

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PAULO EDUARDO CARREIRO JÚNIOR**

**CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM  
ÁREAS URBANAS**

**CARATINGA**

**2019**

**FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PAULO EDUARDO CARREIRO JÚNIOR**

**CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM  
ÁREAS URBANAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora do Curso Superior de Engenharia Elétrica das Faculdades Doctum de Caratinga como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Radiação eletromagnética

Professor Orientador: MSc. Robson da Silva.

**CARATINGA**

**2019**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM ÁREAS URBANAS, elaborado pelo(s) aluno(s) PAULO EDUARDO CARREIRO JUNIOR foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 04/12/2019

  
ROBSON DA SILVA  
Prof. Orientador

  
VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES  
Prof. Avaliador 1

  
GUILHERME CASSIMIRO BORGES  
Prof. Examinador 2

Dedico primeiramente a Deus, pois é ele que nos dá força para vencermos as dificuldades, a minha família que vem me apoiando, aos professores e amigos.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui.

Aos professores da Rede de Ensino Doctum eu agradeço a orientação incansável, o empenho e a confiança que ajudaram a tornar possível este sonho. Em especial quero agradecer ao Prof. MSc Robson da Silva, pela orientação deste trabalho, pela extrema disposição, pela paciência e pelos ensinamentos que irei levar pelo resto de minha vida.

A todos os professores, funcionários e amigos da Doctum Caratinga que, estando ao meu lado nos momentos difíceis ou descontraídos, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, vizinhos, parentes e amigos que me apoiaram e incentivaram no decorrer de mais esta etapa.

*“Tudo se consegue com muito treino e dedicação, precisamos ser determinados.”*  
*(Paulo Júnior)*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Campo elétrico criado por uma carga positiva .....	18
Figura 2 – Linhas de campo magnético .....	18
Figura 3 – Fluxo Magnético .....	19
Figura 4 – Vetor densidade de campo magnético .....	20
Figura 5 – Experimento de Faraday .....	20
Figura 6 – Fontes de radiações elétricas e magnéticas .....	22
Figura 7 – Tipos de radiação no espectro eletromagnético .....	23
Figura 8 – Comparação de campo magnético nos diferentes ambientes medidos ...	26
Figura 9 - Medidor de Radiação eletromagnética GM3120 .....	32
Figura 10 – Diagrama Esquemático .....	33
Figura 11– Circuito em Corrente Contínua.....	34
Figura 12 – Circuito em Corrente Alternada.....	35
Figura 13 – Circuito em Corrente Contínua.....	36
Figura 14 – Circuito em Corrente Alternada.....	37
Figura 15 - Antena Rádio AM.....	39
Figura 16 – Linha de Transmissão .....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aferição .....	41
Tabela 2 – Radiação em Torres de Telefonia Móvel e internet .....	42
Tabela 3 – Radiação na torre de Rádio AM e Linhas de Distribuição .....	43
Tabela 4 – Radiação em Aparelhos Eletrodomésticos.....	43
Tabela 5 – Exposição à Radiação Eletromagnética .....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas

AM – Modulação em Amplitude

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

Ca – corrente alternada

Cc – corrente contínua

CEPEL – Centro de pesquisa de energia elétrica

FM – Modulação em frequência

GSM – Sistema global para comunicações móveis

ICNIRP – Comissão Internacional de Proteção Contra Radiação Não Ionizante

IEEE – Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos

LCD – display de cristal líquido

LED – Diodo emissor de luz

NBR – Norma técnica

OMS – Organização Mundial da Saúde

SVMA – Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente

TNO – Toegepast-Natuurwestenchappelijk Onderzoek (Organização pela Pesquisa Científica Aplicada)

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\phi$  - Phi

$^{\circ}$  C – grau celsius

$\emptyset$ : Fluxo magnético (Weber);

$\mu$  - micro

$\mu_0$  - permeabilidade magnética

$\mu$ T – microtesla

A: área da seção perpendicular ao fluxo magnético ( $m^2$ )

B: Campo magnético

Cm – centímetro

d – Distância

f – frequência

G – Gauss

Ghz -Gigahertz

h – Hora

Hz – Unidade de medida para frequência

I - Corrente elétrica, normalmente medida em Amperes(A)

J – Densidade volumétrica da corrente

Kg - Quilograma, unidade para a grandeza massa

KV/m – Quilovolt por metro

m - Metro

m – mili

$m^2$ : metro quadrado

MHz – Megahertz

n - nano

N – Norte

S – Sul

T – Tesla

V - Voltagem, normalmente medido em Volts (V)

V/m – Volt por metro

W – Watts

Wb – Weber

JÚNIOR, Paulo Eduardo Carreiro. **CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM ÁREAS URBANAS**, Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga. Rede DOCTUM, Caratinga 2019.

## **RESUMO**

Desde a formulação final das leis do eletromagnetismo, desenvolvida por James Clerk Maxwell em 1873, a humanidade tem se beneficiado da manipulação da energia elétrica. A utilização de eletroeletrônicos e a comunicação em tempo real através da telefonia móvel e o uso da internet estão cada vez mais presentes no dia a dia. Porém todos esses processos e serviços são geradores de radiação eletromagnética, e os impactos desse tipo de radiação sobre o tecido biológico ainda é pouco estudado. Por esse motivo a caracterização dos níveis de radiação eletromagnética em área residencial é tão importante. Neste contexto esse trabalho tem como objetivo caracterizar os níveis de radiação eletromagnética próximo as torres de rádio, telefonia móvel, internet e linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como em aparelhos eletroeletrônicos de uso residencial, comparando-os as normas regulatórias vigentes no país.

**Palavras-chave:** Radiação. Caracterização. Radiação eletromagnética. Torres. Eletroeletrônicos. áreas urbanas.

JÚNIOR, Paulo Eduardo Carreiro. **CARACTERIZAÇÃO DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM ÁREAS URBANAS**, Caratinga, 2019. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica – Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga. Rede DOCTUM, Caratinga 2019.

### **ABSTRACT**

Since the final formulation of the laws of electromagnetism, developed by James Clerk Maxwell in 1873, humanity has benefited from the manipulation of electrical energy. The use of consumer electronics and real-time communication through mobile telephony and the use of the internet are increasingly present in everyday life. However, all these processes and services are generators of electromagnetic radiation, and the impact of this type of radiation on biological tissue is still poorly studied. For this reason the characterization of electromagnetic radiation levels in residential areas is so important. In this context, this work aims to characterize the levels of electromagnetic radiation near the radio towers, mobile telephony, internet and power transmission and distribution lines, as well as in home appliances, comparing them with the regulatory standards in force in the parents.

**Key-words:** Radiation. Characterization. Electromagnetic radiation. Towers. Electroelectronics. urban áreas.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Geração.....	16
2.1.2 Transmissão.....	16
2.1.3 Distribuição.....	17
<b>2.2 Campos eletromagnéticos.....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Campo Elétrico.....	17
2.2.2 Campo Magnético .....	18
2.2.2.1 Fluxo Magnético .....	19
2.2.2.2 Densidade do Campo Magnético .....	19
2.2.3 Lei de Faraday .....	20
2.2.4 Lei de Ampère .....	21
<b>2.3 Fontes dos campos eletromagnéticos .....</b>	<b>21</b>
2.3.1 Radiação Ionizante.....	23
2.3.2 Radiação não-ionizante.....	23
<b>2.4 Exposição a campos elétrico e magnéticos.....</b>	<b>24</b>
2.4.2 Exposição à campos Magnéticos.....	25
<b>2.5 Efeitos do campo eletromagnético .....</b>	<b>27</b>
2.5.1 Interação com o campo eletromagnético.....	27
<b>2.6 Normas e diretrizes de exposição aos campos eletromagnéticos no Brasil e no mundo .....</b>	<b>28</b>

2.6.1 Comissão Internacional de Proteção contra a Radiação não Ionizante (ICNIRP).....	28
2.6.2 Resolução normativa ANEEL 398 .....	28
2.6.3 Norma norte-americana IEEE C95.6 e C95.1.....	28
<b>2.7 Panorama internacional de limites para os campos elétricos e magnéticos de baixa frequência .....</b>	<b>29</b>
2.7.1 Europa.....	29
2.7.2 Continente Norte Americano .....	29
2.7.3 Normas e leis no Brasil.....	30
<b>2.8 Blindagem eletromagnética.....</b>	<b>31</b>
<b>2.9 Medidor de radiação eletromagnética GM312.....</b>	<b>31</b>
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Aferição do medidor de radiação eletromagnética GM3120.....</b>	<b>33</b>
3.1.1 Modelo teórico de valores de campos .....	34
3.1.2 Modelo prático de Coleta de valores de campos.....	36
<b>3.2 Seleção de fontes de radiação eletromagnética.....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Coletas de dados.....</b>	<b>38</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Resultados da aferição .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Análise dos dados de telefonia móvel e internet.....</b>	<b>42</b>
<b>4.3 Análise dos dados de torre de rádio e linhas de transmissão .....</b>	<b>42</b>
<b>4.4 Análise dos dados de aparelhos eletroeletrônicos .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5 Análise de exposição a radiação eletromagnética .....</b>	<b>44</b>

<b>4.6 Análise de radiação em sala residencial.....</b>	<b>44</b>
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em 1873, James Clerk Maxwell, em um de seus mais notáveis trabalhos, desenvolveu a forma final que une a eletricidade, o magnetismo e a óptica. O que ficou conhecido como a teoria moderna do eletromagnetismo. Tudo o que temos e toda tecnologia que foi desenvolvida desde então é consequência direta ou indireta da aplicação desses conceitos. É notório, que a compreensão e aplicação das leis de Maxwell alavancou o desenvolvimento tecnológico no final do século XX e mudou o modo de vida das pessoas nesse início de século XXI. Hoje é quase impossível pensar no estilo de vida sem a presença e do uso da eletricidade. O uso de eletrodomésticos e eletrônicos se tornou algo comum e indispensável no dia a dia. Bem como a comunicação em tempo real.

Porém, juntamente com todo conforto proporcionado pelo domínio da eletricidade, vem atreado, os impactos que ela produz. E quando refiro a impactos, não estou referindo a impactos decorrentes aos meios de conversão de energia. Esses já tem sido explorado e levantado por uma série de trabalhos ao longo dos anos. Nesse trabalho me refiro a um impacto menos visível e pouco explorado, como a exposição do tecido biológico a radiação eletromagnética.

Até onde se sabe, todo processo que envolve transformação de energias, em energia elétrica, gera uma assinatura que viaja pelo espaço em forma de onda eletromagnética. Logo é extremamente necessário caracterizar os níveis de radiação eletromagnética a qual os usuários de eletricidade são expostos todos os dias. Pensando sobre essa realidade, esse trabalho tem como objetivo caracterizar as emissões de radiação eletromagnética provenientes de torres de rádio, telefonia móvel, internet, linhas de transmissão e linhas de distribuição de energia elétrica. Bem como a radiação eletromagnética gerada pelo uso de aparelhos eletroeletrônicos residencial, comparando os resultados aos valores estipulados pelas normas regulatórias vigentes no país.

Para facilitar o desenvolvimento e compreensão, esse trabalho foi dividido em cinco capítulos:

Capítulo um introdução :

Nesse capítulo é descrito a relevância e objetivos desse trabalho.

Capítulo dois Referencial teórico:

Esse tópico, relaciona todo material teórico que serviu como base para o desenvolvimento do trabalho.

Capítulo três procedimento metodológico:

Aqui é descrito a sequência e os protocolos utilizados na realização da coleta de dados.

Capítulo quatro apresentação e discussão dos resultados:

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos pelo método experimental.

Capítulo cinco Conclusão:

Esse tópico contém as principais conclusões obtidas que puderam ser apuradas com esse trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, são apresentados os principais conceitos e literaturas que norteiam esse trabalho.

### 2.1 Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica

Para o melhor entendimento relacionado a campos elétricos e magnéticos, é necessário o estudo dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, pois esses processos são um dos principais mecanismos geradores de radiação eletromagnética.

#### 2.1.1 Geração

Segundo a ANEEL (2017b) a geração é o segmento da indústria de eletricidade responsável por produzir energia elétrica e injetá-la nos sistemas de transporte (transmissão e distribuição) para que chegue aos consumidores.

No Brasil a geração de energia elétrica é muito favorecida pelas condições naturais do país, a geração de energia em sua maior parte provém de fontes renováveis de energias e aproveita-se da força das águas, dos ventos e até mesmo a energia do sol, utilizando-se dessas fontes como combustível. O sistema de geração utiliza turbinas geradoras para transformar energia mecânica em energia elétrica.

A tensão gerada em uma usina geralmente é menor que 25KV, assim fazendo-se necessária a elevação de tensão para que a energia possa ser transmitida. Com isso na saída do gerador existe uma tensão alternada com uma frequência fixa (CARVALHO, 2014).

#### 2.1.2 Transmissão

Conforme ANEEL (2017a) as redes de transmissão possibilitam o transporte da eletricidade produzida nas usinas geradoras às diversas subestações de alteração de tensão elétrica, por meio de cabos aéreos fixados em grandes torres de metal.

A maioria das usinas geradoras são construídas longe dos grandes centros de consumo, necessitando ser transportada em alta tensão diminuindo assim a corrente e evitando perdas na transmissão (CARVALHO, 2014).

As linhas de transmissão trabalham em diferentes tensões, utilizadas normalmente em 69KV, 138KV, 230KV, 440KV, 500KV e 765KV e divididas em duas classes, as linhas de transmissão que operam na tensão igual ou maior que 230KV e as linhas de subtransmissão com a tensão menor que 230KV (SOUZA, 2017).

### *2.1.3 Distribuição*

O segmento da distribuição é classificado com o setor aplicado ao rebaixamento da tensão que chega do sistema de transmissão e é transferida para os consumidores.

Segundo a ANEEL (2017c) O Sistema de distribuição é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em diferentes níveis de tensão, sendo eles os seguintes:

- a) Alta tensão: Superior a 69KV e inferior a 230KV;
- b) Média tensão: Superior a 1KV e inferior a 69KV;
- c) Baixa tensão: Inferior ou igual a 1KV;

O sistema de distribuição é feito através da empresa responsável no local e é feita de duas formas, uma delas através de redes aéreas utilizando postes e de outro modo utilizando linhas subterrâneas.

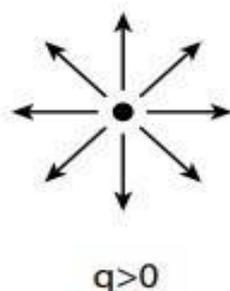
## **2.2 Campos eletromagnéticos**

A combinação dos campos elétricos em conjunto com campos magnéticos, e gerados por uma fonte denomina-se ondas eletromagnéticas (SOUZA, 2017).

### *2.2.1 Campo Elétrico*

Segundo SOUZA (2017) o campo elétrico é um campo vetorial, que consiste em uma distribuição de vetores, um para cada ponto na região ao redor de um objeto carregado, é toda região no entorno de uma carga, como mostrado na figura 1.

Figura 1– Campo elétrico criado por uma carga positiva

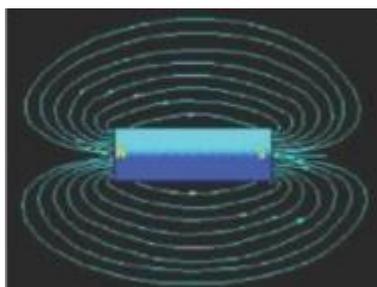


Fonte: Ferreira, M. (2014)

### 2.2.2 Campo Magnético

O campo magnético define-se pela região em volta de um ímã, onde ocorre uma força magnética seja ela de atração ou de repulsão, pode ser definido pela medida da força que o campo exerce sobre o movimento das partículas de carga. A representação visual do campo é feita através de linhas de campo magnético, são linhas imaginárias que saem do polo norte e entram no polo sul do ímã (SAMBAQUI; MARQUES, 2010).

Figura 2 – Linhas de campo magnético



Fonte: Guimaraes, (2010)

Segundo SAMBAQUI (2010) determina-se as características de campo magnético:

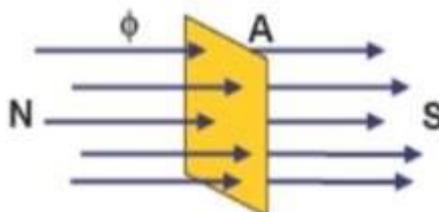
- a) Linhas fechadas que saem e voltam para o mesmo ponto;
- b) As linhas não se cruzam;
- c) Fora do ímã, as linhas saem do polo norte e se dirigem para o polo sul;
- d) Dentro do ímã, as linhas são orientadas do polo sul para o polo norte;

e) Nos polos a concentração das linhas é maior: quanto maior a concentração de linhas, mais intenso será o campo magnético numa dada região.

### 2.2.2.1 Fluxo Magnético

O fluxo magnético, é definido como a quantidade de linhas de campo que atingem perpendicularmente uma dada área, como mostra a figura 3. A unidade de fluxo magnético é o Weber (Wb), sendo que em um Weber corresponde a  $1 \times 10^8$  linhas do campo magnético (SOUZA, 2017).

Figura 3 – Fluxo Magnético



Fonte: Guimaraes, (2010)

### 2.2.2.2 Densidade do Campo Magnético

Segundo SAMBAQUI; MARQUES (2010) a densidade de campo magnético, cuja unidade Tesla (T), é uma grandeza vetorial representada pela letra B e é determinada pela relação entre o fluxo magnético e a área de uma dada superfície perpendicular à direção do Fluxo magnético. Dada pela equação 1

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (1)$$

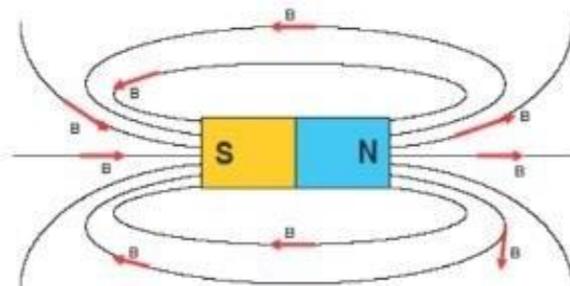
Onde:

B: Campo magnético (Tesla);

Ø: Fluxo magnético (Weber);

A: área da seção perpendicular ao fluxo magnético (m<sup>2</sup>)

Figura 4 – Vetor densidade de campo magnético



Fonte: Guimaraes, (2010)

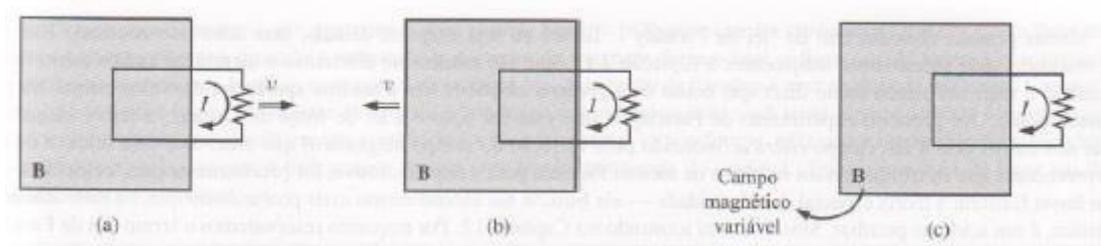
A direção do vetor  $B$  é sempre tangente às linhas de campo magnético em qualquer ponto, como mostrado na figura 4. O sentido do vetor densidade de campo magnético é sempre o mesmo das linhas de campo (SAMBAQUI; MARQUES, 2010).

### 2.2.3 Lei de Faraday

Segundo Griffiths (2010) Em 1831, Michael Faraday relatou vários experimentos como citado a seguir:

- a) Ele puxou uma espira de fio para direita através de um campo magnético (figura 5a). Uma corrente passou pela espira.

Figura 5 – Experimento de Faraday



Fonte: Griffiths, (2010)

- b) Ele moveu o ímã para esquerda, mantendo a espira parada (figura 5b), novamente uma corrente passou pela espira.

- c) Com ambos, a espira e o ímã em repouso (figuram 5), ele mudou a intensidade do campo, (Faraday usou um eletromagneto e variou a corrente na bobina). Novamente, uma corrente passou pela bobina.

Nessa situação Faraday criou uma inspiração engenhosa, sobre um campo magnético que varia, induz um campo elétrico. É esse campo elétrico induzido o responsável pela força eletromotriz do experimento, Faraday descobriu assim empiricamente, que se a força eletromotriz for novamente igual à taxa de mudança de fluxo, fica definindo que  $E$  está relacionado à alteração em  $B$ , deixando assim a lei de Faraday na forma integral (Griffiths, 2010).

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

Onde:

- a)  $\vec{E}$  é o campo magnético
- b)  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  é a variação do campo magnético.

#### 2.2.4 Lei de Ampère

Segundo Griffiths (2010) A equação utilizada para o rotacional de  $B$ , chama-se lei de Ampère, que como a lei de Biot-Savart tem um papel na magnetostática correspondente ao da lei de Coulomb, na eletrostática, a lei de Ampère desempenha o papel da lei de Gauss. Em particular, para correntes com a simetria adequada, a lei de Ampère na forma integral oferece um meio simples e extremamente eficiente para calcular o campo magnético (Griffiths, 2010).

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \quad (3)$$

Onde:

- a)  $\vec{B}$  é o vetor campo magnético;
- b)  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética;
- c)  $\vec{J}$  é a densidade volumétrica de corrente.

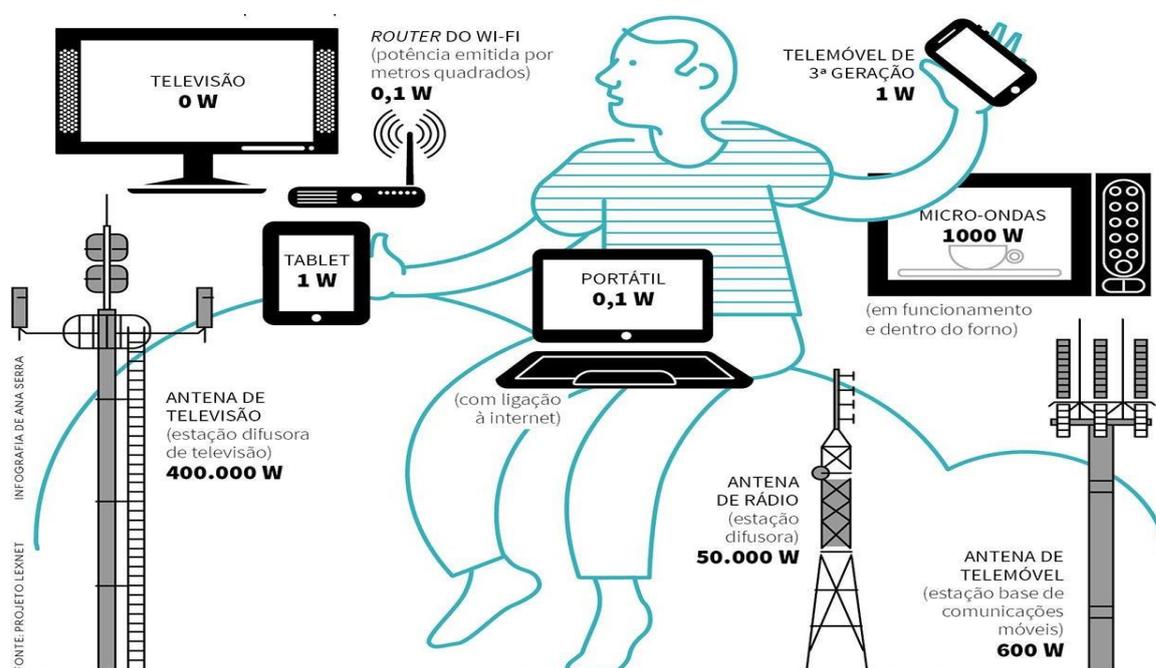
### 2.3 Fontes dos campos eletromagnéticos

Sempre existiram campos eletromagnéticos em nossa volta, porém com o aumento populacional, precisando assim, de uma grande demanda de energia elétrica e com o avanço nas tecnologias, a emissão de radiação eletromagnética através de

fontes artificiais tem aumentado de forma significativa. Deixando a população exposta à uma vasta mistura de campos eletromagnéticos de diferentes frequências (SOUZA, 2017).

Há diferentes agentes de radiação eletromagnética seja ela de causa natural como o sol e as fontes de radiação artificial, por exemplo, antenas de telefonia móvel, torres de transmissão de energia elétrica e eletrodomésticos. Através da figura 6 será demonstrado fontes de radiação a que somos expostos todos os dias.

Figura 6 – Fontes de radiações elétricas e magnéticas



Fonte: <https://sustentabilidadenaopalavraeacao.blogspot.com/2016/11/poluicao-eletromagnetica.html>

As ondas eletromagnéticas propagam-se no espaço, transportando energia eletromagnética, e são constituídas por duas entidades interdependentes: o campo elétrico, e o campo magnético. O produto destes dois campos resulta na densidade de potência (SEBASTIÃO et al., 2010).

Há dois tipos de radiação: ionizante e não ionizante, as radiações com comprimento de onda maior representam frequência mais baixa, exemplo, ondas de rádio, e as ondas com comprimento de onda menor representam frequência mais alta como por exemplo raios gama. A diferença entre a radiação ionizante e não-ionizante é relacionada na quantidade de energia transportada que, ao interagir com um átomo,

pode ou não remover elétrons dele fazendo com que seja ionizado ou carregado (SEBASTIÃO et al., 2010). Através da figura 7 será mostrado o espectro de radiação com alguns tipos de radiação.

Figura 7 – Tipos de radiação no espectro eletromagnético



Fonte: Fontes de radiação eletromagnética (atualização LTE), (2010)

Uma forma utilizada para classificar uma radiação eletromagnética como ionizante e como não ionizante é através da frequência (Hertz-HZ). As diferentes frequências indicam diferentes tipos de radiação, o que deu origem ao espectro eletromagnético (FIGUEIREDO et al., 2011).

### 2.3.1 Radiação Ionizante

São radiações de frequência muito alta e, portanto, comprimento de onda pequeno. Ondas que tem energia capaz de quebrar ligações químicas de moléculas. São radiações com elevada frequência como raio X, possuem efeito ionizante, com possíveis danos à saúde (PADILHA, 2011).

### 2.3.2 Radiação não-ionizante

A radiação não-ionizante é natural e considerável relevância para todo conjunto de vida na terra, utilizando-se da energia luminosa e de calor transmitida pelo sol. As radiações não ionizantes de fonte artificial são definidas em dois tipos sendo eles: (VIEIRA, 2015).

a) Campos eletromagnéticos de muita baixa frequência provindos de equipamentos elétricos e eletrônicos e linhas de transmissão;

b) Radiação por radiofrequência de dispositivos sem fio como celular, pontos de acesso de internet, torres de transmissão de TV e rádio, entre outros.

Essas ondas quando atingem o tecido do corpo humano, podem causar reações químicas, ocasionando queimaduras internas e externas. Através disso, existem limitações para a exposição a essa radiação, o que sugere que exista efeito negativo a sociedade (SOUZA, 2017).

## **2.4 Exposição a campos elétrico e magnéticos**

Pretendendo identificar a exposição humana aos campos eletromagnéticos relacionados aos meios de radiação artificial, PADILHA (2011) realizou estudos para reconhecer as fontes de emissão de radiação e medir sua intensidade de acordo com proximidade e tempo de utilização deles.

Segundo PADILHA (2011) o acontecimento de câncer e acontecimentos prejudiciais como como cataratas, queimaduras na pele, queimaduras profundas, exaustão e insolação causada pelo calor exagerado pode estar relacionado à exposição à radiação eletromagnética de forma intensa.

Os efeitos biológicos causados podem ser classificados em dois modelos sendo eles:

a) Crônicos ou retardados: Ocorrem quando há uma exposição prolongada a campos eletromagnéticos;

b) Agudos: Efeitos que acontecem no momento imediato à exposição.

Se faz necessário verificar os efeitos relacionados a efeitos biológicos pois nem sempre significam que sejam prejudiciais à saúde. A Organização Mundial de Saúde (OMS) define efeito biológico como aquele que ocorre quando a exposição causa alterações visíveis e detectáveis no sistema biológico e se encontra fora dos parâmetros normais do corpo (SEBASTIÃO et al., 2010).

#### *2.4.1 Exposição à campos Elétricos*

São produzidos por tensões elétricas dos sistemas de energia e encontrada nas tomadas para equipamentos elétricos, campos que depende da distância e intensidade da radiação e são medidos pela unidade V/m. Os campos elétricos existem em todos os ambientes seja ele residencial ou de trabalho devido ao funcionamento de qualquer equipamento elétrico, existindo sinal de internet, rádio ou televisão, fiação de energia elétricas e proximidades de linhas de transmissão ou distribuição de energia. Os campos elétricos de maneira abrangente provêm desde a geração da energia até sua distribuição circulando os corpos e dispositivos no ambiente (BELARDO et al., 2001).

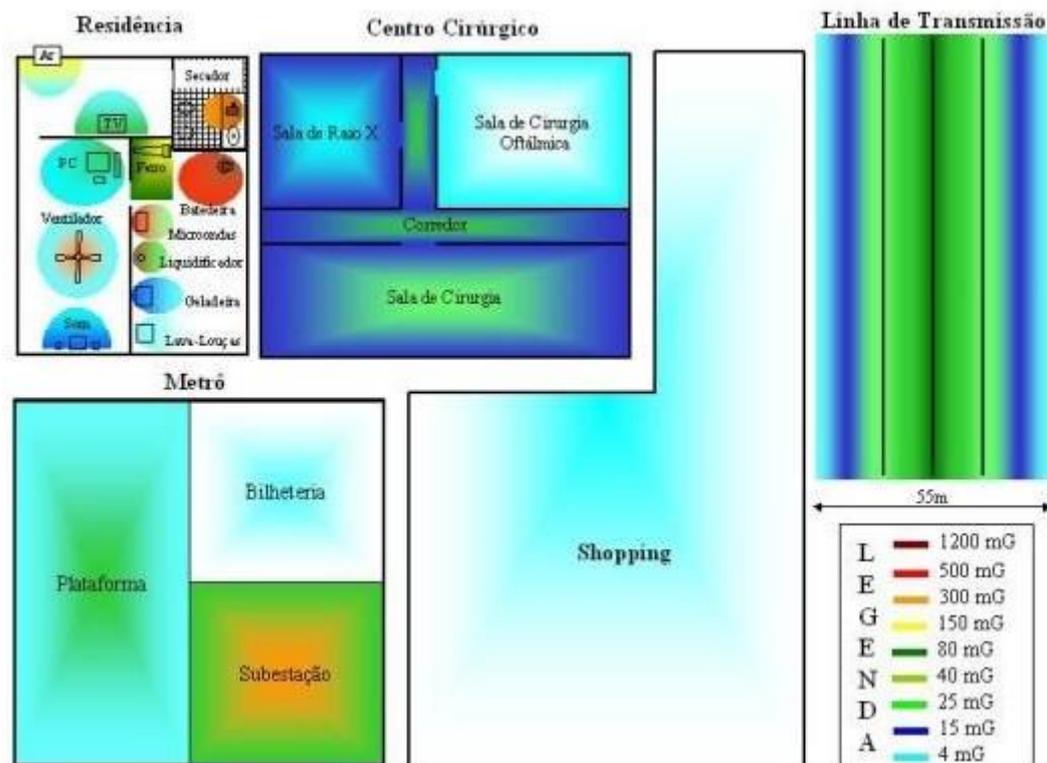
Ou seja, existe campo elétrico havendo tensão disponível havendo ou não corrente. Segundo SOUZA (2017) a interação de campos elétricos variáveis no tempo, com o corpo humano, resulta em um fluxo de correntes elétricas, na formação de dipolos elétricos, e na reorientação dos dipolos elétricos já existentes no tecido.

Os campos elétricos externos ao corpo induzem uma carga superficial, causando correntes induzidas no corpo, e sua distribuição depende da exposição, tamanho e forma do corpo e da posição dele nesse campo (SOUZA, 2017).

#### *2.4.2 Exposição à campos Magnéticos*

A exposição à campos magnéticos é definida através de várias medições efetuadas em residências e em diferentes ambientes através de dosímetros, assim verificando o nível recebido de campos magnéticos diariamente e de diversos emissores dele. A CEPEL (CENTRO DE PESQUISA DE ENERGIA ELÉTRICA) realizou pesquisa e elaborou um mapa onde mostra a comparação do campo magnético em vários ambientes demonstrados na figura 8.

Figura 8 – Comparação de campo magnético nos diferentes ambientes medidos



Fonte: Caracterização de campos magnéticos em ambientes industriais, urbanos e residenciais, (2005)

Segundo BELARDO et al. (2001) os campos elétricos de 50 e 60 Hz têm baixa penetração nos corpos, a maior parte dos efeitos biológicos são causadas à exposição à campos magnéticos. O campo magnético provém do fluxo de corrente elétrica, como os campos elétricos os campos magnéticos dependem igualmente da distância e intensidade das fontes de geração e são definidos pela densidade de fluxo magnético medidos através das unidades de Gauss (G) ou Tesla (T) e são presentes a partir de quando os equipamentos estão em funcionamento.

Segundo SOUZA (2017) devido à preocupação com a excessiva quantidade de ondas magnéticas à qual a população está sujeita todos os dias, desenvolveu uma necessidade para que houvesse limites para os níveis de campos emitidos por cada fonte para o menor valor que fosse economicamente viável, levando em consideração à exposição à essa poluição eletromagnética. Referindo a lei da ICNIRP promulgada em 1999 na Suíça determinando valores de limite para exposição total aos campos eletromagnéticos.

## 2.5 Efeitos do campo eletromagnético

Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde) existe uma enorme preocupação com os possíveis danos causados à saúde humana, através da exposição das ondas eletromagnéticas, assunto esse que desperta interesse e relevância para se pesquisar e estudar mais sobre esse assunto.

A relação entre o meio biológico junto com as radiações são complexas e dependem de vários fatores como a intensidade, frequência e polarização dos campos, tamanho físico, forma geométrica, propriedades dielétricas e permissividade elétrica dos tecidos, além da configuração da fonte, distância e presença de objetos reflexivos, por esses e tantas outras variáveis é difícil definir a taxa de absorção dessa radiação pelo tecido (PADILHA, 2011).

Existem naturalmente no corpo humano correntes elétricas e essas correntes são partes essenciais para as funções normais do corpo. Os nervos enviam sinais através de impulsos elétricos e a maioria das reações associadas a atividade cerebral, envolve processos elétricos. As baixas frequências do campo eletromagnético atravessam o corpo já as radiofrequências são parcialmente absorvidas e penetram em uma pequena parte do tecido (OMS, 2002).

Presenciamos campos eletromagnéticos em nosso cotidiano e esses campos são consideravelmente baixos, mais se estamos em contato constante com aparelhos celulares, televisores, micro-ondas, entre outros, os íons naturais do nosso organismo podem ser afetados por essas descargas elétricas ocasionadas por esses equipamentos elétricos (RIBEIRO, 2007).

### 2.5.1 Interação com o campo eletromagnético

Existem dois modos de interação entre o corpo humano e o campo eletromagnético, são elas de forma direta ou indireta. A diferença entre elas se dá devido a existência ou não de um segundo corpo ou objeto que está sujeito à radiação (SOUZA, 2017).

Segundo RIBEIRO (2007) Estudos da TNO – Toegepast-Natuurwestenchappelijk Onderzoek (Organização pela Pesquisa Científica Aplicada) na Holanda, concluiu-se que em apenas 45 minutos de exposição à radiação eletromagnética de 0,7 V/m (volt por metro) emitida por um celular já se pode observar efeitos graves sobre a saúde

## **2.6 Normas e diretrizes de exposição aos campos eletromagnéticos no Brasil e no mundo**

Diante a todos esses possíveis danos em que se fica exposto, devido aos campos eletromagnéticos de baixa frequência, as organizações definiram parâmetros a serem seguidos para proteger e alertar os cidadãos, normas que serão repassadas nos tópicos seguintes.

### *2.6.1 Comissão Internacional de Proteção contra a Radiação não Ionizante (ICNIRP)*

A ICNIRP definiu limites para densidade de corrente elétrica no corpo humano de  $10\text{mA/m}^2$ , considerando esse valor como um limite mínimo que ocasionou efeitos para a fisiologia humana no sistema nervoso, definindo esse valor como máximo recomendável para funcionários do setor elétrico. Já para o público normal, definiu-se valores de segurança uma limitação de  $2\text{mA/m}^2$  (SOUZA, 2017).

### *2.6.2 Resolução normativa ANEEL 398*

Através da lei Nº 11.934, de 5 de maio de 2009, no que se refere aos limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Determina-se os limites e procedimentos para exposição do público geral e população ocupacional (ANEEL, 2010).

A lei referida atribuiu competência à ANEEL de regular e fiscalizar o atendimento aos limites à exposição a campos eletromagnéticos recomendados pela OMS relativos aos serviços de geração transmissão e distribuição de energia elétrica. O art. 4º da Lei referida, definiu que limites recomendados pela OMS (Organização Mundial de Saúde) para exposição ocupacional e da população a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos gerados por estações transmissoras de radiocomunicação, por terminais de usuário e por sistemas de energia elétrica operam na faixa até 300Ghz (ANEEL, 2010).

### *2.6.3 Norma norte-americana IEEE C95.6 e C95.1*

Foi publicada no ano de 2002 a norma IEEE C95.6 através do Instituto de Engenheiro Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) para o controle de frequências entre 0 Hz – 3Hz, e em 2005 a norma IEEE C95.1 para frequências entre 3 KHz e 300 GHz, duas

leis com intuito de estabelecer limites para exposição humana aos campos eletromagnéticos (IEEE, 2005). O IEEE utiliza critérios mais específicos para exposições em locais reservados em relação ao corpo, cabeça e membros.

## **2.7 Panorama internacional de limites para os campos elétricos e magnéticos de baixa frequência**

Segundo DOMINGUES et al. (2007) a mais de 30 anos são discutidas sobre as possíveis causas para a saúde relacionadas a exposição à campos elétricos e magnéticos. Através de pesquisas determina-se limites através da OMS e ICNIRP para os malefícios através de campos de baixa frequência, nos próximos tópicos será mostrado as medidas utilizadas em diferentes continentes sobre a exposição dos campos eletromagnéticos.

### *2.7.1 Europa*

Em sua maioria utilizam os limites definidos pela ICNIRP, e em alguns países como a Itália, Bélgica e Suíça, estão definindo parâmetros de prevenção adicionando ou substituindo as características da ICNIRP, porém apenas na Espanha, Suécia e Reino Unido existe um comprometimento legal relacionado aos campos eletromagnéticos (SOUZA, 2017).

Na Itália foi adotado um sistema de limite para possíveis efeitos a longo prazo, diferente então dos valores da União Europeia. O limite passou a ser que  $100\mu\text{T}$  não deve ser excedido, e  $10\mu\text{T}$  é o máximo em parques infantis e locais onde as pessoas ficam mais de 4h (MOREIRA, 2011).

Na Holanda foi recomendado que não fosse liberada construção de casas onde tem um campo magnético de  $0,4\mu\text{T}$  relacionados as linhas de transmissão. E na Polônia tem um limite de campo elétrico igual a  $1\text{KV/m}$  para residências, e, em locais em que onde a exposição acontece por mais de 4h e de  $10\text{KV/m}$  nos demais locais (DOMINGUES et al., 2007).

### *2.7.2 Continente Norte Americano*

Não existem leis que regularizam os campos eletromagnéticos de baixa frequência nos Estados Unidos. Em apenas alguns estados possuem regulamentação

para campos elétricos gerados, e apenas dois estados para campos magnéticos (SOUZA, 2017).

No Canadá possui limites para campos elétricos em 3 províncias, com objetivo de diminuir o potencial induzido em objetos metálicos evitando assim a ocorrência de choques elétricos nos mesmos. Essas 3 províncias possuem valores diferentes para intensidade do campo elétrico que é de 2KV/m em Hydro-Quebec, de 3KV/m em Hydro One-Ontario e em BCHydro-British Columbia de 5KV/m (SILVA, 2009).

### *2.7.3 Normas e leis no Brasil*

Através das discussões relacionadas sobre os níveis de exposição, algumas leis e normas foram criadas e citadas a seguir.

Através da norma da ABNT NBR 25415 de 19/07/2016 fica estabelecida maneira de medir e conferir os níveis de referência sobre a exposição de campos elétricos e magnéticos de 50 e 60Hz para o público geral, ao redor das instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica acima de 1KV. Segundo a ABNT (2016) Os limites de magnitude abordados por essa norma são de 100nT a 100mT e 1KV/m a 50KV/m para campos magnéticos e campos elétricos.

Segundo a lei federal 11.934, de 5 de maio de 2009 fica estabelecido limites à exposição humana à campos elétricos e magnéticos relacionada a estações transmissoras de radiocomunicação na faixa de frequência de até 300GHz, visando garantir a proteção da saúde e do meio ambiente. Enquanto não estabelecidas novas recomendações pela Organização Mundial de Saúde, são adotados os limites da Comissão Internacional de proteção Contra Radiação Não Ionizante (BRASIL, 2009).

De acordo com a SVMA Nº 80 de 13 de OUTUBRO de 2005 fica-se regulamentado os procedimentos para o controle ambiental da instalação e da operação de subestações e de linhas de transmissão de energia elétrica do município. Visando a proteção relacionado aos possíveis efeitos de longo prazo devidos à exposição aos campos magnéticos gerados por quaisquer instalações dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, não poderão ser superados os seguintes limites de densidade de fluxo magnético: 10  $\mu$ T para instalações existentes (valor médio de 24 horas, em locais de permanência prolongada, entendido como sendo de 4 horas ou mais diárias, tais como escolas, hospitais residências e locais de trabalho), e de 3  $\mu$ T para instalações novas (SVMA, 2005).

Segundo o artigo 9 SVMA nº80 (2005) a intensidade dos campos elétricos e a densidade do fluxo magnético não poderão exceder em qualquer momento, em locais de acesso livre à população em geral, os valores de 4,17KV/m e 83,3  $\mu$ T respectivamente (SVMA, 2005).

## **2.8 Blindagem eletromagnética**

A blindagem eletromagnética além de diminuir a exposição aos campos elétricos e magnéticos pode funcionar também para eliminar interferências causadas pelos campos. A ideia de blindagem é uma forma de barreira para as transmissões desse campo, seja qual for a técnica utilizada para diminuir a energia desses campos (MURTA, 2002).

Através de uma comparação feita antes e após a blindagem pode se definir se foi e o quanto foi eficaz a blindagem. O fator da blindagem depende da frequência e de onde vem o campo magnético e, do material utilizado para fazer essa blindagem. Para blindagem em campos eletromagnéticos de baixa frequência não se tem técnicas economicamente viáveis e com solução garantida (MURTA, 2002).

Uma blindagem é feita normalmente com um componente metálico, colocado para evitar a transmissão das ondas eletromagnéticas de um local para outro. A blindagem pode ser utilizada para evitar a poluição no local, mas pode ser, para proteger circuitos sensíveis, contra os campos eletromagnéticos (GUIMARÃES, 2018).

A blindagem relacionada a interferência causada pelos campos elétricos e magnéticos, utilizam em sua maioria metais, como cobre, alumínio e até tintas metálicas, o que funciona de maneira satisfatória, porém não é uma maneira economicamente viável. Um estudo feito por SHAZAD et al. (2016) Utilizam um sistema feito com uma película com poucos átomos de espessura, de carbeto de titânio, que segundo o estudo é mais eficaz, e por ser uma película bem fina pode ser utilizada em qualquer superfície. Para não utilizar alumínio e cobre eles definiram que, com apenas uma camada de MXeno de 8 micrômetros, alcança até 99,99% de bloqueio contra radiação eletromagnética (SHAZAD et al., 2016).

## **2.9 Medidor de radiação eletromagnética GM312**

Para se fazer os testes e medições deve-se utilizar um medidor de radiação elétrica e magnética, esse medidor possui um sensor de radiação integrado e após o processamento através de um microchip, exibe o valor da radiação em um display LCD.

Figura 9 - Medidor de Radiação eletromagnética GM3120



Fonte: Próprio autor, (2019)

Segue abaixo as características obtidas através do fabricante de um medidor de radiação elétrica e magnética de modelo GM3120 da BENETECH:

- a) Unidade: V/m (Campo elétrico); Tt (Campo magnético);
- b) Precisão: Eletricidade 1V/m; magnético: 0,01 $\mu$ T;
- c) Faixa elétrica: 1-1999V/m; Magnética: 0,01-99,99 $\mu$ T;
- d) Limiar de alarme: Eletricidade: 40V; Magnético: 0,4 $\mu$ T;
- e) Largura de banda de teste: 5HZ-3500MHZ;
- f) Modo de teste: teste síncrono de modo dual;
- g) Temperatura de trabalho: 0° - 50° C.

Instrumento que possui dois usos, podendo testar a radiação elétrica e radiação magnética, emite um sinal luminoso e sonoro quando o resultado do teste excede o valor de segurança estipulado pelo aparelho, que é de 40V/m para campo elétrico e de 0,4 $\mu$ T para campo magnético, operação simples e fácil de transportar.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O procedimento experimental, utilizado nesse trabalho foi dividido em três etapas.

Etapa um : Calibração e aferição do medidor de radiação eletromagnética GM3120.

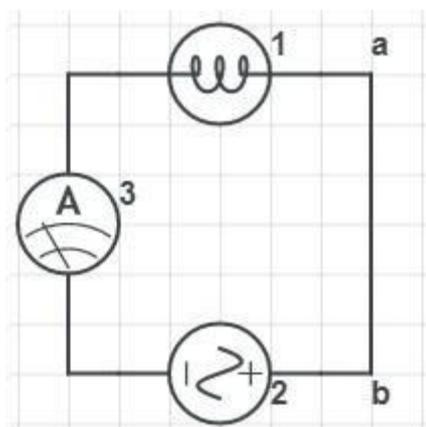
Etapa dois : Seleção de fontes de radiação eletromagnética .

Etapa três : Coletas de dados.

#### 3.1 Aferição do medidor de radiação eletromagnética GM3120

Para a aferição do medidor de radiação eletromagnética foi, necessário a confecção e montagem de dois circuitos elétricos simples. Segundo o diagrama esquemático como o mostrado na figura 10.

Figura 10 – Diagrama Esquemático



Fonte: Próprio autor (2019)

Nesse circuito:

1 é uma lâmpada do tipo incandescente.

2 uma fonte de alimentação

3 um amperímetro digital.

O trecho **ab** do condutor foi previamente selecionado para realização dos testes de aferição do medidor de radiação eletromagnética.

Para maior precisão e confiabilidade no procedimento de aferição. Um amperímetro digital foi montado em série com o circuito para o monitoramento da corrente que atravessa os condutores. O medidor de radiação eletromagnética, ficou

posicionado perpendicular e a 5 centímetros do ponto médio do seguimento **ab**. A aferição do medidor de radiação eletromagnética GM3120, ocorreu através da comparação entre os valores fornecidos por dois métodos de coleta de dados. Aqui denominados: Modelo teórico de valores de campos e Modelo prático de Coleta de valores de campos.

### 3.1.1 *Módulo teórico de valores de campos*

Para esse procedimento de coleta de dados foi montado um circuito, contendo uma lâmpada de 12 volts e 5 watts, alimentadas por uma tensão contínua de 12 volts. Como mostrado na figura 11.

Figura 11– Circuito em Corrente Contínua



Fonte: Próprio autor (2019)

Um segundo circuito, alimentado por corrente alternada também foi utilizado durante a fase de aferição. (figura 12)

Figura 12 – Circuito em Corrente Alternada



Fonte: Próprio autor (2019)

Nesse circuito, uma lâmpada de 60 watts e 127 volts, foi ligada em série à rede elétrica residencial.

Em ambos os casos, os valores teóricos esperados para o campo magnético, pôde ser determinado utilizando a equação 3.

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \quad (3)$$

Onde,  $\vec{B}$  é o vetor campo magnético,  $\mu_0$  é a permeabilidade magnética e  $\vec{J}$  é a densidade volumétrica de corrente. O campo elétrico por sua vez pode ser facilmente determinado utilizando a equação 2.

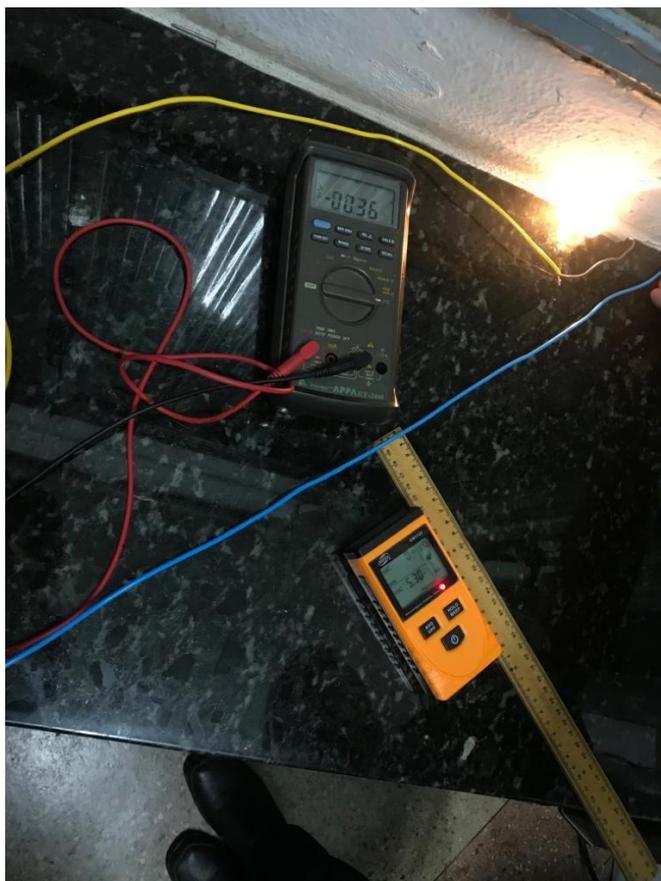
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

Onde,  $\vec{E}$  é o campo elétrico e  $\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$  é a variação do campo magnético.

### 3.1.2 Modelo prático de Coleta de valores de campos

Esse modelo, consiste em posicionar o medidor de radiação eletromagnética em posições pré - estabelecidas e ler as indicações de campo e potencial exibida no painel LCD. A figura 13, mostra o posicionamento e a leitura indicada, quando o circuito foi alimentado por uma fonte de 12 volts em corrente contínua.

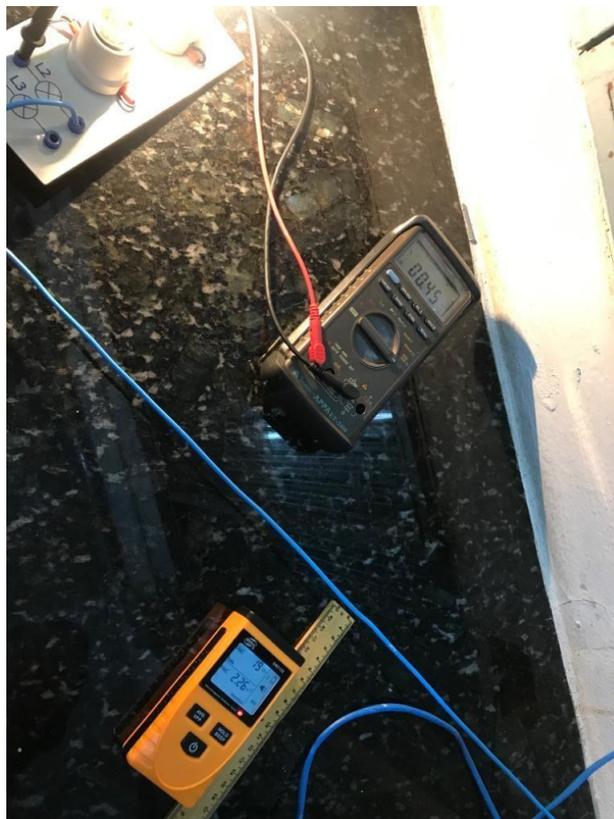
Figura 13 – Circuito em Corrente Contínua



Fonte: Próprio autor (2019)

A figura 14, mostra a indicação do medidor de radiação eletromagnética para o circuito alimentado por corrente alternada.

Figura 14 – Circuito em Corrente Alternada



Fonte: Próprio autor (2019)

Os resultados da aferição do medidor de radiação eletromagnética, são apresentados e comentados no capítulo 4.

### 3.2 Seleção de fontes de radiação eletromagnética

Segundo PADILHA (2011), as radiações eletromagnéticas existem em locais onde há linhas de distribuição e transmissão, torres de telefonia móvel, torres de internet, antenas de rádio AM/FM. Sobre essa ótica fizeram-se objeto de estudo visitas em:

- a) Antena repetidora telefonia móvel GSM;
- b) Antena repetidora telefonia móvel 3G;
- c) Antena repetidora telefonia móvel 4G;
- d) Antena repetidora internet;
- e) Antena rádio AM;
- f) Linha de distribuição;

- g) Linha de transmissão.

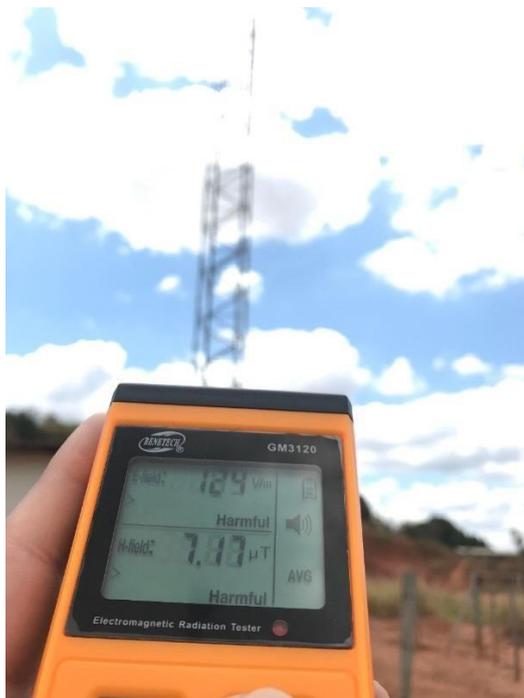
Também foi caracterizado a emissão de radiação eletromagnética em aparelhos de uso doméstico como:

- a) Forno micro-ondas;
- b) Batedeira;
- c) Notebook;
- d) Televisão LCD;
- e) Tomadas;
- f) Lâmpada fluorescente;
- g) Lâmpada de LED;
- h) Caixa de som;
- i) Caixa de passagem de cabos;
- j) Headset.

### **3.3 Coletas de dados**

A coleta de dados, ocorreu em forma de exposição direta. Nesse método o medidor de radiação eletromagnética foi posicionado em pontos estratégicos próximo as antenas repetidoras ou emissoras de ondas eletromagnéticas figura 15.

Figura 15 - Antena Rádio AM



Fonte: Próprio autor (2019)

O mesmo procedimento, foi adotado para a obtenção de leituras de radiação emitidas por linhas de transmissão de alta voltagem figura 16.

Figura 16 – Linha de Transmissão



Fonte: Próprio autor (2019)

Nos utensílios domésticos, ficou estipulado uma distância de 50 cm para a medida de radiação. Assim o medidor de radiação eletromagnética foi previamente posicionado nesse ponto chave e o aparelho acionado.

A fim de caracterizar exposição biológica a radiações eletromagnéticas, também foi monitorado os índices de radiação que permeiam o ambiente residencial. Assim o medidor de radiação eletromagnética, ficou exposto durante vários dias e em períodos alternados em uma sala residencial, localizada no perímetro urbano da cidade de São Sebastião do Anta. Os valores de radiação eletromagnética obtido durante a coleta de dados são apresentados e comentados no capítulo 4.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos na etapa de aferição do aparelho. Bem como a análise dos dados obtidos durante a coleta de dados próximos as fontes geradoras de radiação eletromagnética.

### 4.1 Resultados da aferição

A aferição do medidor de radiação eletromagnética, para início da coleta de dados, foi baseada na comparação dos valores de campo elétrico e campo magnético esperados a partir do modelo teórico. Com os valores coletados a partir do medidor de radiação eletromagnética (modelo prático). A tabela 1 apresenta os valores de tensão, corrente, campo magnético e campo elétrico obtido em cada circuito de aferição.

Tabela 1 - Aferição

<b>Circuito</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (A)</b>	<b>Campo magnético (<math>\mu</math>T)</b>	<b>Campo elétrico (V/m)</b>
<b>Teórico ca</b>	119	0,44	1,8	14,2
<b>Teórico cc</b>	12	0,36	1,44	0
<b>Prático ca</b>	119	0,45	2,26	19
<b>Prático cc</b>	12	0,36	5,3	0

Fonte: Próprio autor (2019)

Analisando os dados da tabela 1, é possível notar, que os valores de tensão e corrente aplicados aos circuitos, não sofreram alterações significativas. A maior discrepância entre os valores teóricos e práticos, ocorreram nos circuitos alimentados por corrente contínua. Embora a ordem de grandeza seja a mesma, os valores significativos diferem em cerca de 70%. Porém o campo elétrico esperado para os dois modelos bate com a literatura consultada.

Os valores de campo elétrico e campo magnético, para os circuitos alimentados com corrente alternada, que é o foco principal desse trabalho, apresentaram discrepância de 20%. Isso pode ter ocorrido devido ao fato de não ter incluído nos valores teórico, o fato de que o condutor de cobre ser levemente diamagnético, bem

como a questão de desconhecermos como a capa de isolamento do condutor está magnetizada. E é claro, ainda existe o fato de que o medidor de radiação eletromagnética também contabiliza a contribuição de radiações vindas de fontes externas ao experimento.

#### 4.2 Análise dos dados de telefonia móvel e internet.

A tabela 2, apresenta os valores de campo elétrico e campo magnético obtidos no método prático, aplicado durante as visitas as antenas e torres de transmissão de sinal de celular e repetidora de internet.

Tabela 2 – Radiação em Torres de Telefonia Móvel e internet

<b>LOCAL</b>	<b>ELÉTRICO V/m</b>	<b>MAGNÉTICO <math>\mu</math>T</b>
<b>ANTENA REPETIDORA TELEFONIA MÓVEL GSM</b>	0,00	0,00
<b>ANTENA REPETIDORA TELEFONIA MÓVEL 3G</b>	0,00	0,00
<b>ANTENA REPETIDORA TELEFONIA MÓVEL 4G</b>	0,00	0,00
<b>ANTENA REPETIDORA INTERNET</b>	0,00	0,00

Fonte: Próprio autor (2019)

Como pode ser visto na tabela 2, o medidor de radiação eletromagnética GM3120, não foi capaz de registrar as leituras da radiação eletromagnética produzidas por essas estruturas. A causa mais provável para esse fenômeno, foi atribuída a frequência de transmissão na qual esse sinal é emitido, possivelmente está fora da sensibilidade do aparelho.

#### 4.3 Análise dos dados de torre de rádio e linhas de transmissão

Na tabela 3, é mostrado os resultados obtidos próximo a torres de rádio AM de Inhapim – MG. Por se tratar de um local protegido e demarcado com placas de indicação de perigo devido a radiação, o medidor de radiação eletromagnética foi colocado a uma distância de 20m da base da torre. A mesma tabela, ainda contém os resultados da leitura de campo elétrico e campo magnético, colhido abaixo de uma linha de transmissão e uma linha de distribuição de energia elétrica.

Tabela 3 – Radiação na torre de Rádio AM e Linhas de Distribuição

<b>LOCAL</b>	<b>ELÉTRICO V/m</b>	<b>MAGNÉTICO <math>\mu\text{T}</math></b>
<b>ANTENA RADIO AM</b>	580,00	7,17
<b>LINHA DE DISTRIBUIÇÃO 13,8 kv</b>	34,00	1,48
<b>LINHA DE TRANSMISSÃO 108 kv</b>	1176,00	2,63

Fonte: Próprio autor (2019)

Diferentemente do ocorrido nas torres de internet e Celular, o medidor de radiação eletromagnética, foi capaz de registrar com eficiência os níveis de radiação. Como pode ser observado na tabela 3, a maior intensidade de campo elétrico ocorreu abaixo da linha de transmissão de 108 KV e a maior magnitude de campo magnético ocorreu a 20 metros da torre de rádio AM.

#### **4.4 Análise dos dados de aparelhos eletroeletrônicos.**

Na tabela 4, são apresentados os valores de campo elétrico e campo magnético medidos a 50 centímetros de aparelhos de uso doméstico, caixa de passagem e fontes de alimentação que são normalmente encontradas na maioria das residências.

Tabela 4 – Radiação em Aparelhos Eletrodomésticos

<b>LOCAL</b>	<b>ELÉTRICO V/m</b>	<b>MAGNÉTICO <math>\mu\text{T}</math></b>
<b>FORNO MICROONDAS</b>	1295,00	99,99
<b>BATEDEIRA</b>	148,00	99,99
<b>NOTEBOOK</b>	164,00	0,00
<b>TELEVISÃO LCD</b>	233,00	0,00
<b>TOMADAS</b>	151,00	0,00
<b>LAMPADA FLUORESCENTE</b>	772,00	12,86
<b>LAMPADA DE LED</b>	29,00	0,00
<b>CAIXA DE SOM</b>	171,00	14,67

<b>CAIXA DE PASSAGEM DE CABOS</b>	171,00	77,64
<b>HEADSET</b>	194,00	0,16

Fonte: Próprio autor (2019)

Observando os dados da tabela 4, é possível notar que todos os pontos onde o medidor de radiação eletromagnética foi colocado, apresentou valores expressivos para campo elétrico. E apesar de possuir blindagem de confinamento de ondas eletromagnéticas, o forno de micro-ondas emitiu um campo magnético residual. Possivelmente decorrente dos cabos de alimentação.

#### 4.5 Análise de exposição a radiação eletromagnética.

A tabela 5, apresenta os valores para campo elétrico e campo magnético, preestabelecidos por normativas de segurança adotadas por alguns países. Essas normativas determinam os valores permitidos para exposição à radiação eletromagnética para a população ocupacional e para população em geral.

Tabela 5 – Exposição à Radiação Eletromagnética

<b>NORMAS/PAÍSES</b>	<b>POPULAÇÃO OCUPACIONAL</b>		<b>PÚBLICO</b>	<b>GERAL</b>
	<b>ELÉTRICO kV/m</b>	<b>MAGNÉTICO μT</b>	<b>ELÉTRICO kV/m</b>	<b>MAGNÉTICO μT</b>
<b>ICNIRP</b>	8,33	1000,00	4,17	200,00
<b>ITÁLIA</b>	0,0	100,00		10,00
<b>HOLANDA</b>	10,00		1,00	0,4
<b>CANADA</b>			2-5	
<b>BRASIL NBR 25415</b>	50,00	100,00	1	100,00nT
<b>BRASIL SVMA</b>		10,00		3,00

Fonte: Próprio autor (2019)

De acordo com a norma NBR 25415 todos os pontos, onde foi possível medir a radiação eletromagnética, estão dentro dos valores máximos permitidos. Observando as normas internacionais é possível notar que para aparelhos como micro-ondas, o valor de radiação permitido para público geral está acima do permitido.

#### 4.6 Análise de radiação em sala residencial

No interior das residências, a maior fonte de radiação eletromagnética é devida as torres de telefonia 3g e 4g, juntamente com sinal de internet. Considerando o fato de que o medidor de radiação eletromagnética GM3120, não ser capaz de registrar leitura para esse tipo de radiação, logo nada pode ser determinado a respeito das radiações no interior de residência na zona urbana.

## 5 CONCLUSÕES

Durante a etapa de aferição, foi possível concluir que existe uma correlação satisfatória entre os valores obtidos no modelo teórico e modelo prático. A ordem de grandeza em ambos os métodos são iguais. O comportamento esperado para o campo elétrico em corrente contínua está dentro do esperado para esse experimento. A discrepância entre valores significativos encontrada nos dois métodos é devido a interferência de fontes externas ao experimento de aferição.

Após as expedições próximas as fontes geradores de radiação eletromagnética, foi possível concluir que, segundo a norma brasileira todas as fontes de radiação estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 25415. E que as torres de transmissão de rádio AM, juntamente com as linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica, geram uma quantidade considerável de radiação eletromagnética.

Com base nos dados apresentados na tabela 4, ficou claro que a maioria das pessoas são frequentemente expostas a radiação eletromagnética de baixa intensidade no dia a dia em suas residências. E que embora a sensibilidade do medidor de radiação eletromagnética não tenha sido capaz de caracterizar os níveis de radiação gerado pela telefonia celular, ficou claro que todo tecido biológico em principal em áreas urbanas, estão expostos à radiação eletromagnética e alta frequência.

Para trabalhos futuros, pretende-se realizar novamente o mesmo protocolo de teste desse trabalho, utilizando um medidor de radiação eletromagnética capaz de caracterizar o padrão de ondas eletromagnéticas geradas por antenas de telefonia móvel.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Plano de dados abertos 2016-2017: Linhas de Transmissão concedidas*. 2017a. Acesso em: 14 de outubro 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Plano de dados abertos 2016-2017: Outorgas de geração*. 2017b. Acesso em: 14 de outubro 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Regulação dos serviços de distribuição*. 2017c. Acesso em: 13 de outubro 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa N 398. 23 de março de 2010*. Acesso em: 20 de fevereiro de 2017.

ANGUERA, M. G. *Exposição à radiação não-ionizante emitida por equipamentos terapêuticos de micro-ondas e morbidade referida em fisioterapeutas*. 2012. 141 f. Tese (Doutorado em ciências) – Medicina Preventiva, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Limites para a Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos variáveis no Tempo (até 300 GHz)*. Rio de Janeiro, 1999. 17 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15415: *Exposição a campos elétricos e magnéticos de 50 e 60 Hz*. Rio de Janeiro, 2006. 9 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 25415: *Exposição a campos elétricos e magnéticos de 50 e 60 Hz*. Rio de Janeiro, 2016. 9 p.

BALBANI, ARACY PEREIRA S.; KRAWCZYK, ALBERTO LUÍS. *Impacto do uso do telefone celular na saúde de crianças e adolescentes*. *Revista Paulista de Pediatria*, [S. l.], p. 430-436, 23 ago. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010305822011000300019&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010305822011000300019&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso em: 16 ago. 2019.

BELARDO et al. *Exposição Humana a Campos Elétricos e Magnéticos Gerados por Instalações Elétricas 50 e 60 Hz*. p. 1-7, 2008.

BRASIL. *Presidência da República. Lei N 11.934, de 5 de maio de 2009*. Brasília, 2009.

CARVALHO, NADJA TRIGUEIRO DE. *Projetos eletricos em media e baixa tensão*. 2014. Relatório de estágio (Graduação) - Universidade Federal da Paraíba Centro de Energias Alternativas e Renováveis Departamento de Engenharia Elétrica NADJA TRIGUEIRO, [S. l.], 2014. Disponível em: [http://www.cear.ufpb.br/arquivos/Estagio\\_FinalComCorrecoes\\_1.pdf](http://www.cear.ufpb.br/arquivos/Estagio_FinalComCorrecoes_1.pdf). Acesso em: 17 ago. 2019.

DOMINGUES et al. *Análise dos impactos eletromagnéticos produzidos por linhas de transmissão avaliação dos limites e critérios utilizados no Brasil*. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XIX, 14 a 17 de outubro de 2007, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: GIA, 2007, p. 1-8.

DOMINGUES et al. *Caracterização de campos magnéticos em ambientes industriais, urbanos e residenciais*. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XVIII., 16 a 21 de outubro de 2005, Curitiba. Anais... Paraná: GCQ, 2005, p. 1-8.

DOMINGUES et al. *Caracterização de campos magnéticos em ambientes industriais, urbanos e residenciais*. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, XVIII. 16 a 21 de outubro de 2005, Curitiba. Anais... Paraná: GCQ, 2005, p. 1-8.

FERREIRA, MIGUEL. *Campo elétrico*. *Revista de Ciência Elementar*, [S. l.], p. 1-5, 1 abr. 2014. Disponível em: [https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/revistaCienciaElementar\\_v2n2.pdf](https://www.fc.up.pt/pessoas/jfgomes/pdf/revistaCienciaElementar_v2n2.pdf). Acesso em: 17 ago. 2019.

FIGUEIREDO, CARLOS H. S.; RAMOS, GLAUCIO L.; PEREIRO, PAULO T.; JÚNIOR, MOACIR S.; QUEIROZ, CARLOS S. *Comparação de Níveis de Radiações de Radiofrequência Emitidas por Antenas de Estações Rádio-Base*.

*REVISTA TELECOMUNICAÇÕES, VOL. 13, Nº.01, [s. l.], 1 maio 2011*. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:HaZVwEzngY8J:https://www.inatel.br/revista/downloads/maio-s604953-1/160-comparacao-de-niveis-de-radiacoes-de-radiofrequencia-emitidas-por-antenas-s685677-1/file+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 7 ago. 2019.

GRIFFITHS, David J.. *Eletrodinamica*. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

GUIMARÃES, PABLO. *Blindagem Eletromagnética de salas*. Disponível em: <<https://www.pabloguimaraes-professor.com.br/post/blindagem-eletromagnetica-de-salas>>. Acesso em: 17 set. 2019.

HALLIDAY, D. *Fundamentos de física: eletromagnetismo*. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996, volume 3.

IEEE. IEEE. *Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz*. New York, 2002.

INTERNATIONAL COMMISSION ON NON IONIZING RADIATION PROTECTION (ICNIRP). *ICNIRP guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electroCapítulo 6*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50. *magnetic fields (300 ghz)*. 1998. 34 f.

LOPES, Julio Cesar Ramos. *Campos elétricos e magnéticos*. 2012. Disponível em: <<http://www.abce.org.br/downloads/20120517APRESENTACAOABCE.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2019.

KANDEL, S. *Elf policies worldwide protection of general public in who Workshop*, Geneva, Switzerland, jun. 2007.

LUI, ANDRÉ LUÍS. *Um Experimento Simples Usado Para Identificar a Susceptibilidade Eletromagnética*. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia - PPGET) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, [S. l.], 2010. Disponível em: <http://www.sinect.com.br/anais2010/artigos/EET/97.pdf>. Acesso em: 19 set. 2019.

MACIEIRA, GUSTAVO; VIEIRA, MARCOS STEFANELLI. *Emissão de ondas eletromagnéticas de estações de radio base em campo proximo: distancia segura para realização de manutenção em sistemas radiantes*. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, [S. l.], p. 71-86, 10 out. 2017. Disponível em: <http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/issue/view/564>. Acesso em: 20 ago. 2019.

MATTOS, I. E. et al. *Padrão de mortalidade por câncer em trabalhadores eletricitários*. Rio de Janeiro p. 221-233. Jane/fev 2002.

MENDES, P. G. *As linhas de Alta Tensão e Saúde Pública*. 2010. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

MOREIRA, R.O.C. *Avaliação teórico experimental de campos magnéticos nas proximidades das linhas de transmissão subterrâneas*. 2011. 84 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

MURTA, M. L. *Estudo de técnicas de blindagem de campos magnéticos de baixa frequência*. 1998. 119 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Estabelecendo um diálogo sobre riscos de campos eletromagnéticos*. Suíça, 2002. 64 p.

PADILHA, F. C. *Radiação não ionizante estudo de causas e efeitos diretos e indiretos no ser humano*. 2011. 58 p. Curso de pós-graduação em Lato Sensu em engenharia do segurança do trabalho. Universidade do Alto Vale do Rio do Peixe, Caçador, Santa Catarina, 2011.

RIBEIRO, EDSON LEITE; PESSOA, Martha Bulcão. *os efeitos da radiação eletromagnética na vida do ser humano: uma análise do paradigma ambiental*. revista tecnologia e sociedade, [S. l.], p. 15-31, 5 jul. 2008. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/2502>. Acesso em: 2 set. 2019.

SÁ, J. L.C.P. *Campos Eletromagnéticos de extremamente baixa frequência, saúde pública e linhas de alta tensão*. Técnico Lisboa, Lisboa, p. 4-90, fevereiro 2008.

SEBASTIÃO, DANIEL; BRANCO, MÓNICA; OLIVEIRA, CARLA; CORREIA, LUIS M. *Fontes de Radiação Eletromagnética (atualização LTE)*. INFORMAÇÃO SOBRE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA EM COMUNICAÇÕES MÓVEIS, [S. l.], p. 1-33, 10 nov. 2014. Disponível em: [https://www.faqtos.pt/downloads/file221\\_pt.pdf](https://www.faqtos.pt/downloads/file221_pt.pdf). Acesso em: 24 ago. 2019.

SILVA, R. C. *Radiações eletromagnéticas e contorno de proteção a vida na faixa de 50Mhz a 3Ghz*. 2001. 146 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal da Bahia. Bahia, 2001.

SILVA, R. M. C. *Estudo da Exposição humana a campos elétricos e magnéticos na frequência industrial utilizando métodos numéricos*. Escola Politécnica: UFRJ/DEP, 2009.141 p. Trabalho de conclusão de curso.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. *Sinais de celular a radar são bloqueados por nanomaterial*. 14/09/2016. Online. Disponível em: <[www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=nanomaterial-bloqueia-poluicao-eletromagnetica](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=nanomaterial-bloqueia-poluicao-eletromagnetica)> Capturado em 18/09/2019.

SOUZA, DAIANE APARECIDA DE. *estudo da exposição da população ocupacional a campos eletromagnéticos utilizando o método de elementos finitos*. [S. l.: s. n.], 2017.

TAVARES, WALKYRIA M. LEITÃO. *radiação das antenas do serviço móvel celular e seu tratamento na legislação brasileira e de outros países*. Disponível em: <<http://bd.camara.gov.br/bd/handle/bdcamara/1319>>. Acesso em: 17 ago. 2019.

VIEIRA, DIEGO BAPTISTELLA. *análise das radiações não ionizantes em antenas de provedor de serviços de internet*. 2015. trabalho de conclusão de curso (programa de pós graduação engenharia de segurança do trabalho) - especialização em engenharia de segurança do trabalho universidade tecnológica federal do paraná, [S. l.], 2015. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5721/1/PB\\_CEEEST\\_V\\_2015\\_14.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5721/1/PB_CEEEST_V_2015_14.pdf). Acesso em: 20 set. 2019.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Extremely low frequency fields*. Spain, 2007.