

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

**ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS
ELETROMAGNÉTICOS UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

DAIANE APARECIDA DE SOUZA

Caratinga/MG

2017

DAIANE APARECIDA DE SOUZA

**ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS
ELETROMAGNÉTICOS UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

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.
Professor Orientador: Robson da Silva.

Caratinga/MG

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS, elaborado pelo(s) aluno(s) DAIANE APARECIDA DE SOUZA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Caratinga 15 de Dezembro de 2017



Robson Silva
Prof. Orientador


Guilherme Casimiro

Prof. Avaliador 1


Reginaldo Eustáquio

Prof. Examinador 2

A Deus por eu ser quem sou, onde sou e com quem sou!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui. A minha amada família, em especial a minha mãe Maria de Lourdes, por todo apoio e incentivo.

Meus agradecimentos aos meus amigos de sala pelo companheirismo e pela amizade gerada e mantida nesses anos.

Aos professores que estiveram dispostos a ajudar e contribuir com minha formação acadêmica, em especial ao meu professor orientador Robson da Silva, por toda sua atenção, dedicação e esforço para que eu pudesse ter confiança e segurança na realização deste trabalho.

Agradeço também a minha Instituição por ter me dado a chance e todas as ferramentas que permitiram chegar hoje ao final desse ciclo de maneira satisfatória. E a todos funcionários desta, que de maneira direta ou indireta tenham contribuído para a minha formação. A minha mais sincera gratidão!

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

SOUZA, Daiane Aparecida. **ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**. Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2017.

RESUMO

Campos elétricos e magnéticos sobre a matéria orgânica tem se tornado uma preocupação cada vez maior nos dias de hoje. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar os efeitos dos campos eletromagnéticos na população ocupacional utilizando o método de elementos finitos. A metodologia aqui utilizada foi a simulação da ação de campos elétricos e magnéticos gerado por um barramento de 138kV sobre a matéria orgânica. As simulações ocorreram em dois estágios distintos, ação dos campos sobre a matéria in natura e simulação de campos sobre a matéria revestida por blindagem.

Palavras-chave: Campos Elétricos e Magnéticos. Exposição Ocupacional. Método de Elementos Finitos.

SOUZA, Daiane Aparecida. **ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS UTILIZANDO O MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**. Caratinga, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica - Curso de Engenharia Elétrica. Faculdades Doctum de Caratinga, Rede DOCTUM, Caratinga, 2017.

ABSTRACT

Electric and magnetic fields on organic matter have become a growing concern these days. In this context, this work aims to analyze the effects of electromagnetic fields in the occupational population using the finite element method. The methodology used here was the simulation of the action of electric and magnetic fields generated by a 138kV bus on organic matter. The simulations took place in two distinct stages, the action of the fields on the in natura matter and the simulation of fields on the matter covered by shielding.

Key-words: Electrical and Magnetic Fields. Occupational Exposure. Finite Element Method.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Campo elétrico devido a uma carga q	18
Figura 2	– Fluxo magnético devido a quantidade de linhas de campo numa área	19
Figura 3	– Fontes dos campos elétricos e magnéticos	20
Figura 4	– Espectro eletromagnético	20
Figura 5	– Campos magnéticos medidos nos quartos das 992 residências	23
Figura 6	– Mapa síntese com comparação de campo nos diferentes ambientes medidos	24
Figura 7	– Forma de interação direta com o campo elétrico	26
Figura 8	– Forma de interação direta com o campo magnético	26
Figura 9	– Forma de interação indireta	27
Figura 10	– Níveis de referência do campo magnético em função da frequência	28
Figura 11	– Níveis de referência do campo elétrico em função da frequência	29
Figura 12	– Mapa ilustrativo dos limites dos campos eletromagnéticos da Europa	31
Figura 13	– Subestação CEMIG	37
Figura 14	– Barramento da subestação CEMIG	38
Figura 15	– Desenho em 3D do barramento da subestação	39
Figura 16	– Inserção de tensão	39
Figura 17	– Inserção de corrente	40
Figura 18	– Cálculo do campo elétrico	42
Figura 19	– Cálculo do campo magnético	43
Figura 20	– Atuação do campo elétrico na presença de matéria orgânica	44
Figura 21	– Atuação do campo magnético na presença de matéria orgânica	44
Figura 22	– Simulação utilizando blindagem eletromagnética para o campo elétrico	45
Figura 23	– Simulação utilizando blindagem eletromagnética campo magnético	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Faixas de frequências	22
Tabela 2	– Panorama internacional para os limites de exposição aos CEM	30
Tabela 3	– Padrão clínico de trabalhadores do setor elétrico	36
Tabela 4	– Dados técnicos do barramento T2	38
Tabela 5	– Recomendações da ICNIRP	40
Tabela 6	– Recomendações da IEEE	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRCEM	Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEM	Campos Eletromagnéticos
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
EPRI	<i>Electric Power Research Institute</i>
ICNIRP	<i>International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection</i>
LTs	Linhas de Transmissão
MEF	Método de Elementos Finitos
MG	Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONIR	<i>Ordinance relating Protection from Non-Ionising Radiation</i>
SE	Subestação
SI	Sistema Internacional
SVMA	Secretária do Verde e do Meio Ambiente
T2	Transformador 2

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
B	Campo Magnético
E	Campo Elétrico
GHz	Gigahertz
°	Grau
Hz	Hertz
m	Metros
m^2	Metros quadrado
MHz	Megahertz
μT	Microtesla
mA/m^2	Miliampère por metro quadrado
mT	Militesla
N/C	Newton por Coulomb
nT	Nanotesla
pol	Polegadas
ϕ	Phi
kHz	Quilohertz
kV	Quilovolt
kV/m	Quilovolt por metro
T	Tesla
Wb	Weber

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	16
2.1.1 Geração	16
2.1.2 Transmissão	16
2.1.3 Distribuição	17
2.2 CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	17
2.2.1 Definição de campo elétrico	17
2.2.2 Definição de campo magnético	18
2.2.2.1 Fluxo Magnético	18
2.2.2.2 Densidade de Campo Magnético	19
2.3 FONTES DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS	19
2.3.1 Radiação ionizante	21
2.3.2 Radiação não-ionizante	21
2.4 EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS	22
2.4.1 Exposição ao campo elétrico	23
2.4.2 Exposição ao campo magnético	23
2.5 EFEITO DOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS	25
2.5.1 Mecanismo de interação com o campo elétrico e magnético	25
2.5.1.1 Interação direta	25
2.5.1.2 Interação indireta	26
2.6 NORMAS E DIRETRIZES DE EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NO BRASIL E NO MUNDO.	27
2.6.1 Comissão Internacional de Proteção contra a Radiação Não Ionizante (ICNIRP)	27
2.6.2 Norma norte-americana IEEE C95. 6 e C95.1	29
2.6.3 Resolução normativa ANEEL 398	29
2.7 PANORAMA INTERNACIONAL DE LIMITES PARA OS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA.	30
2.7.1 Europa	30
2.7.2 Continente Americano	32
2.7.3 Brasil	32
2.7.3.1 Norma da ABNT NBR 15415 DE 30/11/2006	32
2.7.3.2 Lei Federal 11.934, de 5 de maio de 2009	32
2.7.3.3 ABNT NBR-25415 de julho de 2016	33
2.7.3.4 80/SVMA/2005	33

2.8 ANSYS MAXWELL	34
2.8.1 Método de Elementos Finitos	35
2.9 BLINDAGEM ELETROMAGNÉTICA	35
3 Procedimentos Metodológicos	36
3.1 Condições clínicas de operadores do sistema de distribuição de energia elétrica.	36
3.2 Local de Estudo	37
3.3 Dados técnicos do barramento.	38
3.4 Preparação para simulação.	38
3.4.1 Simulação para campo elétrico (E)	39
3.4.2 Simulação de campo magnético (B)	40
3.5 Simulações de campos.	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 Cálculo para o campo elétrico	42
4.2 Cálculo para o campo magnético	42
4.3 Simulação dos campos na presença de matéria orgânica.	43
4.4 Simulação dos campos na presença de matéria orgânica envoltas em blindagem.	45
4.5 Condições clínicas de operadores do sistema de distribuição de energia elétrica.	46
5 CONCLUSÃO	47
5.1 Trabalhos futuros.	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

A descoberta da eletricidade foi um dos maiores marcos para a humanidade. Sua utilização possibilitou rápidos progressos tecnológicos, econômicos e científicos ao longo dos séculos (MENDES, 2010).

Desde que a eletricidade se tornou um bem indispensável ao estilo de vida moderno, houve a necessidade de se construir novas usinas geradoras, e de ampliar a capacidade de transporte dos blocos de energia as longas distâncias, para os centros consumidores. Com a crescente demanda dos centros urbanos e das áreas rurais, as subestações, linhas de transmissão e as redes aéreas passaram a fazer parte integrante de uma nova paisagem. Muitas delas situando-se próximas às áreas residenciais.

Os processos de geração, transmissão e a distribuição de energia elétrica estão diretamente associados à criação de campos elétricos e magnéticos, sejam nas proximidades dos condutores, ou em equipamentos eletroeletrônicos (SÁ, 2008).

Ao longo das últimas décadas muito tem se questionado sobre os possíveis problemas referentes aos efeitos dos campos eletromagnéticos sobre os organismos vivos, que vem sendo objeto de inúmeros estudos e publicações ao longo dos anos.

Alguns estudos epidemiológicos têm apontado uma associação entre a exposição aos campos eletromagnéticos e o surgimento de algumas patologias, como câncer, leucemia em crianças e neoplasmas, sendo vítimas, funcionários do setor elétrico e pessoas que residem próximas as linhas de transmissão e as subestações de energia elétrica. Essa associação não pode ser satisfatoriamente conclusiva até o momento pelos fundamentos teóricos existentes de interação entre esses tipos de campos e os organismos vivos.

Mediante a relevância dos fatos a Organização Mundial da Saúde (OMS) elaborou diretrizes com o objetivo de estabelecer limites aos níveis de exposição. Sendo estabelecidos níveis diferentes de tolerância para o público afetado, os chamados de população ocupacional que são os responsáveis pelo trabalho direto com a manutenção, manobras dos equipamentos e linhas aos campos radiados, e os demais indivíduos referem-se à população em geral.

A legislação brasileira exige que as empresas do setor elétrico se comprometam com os níveis de emissão dos campos eletromagnéticos, com o propósito de assegurarem a saúde pública. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é o órgão responsável por regular e fiscalizar a aplicação da lei citada pela Resolução Normativa N° 398, que se refere aos limites à exposição humana aos campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2010).

Nesse contexto, este trabalho propõe um estudo para verificar a intensidade de atuação

dos campos elétricos e magnéticos gerados por um barramento de 138 kV sobre a matéria orgânica que está exposta.

Diante do exposto, a proposta desse trabalho é a simulação sobre um barramento T2 (Transformador 2) de uma subestação de energia elétrica, com o auxílio do *software* ANSYS Maxwell. Esse *software* emprega o método de elementos finitos (MEF), que permite calcular os valores dos campos elétricos e magnéticos em regiões distintas, além de mostrar a intensidade de atuação dos campos.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos:

Primeiro capítulo a introdução onde se tem uma visão geral do trabalho.

Segundo capítulo se trata de todo material teórico que norteia esse trabalho.

Terceiro capítulo onde é descrito todo o procedimento de simulação de campos sobre o barramento.

Quarto capítulo é feito à apresentação e discussão a respeito dos dados fornecidos pela simulação.

Quinto capítulo, apresenta as principais conclusões que se pode chegar analisando os dados das simulações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, será feita uma revisão dos principais assuntos elementares para este trabalho.

2.1 GERAÇÃO, TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Os processos de geração, transmissão e a distribuição de energia elétrica estão diretamente associados à criação de campos elétricos e magnéticos. Para melhor entendimento é fundamental compreender os conceitos desses processos.

2.1.1 Geração

Conforme 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.

A geração é realizada por usinas geradoras, através do aproveitamento de recursos energéticos, tais como: hídricos, térmicos, nucleares, eólicos e solar.

Na geração uma tensão alternada é produzida, a qual é expressa por uma onda senoidal, com frequência fixa e amplitude que varia conforme a modalidade do atendimento em baixa, média ou alta tensão. Essa onda senoidal propaga-se pelo sistema elétrico mantendo a frequência constante e modificando a amplitude à medida que trafega por transformadores. Os consumidores conectam-se ao sistema elétrico e recebem o produto e o serviço de energia elétrica (ANEEL, 2017b).

2.1.2 Transmissão

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

O transporte de energia elétrica é realizado através de linhas aéreas ou subterrâneas. As linhas aéreas apresentam em geral, condutores nus, suportados por estruturas, das quais são isoladas através de isoladores. E as linhas subterrâneas, apresentam cabos isolados, instalados em redes de dutos. Existem dois tipos principais de linhas para transporte da energia elétrica, as de transmissão e as de distribuição.

O transporte da energia gerada pelas usinas até as estações transformadoras, bem como a interligação com outros sistemas de transmissão, é realizado através das linhas de transmissão (LTs), que operam em alta tensão, permitindo que a energia seja transportada a partir de longas distâncias.

No Brasil as LTs operam em diversas classes de tensão, sendo as tensões típicas: 69 kV, 138 kV, 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV e 765 kV, sendo classificadas em:

- Linhas de transmissão: classe de tensão igual ou maior que 230 kV.
- Linhas de subtransmissão: classe de tensão abaixo de 230 kV.

2.1.3 Distribuição

A distribuição de energia elétrica se caracteriza como o segmento do setor elétrico dedicado ao rebaixamento da tensão proveniente do sistema de transmissão, à conexão de centrais geradoras e ao fornecimento de energia elétrica ao consumidor (ANEEL, 2017c).

Segundo a ANEEL (2017c) o sistema de distribuição é composto pela rede elétrica e pelo conjunto de instalações e equipamentos elétricos que operam em níveis de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a 1 kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV).

No Brasil atualmente possui 114 distribuidoras de energia elétrica, sendo 63 concessionárias e 38 permissionárias, além de 13 cooperativas de eletrificação rural, que atuam sob autorização precária e estão em processo de regularização para serem concessionárias ou permissionárias (ANEEL, 2017c).

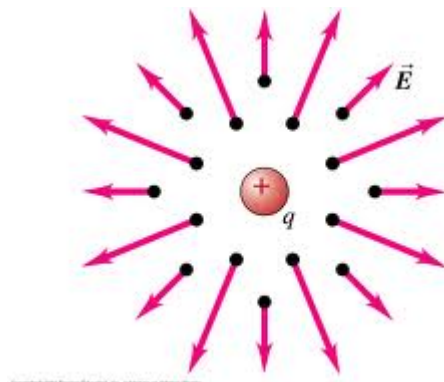
2.2 CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Uma onda eletromagnética é a combinação dos campos elétricos e dos campos magnéticos, com energia igualmente dividida entre estes campos, originados por uma fonte (PATILHA, 2011).

Este tópico traz alguns conceitos teóricos indispensáveis, que serviram de base para as análises feitas neste trabalho.

2.2.1 Definição de campo elétrico

Segundo Halliday (2003) 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, tal como uma partícula q carregada, conforme mostrado a Figura 1.

Figura 1: Campo elétrico devido a uma carga q 

Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFKc4AL/campo-eletrico>

Teoricamente, definimos o campo elétrico E associado a um conjunto de cargas, em termos da força exercida sobre uma carga positiva q_0 , chamada comumente de carga teste, ou seja:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2.1)$$

Sendo a direção e o sentido do vetor campo elétrico idênticos aos do vetor \vec{F} , que atua sobre a carga teste positiva. Para definir o campo elétrico em alguma região, é necessário medi-lo em todos os pontos da região. No Sistema Internacional (SI) a unidade para o campo elétrico é o Newton por Coulomb (N/C) (HALLIDAY, 2003).

2.2.2 Definição de campo magnético

Segundo Halliday (2003) o campo magnético B esta diretamente associado ao movimento das cargas. Podendo ser definido como sendo uma grandeza vetorial que está dirigida ao longo do eixo de força nula. A intensidade F_B pode ser determinada quando v estiver na direção perpendicular a esse eixo, e então definir a intensidade B em termos dessa força. Sendo:

$$F_B = qvxB \quad (2.2)$$

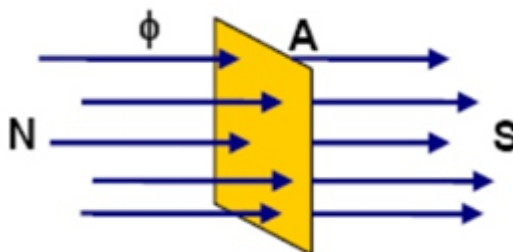
Onde q é a carga da partícula, e a força F_B sobre a partícula é igual a carga q vezes o produto vetorial da sua velocidade v pelo campo B (HALLIDAY, 2003).

2.2.2.1 Fluxo Magnético

O fluxo magnético simbolizado por ϕ , é definido como a quantidade de linhas de campo que atingem perpendicularmente uma dada área, como mostra a Figura 2. A unidade de fluxo

magnético é o Weber (Wb), sendo que um Weber corresponde a 1×10^8 linhas do campo magnético (SAMBAQUI; MARQUES, 2010).

Figura 2: Fluxo magnético devido a quantidade de linhas de campo numa área



Fonte: <https://pt.slideshare.net/meufax/campo-magnitico-parte-1>

2.2.2.2 Densidade de Campo Magnético

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. Assim (SAMBAQUI; MARQUES, 2010):

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2.3)$$

Onde:

B: densidade fluxo magnético (Tesla);

ϕ : fluxo magnético (Weber);

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

2.3 FONTES DOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

Os campos eletromagnéticos sempre estiveram presentes na terra. Entretanto, com o avanço tecnológico, e com a grande demanda por energia elétrica, as fontes emissoras artificiais criadas pelo homem aumentaram significativamente. Ficando a população exposta a uma complexa mistura de campos eletromagnéticos de diferentes frequências. A Figura 3 mostra algumas das principais fontes responsáveis pelos campos elétricos e magnéticos.

Figura 3: Fontes dos campos elétricos e magnéticos

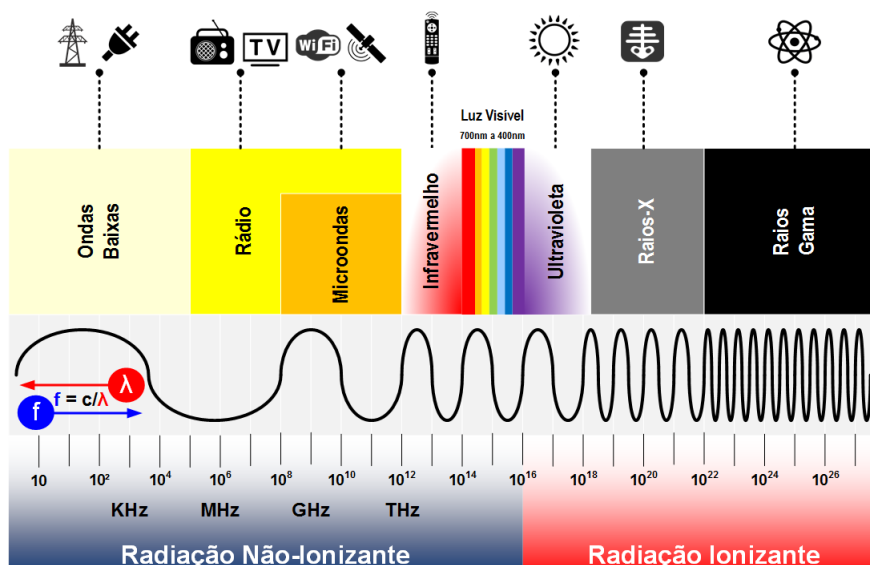


Fonte: <https://piramidal.net/2015/04/20/poluicao-eletromagnetica-e-a-nossa-saude/>

As fontes responsáveis incluem as linhas de transmissão e de distribuição, subestações de energia elétrica, aparelhos eletrodomésticos e eletroeletrônicos (microondas, televisores, celulares, aparelhos de som, computadores), radares, emissoras de rádio e televisão, telefones móveis, estações rádio-base e redes wireless (ANGUERA, 2011).

O espectro eletromagnético é constituído de campos elétricos e magnéticos, e é caracterizado por ondas de diferentes comprimentos, frequência e energia irradiada, que vão desde muito longas (baixas frequências), a comprimentos muito curtos (alta frequência). Possuindo diferentes interações com os organismos vivos, através dos raios gama, raios x, raios ultravioletas ou infravermelhos, microondas e ondas de rádio. Na Figura 4 é possível visualizar o espectro separado em bandas de frequências (THOMÉ, 2004).

Figura 4: Espectro eletromagnético



Fonte: <http://labcisco.blogspot.com.br/2013/03/o-espectro-eletromagnetico-na-natureza.html>

No espectro eletromagnético as radiações são divididas em dois grupos, a radiação não-ionizante e a radiação ionizante.

Os tecidos vivos como todos os materiais são constituídos por átomos, que podem ser descrito como um núcleo central envolvido por um conjunto de elétrons. Quando a radiação eletromagnética incide sobre um material, parte da energia pode ser absorvida pelos átomos constituintes do material. Dependendo da frequência da radiação, ao ser absorvida pelos átomos, a energia pode ser suficiente para arrancar os elétrons dos átomos, formando íons ou ionização, provocando uma reação química. Podendo modificar a estrutura do material que absorveu energia. Para a ionização do material, a frequência de radiação tem que ser elevada, acima da radiação ultravioleta (PAULINO, 2015).

2.3.1 Radiação ionizante

A radiação ionizante é capaz de arrancar elétrons de átomos ou moléculas. São radiações de elevadas frequências, compostas pela ultravioleta, raios x e raios gama. Estas radiações podem penetrar o corpo humano, e possuem energia suficiente para quebrar ligações químicas, danificando órgãos internos e tecidos. Os efeitos adversos são conhecidos pela comunidade científica, podendo citar, a leucemia, catarata e redução da fertilidade. Os métodos de proteção radiológica para a radiação ionizante são regulamentadas por normas e leis rígidas na maioria dos países (PATILHA, 2011).

2.3.2 Radiação não-ionizante

A radiação não-ionizante não possui energia suficiente para arrancar elétrons de átomos ou moléculas, ou seja, ionizá-las, mas podem ter energia suficiente para romper ligações químicas. Ao ser absorvida por um determinado material podem aumentar sua temperatura (PAULINO, 2015).

São amplamente utilizadas nas frequências dos sistemas de telecomunicação em geral. Quando incidem sobre o tecido do corpo humano, podem provocar reações químicas, como queimaduras internas e externas, choques de contato, entre outros. Mediante a tal fato, foram determinados limites de exposição a esse tipo de radiação, que o sugerem que tenha um efeito maléfico a população (PATILHA, 2011).

Em meios a discussão aos possíveis efeitos maléficos, os campos eletromagnéticos podem ser classificados também em faixas de frequência que são demonstradas na Tabela 1 (HUTNER JUNIOR, 2015).

Tabela 1: Faixas de frequências

Banda	Designação	Intervalo de frequência
Frequência extremamente baixa	ELF	< 3 kHz
Frequência muito baixa	VLF	3 - 30 kHz
Frequência baixa	LF	30 - 300 kHz
Frequência média	MF	300 kHz - 3 MHz
Alta frequência	HF	3 MHz - 30 MHz
Frequência muito alta	VHF	30 MHz - 300 MHz
Frequência ultra alta	UHF	300 MHz - 3 GHz
Frequência super alta	SHF	3 - 30 GHz
Frequência extremamente alta	EHF	30 GHz - 300 GHz

Fonte: HUTNER JUNIOR (2015)

A Tabela 1 compreende as faixas de frequência de 50 Hz e 60 Hz, que são utilizadas como padrão nos sistemas elétricos de potência, as chamadas frequências industriais.

2.4 EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS

Visando caracterizar a exposição humana aos campos elétricos e magnéticos associados à geração, transmissão, distribuição e uso da eletricidade, foram realizadas pesquisas com o intuito de identificar as fontes emissoras, efetuando as medições da intensidade dos campos presentes, o tempo de exposição, as circunstâncias (ocupacional, manuseio de utensílios domésticos), e locais (residências, meios de transporte, escritórios) (SILVA, 2009).

No ano de 1996 a Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética (ABRICEM) iniciou um projeto de pesquisa visando à regulamentação para a exposição humana a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos de radiofrequências entre 9 kHz e 300 GHz, abrangendo faixas dos sistemas de informática, radiofusão e telecomunicações. Sendo regulamentada pela Agência Nacional de Telecomunicações, através da resolução N° 303, que rege os limites para a exposição humana proposta pela pesquisa da ABRICEM (BELARDO et al, 2008).

Em relação à exposição humana a campos elétricos e magnéticos provenientes das instalações elétricas nas frequências de 50 Hz e 60 Hz, a empresa Eletropaulo juntamente com a ABRICEM desenvolveram um projeto que visava a elaboração de uma norma interna que estabelecesse limites de exposição ao público em geral e a população ocupacional. Foram analisadas as influências dos campos elétricos e magnéticos nos seres humanos em conformidade com as normas e diretrizes internacionais, aplicadas à realidade brasileira (BELARDO et al, 2008).

2.4.1 Exposição ao campo elétrico

O campo elétrico está presente desde que haja tensão disponível, quer haja ou não circulação de corrente. A interação de campos elétricos variáveis no tempo, com o corpo humano, resulta num fluxo de correntes elétricas, na formação de dipolos elétricos, e na reorientação dos dipolos elétricos já presentes no tecido.

Segundo a ABNT (1999) as amplitudes relativas destes diferentes efeitos dependem das propriedades elétricas do corpo, isto é, da condutividade elétrica e da permissividade, que rege a amplitude dos efeitos de polarização. A condutividade elétrica e a permissividade variam com o tipo do tecido do corpo e também dependem da frequência do campo aplicado.

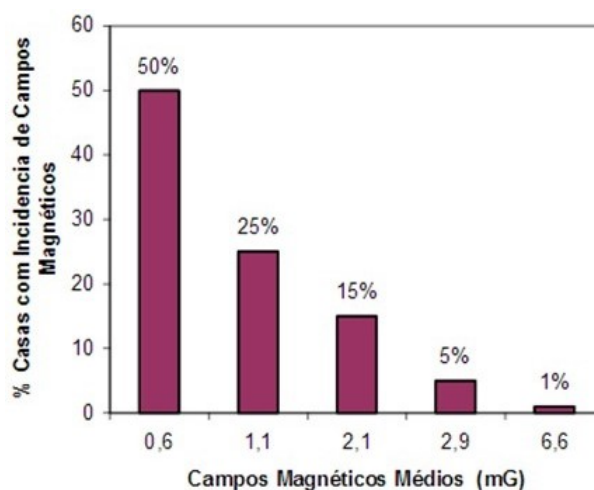
Os campos elétricos externos ao corpo induzem no mesmo uma carga superficial, resultando em correntes induzidas no corpo, cuja distribuição depende das condições de exposição, do tamanho e forma do corpo, e da posição deste no campo (ABNT,1999).

2.4.2 Exposição ao campo magnético

A exposição ao campo magnético tem sido caracterizada por medições realizadas em diversos locais utilizando instrumentos convencionais, e através de medições utilizando dosímetros, que são fixados ao corpo das pessoas em residências e locais de trabalho, permitindo à avaliação do nível diário as diversas fontes emissoras do campo magnético.

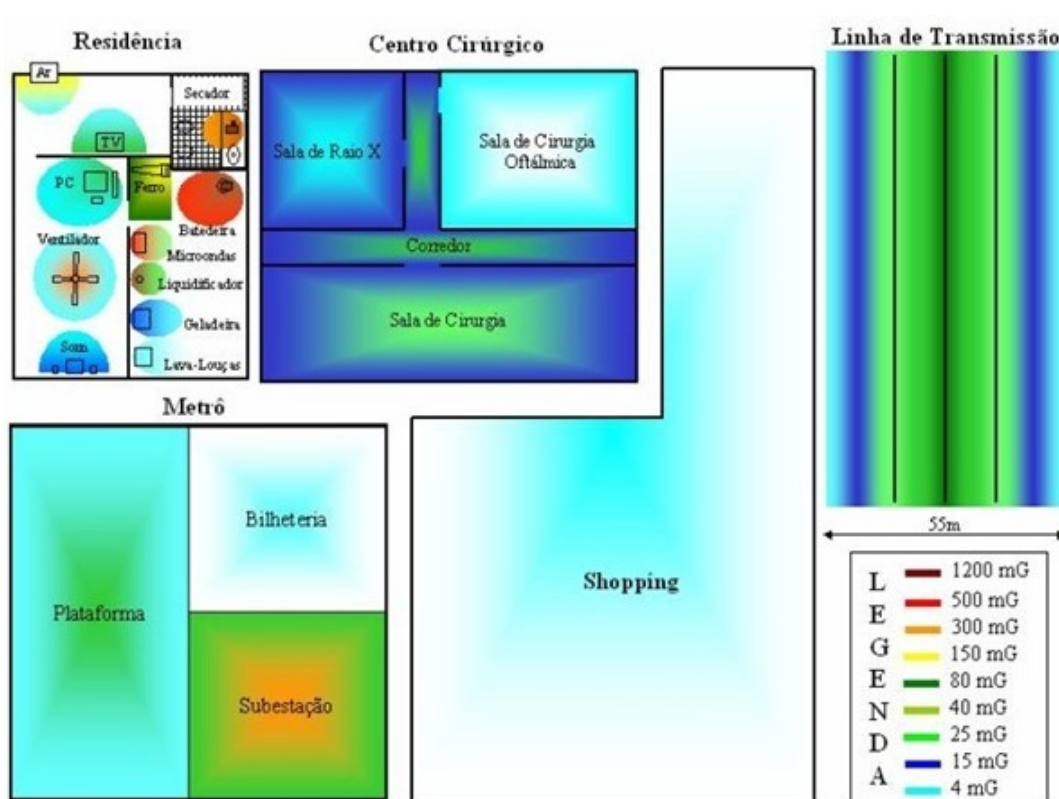
Os campos magnéticos estão normalmente presentes nas residências. Nos Estados Unidos o Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica (EPRI) realizou um estudo, onde fez medições dos campos magnéticos no centro dos quartos em 992 residências, longe dos eletrodomésticos, a Figura 5 mostra o resumo dos dados obtidos. Os dados refletem principalmente os campos radiados pelas instalações elétricas da residência, e os provenientes de linhas de transmissão próximas (BELARDO et al, 2008).

Figura 5: Campos magnéticos medidos nos quartos das 992 residências



O Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) buscando caracterizar os níveis dos campos magnéticos em diferentes locais e situações características de ambientes urbanos, ao qual a população está exposta em seu cotidiano (residenciais, de locomoção, lazer e trabalho), realizou um trabalho de medição de valores de campo em 60 Hz presentes em ambientes urbanos, industriais, residenciais e próximos as instalações elétricas. Foram feitas medições em instalações em operação (linhas de transmissão, distribuição e subestações), residências, hospitais, metrô, indústrias e shoppings. A Figura 6 mostra o mapa síntese elaborada pelo CEPEL, que mostra de modo simplificado, a comparação dos níveis máximos e mínimos do campo magnético nos diversos locais onde foram feitas as aferições (DOMINGUES et al, 2005).

Figura 6: Mapa síntese com comparação de campo nos diferentes ambientes medidos



Fonte: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081120123500-GCQ09.pdf>

Nas linhas de transmissão as medições foram feitas ao longo de perfis transversais ao eixo da linha e em diversos pontos no limite da faixa de passagem, além da dosimetria em situações de trabalho de profissionais em empresas de transmissão de energia elétrica. No Brasil foram elaborados diversos projetos de medições do campo elétrico e do magnético em linhas de transmissão. Na maioria dos casos os valores de campo estavam em conformidade com os limites estabelecidos pelas normas internacionais, e pelas recomendações da Comissão Internacional de Proteção Contra a Radiação Não Ionizante (ICNIRP).

Segundo Aquilino (2005) a preocupação com a maciça nuvem eletromagnética na qual a população esta submetida, fez com que fossem adotados limites para os níveis de campos emitidos por cada fonte, ao menor valor que seja economicamente viável, tendo em vista uma

poluição eletromagnética, ao qual a população está exposta em seu cotidiano. Esta abordagem faz referência aplicação da Lei da ICNIRP promulgada em 23 de dezembro no ano de 1999 na Suíça, que determina os limites de exposição para emissão total dos campos eletromagnéticos.

2.5 EFEITO DOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS

Desde o final do século passado existe uma grande preocupação com os possíveis efeitos adversos das ondas eletromagnéticas para a saúde humana, o que tem despertado a comunidade científica a se aprofundar no assunto.

As correntes elétricas existem naturalmente no corpo humano e são partes essenciais das funções corporais normais. Os nervos enviam sinais via a transmissão de impulsos elétricos. A maioria das reações bioquímicas, desde as associadas com a digestão até as envolvidas com a atividade cerebral, envolvem processos elétricos.

Os efeitos da exposição externa do corpo humano e de suas células aos campos elétricos e magnéticos dependem principalmente de sua frequência e de sua magnitude ou intensidade. A frequência simplesmente descreve o número de oscilações ou ciclos por segundo. As baixas frequências, os Campos Eletromagnéticos (CEM) atravessam o corpo, enquanto que em radiofrequências os campos são parcialmente absorvidos e penetram apenas em uma pequena profundidade no tecido (OMS, 2002).

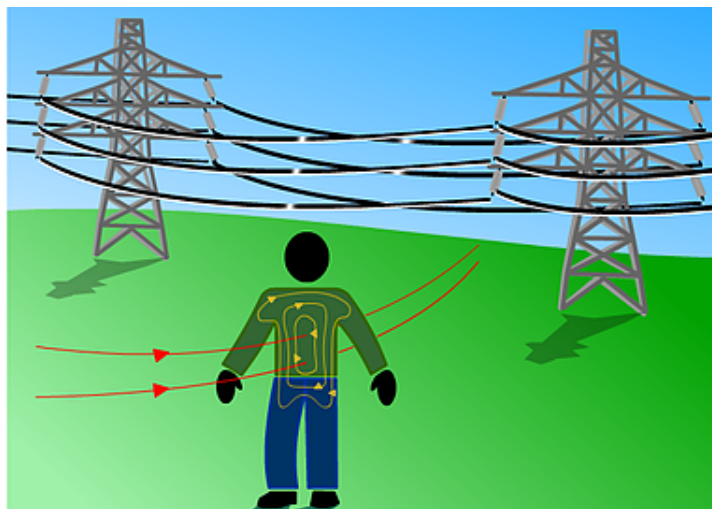
Os campos elétricos em baixas frequências influenciam na distribuição de cargas sobre a superfície dos tecidos condutores, e causam um fluxo de corrente elétrica no corpo. Já os campos magnéticos induzem correntes circulantes dentro do corpo humano. As correntes induzidas dependem da intensidade do campo magnético externo e do percurso percorrido pela corrente. Quando essas correntes são suficientemente intensas podem provocar estímulos dos nervos e dos músculos (OMS, 2002).

2.5.1 Mecanismo de interação com o campo elétrico e magnético

A interação entre o corpo humano e os campos elétricos e magnéticos pode ocorrer na forma direta ou indireta. A distinção é feita pela presença ou não de um segundo corpo ou objeto que está submetido a exposição (WHO, 2007).

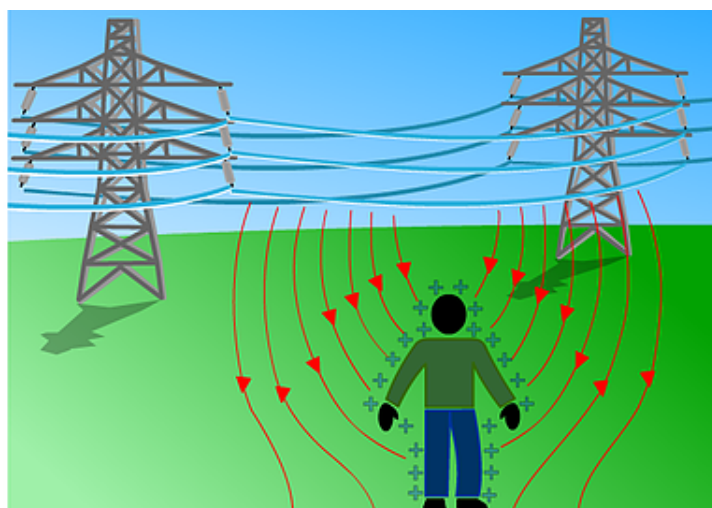
2.5.1.1 Interação direta

Campo elétrico: resulta na aplicação de um campo elétrico na superfície externa do corpo e a indução de cargas na superfície, e conseqüentemente indução de campos elétricos e de corrente. A Figura 7 mostra a interação direta com o campo elétrico gerado por uma linha de transmissão.

Figura 7: Forma de interação direta com o campo elétrico

Fonte: <http://tecnicosaudeambiental.blogspot.com.br/2014/04/camposeletromagneticos-11.html>

Campo magnético: resulta na penetração do campo magnético por todo o corpo, indução de campos elétricos e correntes, e a aplicação de forças sobre cargas em movimento no interior do corpo. A Figura 8 mostra a interação direta com o campo magnético gerado por uma linha de transmissão.

Figura 8: Forma de interação direta com o campo magnético

Fonte: <http://tecnicosaudeambiental.blogspot.com.br/2014/04/camposeletromagneticos-11.html>

2.5.1.2 Interação indireta

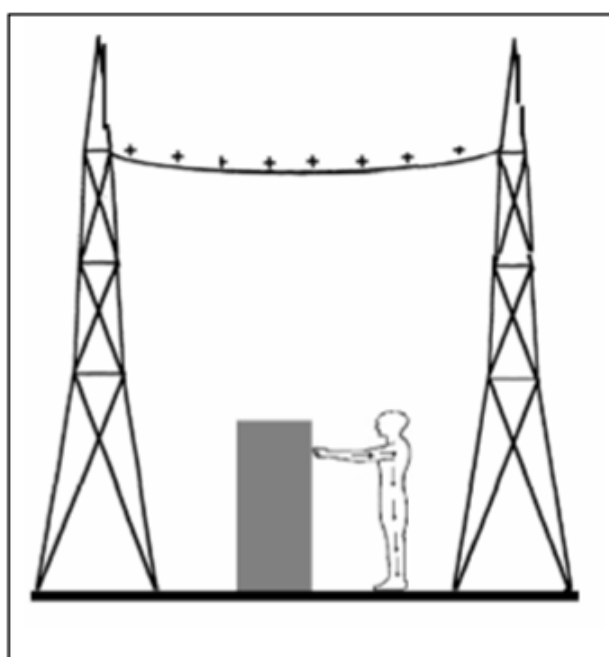
As formas de interação indireta são devidas há:

- Indução de correntes elétricas em um objeto condutor submetido a um campo elétrico, podendo percorrer o corpo humano em caso de contato;

- Descargas transitórias podem ocorrer quando um ou mais corpos ficam próximos a objetos metálicos carregados pela presença de campo elétrico intenso ou no momento de contato ou distanciamento;
- O corpo sobre o solo carregado de correntes elétricas pode ser submetido a um potencial de passo, que poderá causar a circulação de correntes no mesmo.

Na Figura 9 é possível visualizar a interação indireta de uma pessoa com o campo elétrico gerado pela linha de transmissão.

Figura 9: Forma de interação indireta



Fonte: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001040.pdf>

2.6 NORMAS E DIRETRIZES DE EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS NO BRASIL E NO MUNDO.

Mediante as inúmeras suspeitas levantadas pelos cientistas sobre os possíveis malefícios da exposição aos campos eletromagnéticos de baixa frequência, as organizações internacionais que zelam pela saúde pública em conjunto com a comunidade científica, estabeleceram medidas que procuram resguardar e alertar a população e seus governos a respeito dos riscos de exposição aos campos eletromagnéticos.

2.6.1 Comissão Internacional de Proteção contra a Radiação Não Ionizante (ICNIRP)

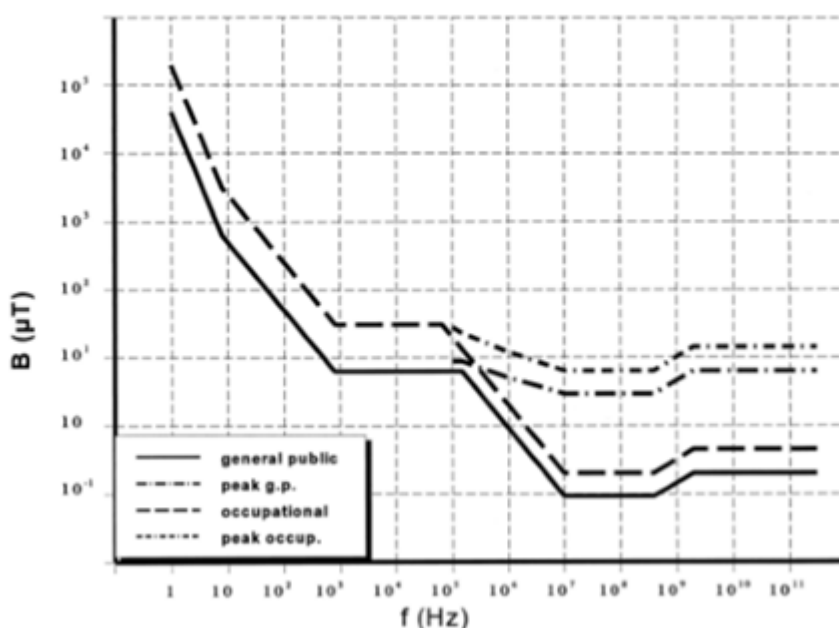
No ano de 1998 a ICNIRP publicou um guia, onde definiu os limites básicos e os valores de referência para o campo elétrico e para o magnético, para o público geral e para a poluição

ocupacional do setor elétrico.

A ICNIRP definiu como limite para a densidade de corrente elétrica no corpo humano 10 mA/m^2 , sendo que este limite corresponde ao valor mínimo para qual foram identificados efeitos para a fisiologia humana, particularmente no sistema nervoso. Sendo este valor o máximo recomendável para trabalhadores do setor elétrico. Porém para o público em geral, a ICNIRP considerou que o referido limite deveria ser reforçado para um fator de segurança, recomendando uma limitação de 2 mA/m^2 (ICNIRP, 1998).

Para calcular os valores do campo magnético associados aos limites estabelecidos, a ICNIRP utilizou métodos simples, que consideram que o corpo tem uma condutividade homogênea e isotrópica, considerando simples contornos circulares para estimar as correntes induzidas em diferentes regiões e órgãos do corpo. Sendo definidos como valores de referência para o campo magnético $100 \mu\text{T}$ e $500 \mu\text{T}$, para o público geral e para a população ocupacional. Na Figura 10 é possível visualizar os níveis de referência do campo magnético em função da frequência. Onde as linhas contínuas são os níveis de referência para o público em geral, e as tracejadas são os níveis de referência para a população ocupacional (ICNIRP, 1998).

Figura 10: Níveis de referência do campo magnético em função da frequência



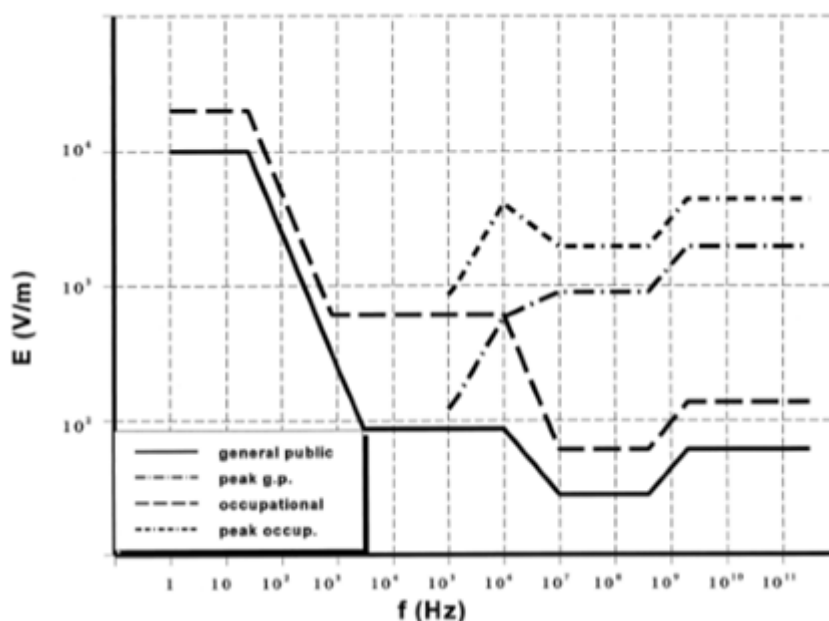
Fonte: <http://www.icnirp.org/cms/load/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

A ICNIRP considera para o campo elétrico os métodos de cálculos, que devem ter em conta a variação da carga elétrica superficial, dependendo das condições de exposição e do tamanho, forma ou posição do corpo em questão. Tendo como resultado uma distribuição variável não uniforme das correntes induzidas no corpo.

Para o campo elétrico a ICNIRP considerou 5 kV/m para a exposição do público geral, a

uma densidade de corrente de $2\text{mA}/\text{m}^2$. E para a população ocupacional um valor de referência de $10\text{ kV}/\text{m}$. Na Figura 11 é mostrado os níveis de referência do campo elétrico em função da frequência. As linhas contínuas são os níveis de referência para o público em geral, e as tracejadas são os níveis de referência para a população ocupacional (ICNIRP, 1998).

Figura 11: Níveis de referência do campo elétrico em função da frequência



Fonte: <http://www.icnirp.org/cms/load/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>

2.6.2 Norma norte-americana IEEE C95. 6 e C95.1

O Instituto de Engenheiro Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) publicou no ano 2002 a Norma IEEE C95.6 para o regime de frequências de 0 Hz – 3 Hz, e no ano de 2005 foi publicada a Norma IEEE C95.1 para frequências entre 3 kHz e 300 GHz. Ambas têm como finalidade definir os limites para a exposição humana para os campos eletromagnéticos (IEEE, 2005).

As normas da ICNIRP e da IEEE são constituídas de forma similar, apresentando níveis de referência, mas os limites para a aplicação geral são diferentes em função de variações nos fatores de segurança e na modelagem matemática utilizada por cada uma. O IEEE é mais específico em situações de exposição ocupacional em ambientes restritos, onde há detalhamento de exposição do corpo, cabeça e membros.

2.6.3 Resolução normativa ANEEL 398

Regulamenta a Lei N° 11.934, de 5 de maio 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. Os limites e procedimentos citados nessa resolução referem-se à exposição da população ocupacional e do público geral (ANEEL, 2014).

No setor elétrico a ANEEL é responsável em regular e averiguar a lei citada. Devido à exigência todo equipamento, dispositivos eletromagnéticos e cabos de potência precisam estar em conformidade com a resolução 398. Rígida em sua vistoria tem encontrado algumas irregularidades em subestações elétricas, fato que leva as empresas responsáveis a aderirem métodos para os cálculos de campos elétricos e magnéticos, com o intuito de obterem a regularização.

2.7 PANORAMA INTERNACIONAL DE LIMITES PARA OS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA.

A associação entre os campos gerados pelas linhas de transmissão e possíveis efeitos para a saúde pública exposta a estes campos, tem motivado muitas discussões nos últimos 30 anos. Mediante as pesquisas realizadas pelos cientistas e pelos limites determinados pela OMS e pela ICNIRP em relação aos possíveis efeitos dos campos eletromagnéticos de baixa frequência, alguns países ao redor do mundo, têm tomado medidas cabíveis, buscando uma proteção adicional, adotando limites inferiores aos encontrados no guia da ICNIRP. Na Tabela 2 é apresentado o panorama internacional para os limites de exposição aos campos eletromagnéticos (DOMINGUES et al, 2007).

Tabela 2: Panorama internacional para os limites de exposição aos CEM

Limites ICNIRP		Limites Similares	Limites Superiores	Limites Inferiores	Medidas de Prevenção
África	Portugal	Alemanha	Bélgica	China	Austrália
Áustria	Reino Unido	Hungria	Bulgária	Costa Rica	Dinamarca
Croácia	República da Coreia	Itália	Eslovênia	Eslovênia	Luxemburgo
Estônia	República Tcheca	Suíça		Grécia	Suécia
Finlândia	Singapura			Holanda	
França	Taiwan			Israel	
Irlanda	União Europeia			Japão	
Malta			Rússia	Polônia	

Fonte: DOMINGUES et al (2007)

2.7.1 Europa

Apesar do Conselho Europeu emitir uma Recomendação do Conselho 1999/519/EC, propondo a adoção de limites a exposição aos campos eletromagnéticos para o público geral, baseado nas recomendações da ICNIRP, e da proposta da Comissão Europeia em harmonizar as

normas de proteção, o panorama dos limites na Europa permanecem não homogêneo, a situação pode ser visualizada na Figura 12, que mostra um mapa ilustrativo dos limites.

Figura 12: Mapa ilustrativo dos limites dos campos eletromagnéticos da Europa



Fonte: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20090402112620-GIA%20-%202006.pdf>

De modo geral, os países têm adotado a diretriz da ICNIPR, e em alguns deles, como Itália, Bélgica, Suécia e Suíça, tem tomado uma abordagem de prevenção, em adição ou em substituição a diretriz da ICNIPR. No entanto, apenas Espanha, Suécia e Reino Unido possuem uma estrutura de comprometimento legal em respeito aos campos eletromagnéticos .

Países como Canadá, Espanha, Filipinas, Nova Zelândia e Turquia, possuem normas apenas para alta frequência. E o princípio de preocupação tem sido adotado por países como a Dinamarca, Espanha, Luxemburgo e Suécia (DOMINGUES et al, 2007).

Países como a Itália e Suíça têm incorporado o princípio de preocupação as suas normas de exposição. A Suíça por sua vez, criou uma lei, a Portaria Relativa à Proteção Contra Radiação Não Ionizante (ONIR), que aplica sobre duas formas: limitando a exposição de curta duração a fim de evitar danos à saúde aceitos cientificamente e como medida preventiva, reduzindo a exposição de longa duração a fim de proteger contra potenciais riscos à saúde (KANDEL, 2007).

A Itália adota limites semelhantes a ICNIPR, porém para o campo magnético possui outros dois níveis: nível de observação igual a $10 \mu\text{T}$, em casos de exposição superiores a 4 horas, e para o nível de quantidade igual a $3 \mu\text{T}$, para novas linhas (MOREIRA, 2011).

Na Holanda, no ano de 2005 através de seu Governo as autoridades locais, recomendaram que não fossem dadas autorização para a construção de novas residências na zona de $0,4 \mu\text{T}$ das linhas de transmissão. Já a Polônia limita a intensidade do campo elétrico em 1 kV/m em áreas

residenciais, ou que tenha hospitais, escolas e creches, sendo permitidos para os demais locais um limite de 10 kV/m (DOMINGUES et al, 2007).

2.7.2 Continente Americano

Os Estados Unidos não possuem leis que regulamentam os campos elétricos e magnéticos de baixa frequência. Somente seis estados americanos possuem normas para o campo elétrico gerado pelas linhas de transmissão, sendo que dois deles possuem limites para o campo magnético.

No Canadá, três províncias possuem regulamentação para os limites do campo elétrico, sendo adotadas por companhias elétricas, visando minimizar o potencial induzido em matérias metálicas e consequente o risco de ocorrer o choque elétrico. O fato é que as três províncias adotam valores diferentes para a intensidade do campo elétrico no interior da faixa a um metro do solo. Sendo que a Hydro-Quebec, Hydro-Ontario e BCH-British, estabelecem os limites em 2 kV/m, 3kV/m e 5 kV/m respectivamente (SILVA, 2009).

2.7.3 Brasil

Nos últimos anos da discussão sobre os níveis de exposição a serem utilizados no Brasil, pode-se destacar:

2.7.3.1 Norma da ABNT NBR 15415 DE 30/11/2006

- Limite para exposição do público em geral de 83,33 μT para campo magnético e de 4,17 kV/m para o campo elétrico, sendo para a frequência de 60 Hz;
- Estabelece procedimentos e padrões para a medição.

2.7.3.2 Lei Federal 11.934, de 5 de maio de 2009

Essa lei foi estabelecida pela Presidência da República no ano de 2009, com o objetivo de determinar os limites à exposição humana aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos, associados ao funcionamento de estações transmissoras de radiocomunicação, de terminais de usuário e de sistemas de energia elétrica nas faixas de frequências até 300 GHz. A fiscalização do atendimento aos limites estabelecidos por esta Lei para exposição humana aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos gerados por sistemas de energia elétrica serão efetuadas pelo respectivo órgão regulador federal (BRASIL, 2009).

- Limite para a exposição do público em geral de 83,33 μT para o campo magnético e 4,17 kV/m para o campo elétrico;

- Limite para exposição da população ocupacional de 416,67 μT para o campo magnético e 8,33 kV/m para o campo elétrico.

2.7.3.3 ABNT NBR-25415 de julho de 2016

Esta norma estabelece a metodologia de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos de 50 Hz e 60 Hz para o público geral, ao redor das instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica acima de 1 kV.

Segundo a ABNT (2016) esta norma fornece um guia para medição dos valores eficazes do estado permanente de campos elétricos e magnéticos quase estáticos que tem componentes de frequências de 50 Hz e 60 Hz. Fontes de campos quase estáticos incluem dispositivos que operam nas frequências industriais, produzindo campos nessas frequências e suas harmônicas. Os limites de magnitude abordados por esta norma são de 100 nT a 100 mT e 1 kV/m a 50 kV/m para campos magnéticos e campos elétricos, respectivamente. Quando medições fora desses limites são realizadas, a maioria das previsões desta norma ainda se aplica, porém algumas previsões, como especificações da incerteza e o procedimento de calibração, podem precisar de modificações.

Essa norma em especial:

- define a terminologia;
- identifica os requisitos de especificação do medidor do campo;
- especifica os requisitos aplicáveis a incerteza da instrumentação;
- especifica características gerais dos campos;
- especifica os princípios operacionais da instrumentação;
- especifica os métodos de medição.

2.7.3.4 80/SVMA/2005

Estabelece procedimento para o licenciamento ambiental na Secretária do Verde e do Meio Ambiente (SVMA) a reforma com ampliação da tensão ou da corrente nominal ou a implantação de novas unidades de linhas de transmissão e subestações dos sistemas de geração, de transmissão e de distribuição de energia elétrica, localizadas no Município de São Paulo, com tensão nominal igual ou superior a 69 kV. As Concessionárias de geração, de transmissão ou de distribuição de energia elétrica, que operem no território do Município de São Paulo ficaram obrigadas a fornecer à SVMA cadastro atualizado da infra-estrutura existente. A SVMA

promove medições periódicas, para avaliação da exposição da população em geral aos campos eletromagnéticos gerados pela infra-estrutura dos sistemas das concessionárias.

Por precaução, visando à proteção contra os possíveis efeitos adversos 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: $10 \mu\text{T}$ 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 $3 \mu\text{T}$ para instalações novas (SVMA, 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 $4,17 \text{ KV/m}$ e $83,3 \mu\text{T}$ respectivamente. Medições *in loco* dos valores gerados de campo elétrico e magnético para o horário de maior carregamento. Simulação matemática dos campos elétricos e magnéticos não perturbados para cada tipo de linha ou subestação existente no Município de São Paulo (SVMA, 2005).

2.8 ANSYS MAXWELL

O ANSYS é uma renomada ferramenta usada para a realização de simulações multifísicas através do MEF. Atualmente é amplamente utilizado por diversas indústrias para realizar análises estruturais, térmicas, fluido dinâmicas, eletromagnéticas, de fadiga, de fratura e de transformação de fase (ANSYS, 2017).

O ANSYS Maxwell é o *software* de simulação de campos eletromagnéticos líder no setor para o projeto e análise de motores elétricos, atuadores, sensores, transformadores e outros dispositivos eletromagnéticos.

Esse *software* permite caracterizar com precisão o movimento não-linear, transiente dos componentes eletromecânicos e seus efeitos no circuito do acionamento e no design do sistema de controle. Além de ser um laboratório virtual que oferece uma vantagem competitiva importante com um tempo de mercado mais rápido, custos reduzidos e melhor desempenho do sistema. O Maxwell inclui os seguintes *solvers* (ANSYS, 2017):

- *Magnetic Transient* com movimento rígido.
- *AC Electromagnetic*.
- *Magnetostatic*.
- *Electrostatic*.
- *DC Conduction*.

- *Electric Transient*.
- Interfaces de design experientes para transformadores e máquinas elétricas.
- ANSYS *Simplorer Entry* (simulação de sistemas e circuitos).

2.8.1 Método de Elementos Finitos

O MEF é bastante difundido no campo da engenharia, pois permitiu solucionar inúmeros problemas, sendo aplicado em simulações computacionais.

Atualmente é definido como um método matemático para soluções de equações diferenciais e parciais, como as de Poisson e Laplace. Esse método propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas, sejam substituídas por um número limitado de elementos. A geometria submetida aos carregamentos e restrições é subdividida em partes, a divisão permite resolver problemas complexos, que possibilitam ao computador realizar com mais eficiência determinadas tarefas (MIRLISENNA, 2016).

Devido as suas características de flexibilidade e estabilidade numérica, seu uso intensificou-se nos dias atuais. Sendo aplicado na resolução e diagnóstico de problemas de análise estrutural, através do deslocamento, deformações e tensão, possibilitando também representar diversos cenários e avaliar determinados produtos. As variações do método viabilizam a análise de escoamento de fluídos, distribuição de temperaturas e eletromagnetismo.

O MEF têm sido constantemente utilizado por muitas empresas do setor elétrico, principalmente nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, afim de aferir os níveis dos campos elétricos e magnéticos.

2.9 BLINDAGEM ELETROMAGNÉTICA

A blindagem eletromagnética é, conceitualmente, uma barreira para a transmissão de campos eletromagnéticos (MURTA, 1998). Nesse caso, qualquer técnica que venha a reduzir a intensidade de campos eletromagnéticos pode ser considerada uma blindagem eletromagnética, tais como: utilização de caixas metálicas, chapas, gabinetes, telas, ou mesmo outras técnicas, como a utilização da geometria de um sistema ou utilização de filtros no controle da emissão conduzida em cabos.

A escolha da técnica de blindagem a ser utilizada pode ser determinada pela natureza do fenômeno envolvido, podendo ser originada por fontes de campo predominantemente elétrico ou magnético, frequência de emissão do campo, entre outros.

O objetivo central da aplicação da blindagem eletromagnética é assegurar que os campos elétricos ou magnéticos sejam mantidos externos a um determinado equipamento ou retidos em sua fonte.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo será apresentado o protocolo de coleta de dados que norteiam esse trabalho. Esse estudo foi dividido em duas etapas:

A primeira etapa de coleta de dados se baseou no estudo bibliográfico em artigos e dissertações.

A segunda etapa na simulação de campos gerados por um barramento de uma subestação de distribuição de energia elétrica.

3.1 CONDIÇÕES CLÍNICAS DE OPERADORES DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Os dados para essa etapa do trabalho foi obtida parte do artigo Mattos et al (2002) e parte da dissertação de mestrado Silva (2001). O padrão clínico obtido dos trabalhadores do setor elétrico é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Padrão clínico de trabalhadores do setor elétrico

Referência	Área	Patologia
Wertheimer e Leeper - 1979	Linhas de transmissão	Câncer
Milham Júnior - 1985	Setor elétrico	Neoplasias Leucemia
Bastuji-Garin - 1990 Flodin - 1986 Stern - 1986 Thériault - 1994	Setor elétrico	Câncer
Grayson - 1996 Lin - 1985 Pearce - 1989 Tynes - 1992	Setor elétrico	Câncer de cérebro
Tornqvist -1986	Usinas geradoras e LTs	Câncer no aparelho urinário
Mattos Koifman - 1996	Usina geradora de eletricidade	Câncer de bexiga
Mattos - 2002	Usina geradora de eletricidade	Câncer Leucemia Neoplasma

Fonte: MATTOS et al (2002)

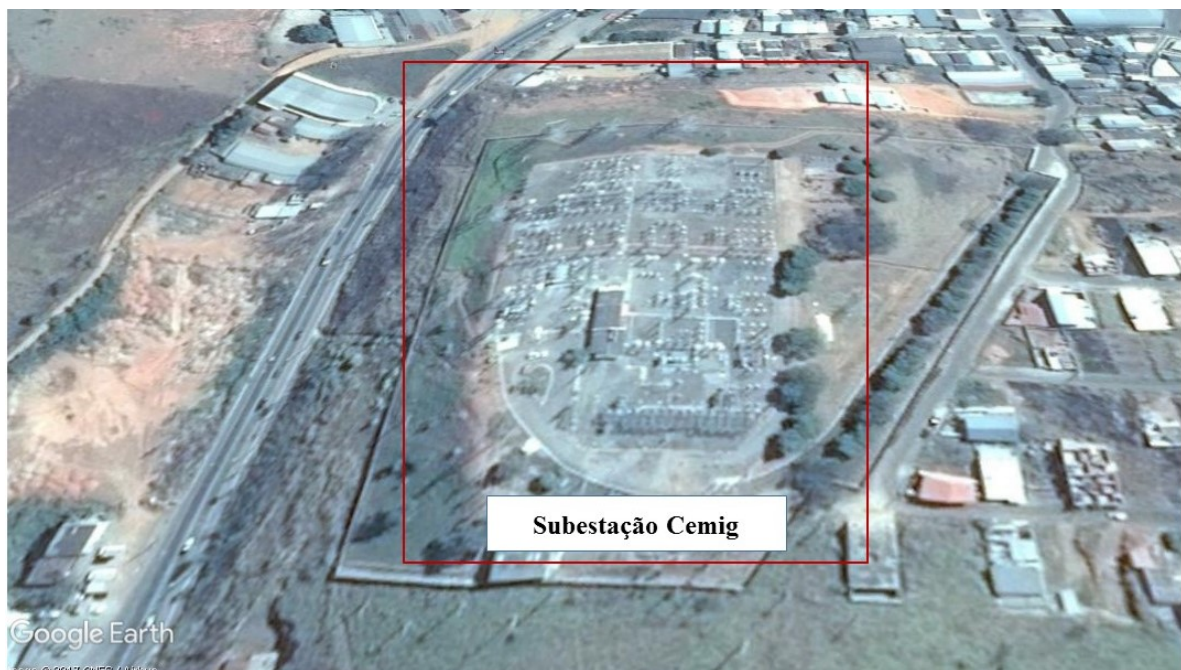
3.2 LOCAL DE ESTUDO

Nesta etapa de coleta de dados foi selecionado uma subestação (SE) de pequeno porte que abastece uma cidade de 140.000 habitantes.

Para a simulação foram utilizados os dados do barramento do transformador T2 da Subestação de energia elétrica da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG. Situada na Rua Taguatinga, Bairro Zacarias em Caratinga - MG.

A disposição física do complexo da subestação é apresentada na Figura 13.

Figura 13: Subestação CEMIG



Fonte: Google Earth

A Figura 14 se refere ao barramento selecionado para a simulação do campo elétrico e do campo magnético desse trabalho.

Figura 14: Barramento da subestação CEMIG

Fonte: Autor

3.3 DADOS TÉCNICOS DO BARRAMENTO.

A Tabela 4 apresenta os dados técnicos do barramento selecionado para simulação de campos nesse trabalho.

Tabela 4: Dados técnicos do barramento T2

Barramento	Material	Bitola fio	Altura vertical	Número de fases	Espaçamento entre fases	Tensão/ Corrente
T2	Alumínio	2 pol	4,19 m	3	2,5 m	138KV/51,44A

Fonte: Autor

As medições foram extraídas do barramento T2, no dia 28 de setembro de 2017 às 14h00min.

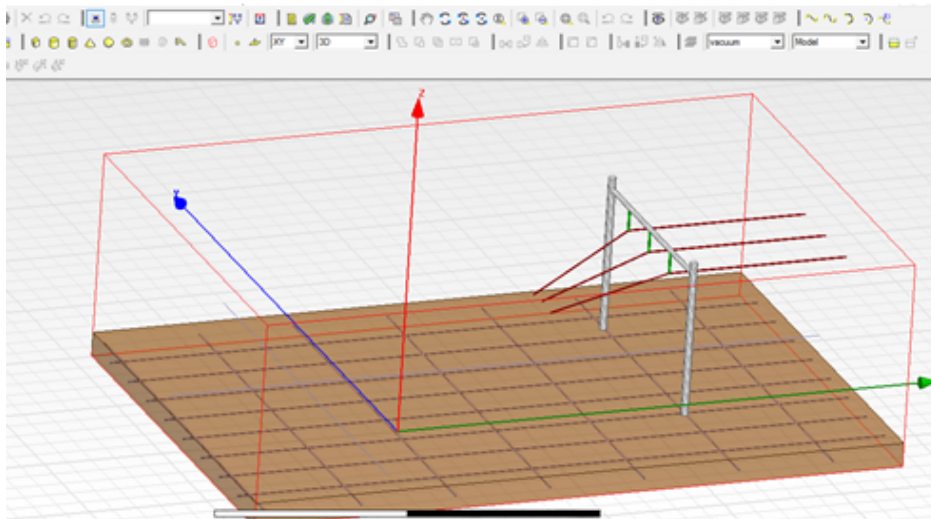
3.4 PREPARAÇÃO PARA SIMULAÇÃO.

Para a simulação de campos foi utilizado o *software* ANSYS Maxwell na versão 15.0.

Inicialmente foi feito o desenho em 3D do barramento T2. A geometria do barramento foi criada utilizando as próprias ferramentas do ANSYS, que é mostrada na Figura 15. As principais características consideradas foram:

- Dimensões da estrutura.
- Material da estrutura.
- Posicionamento da malha terra.

Figura 15: Desenho em 3D do barramento da subestação



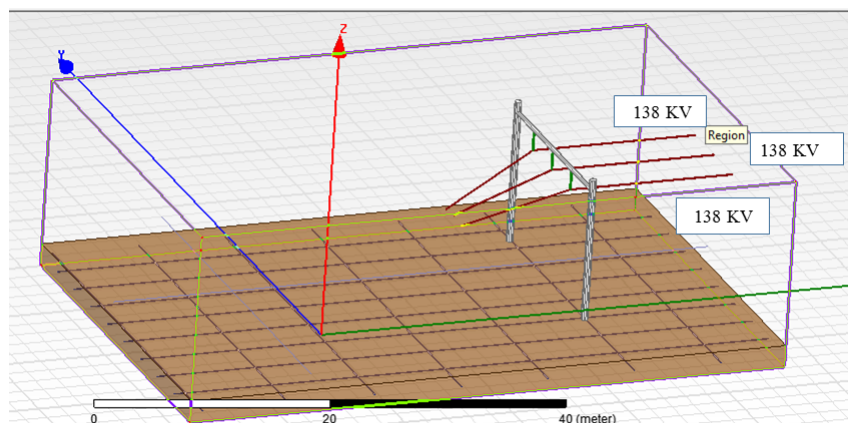
Fonte: Software ANSYS Maxwell

As simulações foram divididas em duas partes. Sendo uma geometria utilizada exclusivamente para o campo elétrico (E) e outra para o campo magnético (B).

3.4.1 Simulação para campo elétrico (E)

Para a simulação (Figura 16) do campo elétrico foram atribuídos os valores de tensão de 138 kV para as três fases do barramento. Para tal foi utilizada a ferramenta chamada *Excitations* do software.

Figura 16: Inserção de tensão

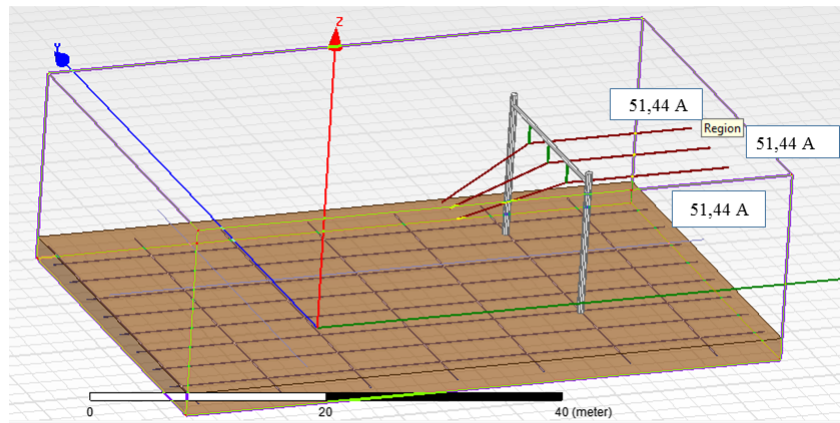


Fonte: Software ANSYS Maxwell

3.4.2 Simulação de campo magnético (B)

Para a simulação do campo magnético (Figura 17) foram atribuídos os valores de tensão de 138 kV e inserção da densidade de corrente de 51,44A.

Figura 17: Inserção de corrente



Fonte: Software ANSYS Maxwell

3.5 SIMULAÇÕES DE CAMPOS.

Inseridas as excitações, as simulações foram executadas, utilizando o MEF como forma de levantar os valores de campo elétrico e magnético de maneira pontual. Foram também seguidos os procedimentos estabelecidos pela Resolução Normativa N° 398 da ANEEL, adotando-se uma altura de aproximadamente 1,5 metros em relação ao solo.

As simulações para os campos elétricos e magnéticos levam em consideração as recomendações estabelecidas pela ICNIRP Tabela 5 e pela IEEE Tabela 6.

Os limites são estabelecidos em níveis diferentes para a população ocupacional e para a população em geral. Sendo que a população ocupacional se encontra exposta diariamente a níveis consideráveis de campos eletromagnéticos.

Tabela 5: Recomendações da ICNIRP

	50 Hz		60 Hz	
	Campo Elétrico (KV/m)	Campo Magnético (μ T)	Campo Elétrico (KV/m)	Campo Magnético (μ T)
População Geral	5,00	200,00	4,17	200,00
População Ocupacional	10,00	1000,00	8,33	1000,00

Fonte: ESSS (2016)

Tabela 6: Recomendações da IEEE

	Campo Magnético (μT)		Campo Elétrico (kV/m)
	Cabeça e tronco	Braço e pernas	
População Geral	353.000,00	118.000,00	5,00
População Ocupacional	353.000,00	353.000,00	20,00

Fonte: ESSS (2016)

As simulações para os campos elétricos e magnéticos foram realizadas em três etapas distintas:

- Simulação dos campos na ausência de matéria orgânica nas proximidades.
- Simulação dos campos na presença de matéria orgânica nas proximidades.
- Simulação dos campos na presença de matéria orgânica nas proximidades envoltas em blindagem.

Os resultados das simulações serão apresentados no capítulo quatro.

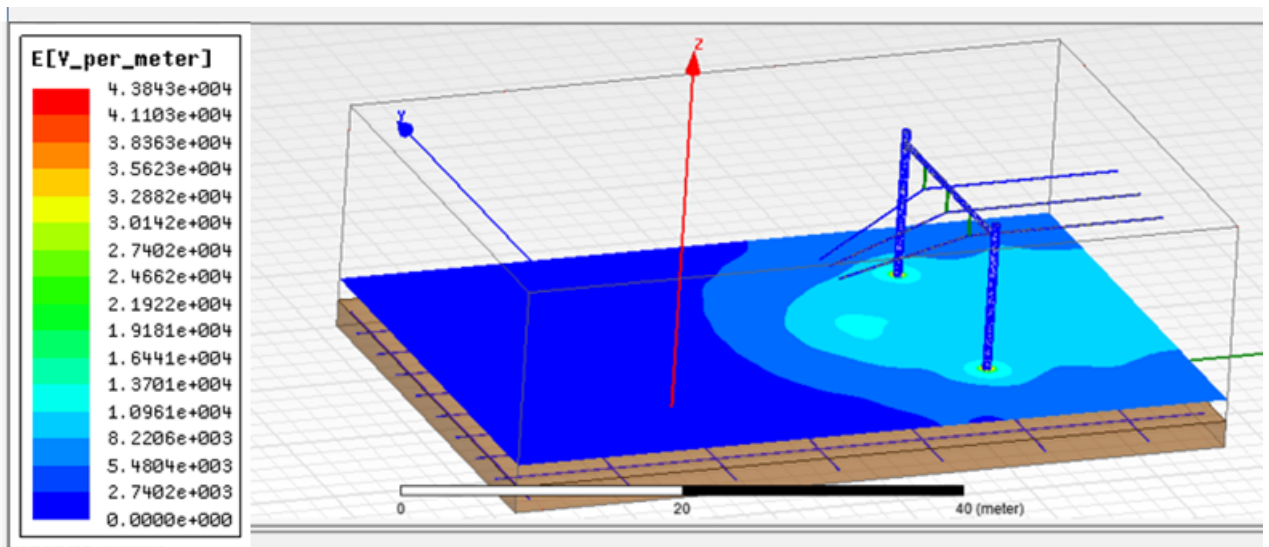
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os principais resultados obtidos pelas simulações de campos do capítulo três. Serão apresentados também um paralelo entre as simulações dos campos juntamente com os dados do tópico 3.1 e as especificações para exposição a campos ditados pelas normas na IEEE e ICNIRP.

4.1 CÁLCULO PARA O CAMPO ELÉTRICO

Para a simulação de atuação do campo elétrico realizada no tópico 3.4.1 foi necessário um tempo de espera de 24 horas para obtenção dos resultados. O espectro de atuação do campo no espaço é mostrado à direita na Figura 18. A escala de cores a esquerda representa os valores do campo em função do espectro de atuação do campo elétrico.

Figura 18: Cálculo do campo elétrico



Fonte: Software ANSYS Maxwell

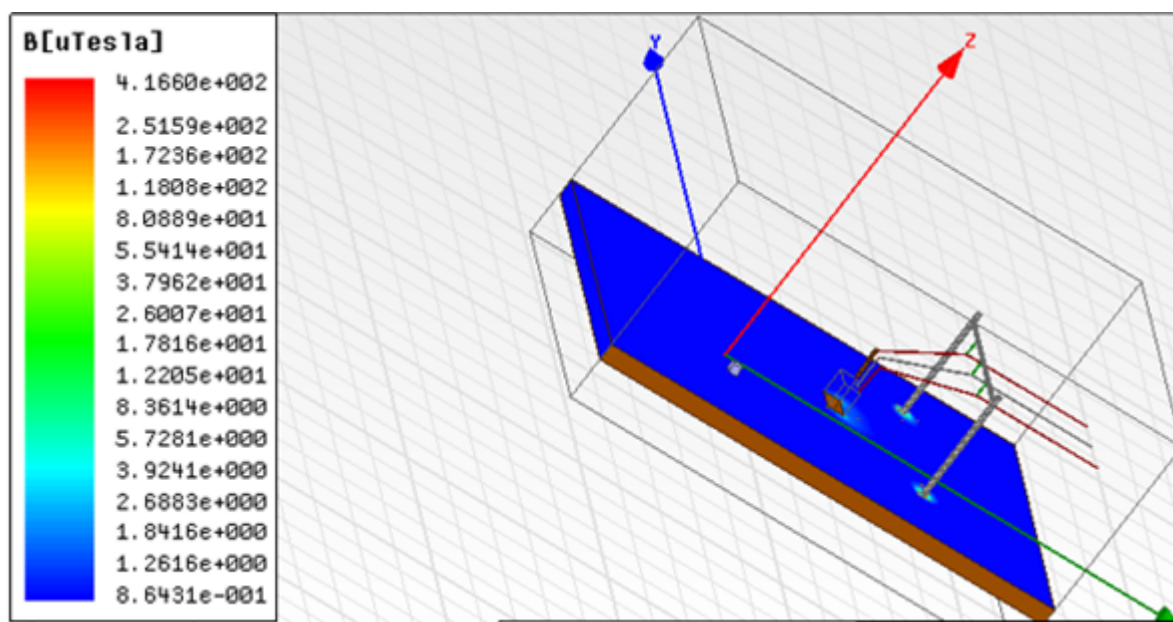
Observando a Figura 18 é possível observar que o campo elétrico fica mais intenso a medida que se aproxima dos cabos do barramento. Porém mesmo no ponto de maior intensidade do campo o valor não ultrapassou o valor estipulado pela ICNIRP e pela IEEE.

4.2 CÁLCULO PARA O CAMPO MAGNÉTICO

A simulação do campo magnético pelo *software* levou o tempo de espera de 20 horas para obtenção dos resultados.

O espectro de atuação do campo magnético no espaço é mostrado na Figura 19. A escala de intensidade em função do espectro de cores é apresentada a direita da figura. A esquerda é apresentado o padrão de campo magnético do barramento obtido na simulação.

Figura 19: Cálculo do campo magnético



Fonte: Software ANSYS Maxwell

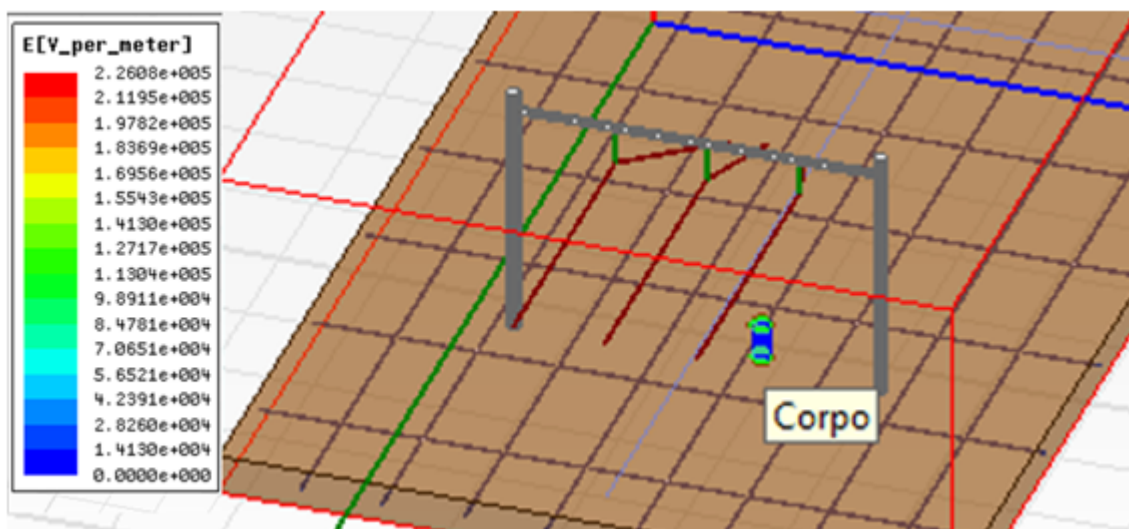
Nesta simulação foi possível observar que o espectro magnético está dentro dos valores especificados pelas normas ICNIRP e IEEE.

4.3 SIMULAÇÃO DOS CAMPOS NA PRESENÇA DE MATÉRIA ORGÂNICA.

Para essa simulação foi inserido no esquema um cilindro representando um corpo humano logo abaixo do barramento de 138kV. Ao cilindro foi atribuído o material *human-avg*.

Para a obtenção dos resultados foi necessário um tempo de espera de 6 horas. O espectro de atuação do campo elétrico sobre a matéria orgânica é mostrado na Figura 20.

Figura 20: Atuação do campo elétrico na presença de matéria orgânica

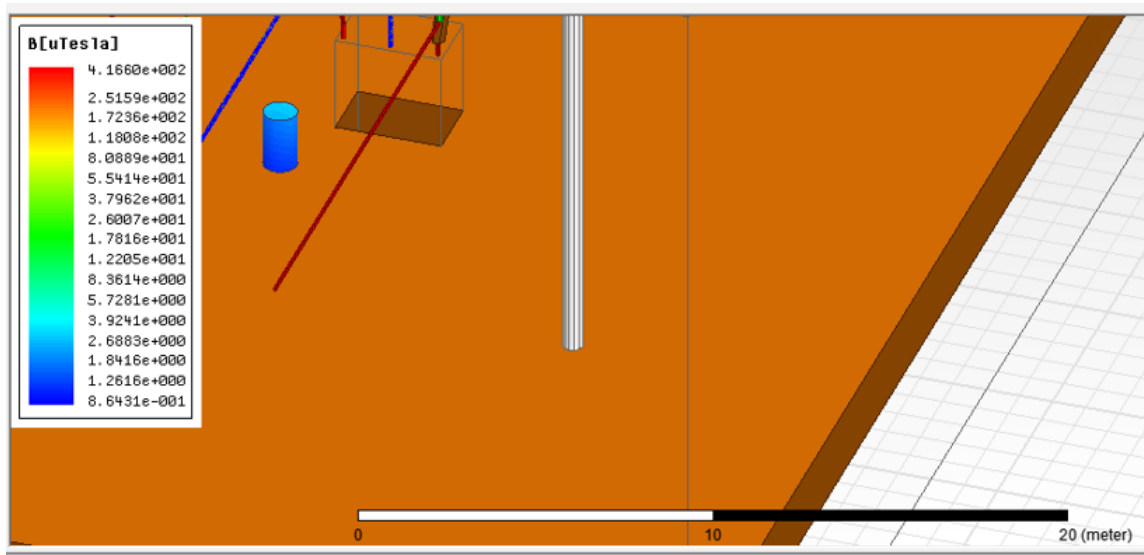


Fonte: Software ANSYS Maxwell

Nesta simulação foi possível observar que pelo menos dois níveis de intensidade de campo elétrico atuam sobre o corpo.

O mesmo esquema de simulação foi usado para a exposição do corpo ao campo magnético e o resultado é mostrado na Figura 21.

Figura 21: Atuação do campo magnético na presença de matéria orgânica



Fonte: Software ANSYS Maxwell

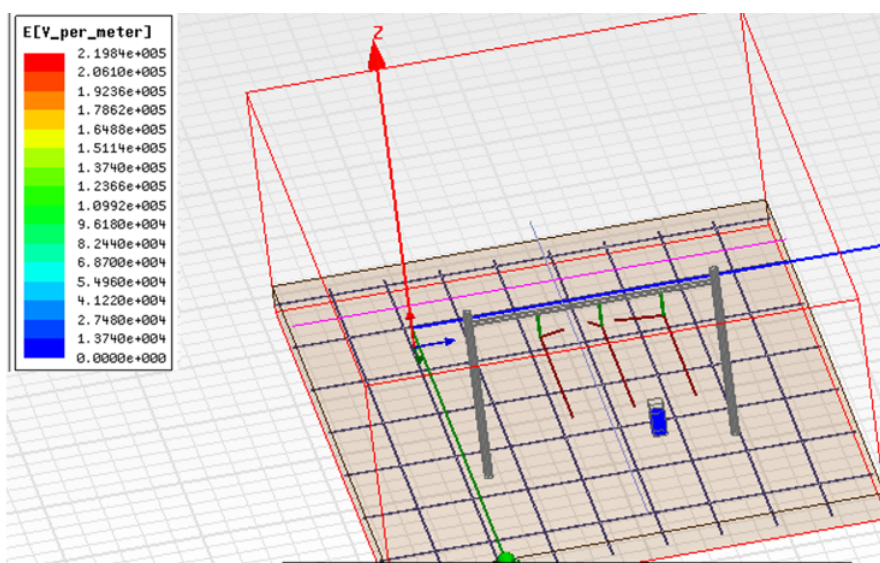
Observa-se que a intensidade do campo sobre o corpo vai aumentando à medida que se afasta do solo.

4.4 SIMULAÇÃO DOS CAMPOS NA PRESENÇA DE MATÉRIA ORGÂNICA ENVOLTAS EM BLINDAGEM.

Nesta etapa foi incorporado ao esquema de simulação uma blindagem sobre o corpo cilíndrico que consiste em um retângulo de cobre (*cooper*) que envolve toda a estrutura orgânica.

A Figura 22 mostra como foi o padrão do espectro de atuação do campo elétrico sobre matéria orgânica blindada.

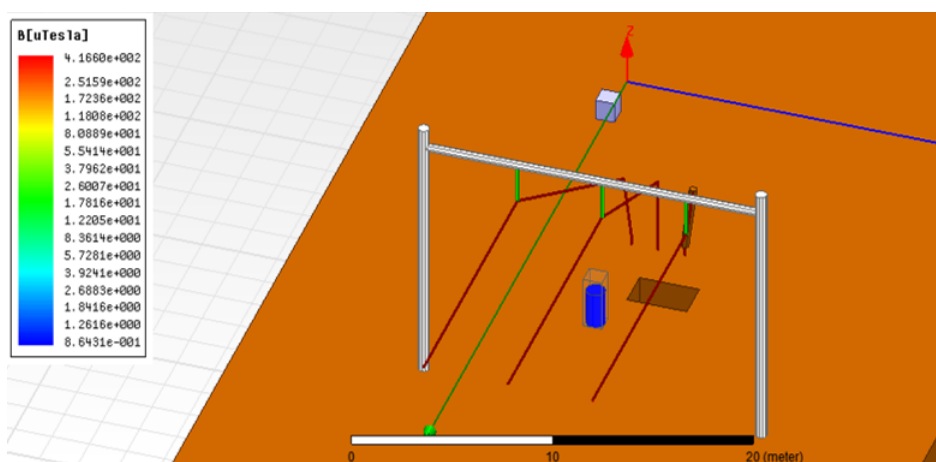
Figura 22: Simulação utilizando blindagem eletromagnética para o campo elétrico



Fonte: Software ANSYS Maxwell

Para o campo magnético o resultado da simulação é apresentado na Figura 23.

Figura 23: Simulação utilizando blindagem eletromagnética campo magnético



Fonte: Software ANSYS Maxwell

Nos dois casos apresentados na sessão 4.4 foi possível observar que a blindagem de cobre foi capaz de atenuar a ação de ambos os campos (elétrico e magnético) sobre o corpo de

prova.

4.5 CONDIÇÕES CLÍNICAS DE OPERADORES DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Durante a confecção deste material, vários artigos e dissertações sobre doenças ligadas a operadores de algum setor do sistema elétrico foram consultada. As principais patologias em função do setor de trabalho foram apresentados na Tabela 3.

Nas simulações apresentadas no capítulo quatro deste trabalho bem como os resultados obtidos para simulações semelhantes apresentadas em outros trabalhos da área (SILVA, 2009; ESSI, 2016). Foi possível averiguar que os parâmetros observados para os espectros elétricos e magnéticos gerados nas simulações estão dentro dos limites estabelecidos pelas agências normativas ICNIRP e IEEE do setor.

Outro fato que chamou a atenção e foi a inspiração principal desse trabalho foi o número elevado de patologias sobre tecidos moles relatadas em outros trabalhos semelhantes (MATTOS et al, 2002; SOLLITTO, 2009) mesmo que os parâmetros do espectro eletromagnético estejam dentro dos padrões exigidos.

5 CONCLUSÃO

Com a análise do material teórico apresentado no capítulo três desse trabalho foi possível concluir que uma parcela dos profissionais do sistema elétrico sofrem de alguma patologia em tecidos moles, como câncer, leucemia e neoplasmas.

Conclui-se também que os campos elétricos e magnéticos gerados pelo barramento T2 da subestação estão dentro dos limites estabelecidos pelas normas da ICNIRP, IEEE e ANEEL. O que não descarta a possibilidade de que estes campos mesmo dentro dos padrões, possam ser causadores ou agravadores de algumas das patologias descritas no primeiro parágrafo desta conclusão.

Mediante as incertezas, mostrou-se neste trabalho que a crescente preocupação Mundial com os possíveis efeitos biológicos decorrentes da interação entre os seres humanos e os campos elétricos e magnéticos gerados por diversas fontes em seu cotidiano requerem que sejam propostas metodologias que possibilitem avaliar a segurança das pessoas à exposição aos campos.

Os resultados, para a simulação dos campos na presença de matéria orgânica envolta em blindagem apresentada nesse trabalho, aponta como uma possível solução precatória para atenuar a ação dos campos elétricos e magnéticos sobre os corpos, seria o uso de um equipamento de proteção individual. Nesse caso uma roupa, feita com um material que contenha cobre e níquel que se mostrou capaz de blindar os campos eletromagnéticos.

5.1 TRABALHOS FUTUROS.

Monitorar o estado clínico de profissionais do sistema elétrico que se propusessem a usar as armaduras de proteção contra campos elétricos e magnéticos feitas com um tecido misto de material anti-chama recoberto com cobre e níquel.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Plano de dados abertos 2016-2017: Linhas de Transmissão concedidas*. 2017a. 2 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191813/DDIG-2-1.pdf?b7e5ff1d-0d29-8570-682d-e06d337ae945>>. Acesso em: 14 de outubro 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Plano de dados abertos 2016-2017: Outorgas de geração*. 2017b. 3 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191504/DD-IG-1-9.pdf/3e662e41-795d-b1ef-7dfb-48ce2714bf25>>. Acesso em: 14 de outubro 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Regulação dos serviços de distribuição*. 2017c. Disponível: <<http://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao//asset-publisher/nHNpDfkNeRpN/content/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao/656827?inheritRedirect=false&direct=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fregulacao-dadistribuicao%3Fp-p-id%3D101-INSTANCE-nHNpDfkNeRpN%26p-p-lifecycle%3D0%26p-p-state%3Dnormal%26p-p-mode%3Dview%26p-p-col-id%3Dcolumn-2%26p-p-col-count%3D4>> . Acesso em: 13 de outubro 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Resolução Normativa N 398. 23 de março de 2010*. 10 p. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2013/097/resultado/resolucao-398atualizada-2014.pdf>>. Acesso em: 20 de fevereiro de 2017.

ANGUERA, M. G. *Exposição á 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. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5137/tde.../MariadasGracasAngueraCorrigida.pdf>. Acesso em: 25 de julho de 2017.

ANSYS. *ANSYS Maxwell*. Disponível em: <<http://www.ansys.com/products/electronics/ansys-maxwell>>. Acesso em : 12 de novembro 2017.

AQUILINO, M. M. *Estudo da incidência de campos eletromagnéticos de baixa frequência no interior de habitações na cidade de São Paulo*. 2005. 71 f. Dissertação (Mestrado em habilitação: planejamento e tecnologia) – Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://cassiopea.ipt.br/teses/2005HAB-Marcelo-Mello-Aquilino.pdf>>. Acesso em: 16 de agosto de 2016.

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.

BELARDO et al. *Exposição Humana a Campos Elétricos e Magnéticos Gerados por Instalações Elétricas 50 e 60 Hz*. p. 1-7, 2008. Disponível em: <<http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081117111935-41.pdf>>. Acesso em 2 de agosto de 2017.

BRASIL. Presidência da República. *Lei N 11.934, de 5 de maio de 2009*. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil03/ato2007-2010/2009/lei/11934.htm>>. Acesso em: 5 de setembro de 2017.

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. Disponível em: <<http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20090402112620-GIA%20-%202006.pdf>>. Acesso em: 10 de setembro 2017.

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. Disponível em: <<http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081120123500-GCQ09.pdf>>. Acesso em: 26 de julho de 2017.

ESSS. *Projetos de Subestações elétricas com base na resolução ANEEL 398*. Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/2016/10/projetos-de-subestacoes-eletricas-com-basena-resolucao-aneel-398/>>. Acesso em: 24 de fevereiro.

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

HUTNER JUNIOR, O. L. *Ondas Eletromagnéticas de alta frequência: Determinação do coeficiente de atenuação em sistemas construtivos de vedação*. 2015. 241 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <<http://www.prppg.ufpr.br/ppgecc/wpcontent/uploads/2016/files/dissertacoes/d0227.pdf>>. Acesso em 17 de Julho de 2017.

IEEE. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0–3 kHz*. New York, 2002. 42 p. Disponível em: <<http://www.sandiegocounty.gov/content/dam/sdc/pds/ceqa/Soitec-Documents/Final-EIR-Files/references/rcref/ch9.0/RTCrefappx/2014-12-19-IEEE2002.pdf>>. Acesso em: 5 de setembro de 2017.

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

magnetic fields (300 ghz). 1998. 34 f. Disponível em: <<http://www.icnirp.org/cms/load/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>>. Acesso em: 17 de agosto de 2017.

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

MATTOS, I. E. et al. *Padrão de mortalidade por câncer em trabalhadores eletricitários*. Rio de Janeiro p. 221-233. Jane/fev 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/csp/v18n1/8159.pdf>>. Acesso em: 24 de julho de 2017.

MENDES, P. G. *As linhas de Alta Tensão e Saúde Pública*. 2010. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59152/1/000143762.pdf>>. Acesso em: 15 de janeiro 2017.

MIRLISENNA, G. *Método de Elementos Finitos: o que é*. Disponível em: <<http://www.esss.com.br/blog/2016/01/metodo-dos-elementos-nitos-o-que-e/>>. Acesso em 25 de maio de 2017.

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. Disponível em: <<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/171M.PDF>>. Acesso em: 07 de fevereiro de 2017.

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. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-8D2KMG/640m-nopw.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 29 de setembro de 2017.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Estabelecendo um dialogo sobre riscos de campos eletromagnéticos*. Suíça, 2002. 64 p. Disponível em: <<http://www.who.int/peh-emf/publications/Risk-Portuguese.pdf>>. Acesso em 16 de agosto de 2017.

PATILHA, 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. Disponível em: <<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/Francieli-Carlim-Padilha.pdf>>. Acesso em 17 de julho de 2017.

PAULINO, J. O. S. *Radiações eletromagnéticas não ionizantes emitidas pelas antenas fixas de telefonia celular*. Departamento de engenharia elétrica da UFMG, 2001. 32 p. Apostila. Disponível em: <<http://www.higieneocupacional.com.br/download/antenas-celular-paulino.pdf>>. Acesso em 18 de julho de 2017.

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. Disponível em: <<https://>

fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571786474/CEMEBF%20saude%20publica%20e%20linhas%20de%20Alta%20Tensao.pdf>. Acesso em: 01 de março de 2017.

SAMBAQUI, A. B. K. , MARQUES, L. S. B. *Apostila de eletromagnetismo*. Joinville: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2010. 49 p.

SÃO PAULO. Secretária Municipal do Verde e do Meio Ambiente. *Portaria 80/05 – SVMA*. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios-juridicos/cadlem/integra.asp?alt=14102005P%20000802005SVMA>>. Acesso em: 12 de setembro de 2017.

SILVA, D. C. M. *Campo magnético*. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/campo-magnetico.htm>>. Acesso em 20 de julho de 2017.

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. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001040.pdf>>. Acesso em: 15 fevereiro de 2017.

SOLLITTO, C. M. *Leucemias e proximidade de residência a linhas de energia elétrica na cidade de São Paulo*. 2009. 108 p. Tese de Doutorado - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/5/5160/tde-01062009-105119/pt-br.php>>. Acesso em: 18 de agosto de 2017.

THOMÉ. *Processo de imagens: O espectro eletromagnético*. Disponível em: <<http://equipe.nce.ufrj.br/thome/p-grad/nn-img/transp/c1-introd-v1b.pdf>>. Acesso em 20 de julho de 2017.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Extremely low frequency fields*. Spain, 2007. 517 p. Disponível em: <<http://www.who.int/peh-emf/publications/Comple-DEC-2007.pdf>>. Acesso em 17 de agosto de 2017.