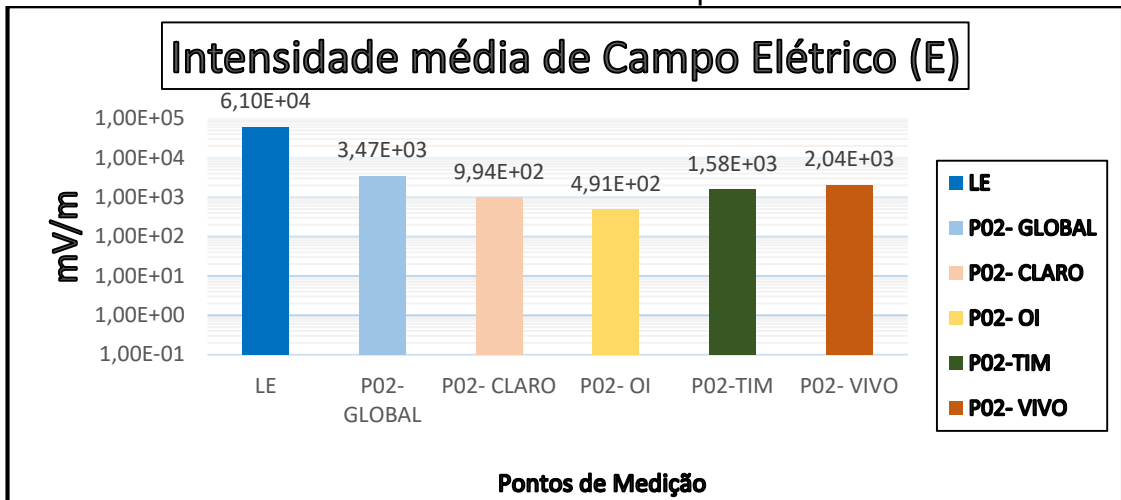
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 7: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 02 x Limites da ANATEL nos pontos



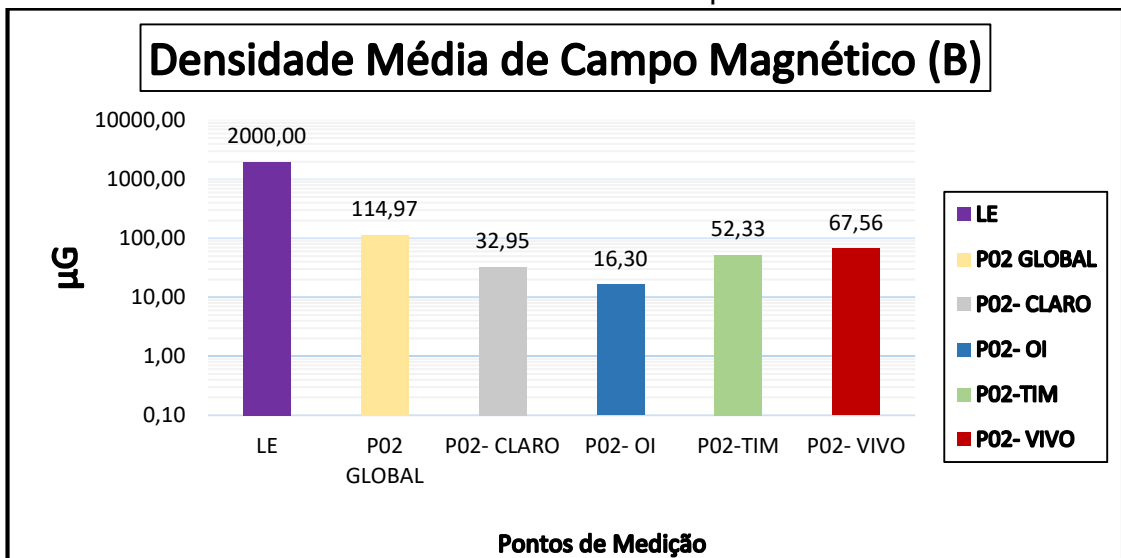
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 8: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 02 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 9: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 02 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.4 Locação – 03

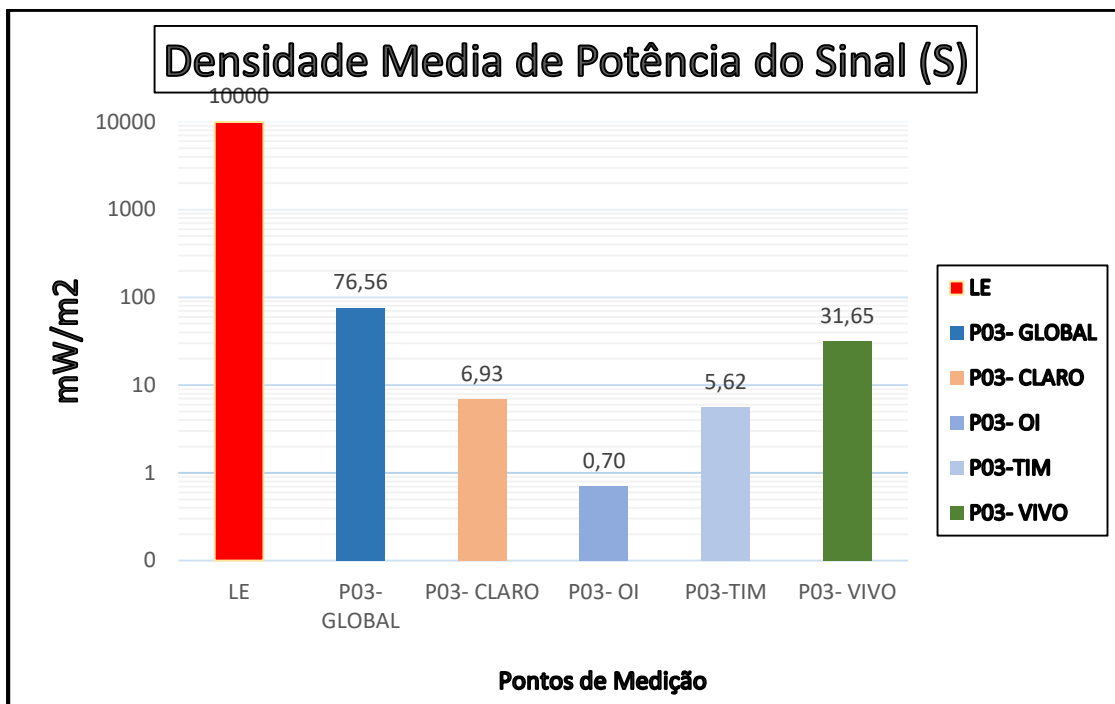
Figura 31 - LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 03



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Mapas

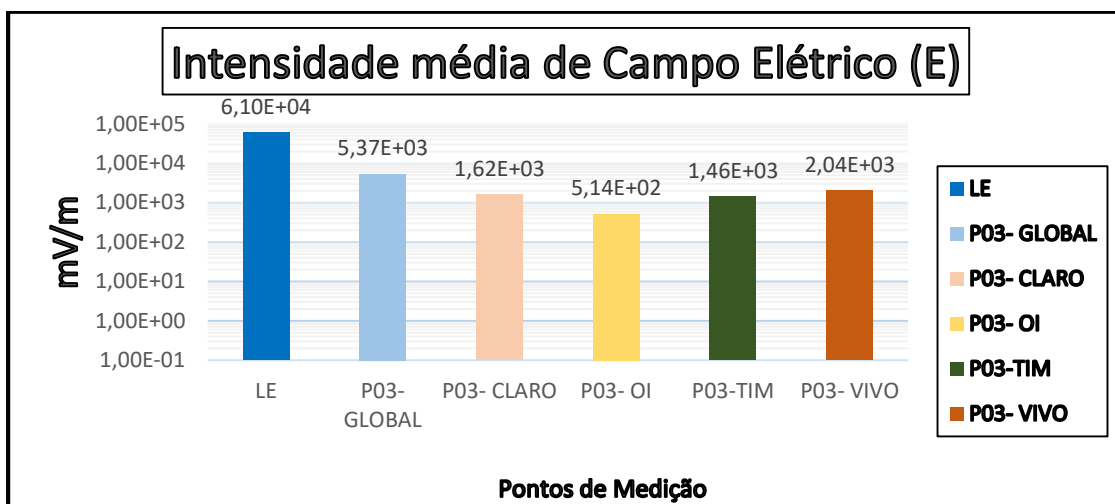
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 10: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 03 x Limites da ANATEL nos pontos



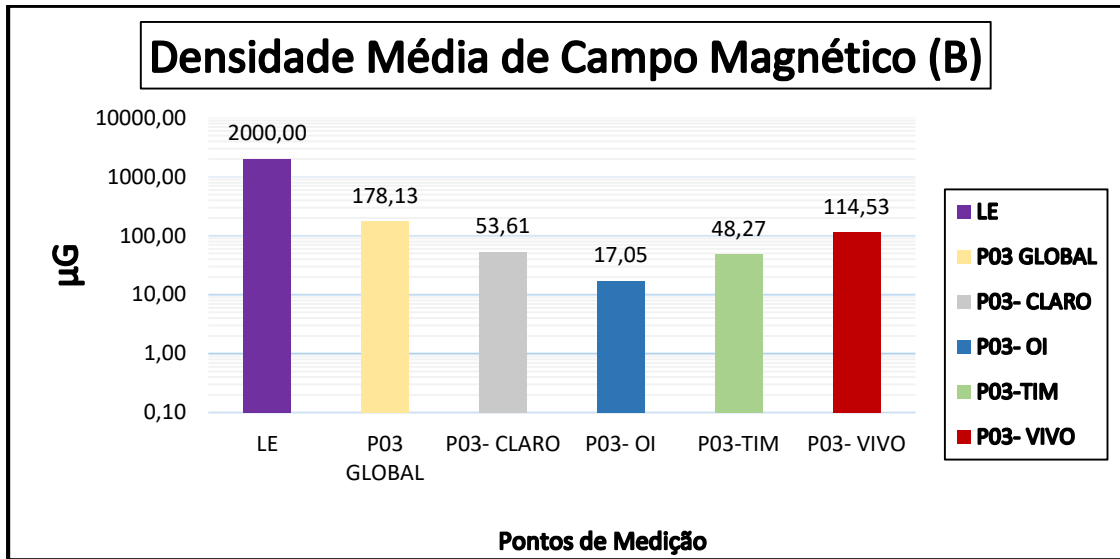
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 11: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 03 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 12: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 03 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.5 Locação – 04

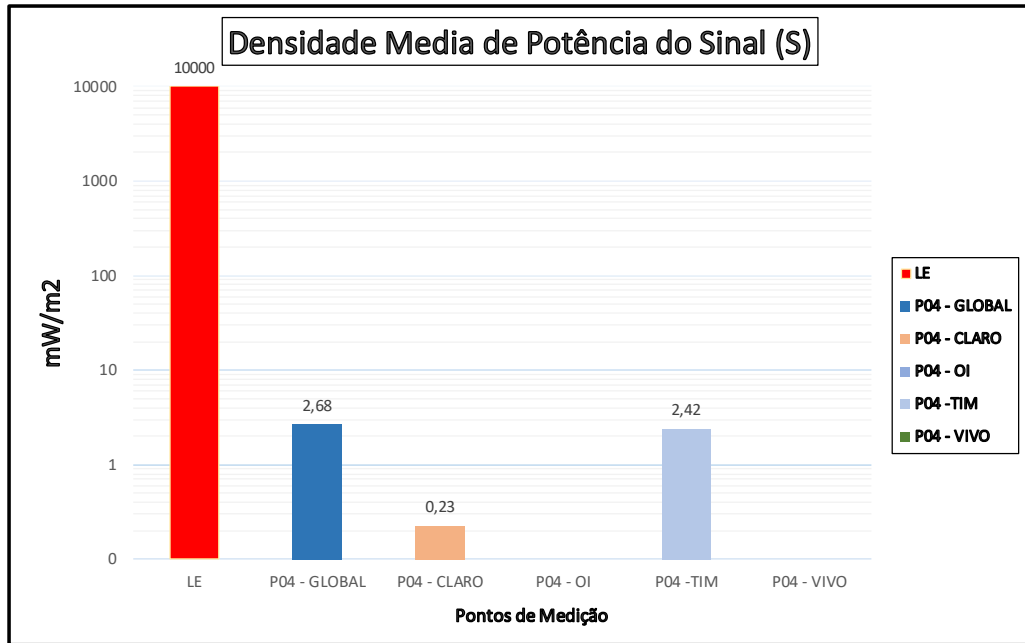
Figura 32 - LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 04



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Mapas

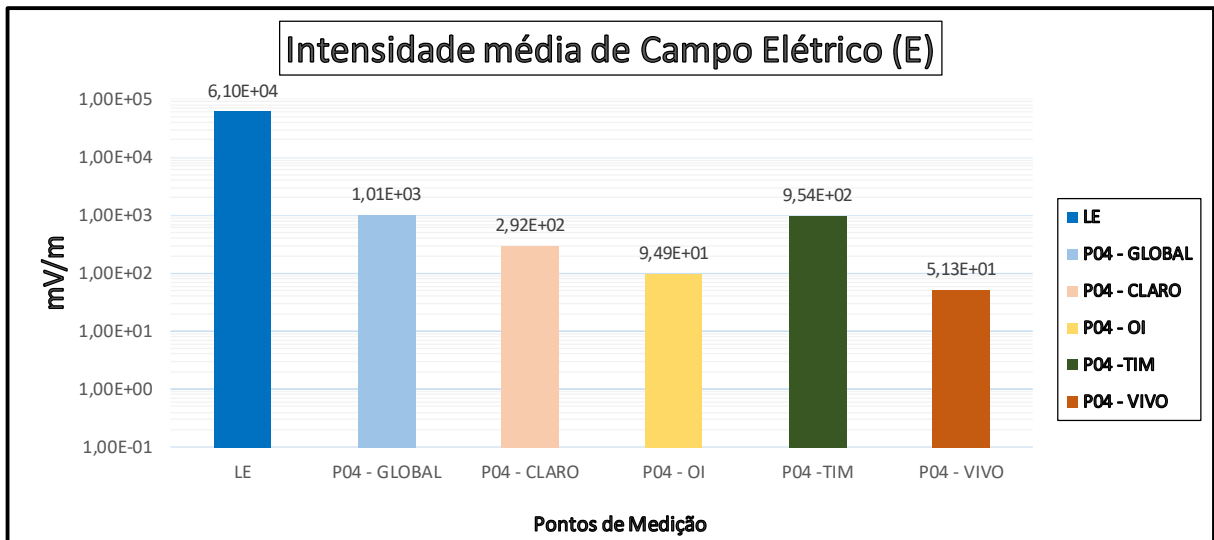
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 13: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 04 x Limites da ANATEL nos pontos



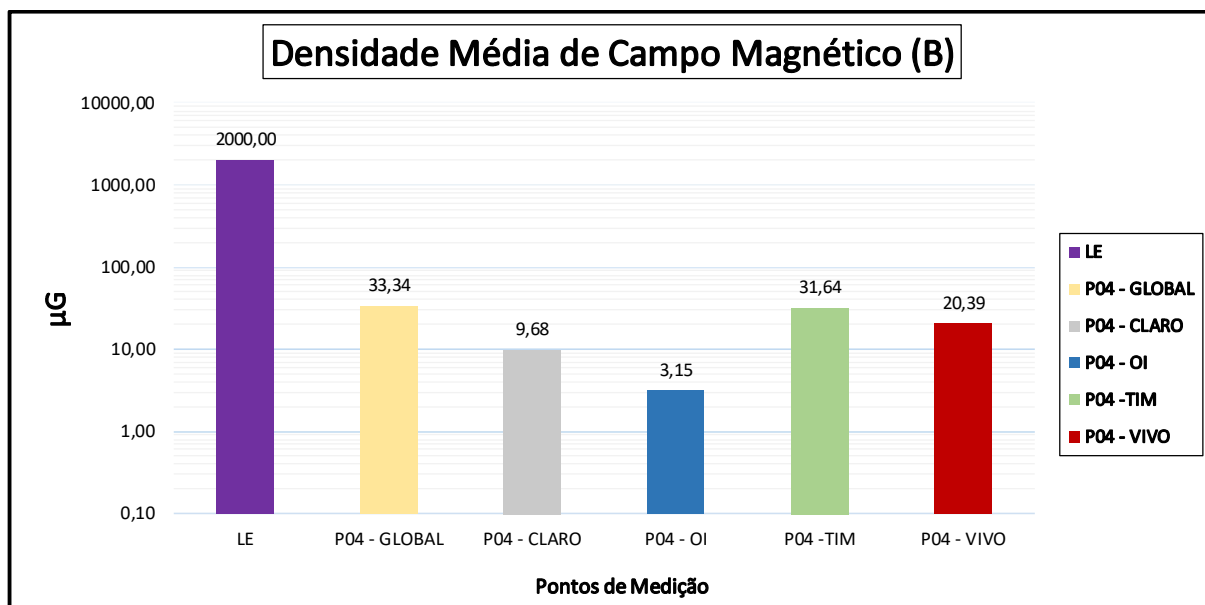
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 14: Gráfico das intensidade de Campo Elétrico calculados do pontos 04 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 15: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 04 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.6 Locação – 05

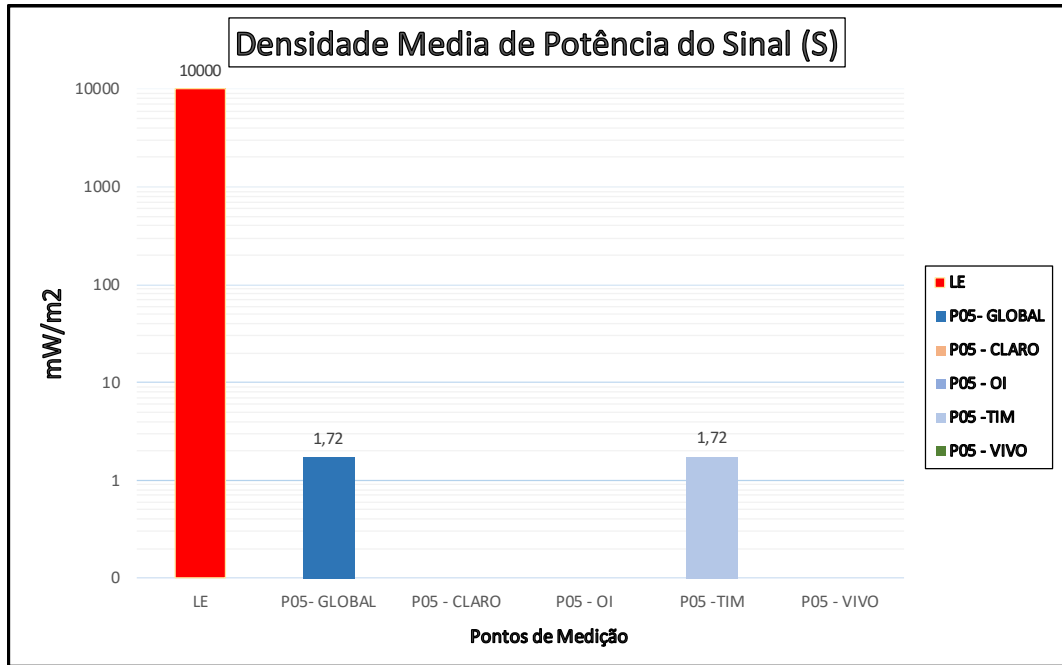
Figura 33- LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 05



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Maps

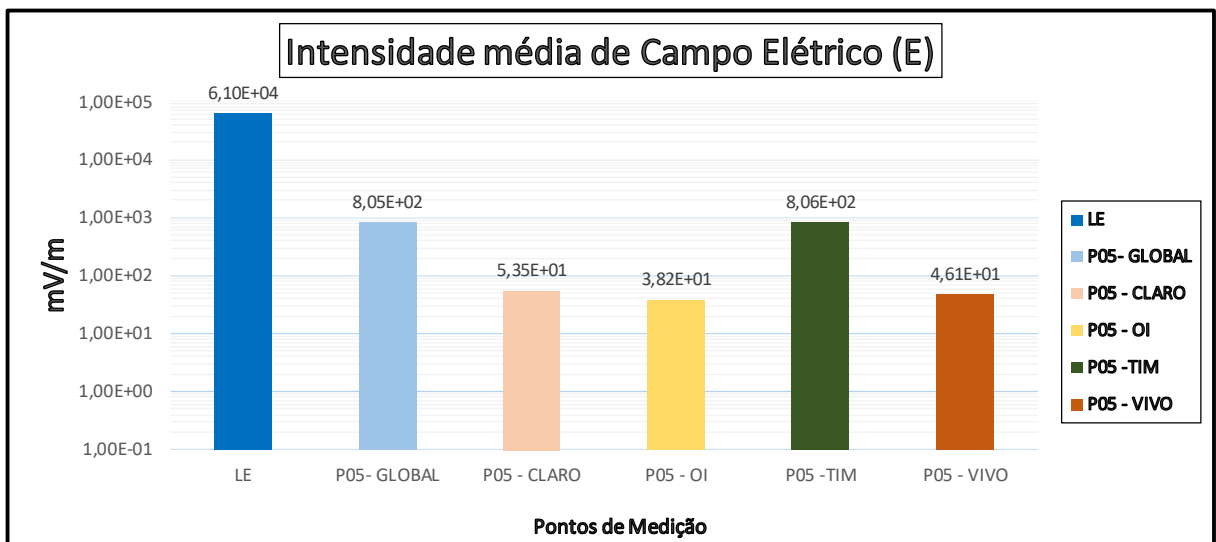
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 16: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 05 x Limites da ANATEL nos pontos



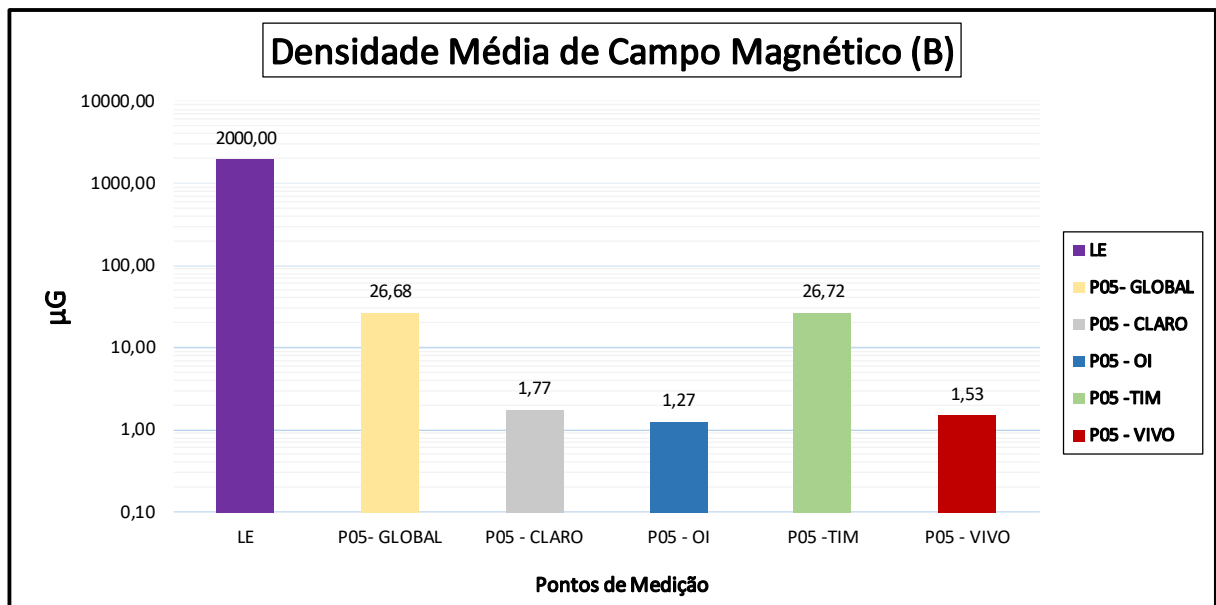
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 17: Gráfico das Intesidade de Campo Elétrico calculados pontos 05 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 18: Gráfico das intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 05 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.7 Locação – 06

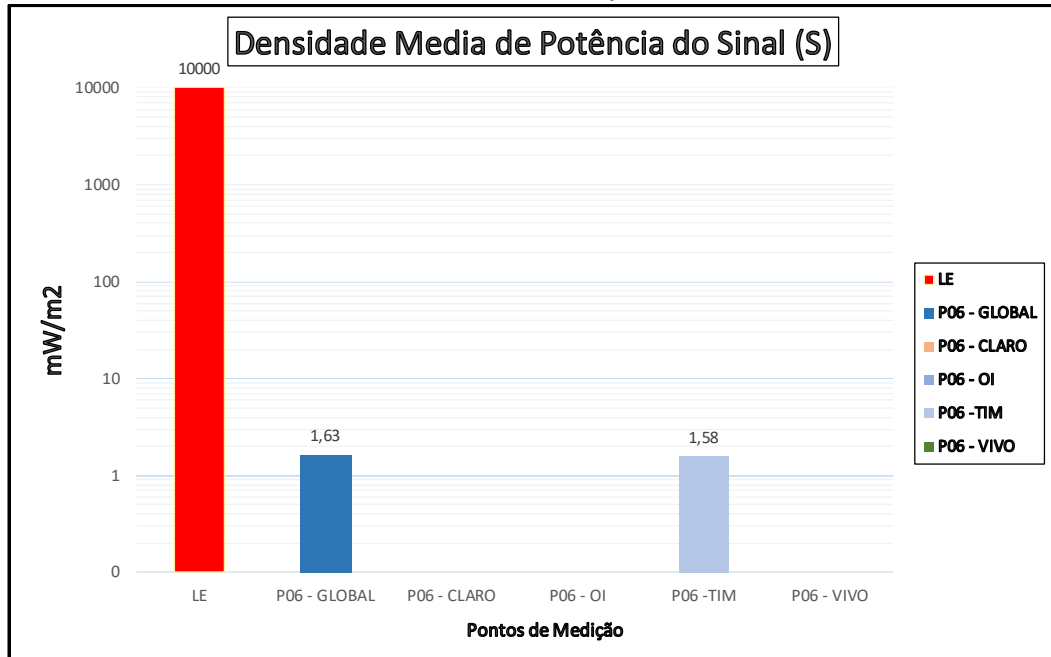
Figura 34- LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 06



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Maps

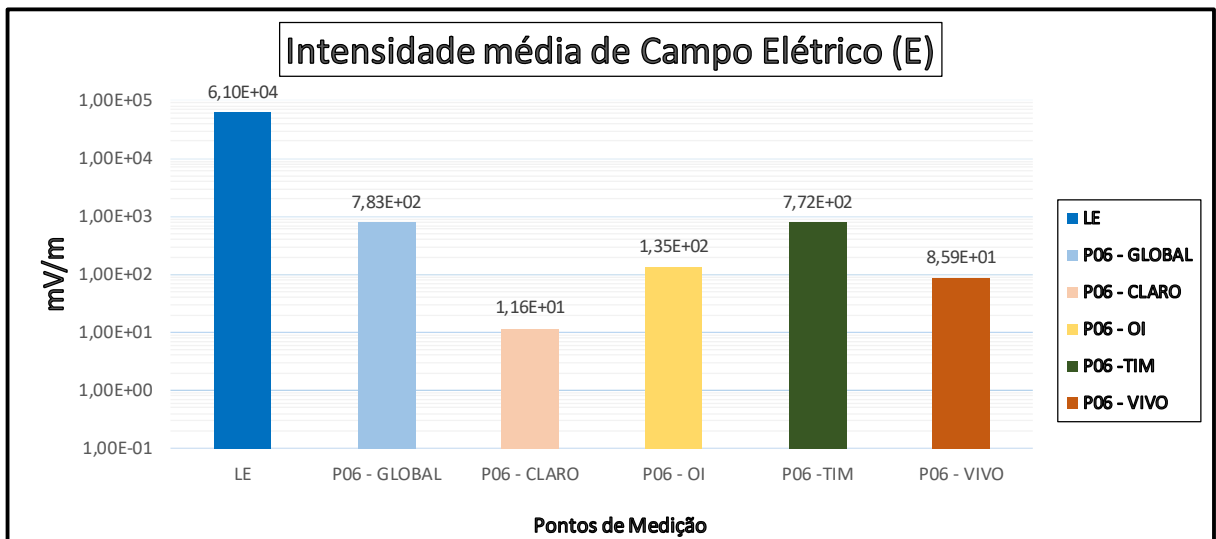
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 19: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 06 x Limites da ANATEL nos pontos



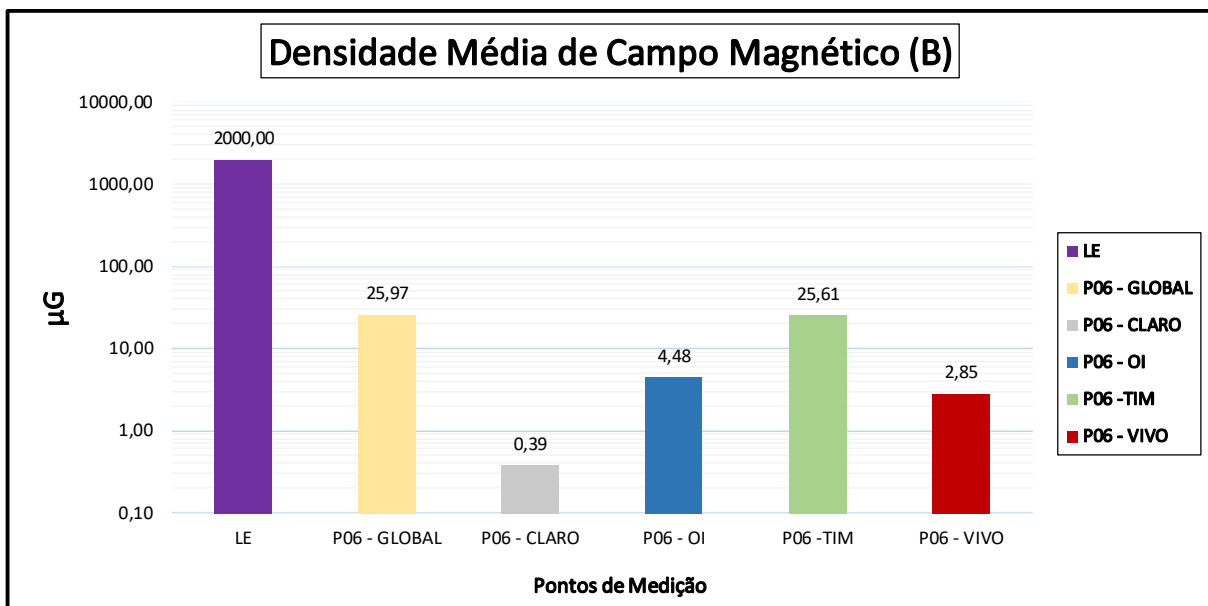
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 20: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 06 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte : O AUTOR

Gráfico - 21: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 06 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.8 Locação – 07

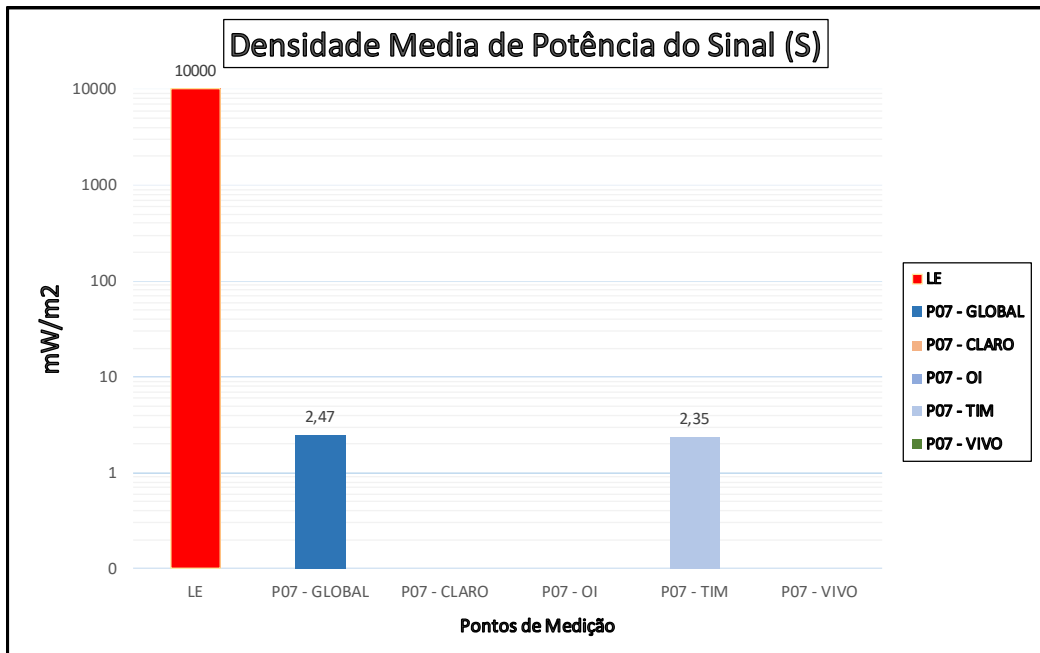
Figura 35- LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 07



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Mapas

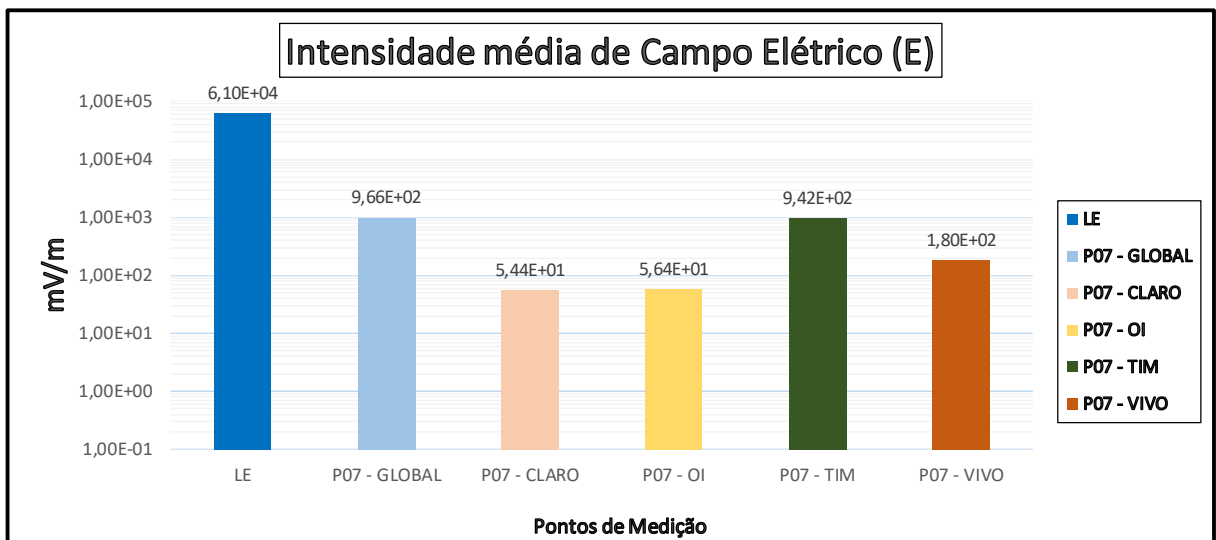
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 22: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 07 x Limites da ANATEL nos pontos



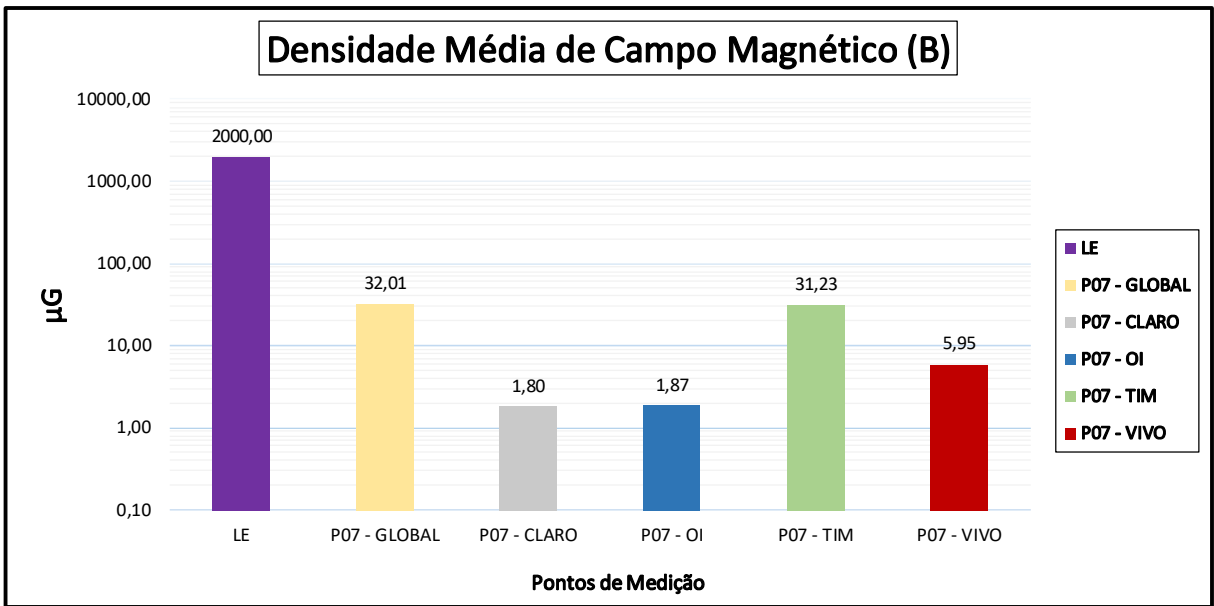
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 23: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 07 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 24: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 07 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.9 Locação – 08

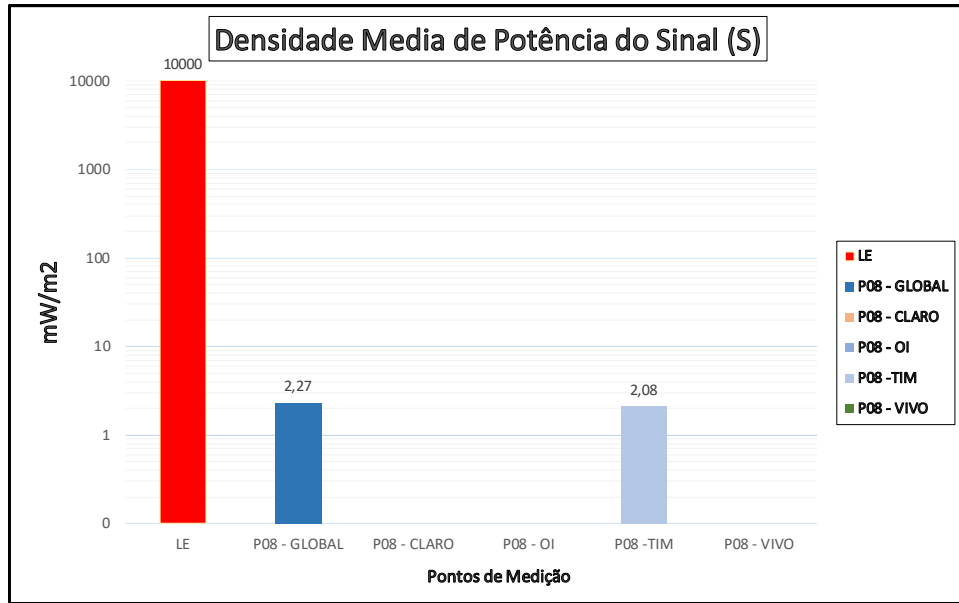
Figura 36- LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 08 -



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Maps

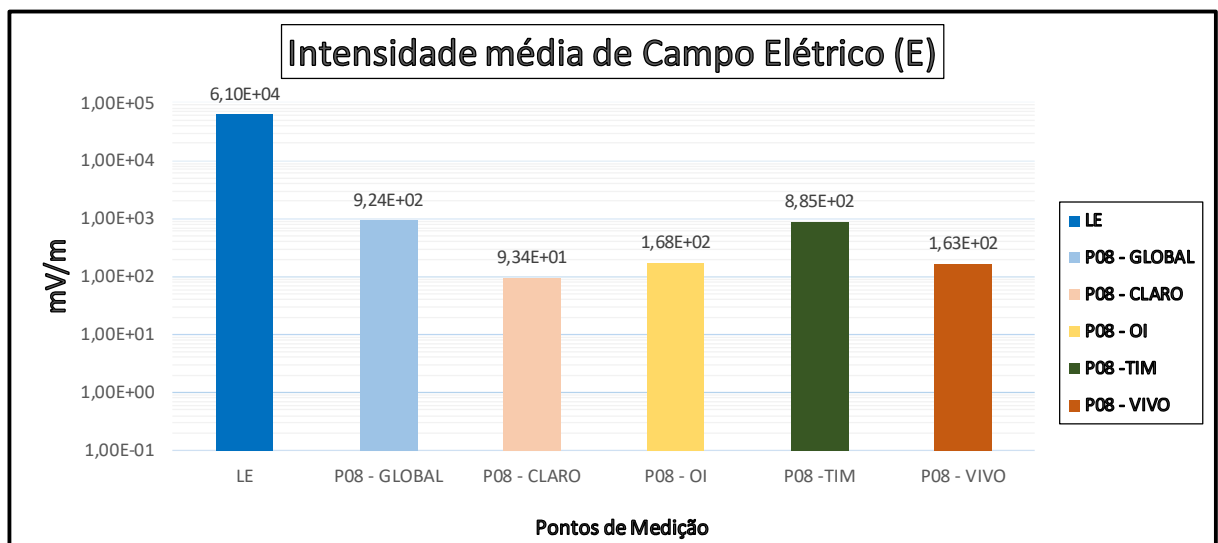
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 25: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 08 x Limites da ANATEL nos pontos



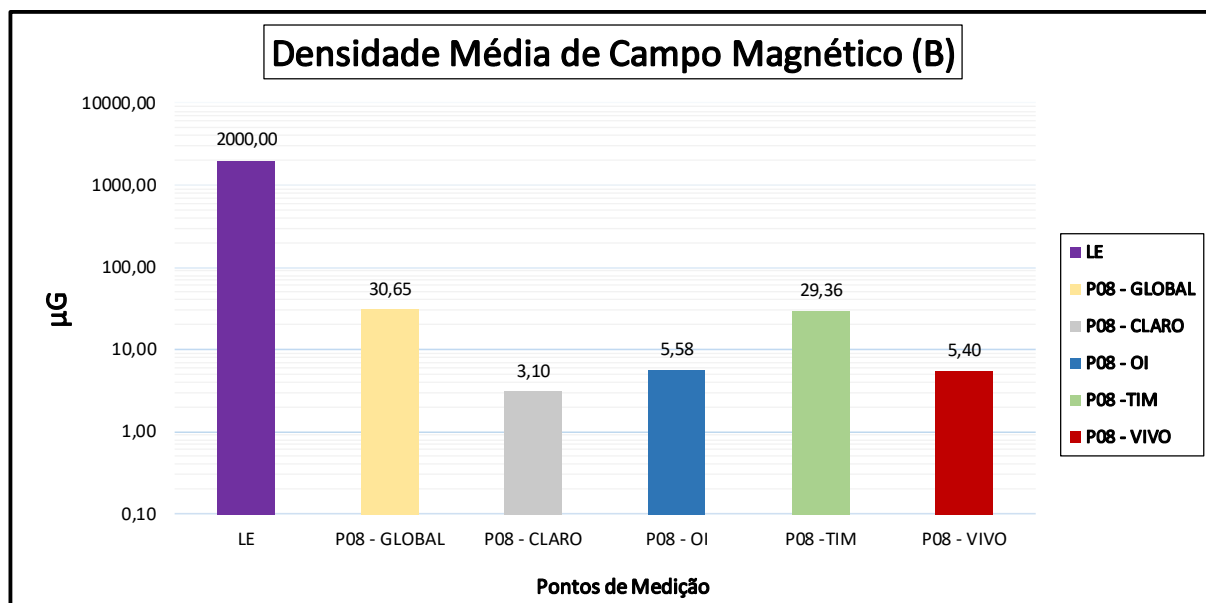
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 26: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 08 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 27: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 08 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.10 Locação – 09

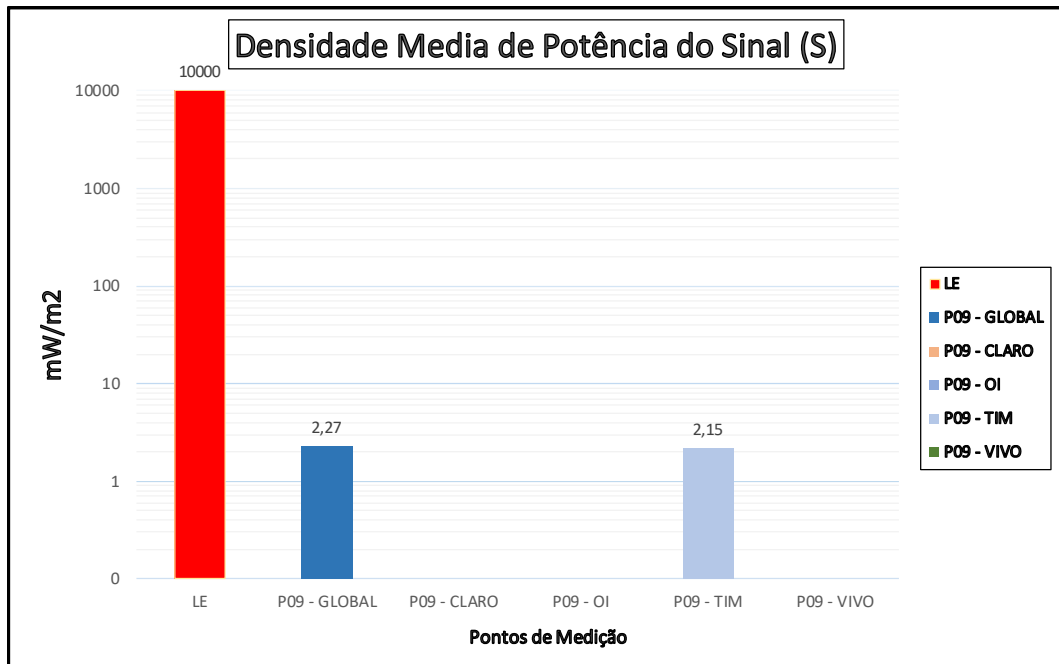
Figura 37- LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 09



Fonte: O AUTOR adaptado do Google Mapas

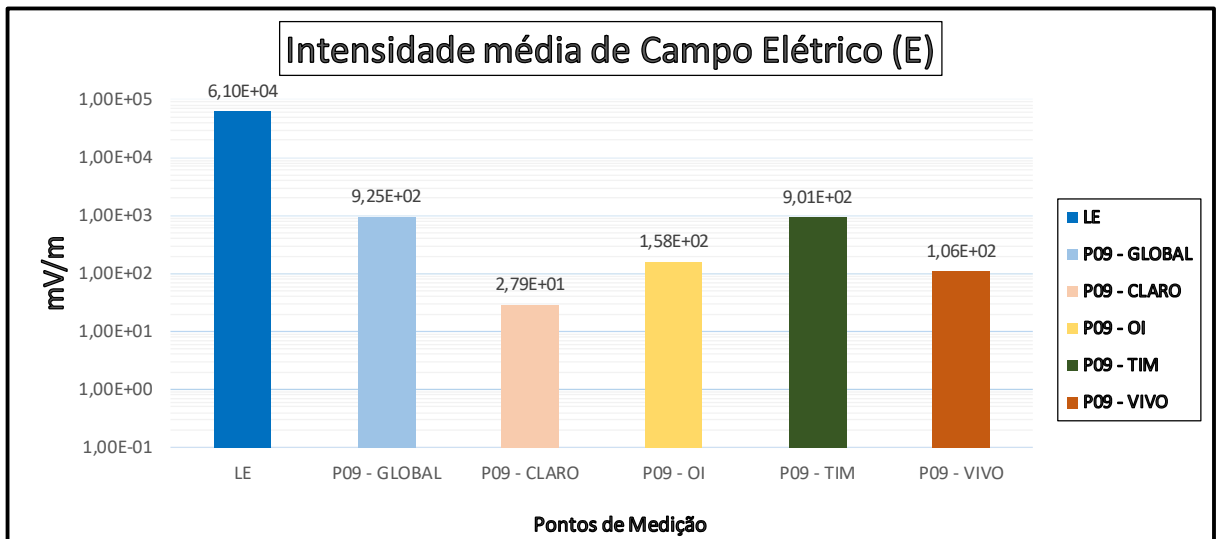
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Gráfico - 28: Gráfico das Densidades de potência calculados dos pontos 09 x Limites da ANATEL nos pontos



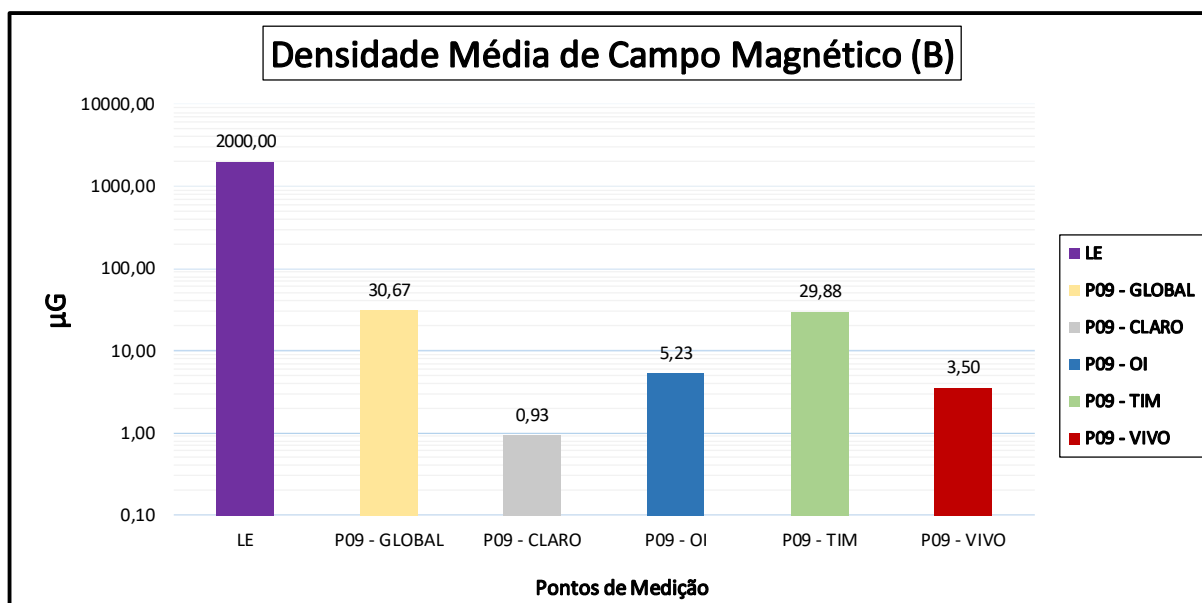
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 29: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 09 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte : O AUTOR

Gráfico - 30: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 09 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

6.2.11 Locação – 10

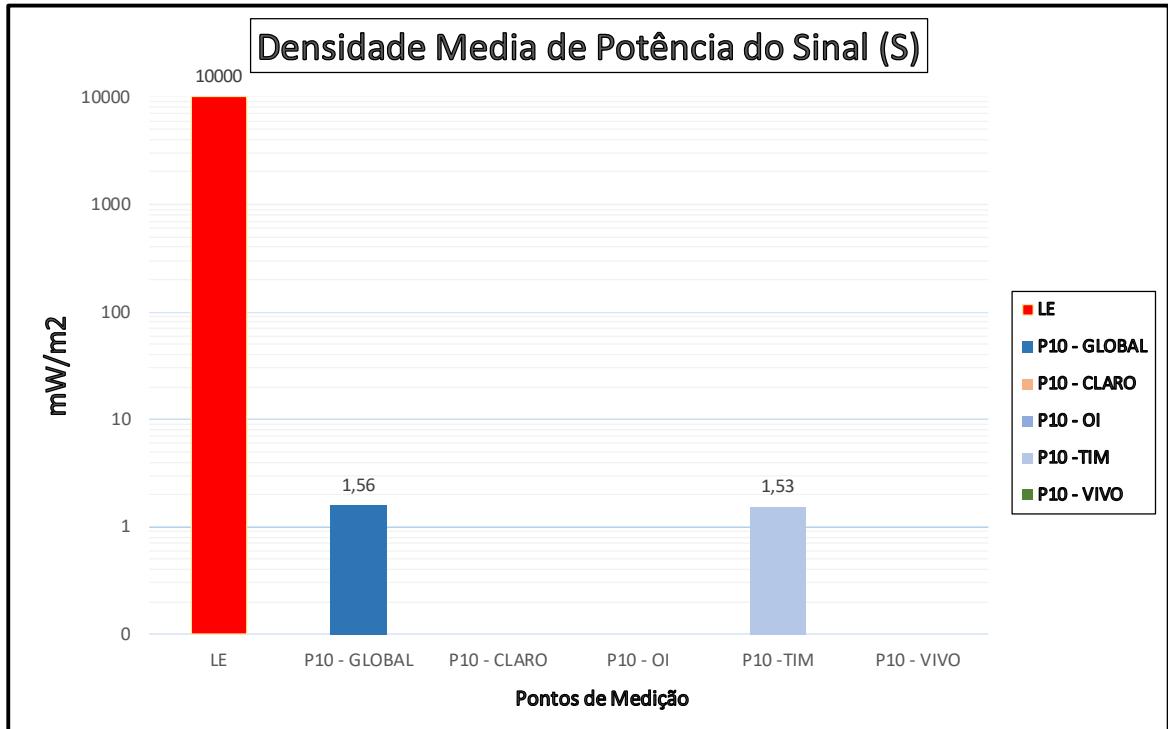
Através das metodologia descrita acima -Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Figura 38- LOCAÇÃO DE MEDIÇÃO -GPS 10



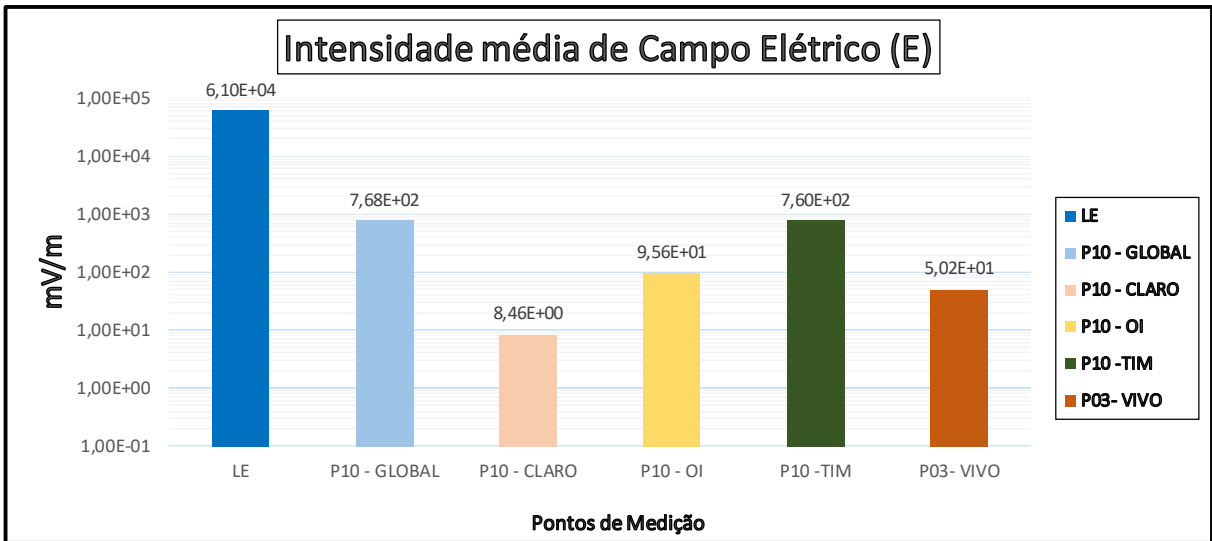
Fonte: O AUTOR adaptado do Google Maps

Gráfico - 31: Gráfico das Densidades de potência calculados do pontos 10 x Limites da ANATEL nos pontos



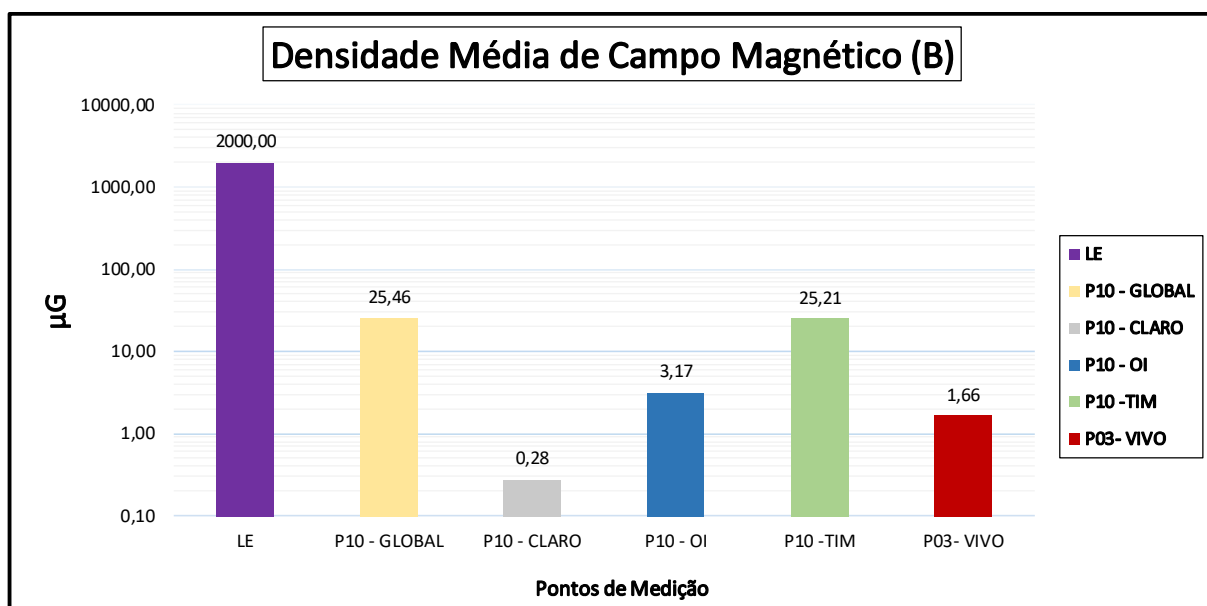
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 32: Gráfico das Intensidade de Campo Elétrico calculados pontos 10 x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 33: Gráfico das Intensidade de Campo Magnético calculados do pontos 10 x Limites da ANATEL nos pontos

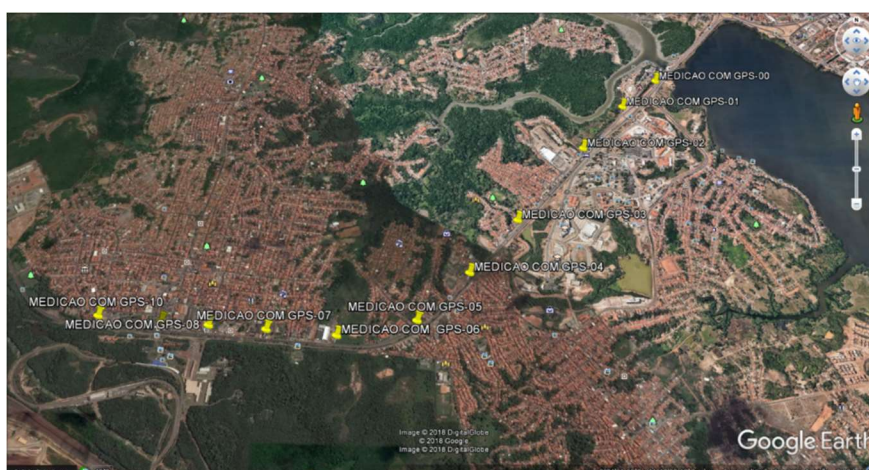


Fonte: O AUTOR

6.3 Todas as locações (P00, P01, P02...P10)

Através das metodologia descrita acima – Utilizando o Analisador de Espectro , os pontos selecionados foram medidos e os resultados foram tabulados e registrados nas tabelas em seguida.

Figura 39-Localção geral dos pontos em mapa com as coordenadas de GPS



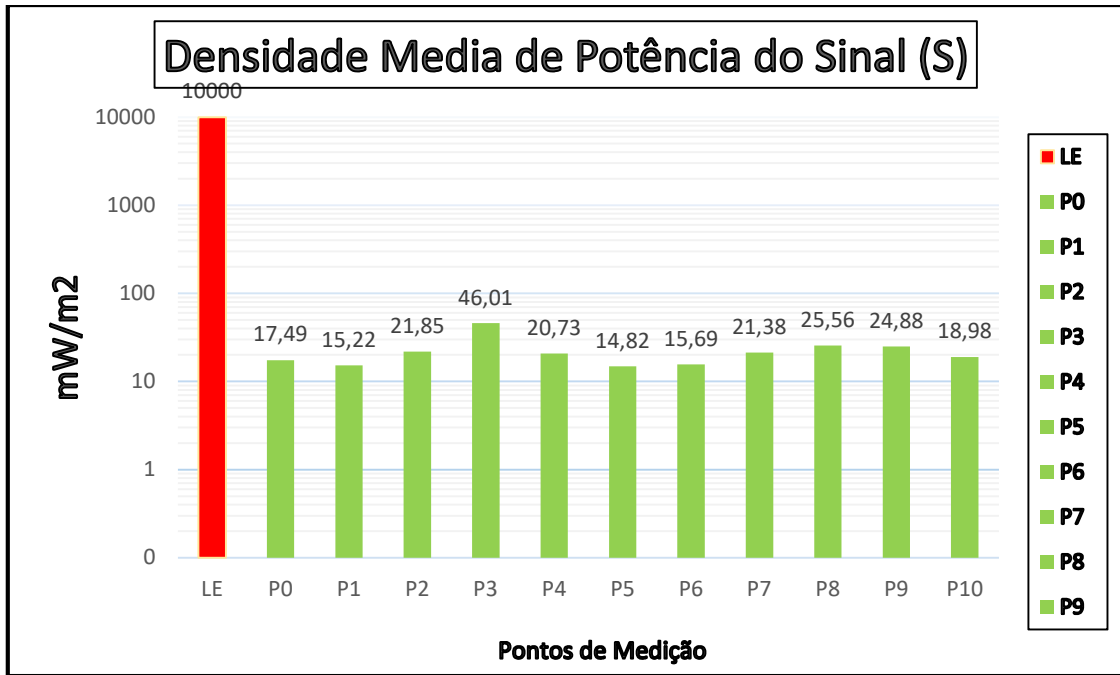
Fonte O AUTOR

Tabela 19-Resultado das Simulações para todos os pontos P00 até P10

| TODAS AS TORRES -CONTRIBUICÃO | | | |
|--|--|--------------------------------------|---|
| PONTOS | TODAS AS TORRES (ERB) - CONTRIBUICÃO EM SINAL 4G | | |
| | Dens. De Potencia (mW/m2) | Campo Eletrico (mV/m) | Desnidade de Campo Magnetico (µG) |
| Medição com GPS 00 | 18,74 | 2,66E+03 | 88,12 |
| Medição com GPS 01 | 17,46 | 2,57E+03 | 85,06 |
| Medição com GPS 02 | 31,89 | 3,47E+03 | 114,97 |
| Medição com GPS 03 | 76,56 | 5,37E+03 | 178,13 |
| Medição com GPS 04 | 24,48 | 3,04E+03 | 100,72 |
| Medição com GPS 05 | 16,53 | 2,50E+03 | 82,78 |
| Medição com GPS 06 | 17,35 | 2,56E+03 | 84,80 |
| Medição com GPS 07 | 23,98 | 3,01E+03 | 99,69 |
| Medição com GPS 08 | 28,82 | 3,30E+03 | 109,29 |
| Medição com GPS 09 | 27,72 | 3,23E+03 | 107,18 |
| Medição com GPS 10 | 20,49 | 2,78E+03 | 92,15 |
| LIMITES ESTABELECIDOS PELA ANATEL | 10000 | 6,10E+04 | 2000,00 |

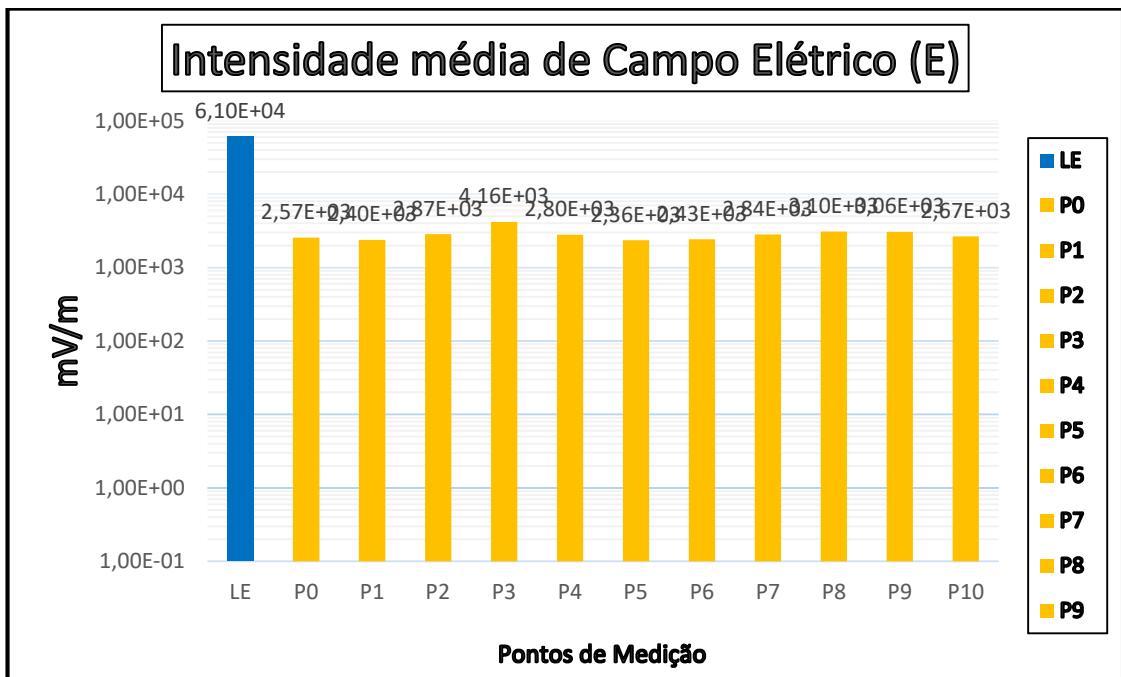
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 34: Gráfico das Densidades de potência calculados de todos os pontos x Limites da ANATEL nos pontos



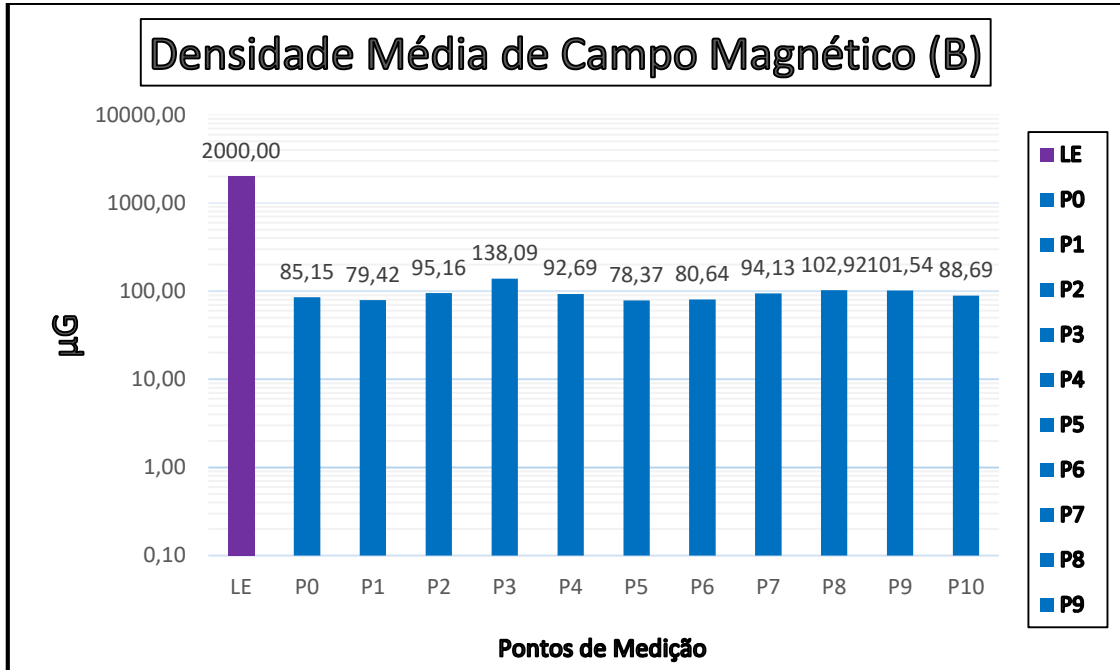
Fonte: O AUTOR

Gráfico - 35: Gráfico das intensidade de Campo Elétrico calculados de todos os pontos x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

Gráfico - 36: Gráfico das Densidades de campo Magnéticos calculados de todos os pontos x Limites da ANATEL nos pontos



Fonte: O AUTOR

7 CONCLUSÕES

Diante do exposto, com base nos resultados parciais de todos os pontos mensurados em comparação com os limites estabelecidos pela ANATEL, concomitantemente com a OMS/ICNIRP, pode-se inferir que os resultados encontrados neste estudo, mostram que os níveis de potências dos sinais de telefonia celular emitidos pelas ERB em campo distante (nos pontos definidos pelo trabalho) estão muito aquém dos limites de exposição constantes nas normas vigentes.

Mas a falta de uma conclusão científica definitiva sobre o assunto ainda existente e outras razões, fazem com que a população de um modo geral se sinta insegura quanto aos possíveis riscos à exposição a campos eletromagnéticos, que vão desde a forma como são anunciados os resultados dos estudos, sempre ressaltando o sentimento de incerteza de que pode haver riscos ainda não descobertos, até o sentimento de falta de controle por parte do poder público em não ser claro nos procedimentos que dão início ao processo de implantação de novas ERB.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como mencionado, os níveis de potência medidos nos pontos propostos neste estudo até o momento indicam que em campo distante os níveis de RNI atendem perfeitamente aos limites impostos pela Resolução nº 303 da ANATEL, e conseqüentemente pelas recomendações a OMS e ICNIRP e outras similares.

Porém, é recomendável e se torna preciso a continuação dos estudos e pesquisas nesta área, principalmente os de longa duração, que investigam os riscos e sua evolução a um longo prazo e suas possíveis conseqüências epidemiológicas decorrentes da exposição da população geral a RNI, até que haja uma uniformidade de opiniões no meio acadêmico e científico sobre os resultados dos estudos e pesquisas em relação aos níveis máximos de potência permitidos, proporcionando assim a sociedade e todos em geral a tranquilidade e garantia de qualidade de vida as populações expostas em geral e, conseqüentemente, tornando viáveis os benefícios das tecnologias sem fio que usam RNI como base de funcionamento para a sociedade tecnológica atual.

Pode-se destacar o consenso que existe entre os pesquisadores, referente às pessoas portadoras de dispositivos médicos, implantados ou não. Estas devem tomar um maior cuidado por estarem sujeitas a interferência eletromagnética causada pela exposição a campos eletromagnéticos.

9 TRABALHOS FUTUROS

Após a análise dos níveis de RNI emitidos pelas ERB em pontos de afluência ao público consideravelmente longe das ERB, ou seja, na condição de campos distantes, poderíamos sugerir análise semelhante em futuros trabalhos para analisar como esses níveis se comportam em campos próximos.

Seria também muito interessante comparar os resultados das medições dos níveis de RNI para as novas tecnologias com a 4G /LTE nas faixas de frequência de 700 MHz.

Ainda fazer a análise do comportamento das densidades de potência emitidas nas faixas de frequências versus valores máximos permitidos, para frequências na faixa de 3,5 GHz que é umas das faixas da telefonia 5G. Este estudo seria focado agora nas proximidades dos locais de instalações das ERB em pontos de afluência de pessoas.

Por final poderíamos sugerir também que o presente estudo fosse expandido em forma de projeto, estudo de caso para o resto da cidade, aeroportos, escolas, prédios públicos, de forma a montar um mapa de RNI em função das ERB na capital.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Marcelo S. **Sistemas de comunicações**. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2001.
- ANATEL. 2002. Disponível em: <<http://www.legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- ANATEL. 2000. Disponível em: <<http://www.ANATEL.gov.br/dados/2015-02-04-18-32-09>>. Acesso em: 09 jan. 2017.
- ATTANASIO JÚNIOR, Mario Roberto; ATTANASIO, Gabriela Müller Carioba. **Análise do princípio da precaução e suas implicações no estudo de impacto ambiental**. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT09/grabriela.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2017.
- BOCCATO, V. R. C. Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. **Rev. Odontol. Univ. Cidade São Paulo**. São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.
- BOICE Jr., John D.; MCLAUGHLIN, Joseph K. Epidemiologic Studies of Cellular Telephones and Cancer Risk. **SSI report**, set., 2002. Disponível em: <http://www.ssi.se/ssi_rapporter/pdf/ssi_rapp_2002_16.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2017.
- CARDOSO, F. R. M.; MACEDO-SOARES, J. C. T. **Método para implementação de redes sem fio**. Monografia (Graduação) Universidade de Brasília. Brasília, 2005.
- CARDOSO, S. A. **Radiações Não-Ionizantes emitidas pelas Estações Radiobase do Sistema Móvel Celular**. Monografia (Curso de Especialização em Regulação de Telecomunicações) - Universidade de Brasília. Brasília, 2004.
- CHILTON, Didcot. **National Radiological Protection Board**. Independent Expert Group on Mobile Phones, 2000.
- GEZONDHEIDSRAAD. **Mobile Phone and Health: An evaluation of health effects**. 2002. Disponível em: <<http://www.gr.nl/pdf.php?ID=377>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- HUANG, K. **Statistical Mechanics**. Massachusetts Institute of Technology, 1987.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE. **Human exposure to rf emissions from cellular radio base station Antennas**. 1992. Disponível em: <ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS - IEE. The possible harmful biological effects of low level electromagnetic fields of frequencies up to 300 GHZ. **IEE Position Statement**, 2000. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org>>. Acesso em: 15 jan.

2017.

_____. **Mobile non ionizing radiation measurement system**. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

_____. **Public exposure to rf from installed sources: site measurements and personal exposimetry**. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

KATZ, E. **Biosensors & Bioelectronics**. The Hebrew University of Jerusalem – Faculty of Science – Institute of Chemistry. Disponível em: <<http://chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/arsonval.html>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

LASR 2010. **Objetivos**. Revisão Científica Latino-Americana. Campos Eletromagnéticos de Alta Frequência e Saúde Humana: Estudos Experimentais em Humanos. 2010. Disponível em: <<http://www.wireless-health.org.br>>. Acesso em: 21 jan. 2017.

MICHAELSON, M. Health implications of exposure to radiofrequency microwave energies. **British Journal of Industrial Medicine**. v. 39, p. 105-119, 1982.

MOBILE PHONES AND HEALTH. **National Radiological Protection Board: (UK)**. Disponível em: <www.IEGMP.ORG.UK>. Acesso em: 15 out. 2017.

MOULDER, John E. Cellular Phone Antennas (Base Stations) and Human Health, in Electromagnetic Fields and Human Health. **Medical College of Wisconsin**, jul., 2000. Disponível em: <<http://www.mcw.edu/gcrc/cop>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

_____. Static Electric and Magnetic Fields and Human Health: Questions and Answers, in Electromagnetic Fields and Human Health. **Medical College of Wisconsin**, Mar., 2000.

MURTA, Marisa Lages. **Avaliação do Ambiente Eletromagnético Visando Segurança Pessoal**: Determinação do Nível de “Poluição Eletromagnética” em Belo Horizonte. TEC-2219/96. Relatório Técnico. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <http://www.higieneocupacional.com.br/download/av_%20amb_eletromag.pdf> Acesso em: 25 abr. 2018.

NASCIMENTO, Juarez. **Telecomunicações**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Estableciendo un diálogo sobre los riesgos de los campos electromagnéticos. Ginebra, 2005. Disponível em: <http://www.who.int/peh-emf/publications/emf_handbook_spanish.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2017.

OSEPCHUK, John;nd PETERSEN, Ronald. Safety Standards for Exposure to RF Electromagnetic Fields. **Microwave**, p. 57-69, Jun., 2001.

RAWER, K. Wave Propagation in the Ionosphere. **Kluwer Academic Publishers**, Dordrecht, 1993.

SALLES, A.; FERNÁNDEZ, C. O impacto das radiações não ionizantes da telefonia móvel e o princípio da precaução. **Caderno Jurídico – Escola Superior do Ministério Público de São Paulo**. São Paulo, v. 6, n. 2, p. 17-46, 2004.

SERWAY, Raymond. **Eletricidade, magnetismo e ótica**. Física 3. Rio de Janeiro - RJ: LTC – Livros técnicos e científicos, 1992.

SILVA, Marco Aurélio da. **Eletromagnetismo**. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/eletromagnetismo.htm>>. Acesso em: 16 jan.2017.

STEWART, William. **Mobile phones and health**. V. 15, n.5, 2004. Disponível em <http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/documents_of_nrpb/index.htm>. Acesso em: 13 jul. 2017.

STUCHLY, M. A. Mobile Communication Systems and Biological Effects on their Users. **The Radio Science Bulletin**, URSI, n. 275, p. 7-12 Dec., 1995.

TELECO – Inteligência em Telecomunicações. **Tecnologias de celular**. 2017. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tecnocel.asp>>. Acesso em: 08 jan. 2017.

TEORY, Antenas. Trechos adaptados do texto base em. Disponível em: <<http://www.antenna-theory.com/spanish/basics/fieldRegions.php>>. Acesso em: 16 jan.2017.

VALVERDE, Rafael Lopez. **Historia del Electromagnetismo**. Disponível em: <<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29009272/1999/articulos/articulo1.PDF>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

VILLATE, Jaime E. **Eletricidade e Magnetismo**. Porto, 2011.

WOLF, D.; WOLF, R. Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitter station. **Int J Canc Prev**. v. 1, p. 1-19, 2004.

WORD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Electromagnetic Fields and Public Health: Base station and wireless technologies**. may 2006. Disponível em: <<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs/304>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

_____. **International EMF Project**. Disponível em: <<http://www.who.int/emf>>. Acesso em: 19 out. 2017.