

JOSÉ CARLOS MÁXIMO FRESSATTI

ESTUDO DA PROPOSTA DE NORMA "LIMITES PARA A
EXPOSIÇÃO A CAMPOS MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS
VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz)" - ABRICEM

SÃO PAULO

2010

EPMI
ESP/EST-2010
F893e

JOSÉ CARLOS MÁXIMO FRESSATTI

ESTUDO DA PROPOSTA DE NORMA “LIMITES PARA A
EXPOSIÇÃO A CAMPOS MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS
VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz)” - ABRICEM

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialização em Engenharia de
Segurança do Trabalho.

SÃO PAULO
2010

JOSÉ CARLOS MÁXIMO FRESSATTI

ESTUDO DA PROPOSTA DE NORMA "LIMITES PARA A
EXPOSIÇÃO A CAMPOS MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS
VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz)" - ABRICEM

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Especialização em Engenharia de
Segurança do Trabalho.

SÃO PAULO

2010

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos os meus familiares.

AGRADECIMENTOS

À minha família pela paciência e ajuda financeira durante todo o curso, em especial aos meus queridos avôs que durante a realização deste trabalho foram ao encontro do nosso Senhor.

Aos amigos pelo estímulo constante ao desenvolvimento profissional e pessoal.

"Se não puder se destacar pelo talento, vença pelo esforço."

(Dave Weinbaum)

RESUMO

Nos últimos anos tivemos o avanço da tecnologia diante dos nossos olhos. O ambiente de trabalho, ruas, avenidas, residências cada vez mais possuem equipamentos elétricos com novas funcionalidades. Porém, o uso intensivo da eletricidade proporciona uma maior exposição aos humanos. Neste trabalho foi estudada a proposta de norma da ABRICEM analisando os limites de exposição aos campos elétricos e eletromagnéticos variáveis no tempo até uma frequência de 300 GHz, analisou os dados divulgados da Eletropaulo para campos magnéticos e eletromagnéticos que o público em geral está exposto e também apresentou valores de campos elétricos e magnéticos em alguns pontos da região central de São Paulo. O objetivo deste trabalho foi aprimorar os conhecimentos em um assunto pouco discutido, divulgar os limites de exposição aos campos elétricos e eletromagnéticos e despertar o interesse da sociedade acadêmica para futuras pesquisas. Tratando-se de um assunto polêmico e com poucos estudos realizados até o momento, houve dificuldades para encontrar dados e referências prejudicando o andamento do trabalho e impossibilitando tirar conclusões plausíveis. Porém, observou-se que existe um intenso incentivo às pesquisas sobre a exposição aos campos elétricos e eletromagnéticos. Com isso, os dados, as consequências e as reações divulgados pela ABRICEM poderão sofrer modificações alarmando a sociedade.

Palavras chave: Campos elétricos, campos magnéticos, campos eletromagnéticos, eletricidade, saúde, exposição elétrica, exposição magnética, exposição eletromagnética.

ABSTRACT

Over the last few years, the advancement of technology has been revealing before our eyes. Homes, streets and avenues and even at our workplace display electronic devices with even more functions. However, the continuous use of electricity means that humans are exposed on this work; the norm of ABRICEM was studied, analyzing the limits of exposition to magnetic and electromagnetic fields with time variables within a 300 GHz. frequency. Important data disclosed by Eletropaulo for general public exposition to magnetic and electromagnetic fields were analyzed. Values of magnetic and electric fields from the locations in Sao Paulo were also presented. The aim of this work has been to better the knowledge at an issue little discussed which simply is to make public the exposition limits of electric and electromagnetic fields to people and to make academics aware of future research. As it is a debatable issue and with little research being done at the moment, there has been difficulties to find data and references undermining the development of the study thus making it hard to draw plausible conclusions. But then it has been noted a strong motivation to research and study those fields. And with that ABRICEM may alter data which may alarm the public.

Key words: electric fields, magnetic fields, electromagnetic fields, electricity, health, electricity exposition, magnetic exposition, electromagnetic exposition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1- Campos Elétricos gerados pelas cargas $+Q$ e $-Q$, a uma distância d da carga de prova q .	17
Figura 2-2 - Campo Elétrico Uniforme em placas paralelas	18
Figura 2-3- Campo Magnético para um condutor com corrente elétrica I .	19
Figura 2-4 - "Regra da Mão Direita" - Campo Magnético (B), Corrente Elétrica (I), Força Magnética (F).	19
Figura 2-5 - Circulação das correntes elétricas pelo corpo humano.	28
Figura 2-6 - Níveis de Referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo.	38
Figura 2-7 - Níveis de Referência para exposição a campos magnéticos variáveis no tempo.	39
Figura 2-8 - Exposição a campos magnéticos em residências.	41
Figura 2-9- Configuração da Linha de Transmissão de Energia Elétrica.	43
Figura 2-10 - Valores de Campos Elétricos e Magnéticos em função da distância	43
Figura 2-11 - Níveis médios de exposição a campos elétricos e magnéticos no setor Eletropaulo.	45
Figura 2-12- Relação dos sintomas em função da distância das torres de celulares	50
Figura 2-13 - Efeitos Adversos em Humanos em relação à Densidade de Potência Elétrica.	51
Figura 2-14 - Penetração da radiação de celulares no crânio	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 - Grandezas Elétricas, Eletromagnéticas, dosimétricas e unidades S.I.	23
Tabela 2-2 - Faixas de Limiares de Correntes para efeitos indiretos.....	32
Tabela 2-3 - Restrições Básicas para campos elétricos e magnéticos, variados no tempo até 10 GHz.....	35
Tabela 2-4 - Restrições básicas para densidade de potência, nas frequências de 10 a 300 GHz.....	36
Tabela 2-5 - Níveis de Referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo - Valores Eficazes mas não perturbados.....	37
Tabela 2-6 - Níveis de Referência para exposição do público em geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo - Valores Eficazes mas não perturbados.....	38
Tabela 2-7 - Níveis de Referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato com objetos condutores.	40
Tabela 2-8 - Níveis de referência para correntes induzidas em qualquer membro à frequência entre 10 MHz e 110 MHz.	40
Tabela 2-9 - Valores limites de exposição aos campos elétricos e magnéticos para o público em geral	41
Tabela 2-10 - Níveis típicos de campo eletromagnético - Eletrodomésticos.....	42
Tabela 2-11 - Exposição a campos elétricos e magnéticos para Linhas de Subtransmissão	44
Tabela 2-12 - Exposição a campos elétricos e magnéticos para Circuitos de Distribuição	44
Tabela 2-13 - Exposição a CEM para subestações	45
Tabela 2-14 - Valores urbanos medidos para exposição a campos elétricos	46
Tabela 2-15 - Exposição a campos elétricos e magnéticos no sistema elétrico de potência	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2-1 - Campo elétrico	17
Equação 2-2 - Módulo da Força Elétrica entra as cargas Q e q distanciadas de d	18
Equação 2-3 - Relação da Densidade de Fluxo Magnético com Campo Magnético	22
Equação 2-4 - Densidade de Potência Magnética no Modelo de onda Plana	23
Equação 2-5 - Densidade de Corrente em relação ao Campo Elétrico	24
Equação 2-6 - Intensidade da Corrente Elétrica induzida para campo senoidal na cabeça.	36

LISTA DE SIGLAS

ICNIRP	International Commission on Non-ionizing Radiation Protection
OMS	Organização Mundial da Saúde
SAR	Taxa de absorção específica
ABRICEM	Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPRI	Electric Power Research Institute – United States

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	14
1.1 – OBJETIVO	14
1.2 – JUSTIFICATIVA.....	14
2- DESENVOLVIMENTO	16
2.1 - HISTÓRIA DA ELETRICIDADE	16
2.2 - CAMPOS ELÉTRICOS	17
2.3 – CAMPOS MAGNÉTICOS.....	19
2.4 – ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE NORMA – LIMITES PARA A EXPOSIÇÃO A CAMPOS MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz).	20
2.4.1 – OBJETIVO DA NORMA.....	20
2.4.2 – ORIENTAÇÕES.....	21
2.4.3 – GRANDEZAS E UNIDADES RELACIONADAS.....	22
2.4.4 – QUANTIDADES DOSIMÉTRICAS.....	24
2.4.5 – LIMITADORES DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS.....	24
2.4.6 – EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS.	27
2.4.7 – DIRETRIZES PARA LIMITAR A EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS.....	33
2.4.8 – RESTRIÇÕES BÁSICAS.....	34
2.4.9 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA.....	36
2.4.10 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA CORRENTES DE CONTATO E INDUZIDAS.....	39
2.4.11 – EXPOSIÇÃO SIMULTÂNEA A CAMPOS DE FREQUÊNCIA MÚLTIPLAS.....	40

2.5 - NÍVEIS TÍPICOS DE EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS NO SISTEMA ELÉTRICO.....	41
2.6 - NÍVEIS EXPERIMENTAIS DE EXPOSIÇÃO A CEM.....	46
2.7 - EFEITOS DA EXPOSIÇÃO DE CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS NA SAÚDE HUMANA.....	47
3- DISCUSSÃO	52
4- CONCLUSÃO	54
5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

LISTA DE SÍMBOLOS

E	Campo Elétrico;
H	Campo Magnético;
σ	Condutividade Elétrica;
f	Freqüência dos campos elétricos e ou magnéticos;
v	Velocidade Instantânea da partícula;
q	Carga Elétrica fundamental da partícula;
F_e	Força Elétrica;
F_m	Força Magnética;
μ	Permeabilidade magnética;
ϵ	Permissividade do meio;
B	Densidade de Fluxo magnético;
J_i	Densidade de corrente, na freqüência i;
SAR_i	Taxa de Absorção Específica causada por exposição, na freqüência i;
SAR_L	Limite da SAR;
S_L	Limite de densidade de potência;
S_i	Densidade de potência na freqüência i;
E_i	Intensidade de campo elétrico na freqüência i;

I_L Corrente no membro;

I_c Corrente de contato;

1- INTRODUÇÃO

Pelo desenvolvimento da tecnologia, vários benefícios são atribuídos aos sofisticados equipamentos industrializados.

Indústrias cada vez mais demonstram e provam que seus equipamentos apenas dão melhorias de produção, rentabilidade, geram economias, são auto-sustentáveis, não poluem o meio ambiente e não causam anomalias ou interferem na vida dos trabalhadores. Mas a maioria das informações negativas do setor industrial ficam escondidas e concentram-se nas mãos de poucos.

Este trabalho destina-se a orientar e apresentar alguns fatores e dados científicos sobre a interferência de campos elétricos e magnéticos na saúde humana, as consequências das exposições a estes campos, os níveis de referências, apresentar o projeto de norma estudado pela ABRICEM – Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética, e discutir alguns estudos realizados sobre a exposição a campos elétricos e magnéticos.

1.1 – OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo ampliar os conhecimentos sobre interferências de campos elétricos e magnéticos, difundir, ressaltar e apresentar os níveis limites de exposição adotados pela ABRICEM no projeto de norma de 2004 e gerar maiores dúvidas para a sociedade acadêmica despertando a curiosidade e para pesquisas posteriores.

1.2 – JUSTIFICATIVA

Na busca de maiores detalhes e visando um aprimoramento pessoal sobre interferências e exposição a campos elétricos e magnéticos viu-se a necessidade de difundir o projeto de norma e analisar os níveis de exposição pré estipulados

pela ABRICEM, salientando os efeitos colaterais e consequências da exposição aos campos elétricos e magnéticos.

2- DESENVOLVIMENTO

2.1 - HISTÓRIA DA ELETRICIDADE

Segundo Oka, Maurício Massazumi em seu livro "A História da Eletricidade", a eletricidade é um fenômeno físico observado desde a antiguidade pelas primeiras civilizações. Tem-se o registro que Thales de Miletus, no ano de 600 a.c., já tinha o conhecimento que ao esfregar âmbar (resina fóssil usada na confecção de artigos ornamentais) e pedaços de lã acontecia a atração de pequenos pedaços de palhas. Por este relato, alguns conceituados cientistas dão a origem do estudo da eletricidade durante o desenvolvimento da sociedade grega. Também tem a origem da palavra elétron, partícula subatômica e de carga negativa que circunda o núcleo do átomo e é responsável pela criação de campos elétricos e magnéticos, que do grego significa âmbar.

Oka, Maurício também afirmou que durante a antiguidade vários povos não tinham o conceito de eletricidade, não conheciam e nem dominavam as propriedades elétricas dos materiais, mas em 250 a.c. supõe-se que encontraram objetos no Iraque supostamente designando a funcionalidade de uma bateria.

A relação da eletricidade e campos eletromagnéticos só foi observada no século XVI pelo cientista Willian Gilbert que descreveu as propriedades de campos magnéticos. A partir do século XVI a eletricidade e o magnetismo começam a ser estudados por grandes pesquisadores, físicos e cientistas, aprimorando as teorias e construindo formulações para futuras gerações.

Foram muitas descobertas e invenções que a comunidade científica obteve durante a história da humanidade, dentre elas vale ressaltar os estudos de Benjamin Franklin que inventou o pára-raios em 1.752, James Clerk Maxwell que formulou e unificou as principais equações do eletromagnetismo ficando conhecido mundialmente pelas quatro equações de Maxwell.

A revolução da eletricidade começou após Maxwell e prevalece até os dias de hoje, agregando benefícios à sociedade, porém causando alguns efeitos colaterais.

2.2 - CAMPOS ELÉTRICOS

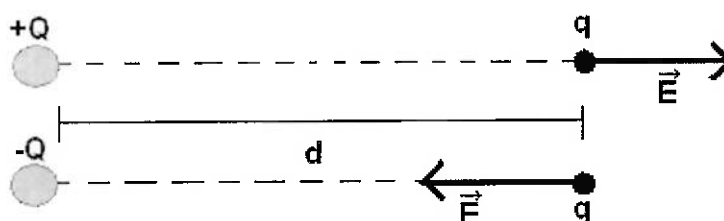
Basicamente um campo elétrico é formado pela área de influência das cargas elétricas. Estas cargas podem estar distribuídas de várias formas e concentrações, podendo assim formar áreas de influências de vários formatos e amplitudes.

O campo elétrico é uma grandeza vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido, representado por um vetor. Numericamente, o campo elétrico é dado pela relação entre força elétrica e uma carga de prova, e a unidade no Sistema internacional é Newton por Coulomb (N/C).

$$E = \frac{F_e}{|q|}$$

Equação 2-1 - Campo elétrico

O vetor campo elétrico pode ser visualizado na figura 2-1, onde uma carga de prova q é colocada próxima a cargas elétricas positivas ($+Q$) e negativas ($-Q$), resultando em campos elétricos com orientações distintas.



Fonte: < http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e0/Campo_eletrico.PNG/350px-
> Acesso em: 06 maio 2010.

Figura 2-1- Campos Elétricos gerados pelas cargas $+Q$ e $-Q$, a uma distância d da carga de prova q .

A orientação do campo elétrico sempre será das cargas elétricas positivas para as cargas elétricas negativas.

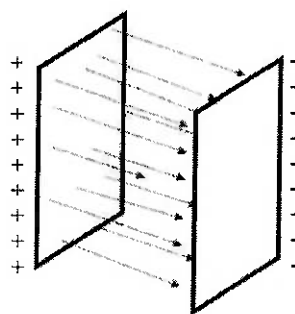
Para o cálculo do módulo da força elétrica F produzida pelas cargas usa-se a Lei de Coulomb dada por:

$$|F_e| = \frac{K \cdot |Q| \cdot |q|}{d^2}$$

Equação 2-2 - Módulo da Força Elétrica entre as cargas Q e q distanciadas de d

A complexidade do cálculo dos campos elétricos dá-se pela forma com que as cargas elétricas estão distribuídas e se encontram pela superfície estudada. Com isso, os campos elétricos podem ser uniformes, formados por cargas e distribuição uniformes ou não uniformes, formados por diversos tipos de distribuição de cargas em várias superfícies distintas.

O melhor exemplo de um campo elétrico uniforme é o campo formado por duas placas carregadas com distribuição uniforme de cargas elétricas, como mostrado na figura 2-2.



Fonte:< <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/5a/Km123.jpg/200px-Km123.jpg>
> Acesso em: 06 maio 2010.

Figura 2-2 - Campo Elétrico Uniforme em placas paralelas

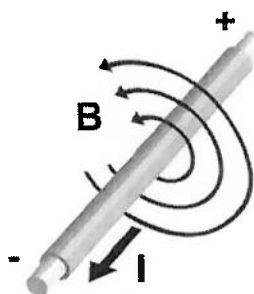
As linhas que saem da placa carregada positivamente e seguem para a placa carregada negativamente na figura 2-2 são denominadas linhas de campo e simbolizam a direção do campo elétrico. Estas linhas obrigatoriamente saem das cargas positivas e vão até as cargas negativas, são tangenciadas pelo campo elétrico, nunca cruzam umas com as outras. A intensidade do campo elétrico é proporcional à concentração de cargas elétricas, simbolicamente, pode-se afirmar que quanto maior a concentração das linhas de campo, maior o módulo do campo elétrico.

2.3 – CAMPOS MAGNÉTICOS

Um campo magnético nada mais é do que cargas elétricas em movimento. Algumas propriedades de campos elétricos e magnéticos são semelhantes, pois são grandezas vetoriais.

Semelhantemente as linhas de campos elétricos, para campos magnéticos têm-se a formação de linhas de campos magnéticos, estas linhas são sempre fechadas e ortogonais ao movimento das cargas elétricas.

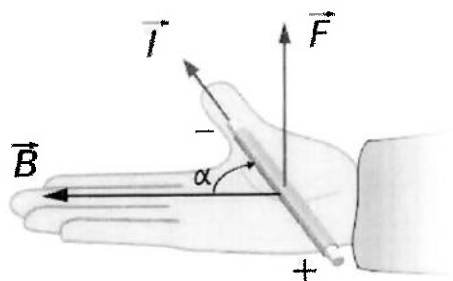
No caso do campo magnético das linhas de transmissão de energia elétrica, as linhas de campo magnético podem ser observadas na figura 2-3.



Fonte: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/91/Electromagnetism.svg/200px-Electromagnetism.svg.png>> Acesso em: 06 maio 2010.

Figura 2-3- Campo Magnético para um condutor com corrente elétrica I

Também existe o aparecimento de uma força magnética, conhecida como força de Lorentz, com direção determinada pela “Regra da mão Direita”, como na figura 2-4.



Fonte: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6a/Regla_mano_derecha_Laplace.svg/250px-Regla_mano_derecha_Laplace.svg.png> Acesso em: 06 maio 2010.

Figura 2-4 - "Regra da Mão Direita" - Campo Magnético (B), Corrente Elétrica (I), Força Magnética (F)

Observa-se que a força magnética é sempre ortogonal à corrente elétrica e a intensidade do campo magnético.

2.4 – ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DO PROJETO DE NORMA – LIMITES PARA A EXPOSIÇÃO A CAMPOS MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz).

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) juntamente com outros órgãos normativos e empresariais vem estudando a implantação de uma norma específica para estabelecer os limites de exposição a campos elétricos e magnéticos para seres humanos no ambiente de trabalho. Este projeto de norma, ainda não publicado oficialmente, tem como principal objetivo estabelecer os limites de exposição a estes campos.

Praticamente todas as restrições e limites de exposição citada no projeto de norma elaborada pela ABRICEM, foram baseados e tidos como referência de dados científicos e estudos publicados por "Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)" em Health Physics, volume 74, n.4, páginas 494 a 522, de Abril de 1998.

2.4.1 – OBJETIVO DA NORMA.

Este projeto de norma tem como principal objetivo estabelecer limites de exposição dos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos para proteger e diminuir os efeitos colaterais adversos reconhecidos pela sociedade científica. Para melhor distinguir os tipos de efeitos e como estes se comportam nos seres humanos, estabeleceu-se o efeito adverso como a causa de um prejuízo à saúde quando um indivíduo é exposto ou até mesmo aos efeitos causados geneticamente aos seus descendentes. Já efeito biológico poderá resultar em um efeito adverso à saúde, dependendo da forma e do desenvolvimento dos sintomas apresentados pelo indivíduo.

2.4.2 – ORIENTAÇÕES.

Para melhor orientar e estabelecer limites de exposição, a ABRICEM desenvolveu o projeto de norma: "LIMITES PARA A EXPOSIÇÃO A CAMPOS MAGNÉTICOS E ELETROMAGNÉTICOS VARIÁVEIS NO TEMPO (ATÉ 300 GHz)", estabeleceu critérios e definiu dois tipos de orientações:

- **Restrições Básicas:** com efeitos basicamente na saúde dos indivíduos causados pela exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos. Com variações na frequência dos campos, as grandezas monitoradas nesta exposição são basicamente: Densidade de Corrente (J), Taxa de Absorção Específica (SAR) e Densidade de Potência (S) no ar, próximo ao indivíduo exposto.

- **Níveis de Referência:** estes níveis monitoram se as exposições dos indivíduos ultrapassaram as restrições básicas. Estes níveis de referência foram baseados em algumas restrições básicas e em estudos computacionais observando os efeitos nocivos indiretos causados pelos campos. As grandezas físicas monitoradas e derivadas desta exposição são: Campo elétrico (E), campo magnético (H), densidade de fluxo magnético (B), densidade de potência (S) e correntes que percorrem os membros (I_L).

Também existem outras grandezas físicas que podem ser observadas e monitoradas para estabelecer critérios e colher conclusões sobre os efeitos nocivos à exposição aos campos eletromagnéticos e outros efeitos indiretos. São eles: Corrente de Contato para campos pulsados (I_c), absorção específica (SA).

Obedecendo aos níveis de referência significa que as restrições básicas também estão satisfeitas, mas quando os níveis de referência forem ultrapassados não significa basicamente que as restrições básicas foram excedidas. Portanto, toda vez que os valores de referência forem ultrapassados, deve analisar se as restrições básicas foram atendidas e avaliar a necessidade de um maior número de medidas de proteção.

2.4.3 – GRANDEZAS E UNIDADES RELACIONADAS.

De acordo com a introdução de campos elétricos e magnéticos feita anteriormente, Apresentaremos a seguir um resumo das grandezas e unidades dos campos elétricos e magnéticos para melhor compreensão e entendimento dos níveis de exposição adotados pelo projeto de norma.

Sabe-se que campos elétricos (E) exercem forças sobre uma carga elétrica e são quantificados em volt por metro ($V.m^{-1}$).

Quando cargas elétricas estão em movimento, campos magnéticos exercem forças sobre elas, possuindo uma amplitude, direção e sentido. Um campo magnético pode ser identificado e quantificado por duas maneiras distintas, uma através da densidade de fluxo magnético (B) quantificado por Tesla (T), e outra como campo magnético (H), quantificado por Ampère por metro ($A.m^{-1}$). Relacionando densidade de fluxo magnético e campo magnético pela fórmula:

$$B = \mu . H$$

Equação 2-3 - Relação da Densidade de Fluxo Magnético com Campo Magnético

Onde μ é a constante de proporcionalidade (permeabilidade magnética), no vácuo, no ar, em meios biológicos e em matérias não magnéticos μ tem um valor constante de $4\pi 10^{-7}$, expresso em Henry por metro ($H.m^{-1}$).

Para melhor entendimento e facilidade na compreensão da influência dos campos elétricos e magnéticos, chegou-se a conclusão que para uma região de campo distante, a aproximação para um modelo de onda plana seria suficientemente adequado. Mas, para isto precisou-se definir as características de uma onda plana como sendo:

- frentes de onda possuir geometria plana;
- os vetores de campo elétrico (E), campo magnético (H) e a direção de propagação devem ser mutuamente perpendiculares;
- a fase dos campos elétricos (E) e magnéticos (H) serão a mesma, possuindo uma constante no quociente de E por H no valor de 377 ohms, sendo este o valor da impedância característica do espaço livre;
- a densidade de Potência(S), portanto será relacionada pela expressão:

$$S = E \cdot H = \frac{E^2}{377} = 377 \cdot H^2$$

Equação 2-4 - Densidade de Potência Magnética no Modelo de onda Plana

Já para situações em que os campos elétricos e magnéticos não estão totalmente definidos e sofrem grandes interferências entre si, não há regiões onde os campos E e H são perpendiculares à direção de propagação, tendo assim lugares predominantemente dominados por campos elétricos e outros lugares dominados por campos magnéticos, fazendo com que o valor da impedância característica do espaço livre sofra variações em seu módulo (377 ohms), não sendo possível a aproximação para um modelo de onda plana.

Logo, para exposição de campos próximos tem-se que medir os campos elétricos e magnéticos separadamente e somar as influências levando em consideração a absorção específica do indivíduo em análise.

A seguir tem-se uma tabela resumo de todas as grandezas elétricas e magnéticas bem como as unidades correspondentes no Sistema Internacional (SI) para facilitar o entendimento.

Tabela 2-1 - Grandezas Elétricas, Eletromagnéticas, dosimétricas e unidades S.I.

<i>Grandezas</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Unidade</i>
Condutividade	σ	Siemens por metro (S.m ⁻¹)
Corrente	I	Ampère (A)
Densidade de Corrente	J	Ampère por metro (A.m ⁻¹)
Frequência	f	Hertz (Hz)
Campo Elétrico	E	Volt por metro (V.m ⁻¹)
Campo Magnético	H	Ampère por metro (A.m ⁻¹)
Densidade de Fluxo Magnético	B	Tesla (T)
Permeabilidade Magnética	μ	Henry por metro (H.m ⁻¹)
Permissividade	ϵ	Faraday por metro (F.m ⁻¹)
Densidade de Potência	S	Watt por metro quadrado (W.m ⁻²)
Absorção Específica	SA	Joule por quilograma (J.Kg ⁻¹)
Taxa de Absorção Específica	SAR	Watt por quilograma (W.Kg ⁻¹)

Fonte: ABRICEM – 2000.

A exposição a campos elétricos e magnéticos com variações no tempo causa basicamente o aquecimento interno do corpo do indivíduo pela absorção de energia e o surgimento de pequenas correntes elétricas. O campo elétrico internamente ao corpo do indivíduo e a densidade de corrente elétrica pode ser facilmente relacionados pela Lei de Ohm, dada por:

$$J = \sigma . E$$

Equação 2-5 - Densidade de Corrente em relação ao Campo Elétrico

2.4.4 – QUANTIDADES DOSIMÉTRICAS.

Para diferentes formas de ondas e frequência, o projeto de norma estudado pela ABRICEM estabeleceu quantidades dosimétricas para os seguintes itens:

- Densidade de Corrente (J), frequência até 10 MHz;
- Corrente Elétrica (I), frequência até 110 Mhz;
- Taxa de Absorção Específica (SA), faixa de frequência de 100 kHz a 10 GHz;
- Absorção Específica (SAR), faixa de frequência de 300 kHz a 10 GHz; e
- Densidade de Potência (S), faixa de frequência de 10 GHz a 300 GHz.

A faixa de frequência entre 0 e 300 GHz foi até o momento a mais estudada, apresentando valores dosimétricos de exposição preocupantes para cientistas e órgãos públicos.

2.4.5 – LIMITADORES DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS.

Em capítulos futuros, este trabalho listará quais os efeitos causados pela exposição aos campos elétricos e magnéticos sofridos pelos trabalhadores e a sociedade nos dias de hoje. Os maiores efeitos colaterais são observados a longo prazo, mas, de acordo com o método ou mecanismo de acoplamento entre os campos e o corpo humano, pode-se observar reações a curto e médio prazo.

As reações de curto prazo mais observadas são: estimulação dos nervos periféricos e músculos, queimaduras e choques entre objetos condutores e seres expostos, aumento de temperatura dos tecidos periféricos. Todas estas reações devem-se basicamente ao acúmulo de energia absorvida pelo corpo durante a exposição aos campos elétricos e magnéticos.

Para melhor entender as reações causadas pela exposição, a sociedade científica estabeleceu três principais métodos de acoplamento entre campos elétricos e magnéticos. Estes acoplamentos são divididos em:

- Acoplamento a campos elétricos de baixa frequência;
- Acoplamento a campos magnéticos de baixa frequência;
- Absorção de energia de campos eletromagnéticos.

2.4.5.1 – Acoplamento a campos elétricos de baixa frequência.

Sabe-se de teorias físicas que campos elétricos com variação no tempo induzem um fluxo de cargas elétricas, conhecido por corrente elétrica. Quando esta corrente elétrica circula por um meio material, matéria viva ou morta, tem a formação de dipolos elétricos. Estes dipolos elétricos reorganizam e reorientam os dipolos existentes nas células vivas formando superficialmente uma corrente elétrica. A amplitude desta corrente elétrica induzida varia quantitativamente com a condutividade e a permissividade elétrica do meio, bem como a posição, forma e intensidade do campo elétrico no qual o ser está exposto.

2.4.5.2 – Acoplamento a campos magnéticos de baixa frequência.

A exposição a campos magnéticos resultam em reações semelhantes a dos campos elétricos. Primeiramente dá-se a formação de campos elétricos induzidos originando correntes elétricas induzidas. Os campos e correntes elétricas induzidas no corpo humano variam quantitativamente com o caminho fechado analisado, condutividade elétrica do ser vivo, amplitude da densidade do fluxo magnético e taxa de variação do campo magnético. Analisando fisicamente a corrente elétrica induzida, tem-se que a amplitude e o caminho dependem diretamente da condutividade elétrica do tecido.

Por outro lado, como mencionado pela ABRICEM, o corpo humano não possui as mesmas propriedades elétricas em todos os trechos, com isso, o uso de modelos computacionais de alto grau de precisão os cientistas conseguem

simular anatomicamente os percursos e amplitudes dos campos e correntes elétricas induzidas.

2.4.5.3– Absorção de energia de campos eletromagnéticos.

O problema de absorção de energia se dá para campos de altas frequências, geralmente acima de 100 kHz, com aumento de temperatura superficial e acúmulo de energia não uniforme no interior do corpo, com necessitando de cálculos e análises dosimétricas por especialistas para avaliar as consequências. O corpo humano reage de maneira distinta para valores diferentes de campos eletromagnéticos, desta forma subdividiu-se em quatro faixas para melhor exemplificar e analisar as influências:

- Frequências de 100 kHz a 20 MHz, absorção decrescente do tronco para baixo com a declividade da frequência do campo eletromagnético, absorção de energia no pescoço e nas pernas;
- Frequências de 20 MHz a 300 MHz, absorção consideravelmente alta em todas as partes do corpo e valores elevados na cabeça para ressonâncias magnéticas;
- Frequências de 300 MHz a vários GHz, absorção significativamente em área local de atuação do campo, mas não uniformemente no corpo inteiro;
- Frequências acima de 10 GHz, absorção de energia pelo corpo superficialmente.

A taxa de absorção específica – SAR alcança valores máximos quando o vetor do campo elétrico está paralelo ao eixo do corpo humano considerando exposições de onda plana. Também sabe-se que a quantidade de energia absorvida pelo indivíduo é proporcional ao tamanho do corpo. Considerando um indivíduo padrão de referência pela ICRP 1994, sem aterramento deste, possui uma frequência ressonante de absorção próximo de 70 MHz, analisando adultos mais altos que a referência tem-se frequências de absorção menores, já em crianças, adolescentes e pessoas mais baixas, a frequência de ressonância aproxima-se de 100 MHz podendo até admitir valores superiores.

Para exposição de campos próximos à fonte emissora e acima de 10 MHz (aquecedores elétricos, telefones celulares, "walkie-talkies") a absorção de energia neste caso é totalmente diferente, podendo ter uma maior atuação do campo magnético sobre o campo elétrico, devendo ser analisados caso a caso. Cientistas e pesquisadores de todo o mundo sempre elaboram modelos numéricos para estudar a exposição a campos próximos da fonte emissora, na tentativa de desvendar as reações sobre os seres humanos. Através destes estudos sabe-se que a exposição a campos próximos da fonte emissora, produzidos por telefones móveis, torres de radiodifusão, equipamentos de comunicação de navios e aquecedores dielétricos resultam em valores elevados de taxa de absorção específica – SAR na região da cabeça, tornozelos e pulsos, já a SAR de corpo inteiro varia consideravelmente dependendo da distância em que o indivíduo se encontra em relação à fonte emissora.

Para estudar e solucionar problemas, a SAR calculada por modelos numéricos, SAR local e SAR de todo o corpo medidos são comparados chegando a valores próximos, portanto, para análises experimentais e estudos de caso, a SAR numericamente calculada pode ser usada sem grandes danos nos resultados e conclusões.

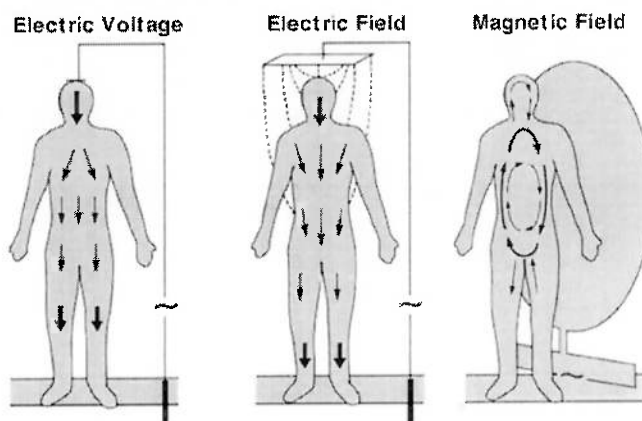
O maior problema para campos acima de 10 GHz é que a absorção de energia pelo corpo é muito superficial, logo, a SAR torna-se uma medida não exata, portanto a melhor maneira para conclusões de exposição a campos acima de 10 GHz é observar a dosimetria da densidade de potência do campo incidente (W.m^{-2}).

2.4.6 – EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS.

Uma das piores consequências da exposição a campos elétricos e magnéticos é a formação de correntes induzidas no corpo, gerando calor e prejudicando o funcionamento fisiológico. Observando a figura 2-5 tem-se a forma como estas correntes induzidas percorrem o trajeto do corpo humano.

Para uma diferença de potencial e corrente elétricas induzidas por campos elétricos a corrente elétrica induzida tem caminhos semelhantes, já para corrente induzidas por campos magnéticos, a corrente elétrica induzida percorre caminhos fechados no interior do corpo fazendo com que haja uma maior absorção de energia térmica.

THE PHYSICAL MECHANISM: INDUCTION OF ELECTRIC CURRENTS



THE HEALTH CRITERION: TO KEEP INDUCED CURRENT DENSITIES BELOW 10 mA/m²

Fonte: AES ELETROPAULO – Exposição Humana a campos Magnéticos e Elétricos gerados por instalações em 60 Hz, por José de Melo Camargo – São Paulo 2008.

Figura 2-5 - Circulação das correntes elétricas pelo corpo humano.

2.4.6.1 - EFEITOS DIRETOS DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS.

Pelo projeto de norma desenvolvido pela ABRICEM, são vários os efeitos na saúde humana quando há a exposição a campos elétricos e magnéticos. Sucintamente, pode-se dizer que os efeitos diretos destas exposições são: desenvolvimento do câncer da epiderme, dependendo do local, quantidade, tipo de exposição e outros fatores adversos, alto risco de surgimento de leucemia em crianças que residem próximos a linhas de transmissão. A discussão sobre o aparecimento da leucemia como consequência na exposição aos campos elétricos e magnéticos ainda é muito grande e não se sabe ao certo se esta afirmação é precisa devido a poucos artigos publicados até a presente data. Pesquisadores dos órgãos públicos noruegueses e alemães, juntamente com a

ICNIRP pesquisaram alguns casos de exposição a campos elétricos e magnéticos, pode-se citar que na Noruega cerca de 500 casos com crianças foram avaliados, calcularam a exposição aos campos elétricos e magnéticos no primeiro ano de vida dos bebês, não conseguiram nenhuma relação de leucemia com os campos elétricos e magnéticos produzidos pela linha de transmissão presente no local, contudo, estes noruegueses pesquisados foram um número pequeno para os pesquisadores tirarem uma conclusão plausível do assunto. Já na Alemanha, efetuaram estudos nos dormitórios das crianças, avaliando por vinte e quatro horas as magnitudes dos campos elétricos e magnéticos, tendo uma conclusão que o risco é relativamente alto, para campos superiores a 0,2 μT .

Com todas estas dúvidas, levantaram um questionamento sobre o aparecimento do câncer de cérebro em crianças causado pela exposição a campos magnéticos durante a infância.

O que se pode analisar até o momento sobre as doenças epidemiológicas, câncer e leucemia com os dados da Alemanha e Noruega é que faltam vários estudos experimentais para tirar uma conclusão objetiva destas exposições. Portanto, a ABRICEM – Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética e a ICNIRP – “International Non-Ionizing Radiation Committee”, identificam estes efeitos, mas, sem nenhum dado concreto, não concluem que a exposição aos campos elétricos e magnéticos causam estas doenças.

Através de outros estudiosos, como exemplo o pesquisador Millan em 1982, utilizou dados estatísticos de certidões de óbitos dos profissionais do setor elétrico, analisando a quantidade de trabalhadores que morreram com câncer. Analisando somente os óbitos destes trabalhadores, Millan não conseguiu tirar conclusões plausíveis sobre a relação do câncer e a exposição aos campos elétricos e magnéticos, então construiu uma classificação dos tipos de trabalhos e a exposição a campos magnéticos, identificando um maior risco ao aparecimento da leucemia no setor elétrico.

Outros pesquisadores também identificaram o risco elevado da leucemia para exposições a campos magnéticos, como exemplo citados pela ABRICEM tem-se Savitz e Loomis em 1.995, Floderus et al. em 1.993 e Theriault em 1.994. Estes

estudiosos tiveram pouco sucesso em suas pesquisas devido ao pequeno número de pessoas e pacientes analisados por eles.

Theriault também analisou trabalhadores de três concessionárias de energia elétrica, em uma das concessionárias encontrou a relação da exposição a campos elétricos e um número considerável de pacientes com leucemia. Já em outra concessionária, trabalhadores eram expostos durante seus trabalhos a campos elétricos e magnéticos de grande intensidade, também observou um alto número de leucemia. Analisando todos os trabalhadores, Theriault conseguiu juntamente com Guénel analisar o surgimento do câncer de cérebro e de colón. Apenas na terceira concessionária não tiveram conclusões isoladas devido a menor abrangência do estudo auxiliada por Baris em 1.996.

Os estudos em laboratórios são mais precisos e há resultados mais conclusivos, dando a possibilidade de conclusões mais objetivas. A maioria das pesquisas em laboratórios é feita com campos elétricos e magnéticos com freqüências abaixo de 100 kHz usando voluntários. Mesmo com estes estudos, existem conclusões distintas entre os experimentos feitos em laboratórios e os executados experimentalmente com voluntários.

Nos voluntários expostos a campos elétricos variados no tempo houve a indução de cargas elétricas superficialmente na pele, dando a impressão de pêlos arrepiados. A maioria das pessoas percebem campos elétricos com amplitude de 20 kV.m^{-1} com freqüências entre 50 e 60 Hz mas, pouquíssimas pessoas tem a sensibilidade a campos menores de 5 kV.m^{-1} , de acordo com estudos feitos por UNEP/WHO/IRPA de 1.984 e Tenforde em 1.991.

Outros efeitos com voluntários, citados no livro "Public Health SOS: The Shadow Side of the Wireless Revolution" e mencionados também pela ABRICEM são relacionados a seguir:

- Mudanças na função cardíaca na exposição de campos elétricos e magnéticos combinados de 60 Hz com intensidade de 9 kV.m^{-1} e $20 \text{ } \mu\text{T}$ respectivamente, havendo aumento de 3 a 5 batimentos cardíacos por minuto. Para exposição com amplitudes menores ou maiores, não houve alteração nos batimentos, a presença destes campos não foram detectadas pelos voluntários e

quando as pessoas eram avisadas que estavam sendo submetidas aos campos elétricos e magnéticos não sofriam nenhuma alteração cardíaca;

- Não observaram nenhuma alteração na composição química e na quantidade de células sanguíneas, nos níveis de lactato, em eletrocardiograma e eletro encefalograma, nos hormônios e na temperatura da pele;

- Estímulos musculares em regiões periféricas do corpo;

- Campos magnéticos que induzem correntes elétricas com densidade acima de 1 A.m^{-2} produzem efeitos biológicos e mentais irreversíveis. Exemplo destes efeitos é a fibrilação cardíaca;

- Alteração do raciocínio humano e sensações visuais oscilatórias quando estimulados por correntes induzidas de frequência entre 50 e 60 Hz;

- Transmissões elétricas entre os neurônios podem sofrer alterações com campos elétricos induzidos que não causam outras reações no corpo;

- Alterações nas propriedades estruturais e funcionais das membranas celulares quando expostas a campos elétricos induzidos com valor superior a 100 mV.m^{-1} ;

- Alterações neuroendócrinas (produção de melatonina) para exposição a campos elétricos induzidos de 10 mV.m^{-1} ;

- Alterações nas propriedades das membranas celulares, no transporte de íons, funções celulares básicas, crescimento das células e atividades enzimáticas;

Com todas estas alterações biológicas em seres humanos, cientistas ainda declaram não ter evidências concretas para declararem que a exposição aos campos elétricos e magnéticos de baixa frequência possa causar malfeitos na saúde de seres vivos.

Para campos elétricos induzidos superiores a 100 mV.m^{-1} e densidade de corrente elétrica superior a 100 mA.m^{-2} , os efeitos fisiológicos são claros e sucintamente tem-se a ocorrência de extrasístole cardíaca, tétano muscular, fibrilação ventricular além de falha respiratória. Estes efeitos são irreversíveis

quanto maior o grau de exposição a maiores amplitudes de campos e densidades de correntes elétricas induzidas. Porém não há informações concretas que estes campos causam mutação genética, alterações no DNA ou alguma alteração em cromossomos. Estas exposições não causam lesão inicial na estrutura dos cromossomos e não tem efeito direto no processo de formação de células cancerígenas, mas é relatado que podem ser um dos agentes promotores ou até mesmo iniciadores do processo de proliferação de células geneticamente modificadas com o surgimento dos tipos de cânceres.

Através destes estudos, criou-se um limite de exposição aos seres humanos, não ultrapassando o valor de 10 mA.m^{-2} em frequências até 1kHz para exposições na cabeça, pescoço e tronco.

2.4.6.2 - EFEITOS INDIRETOS DA EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS.

O principal efeito indireto da exposição aos campos elétricos e magnéticos pode ser resumido para frequências de 100 kHz a 110 MHz, com aparecimento de queimaduras e choques quando pessoas de potenciais elétricos diferentes tocam em objetos metálicos não aterrados. Foi estabelecido o valor de limite superior em 110 MHz (usado na radio fusão FM) pela falta de dados em frequências superiores. Para frequências entre 100 kHz e 1 MHz há a percepção dos humanos e a sensação de dor varia muito pouco.

Na tabela 2-2, tem-se um resumo representando a faixa de 50 percentil para humanos de tamanhos diferentes e vários níveis de sensibilidade para melhor entendimento.

Tabela 2-2 - Faixas de Limiares de Correntes para efeitos indiretos.

Efeito Indireto	Limiares de Corrente nas Frequências	
	100 kHz	1 MHz
Percepção ao Toque	25 – 40	25 – 40
Dor no dedo ao contato	33 – 55	28 – 50
Choque doloroso/Soltura	112 – 224	Não determinado
Choque grave/Alteração Respiração	160 - 320	Não Determinado

Fonte: ABRICEM – 2000.

2.4.7 – DIRETRIZES PARA LIMITAR A EXPOSIÇÃO A CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS.

2.4.7.1 – LIMITES PARA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E DO PÚBLICO EM GERAL.

O público ocupacional compreende trabalhadores treinados e capacitados que sabem dos riscos que estão submetidos e através de treinamentos, EPI's, EPC's e outros métodos de controle conseguem evitar ou diminuir os níveis de exposição e tomar medidas de controle para situações conhecidas e estudadas, já o público em geral é formado por todas as pessoas de todas as idades e situações distintas de saúde, não tendo nenhum preparo ou conhecimento da exposição aos campos elétricos e magnéticos que estão submetidos ou meios de evitar e se precaverem sobre esta exposição. Tendo estes públicos envolvidos, ocupacional e público geral, é que a ABRICEM e os órgãos mundiais estudaram níveis e taxas de exposição distintas para cada tipo de público.

2.4.7.2 – RESTRIÇÕES BÁSICAS E NÍVEIS DE REFERÊNCIA

As restrições básicas para efeitos adversos da exposição aos campos elétricos e magnéticos são fundamentadas em pesquisas e conclusões objetivas. Já os níveis de referência são valores para efetuar a comparação aos valores medidos e as restrições básicas. Se os valores medidos forem maiores que as restrições básicas, necessariamente os níveis de referência não foram ultrapassados, devendo analisar como um todo as taxas de absorção, densidades de corrente e outros fatores para concluir que as restrições foram ultrapassadas.

2.4.7.3 – FATORES DE SEGURANÇA – CONSIDERAÇÕES GERAIS.

Em 1.998, Repacholi declarou que não havia dados suficientemente adequados para fundamentar com certeza sobre os fatores de segurança em relação a exposição aos campos elétricos e magnéticos nos trabalhadores ou população em geral, além disso outras dúvidas apareciam a respeito da dosimetria adequada. Entretanto, consideraram-se alguns fatores de segurança para campos de alta frequência citados a seguir:

- Efeitos da exposição aos campos elétricos e magnéticos sob condições ambientais severas como temperaturas altas, pressão, combinações com outras radiações, etc. e combinações com outras atividades;
- Ingestão de medicamentos que comprometem a tolerância térmica, prejudicando pessoas sensíveis a variação de temperatura como idosos e crianças;
- Absorção de energia eletromagnética por diferentes tipos de pessoas com os mais variados tamanhos e orientações do campo ao qual estão submetidas;
- Os campos podem sofrer reflexão, focalização ou espalhamento fazendo com que os indivíduos absorvam mais energia proveniente destes campos de alta frequência.

2.4.8 – RESTRIÇÕES BÁSICAS

As restrições básicas feitas pelos órgãos internacionais e adotadas pela ABRICEM foram baseadas em estudos científicos e adotaram algumas faixas de frequência críticas para melhor esclarecer estas atribuições.

Para frequências entre 1 Hz e 100 MHz estabeleceu restrições básicas na densidade de corrente evitando os efeitos principalmente no sistema nervoso dos indivíduos.

Para frequências entre 100 kHz e 10 GHz, usou a taxa de absorção (SAR), evitando o stress causado pelo aquecimento do corpo inteiro, aquecimento

localizado em setores do corpo. Mas para as faixas entre 100 kHz e 10 MHz, as restrições são para a densidade de corrente e a SAR simultaneamente.

Para frequências entre 10 GHz e 300 GHz, usou a densidade de potência evitando aquecimento excessivo superficial dos tecidos externos (pele) do corpo.

Para frequências baixas entre 1 Hz e 1 kHz, a densidade de corrente superior a 100 mA.m^{-2} produz excitação no sistema nervoso central e efeitos agudos na visão do indivíduo.

Então a tabela 2-3 contém as restrições básicas para as densidades de corrente, taxa de absorção (SAR) de corpo inteiro e localizada, para as frequências de 1Hz a 10 GHz e a tabela apresenta as restrições de densidade de potência nas frequências de 10 a 300 GHz.

Tabela 2-3 - Restrições Básicas para campos elétricos e magnéticos, variados no tempo até 10 GHz

Exposição	Frequências	Densidade de Corrente Eficaz $[\text{mA.m}^{-2}]$ – Cabeça e Tronco	SAR Média de Corpo Inteiro $[\text{W.kg}^{-1}]$	SAR localizada – Cabeça e Tronco - $[\text{W.kg}^{-1}]$	SAR localizada – Membros - $[\text{W.kg}^{-1}]$
Ocupacional	Até 1 Hz	40	-	-	-
	1 – 4 Hz	40/f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	10	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/100	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/100	0,4	10	20
	10 MHz – 10 GHz	-	0,4	10	20
Público em Geral	Até 1 Hz	8	-	-	-
	1 – 4 Hz	8/f	-	-	-
	4 Hz – 1 kHz	2	-	-	-
	1 – 100 kHz	f/500	-	-	-
	100 kHz – 10 MHz	f/500	0,08	2	4
	10 MHz – 10 GHz	-	0,08	2	4

Fonte: ABRICEM – 2000.

Onde f, na tabela 2-3 tem a mesma unidade da frequência da coluna da esquerda dos campos envolvidos. Devido a não homogeneidade do corpo

humano, a ABRICEM orienta o cálculo da densidade de corrente elétrica através da média de uma superfície de seção transversal de 1cm^2 perpendicular à corrente elétrica.

Tem-se uma recomendação adicional da ABRICEM para exposição de campos pulsados com faixa de frequência de 0,3 a 10 GHz na região da cabeça, evitando a expansão termo elástica dos tímpanos.

Tabela 2-4 - Restrições básicas para densidade de potência, nas frequências de 10 a 300 GHz.

Características da exposição	Densidade de Potência [W.m^{-2}]
Ocupacional	50
Público em Geral	10

Fonte: ABRICEM – 2000.

2.4.9 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA.

Os níveis de referência são obtidos por cálculos e formulações matemáticas usando softwares e elaborados estudos para chegar em valores que realmente interferem na saúde dos indivíduos.

Porém, os modelos usados matematicamente consideram o corpo humano com condutividade elétrica homogênea e isotrópica, apenas caminhos de condução de corrente fechados e circulares, estimando as correntes induzidas em todas as partes do corpo. Com todas estas considerações, os cálculos se tornam mais simples, por outro lado, temos resultados mascarados e de difícil compreensão.

$$J = \pi \cdot R \cdot f \cdot \sigma \cdot B$$

Equação 2-6 - Intensidade da Corrente Elétrica induzida para campo senoidal na cabeça.

Na equação acima, temos R como sendo o caminho fechado de indução da corrente, f a frequência do campo magnético, B a densidade do fluxo magnético e σ é a condutividade da cabeça do indivíduo.

O problema de aproximar valores e fórmulas para calcular campos e correntes induzidas no corpo humano, é que as células dos tecidos interferem na

distribuição e das linhas de campo na superfície tornando variáveis as correntes elétricas induzidas no interior do corpo.

Sabendo que a densidade de corrente induzida é inversamente proporcional a área estudada (seção transversal do corpo), as áreas mais afetadas e que apresentam maior densidade de corrente induzida certamente serão as regiões do pescoço, tornozelos e braços. Porém, todo o corpo obedece como restrição básica o valor de 5 kV.m^{-1} , como sendo o pico da corrente induzida.

Fisicamente, as correntes induzidas por campos elétricos e magnéticos são distintas vetorialmente. Sabendo destas diferenças, objetivando uma melhor compreensão e buscando resultados mais precisos, os níveis de referência para campos elétricos e magnéticos devem ser considerados separadamente assim como seus efeitos e influências.

Resumidamente, na tabela 2-5 tem-se a exposição ocupacional aos campos elétricos e magnéticos, onde f é a frequência indicada na coluna de faixas de frequência à esquerda da tabela e obedece também a em que está representada, ou seja, quando estiver em Hz, f também estará em Hz, caso esteja em MHz, f será em MHz.

Tabela 2-5 - Níveis de Referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo - Valores Eficazes mas não perturbados.

Faixas de Frequência	Intensidade de Campo Elétrico (E) (V.m^{-1})	Intensidade de Campo Magnético (H) (A.m^{-1})	Campo B (μT)	Densidade de Potência de Onda Plana Equivalente $S_{\text{eq}}(\text{W.r.i}^{-2})$
Até 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 – 8 Hz	20000	$1,63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$	-
8 – 25 Hz	20000	$2 \times 10^4 / f$	$2,5 \times 10^5 / f$	-
0,025–0,82 kHz	$500 / f$	$20 / f$	$25 / f$	-
0,82 – 65 kHz	610	24,4	30,7	-
0,065-1 MHz	610	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
1 – 10 MHz	$610 / f$	$1,6 / f$	$2,0 / f$	-
10-400 MHz	61	0,16	0,2	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01 / f^{1/2}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Fonte: ABRICEM – 2000.

Semelhantemente, na tabela 2-6 tem-se a exposição aos campos elétricos e magnéticos para o público em geral. Esta tabela foi construída aplicando alguns

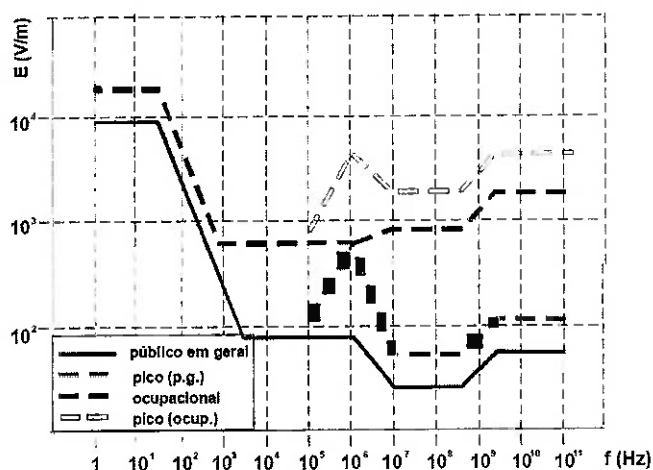
fatores de correção, mantendo coerentes os níveis de referência e as restrições básicas para o público em geral.

Tabela 2-6 - Níveis de Referência para exposição do público em geral a campos elétricos e magnéticos variáveis no tempo - Valores Eficazes mas não perturbados.

Faixas de Frequência	Intensidade de Campo Elétrico (E) (V.m ⁻¹)	Intensidade de Campo Magnético (H) (A.m ⁻¹)	Campo B (μT)	Densidade de Potência de Onda Plana Equivalente S _{eq} (W.r.i ⁻²)
Até 1 Hz	-	3,2x10 ⁴	4x10 ⁴	-
1 – 8 Hz	10000	3,2x10 ⁴ /f ²	4x10 ⁴ /f ²	-
8 – 25 Hz	10000	4000/f	5000/f	-
0,025–0,8kHz	250/f	4/f	5/f	-
0,8 – 3 kHz	250/f	5	6,25	-
3 - 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	-
1 - 10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	-
10 - 40 MHz	28	0,073	0,092	2
400–2000 MHz	1,375f ^{1/2}	0,0037f ^{1/2}	0,0046f ^{1/2}	f/200
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Fonte: ABRICEM – 2000.

Resumindo as informações, a figura 2-6 simboliza um gráfico dos níveis de referência para exposição a campos elétricos variados no tempo para o público em geral, público ocupacional e valores de picos para ambos os públicos.

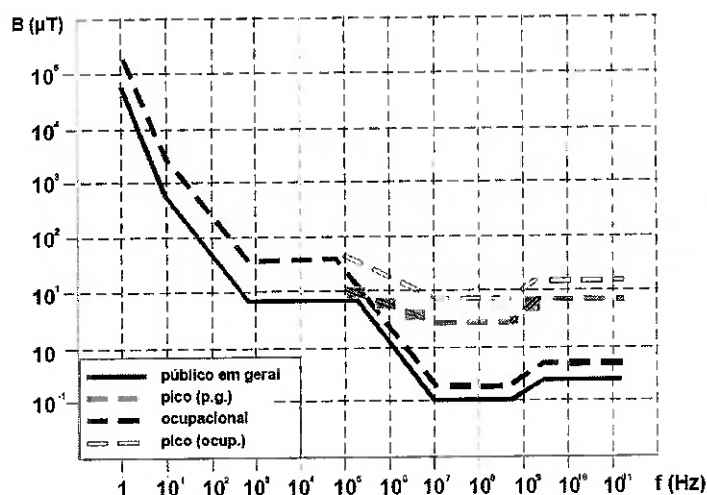


Fonte: ABRICEM – Diretrizes para Limitações da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 GHz).

Figura 2-6 - Níveis de Referência para exposição a campos elétricos variáveis no tempo.

Para campos magnéticos, semelhantemente, tem-se um gráfico dos níveis de referência em função da variação de frequência.

Observar-se que em ambas as figuras, a maior amplitude para a exposição de campos elétricos e magnéticos dá-se para frequências menores. Sabendo que quanto maior a frequência dos campos envolvidos maior será o aquecimento superficial dos corpos expostos.



Fonte: ABRICEM – Diretrizes para Limitações da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 GHz).

Figura 2-7 - Níveis de Referência para exposição a campos magnéticos variáveis no tempo.

2.4.10 – NÍVEIS DE REFERÊNCIA PARA CORRENTES DE CONTATO E INDUZIDAS.

Para correntes de contato, os níveis de referência são dados pela ABRICEM até a frequência de 110 MHz. A ABRICEM relata que na frequência de 110 MHz ocorre o limite de ocorrências das queimaduras provocadas por contato entre partes condutoras, valores superiores a 110 MHz são considerados apenas efeitos de campos e correntes induzidos. Na tabela 2-7, f é a frequência da corrente de contato em kHz.

As crianças e mulheres são mais sensíveis para os efeitos biológicos da corrente de contato, a proporcionalidade adotada para este público foi de meio e dois terços respectivamente, usando como referência o limiar da corrente de contato para um adulto masculino.

Tabela 2-7 - Níveis de Referência para correntes variáveis no tempo, causadas por contato com objetos condutores.

Característica da Exposição	Faixa de Frequência	Máxima Corrente de Contato (mA)
Exposição Ocupacional	Até 2,5 kHz	1,0
	2,5 – 100 kHz	0,4f
	100 kHz – 110 MHz	40
Exposição do público em geral	Até 2,5 kHz	0,5
	2,5 – 100 kHz	0,2f
	100 kHz – 110 MHz	20

Fonte: ABRICEM – 2000.

Como os membros do corpo humano possuem área de seção circular menor que a maior parte do corpo, os níveis de referência para estas partes são considerados menores em relação aos níveis do resto do corpo, portanto, os níveis de referência para os membros estão na tabela abaixo.

Tabela 2-8 - Níveis de referência para correntes induzidas em qualquer membro à frequência entre 10 MHz e 110 MHz.

Característica da Exposição	Corrente (mA)
Exposição Ocupacional	100
Público em Geral	45

Fonte: ABRICEM – 2000.

2.4.11 – EXPOSIÇÃO SIMULTÂNEA A CAMPOS DE FREQUÊNCIA MÚLTIPLAS.

Nem sempre as exposições a campos elétricos e magnéticos acontecem separadamente ou em frequências semelhantes, logo existem fórmulas e considerações para o cálculo e determinação dos níveis de referência e restrições para a exposição a campos de frequências distintas, para o público em geral e ocupacional. No entanto, estes cálculos são complexos e utilizam métodos computacionais para resultados mais precisos.

Os níveis de exposição se mantêm semelhantemente para frequências constantes, mas, no caso de exposição a diferentes frequências, somam-se as influências e verifica se os valores de referência foram ultrapassados, para isso, todas as fórmulas referenciam os valores das tabelas expostas anteriormente.

2.5 - NÍVEIS TÍPICOS DE EXPOSIÇÃO AOS CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS NO SISTEMA ELÉTRICO.

Concessionárias de energia elétrica desenvolveram e divulgaram pesquisas explicativas sobre a exposição de campos elétricos e magnéticos. Estas informações incluíram níveis de exposição residências, próximos a linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica e subestações, comparando com os níveis de tolerância estipulados pela ICNIRP.

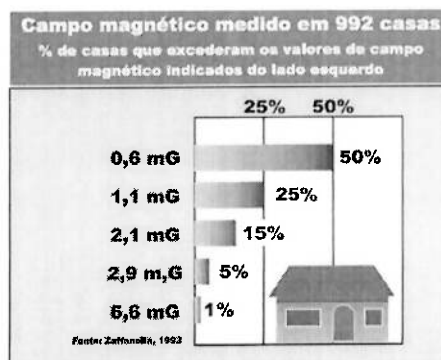
Pela falta de pesquisas e dados coletados em território nacional, usando dados do Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica dos EUA – EPRI, a figura 2-8 mostra os níveis de exposição aos campos elétricos e magnéticos no interior de casas norte americanas. A medida do campo magnético na figura é dada em mG (Mili Gauss), e a porcentagem representa o número de casas que ultrapassou o nível de exposição magnética marcado do lado esquerdo.

Os valores limites, para 60 Hz, que a ICNIRP e a Organização Mundial da Saúde - OMS apresenta para o público em geral é mostrado na tabela 2-9, salientando que a OMS resguarda um fator de segurança cinquenta vezes maior que os níveis tolerados pelo organismo.

Tabela 2-9 - Valores limites de exposição aos campos elétricos e magnéticos para o público em geral

Valores Limites – 60 Hz	Campo Elétrico (kV/m)	Densidade de Fluxo Magnético (μT)
Público em Geral	4,17	83,3

Fonte: ELETROPAULO – 2004.



Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

Figura 2-8 - Exposição a campos magnéticos em residências

Analisando a figura 2-8, tem-se que cinquenta por cento das residências americanas analisadas têm uma exposição de 0,6 mG o que equivale a aproximadamente 0,06 μT ou 0,06 $\mu\text{W}/\text{m}^2$. Agora, quinze por cento das residências apresentaram exposição de 0,21 μT e apenas um por cento apresentaram um nível de 0,66 μT . Comparando estes valores com os limites estipulados pelas ICNIRP, são valores relativamente baixos e não conclui que este nível de exposição residencial pode causar algum efeito maléfico para os moradores americanos.

Exemplificando a exposição aos campos elétricos e magnéticos residencial, a tabela 2-10, divulga alguns valores de campos magnéticos emitidos por eletrodomésticos e, comparando com a figura 2-8 visualiza-se claramente que alguns equipamentos têm as mesmas amplitudes que campos magnéticos residenciais.

Ressaltando a aparição do barbeador elétrico e do microondas que apresentaram valores consideráveis para eletrodomésticos, porém não ultrapassaram os níveis limites da ICNIRP, com funcionamento isolado.

Tabela 2-10 - Níveis típicos de campo eletromagnético - Eletrodomésticos

Eletrodomésticos	mG
Barbeador	60
Microondas	30
Lavadora	10
Quadro de Distribuição	6 a 14
Secador Cabelo (5 Centímetros)	5 a 16
Computador PC	5 a 9
TV	4 a 8
Geladeira com Compressor ligado	4 a 6
Fluorescente	4
Torradeira	3
Forno	2
Refrigerador	2

Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

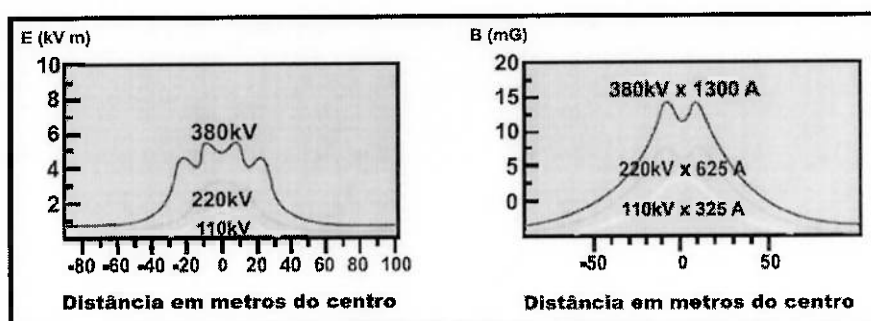
Tratando de exposição aos campos elétricos e magnéticos das linhas de distribuição e transmissão, vale ressaltar que estes valores dependem

diretamente do tipo da linha, da distância e principalmente da configuração da linha de energia elétrica.

Voltagem	Altura do Condutor
110kV	8m
220kV	10m
380kV	12m

Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

Figura 2-9- Configuração da Linha de Transmissão de Energia Elétrica



Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

Figura 2-10 - Valores de Campos Elétricos e Magnéticos em função da distância

Na figura 2-9 apresenta-se a voltagem de distribuição de energia elétrica e a altura média dos condutores em relação ao solo. Na figura 2-10 observam-se as amplitudes dos campos elétricos para as linhas de transmissão de 380, 220 e 110 kV instaladas a uma altura média de 12, 10 e 8 metros respectivamente, as correntes indicadas no gráfico à esquerda são correntes médias transportadas pelas linhas.

Comparando os valores da figura 2-10 com os da tabela 2-9, aparece um índice um pouco elevado para a exposição aos campos elétricos das linhas de 380 kV instaladas a uma altura média de 12 metros, este tipo de linha, em seu centro, o campo elétrico chega próximo de 6 kV/m , ultrapassando em vinte e oito por cento (28%) o limite de exposição máximo orientado pela ICNIRP, já para campos magnéticos os índices permanecem baixos e dentro dos limites.

Na tabela 2-11 tem-se os valores de campo elétrico e densidade magnética para linhas de 88 kV, observa-se que no interior da faixa de segurança, os

índices do campo elétrico chegam a ser até três vezes maiores que no limite das faixas de segurança, enquanto que para o campo magnético este aumento chega a ser de duas vezes.

Mesmo se tratando de linhas de subtransmissão, estes índices servem de alertas para concessionárias de energia elétrica que tentam de várias formas reduzir estes valores para que futuramente não se surpreendam com novas pesquisas e descobertas.

Tabela 2-11 - Exposição a campos elétricos e magnéticos para Linhas de Subtransmissão

Linhas de Subtransmissão 88 kV		
Campo Elétrico (kV/m)		
Valores medidos	Máximo	Médio
Dentro da faixa de Segurança	2,033	0,947
No limite da faixa de Segurança	0,739	0,362
Densidade de fluxo magnético (μT)		
Valores Medidos	Máximo	Médio
Dentro da faixa de Segurança	22,31	10,02
No limite da faixa de Segurança	13,01	6,13

Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

Tratando-se de distribuição em níveis urbanos, 13,8 kV, os índices publicados pela Eletropaulo são ainda menores, como visto na tabela 2-12, descartando até o momento riscos à saúde humana de acordo com os níveis estabelecidos pela ICNIRP.

Tabela 2-12 - Exposição a campos elétricos e magnéticos para Circuitos de Distribuição

Circuitos de Distribuição 13,8 kV		
Campo Elétrico (kV/m)		
Valores medidos	Máximo	Médio
No limite das distâncias de Segurança	0,053	0,025
Densidade de fluxo magnético (μT)		
Valores Medidos	Máximo	Médio
No limite das distâncias de Segurança	4,13	1,87

Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

Para subestações de 88 e 13,8 kV, no limite do terreno da subestação, a exposição também está controlada, como mostra na tabela 2-13.

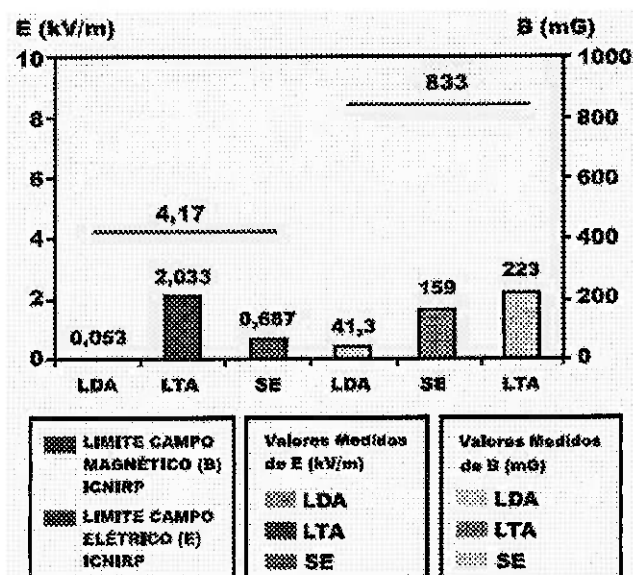
Tabela 2-13 - Exposição a CEM para subestações

Subestações 88/13,8 kV		
Campo Elétrico (kV/m)		
Valores medidos	Máximo	Médio
No limite da subestação	0,687	0,343
Densidade de fluxo magnético (μT)		
Valores Medidos	Máximo	Médio
No limite da subestação	15,92	7,81

Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

Junto com todas as informações anteriores, a Eletropaulo divulgou um gráfico com mais de mil medições em diversos locais do sistema elétrico que tem concessão, os resultados podem ser vistos na figura 2-11, mostrando que os valores limites do campo elétrico e densidade eletromagnética não foram ultrapassados. A figura 2-11 apresenta o resumo de mais de mil pontos do setor Eletropaulo, não divulgaram os locais e as distâncias. Na figura tem-se:

- LDA – Linha de Distribuição Aérea;
- SE – Subestação;
- LTA – Linha de Transmissão Aérea.



Fonte: ELETROPAULO – Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade.

Figura 2-11 - Níveis médios de exposição a campos elétricos e magnéticos no setor Eletropaulo

Vale ressaltar que todos os limites divulgados pela Eletropaulo foram relacionados com a exposição do público em geral e em zonas e áreas de

segurança. Para a exposição ocupacional e em zonas de trabalhos, não foram divulgados valores no material “Campos elétricos e magnéticos associados ao uso da eletricidade - 2004”.

2.6 - NÍVEIS EXPERIMENTAIS DE EXPOSIÇÃO A CEM.

Com o intuito de apresentar maiores informações e detalhes da exposição a CEM no ambiente urbano das cidades, a tabela 2-14, de autoria de Santos, Gláucio – Considerações do Ambiente Eletromagnético Urbano na Análise de Interferências em Veículos Automotores – 2002, mostra onze medições realizadas de campos elétricos em diversos locais da Avenida Paulista.

Segundo Gláucio Santos (2002), o campo elétrico na Av. Paulista é predominantemente formado pelas torres de televisão e rádio com ajuda das condições adversas do ambiente, como exemplo a reflexão dos edifícios. As regiões de Jd. São Gabriel em Campinas e o Pico do Itapevi assemelham-se a Av. Paulista pelo número de torres e disposição das mesmas.

Tabela 2-14- Valores urbanos medidos para exposição a campos elétricos

Local	Valor Medido (V/m)
Av. Paulista com Rua Augusta	19
Av. Paulista com Teixeira da Silva	15
Av. Paulista com Brigadeiro Luis Antonio	11
Estação Paraíso de Metro	15
Praça Oswaldo Cruz	10
Primeira quadra afastada da Av. Paulista	4
Segunda quadra afastada da Av. Paulista	2
Terceira quadra afastada da Av. Paulista	1
Valor Médio ao longo da Av. Paulista	7
Jd São Gabriel – Campinas	13
Pico do Itapeva Pindamonhangaba	4

Fonte: Tese Mestrado POLI – Santos, Gláucio - 2002

Também no mesmo trabalho, Gláucio Santos (2002), efetuou medições nos sistemas elétricos de potência, os resultados estão apresentados na tabela 2-15. Analisando a tabela abaixo, pode-se concluir que no caso da subestação abaixo dos barramentos, o índice medido do campo elétrico ultrapassou os limites

recomendados pela OMS e ICNIRP. Já o campo magnético não ultrapassou os limites recomendados.

Comparando a tabela 2-14 com a tabela 2-15, a transmissão de televisão e rádio tem pouca influência nos valores de campos elétricos e magnéticos gerados pelo sistema de energia elétrico.

Tabela 2-15 - Exposição a campos elétricos e magnéticos no sistema elétrico de potência

Local	Campo Elétrico (kV/m)	Campo Magnético (mG)
Linha Transmissão (LT) 500 kV – 50 Hz	1,33	22,4
Linha Transmissão (LT) 500 kV – 60 Hz	2,26	85
Subestação abaixo dos barramentos	6,80	22,5
Subestação abaixo da Linha de Transmissão	2,80	81
Abaixo da Linha de 500 kV – 60Hz	-----	-----
Via Pública – 50 m da LT	0,158	-
Via Pública – abaixo da LT	0,296	-

Fonte: Tese Mestrado POLI – Santos, Gláucio – 2002.

2.7 - EFEITOS DA EXPOSIÇÃO DE CAMPOS ELÉTRICOS E MAGNÉTICOS NA SAÚDE HUMANA.

Como já mencionado, a exposição aos campos elétricos e magnéticos causa alguns efeitos colaterais para os seres humanos. Existem infinidades de aparelhos eletrônicos que produzem campos elétricos e magnéticos de alta frequência e que também podem ser relacionados como perturbadores da saúde. Dentre as principais ocorrências e efeitos tem-se:

- Náuseas;
- Dores de cabeça;
- Fadiga e fraquezas musculares;
- Problemas com a visão;
- Dores no ouvido;
- Dormência das pontas dos dedos;

- Ansiedade;
- Avermelhamento facial;
- Tonturas e mal estar;
- Problemas na pele, como queimadura;

Alguns sintomas podem ser explicados através da eletro sensibilidade, ou seja, pessoas são sensíveis a exposição elétrica, podendo manifestar efeitos neurológicos, cardíacos, respiratórios, dermatológicos, oftalmológicos e outras sensibilidades. Resumidamente para estes efeitos tem-se:

- **Neurológicos:** dores de cabeça, tonturas, náusea, dificuldade de concentração, perda de memória, irritabilidade, depressão, ansiedade, insônia, fadigas, dores musculares, dormência e alterações no reflexo. Quando são exposições mais severas pode chegar a paralisação dos membros, convulsões e derrames;

- **Cardíaca:** palpitações, arritmias, aumento ou diminuição da pressão sanguínea, aumento ou diminuição dos batimentos cardíacos, respirações curtas;

- **Respiratórios:** sinusite, bronquites, pneumonias e asma;

- **Oftalmológicos:** aumento na pressão dos olhos, deteriorização da retina dos olhos e cataratas;

- **Outras sensibilidades:** problemas digestivos, dores abdominais, aumento da tireóide, disfunção dos testículos e ovários, desidratação, alteração de açúcar no metabolismo, redistribuição dos metais no organismo, perda de cabelo, sensibilidade dos ouvidos.

Para exposição a baixíssimas frequências, na faixa de 0 a 10 kHz e radiofrequências de campos eletromagnéticos têm-se efeitos biológicos similares:

- Efeitos Genéticos;
- Câncer;
- Efeitos Moleculares;

- Eletro sensibilidade;
- Efeitos comportamentais;
- Alteração no sistema nervoso;
- Alteração na taxa de cálcio do organismo;
- Alterações cardiovasculares;
- Queimaduras superficiais;
- Alterações hormonais;
- Sistema imunológico;
- Taxas metabólicas;
- Stress;

Estes efeitos foram publicados primeiramente pelo Professor Dr. Henry Lai do departamento de Bioengenharia da Universidade de Washington em Março de 2008 em um congresso dos impactos da tecnologia wireless em São Francisco nos Estados Unidos.

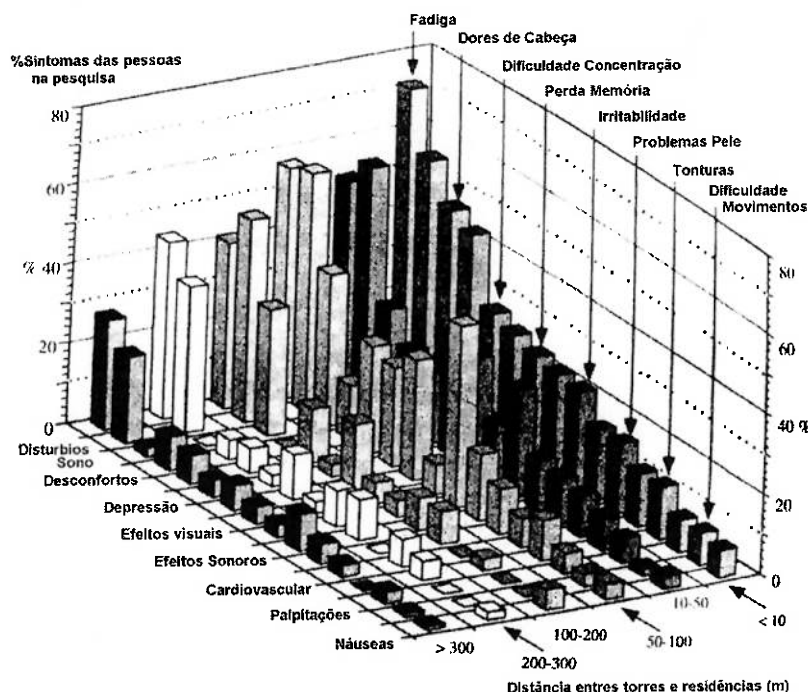
Também nos Estados Unidos foi publicado um gráfico das sensibilidades que humanos sofriam em função da variação da distância das torres de celulares, esta pesquisa pode ser mais detalhada em "Symptoms experience by people in the vicinity of cellular phone base station, Santini 2001, La Presse Medicale" e este gráfico é representado logo a seguir na figura 2-12. Analisando esta figura, podemos perceber que quanto mais próximos as pessoas residiam das torres de celulares, mais efeitos adversos demonstravam. Analisando detalhadamente o gráfico, temos que, para moradores bem próximos às torres, distância menor que dez metros, cerca de setenta por cento (70%) delas apresentam algum tipo de fadiga e distúrbios do sono, quarenta por cento (40%) sofriam de dores de cabeça e desconfortos físicos constantemente, vinte e cinco por cento (25%) tinham dificuldades de concentração, algum tipo de efeito visual e depressão, a irritabilidade era percebida em aproximadamente vinte por cento (20%) dos pesquisados, já problemas de pele, tonturas e dificuldades de movimentos eram pouco relatados, porém, em

porcentagens preocupantes. Estas mesmas reclamações permanecem, mas em proporções menores, para moradores mais distantes das torres.

Outra pesquisa mostra a relação da densidade de energia elétrica ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) em função dos efeitos na saúde, este gráfico pode ser visualizado na figura 2-13. Nesta imagem, pode-se verificar que quanto maior a densidade de potência em que humanos são expostos, mais severas são as anomalias encontradas. Para exposições de $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ já há a presença de dores de cabeça, fadigas musculares, insônia, leucemia infantil (para exposições permanentes durante a infância), alterações nas células brancas do organismo, perda de memória, alterações no sistema motor, e o tempo de recuperação do organismo é menor.

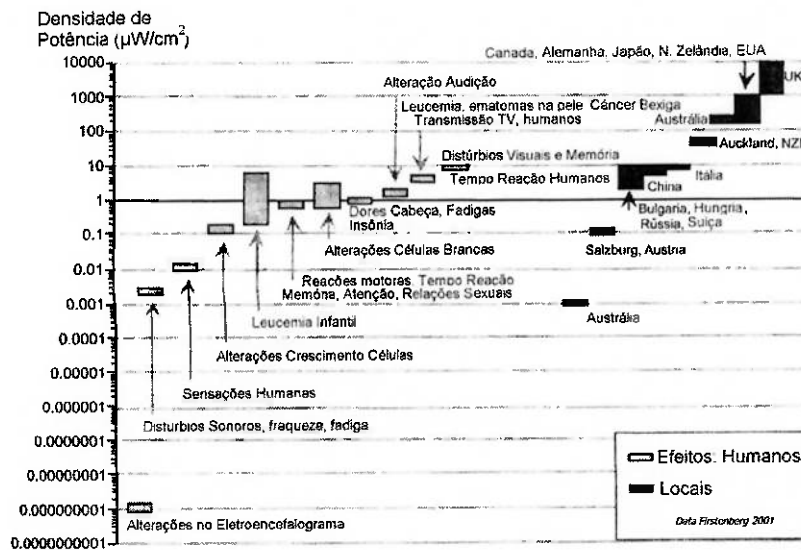
Com estas duas pesquisas tem-se uma maior evidência dos efeitos colaterais da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos.

O fator interessante da figura 2-13 é que com uma exposição direta e constante de $10^{-10}(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$ pode ocorrer alterações em exames de eletroencefalograma.



Fonte: Public Health SOS: The Shadow of the Wireless Revolution

Figura 2-12- Relação dos sintomas em função da distância das torres de celulares



Fonte: Public Health SOS: The Shadow of the Wireless Revolution

Figura 2-13 - Efeitos Adversos em Humanos em relação à Densidade de Potência Elétrica.

Com todas as informações publicadas no livro "Public Health SOS" vale salientar que quando crianças são expostas a CEM sofrem maiores alterações no organismo com grandes dificuldades de recuperação, isto se dá pelo fato das células jovens reproduzirem mais rapidamente, o sistema de defesa infantil ser menos desenvolvido, porém absorvem mais energia que adultos. Na figura 2-14 há evidências claras que as crianças até cinco anos absorvem mais os campos eletromagnéticos emitidos por celulares.



Fonte: Public Health SOS: The Shadow of the Wireless Revolution

Figura 2-14 - Penetração da radiação de celulares no crânio

3- DISCUSSÃO

No andamento do trabalho foram apresentados inúmeros limites de exposição a campos elétricos e eletromagnéticos variados no tempo, resultados de trabalhos e pesquisas de outras entidades possibilitando uma visão mais ampla do assunto.

Ao discutir o projeto de norma elaborado pela ABRICEM no item 2.4, pode-se salientar que todos nós corremos algum tipo de risco causado pela exposição a campos elétricos e eletromagnéticos, agora, as conseqüências são relativas e obscuras variando com o grau e o tempo de exposição. Os limites máximos de exposição são baseados em cálculos usando avançados métodos computacionais, mas ainda não são precisos. Grande parte da sociedade acadêmica ressalta que estes índices terão grandes modificações pelo avanço das pesquisas e desenvolvimento de novas tecnologias.

Ao comparar os resultados que a concessionária de energia elétrica divulgou em catálogos e estudos desenvolvidos pela ABRICEM, deu-se a impressão que normalidade e que os índices estavam dentro do estabelecido pela ABRICEM, mas por outro lado, houve a divulgação apenas de alguns locais circundados pelo público em geral, como exemplo: limites de subestações e faixa de servidão. Não foram divulgados os valores sobre a exposição ocupacional dos trabalhadores no interior destas subestações e na execução de trabalhos nas linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica, gerando assim uma dúvida sobre quais são os índices que estes trabalhadores estão expostos e impossibilitando uma análise mais crítica da situação real.

A respeito da exposição residencial divulgada pela Eletropaulo, os valores não ultrapassam os limites estipulados pelos órgãos regulamentadores, mas como o uso de eletrônicos e eletrodomésticos nos últimos anos vem aumentando drasticamente e há o aparecimento da tecnologia wireless, estes índices continuam crescendo, com a possibilidade de causar danos irreversíveis a sociedade. Vale ressaltar que os índices residências divulgados pela Eletropaulo

foram extraídos de pesquisas norte americanas e fazem referência a domicílios americanos.

Os valores expostos por Gláucio Santos na Avenida Paulista também são preocupantes pelo fato dos trabalhadores estarem no local diariamente e serem expostos a níveis superiores aos encontrados dentro das residências. Não se pode afirmar quais são os efeitos da exposição para estes trabalhadores, uma vez que não há registros ou estudos detalhados para tal análise.

Os efeitos e consequências da exposição as campos elétricos e eletromagnéticos apresentados por pesquisas americanas mostraram uma realidade mais obscura e severa, não mascarando os reais efeitos divulgados e defendidos por pesquisadores internacionais. Também observou-se que as crianças são mais prejudicadas com a exposição aos campos elétricos e eletromagnéticos e conseqüentemente podem apresentar maiores efeitos colaterais durante o desenvolvimento.

4- CONCLUSÃO

Como visto durante este trabalho os efeitos da exposição aos campos elétricos e eletromagnéticos podem ser trágicos e irreversíveis, causando náuseas, dores de cabeça, suspeita de câncer, efeitos visuais crônicos, fadigas musculares e até alterações genéticas. Mas pela falta de pesquisas objetivas e direcionadas, por ser um problema relativamente novo e ter poucos fatos conclusivos e dados plausíveis, as reais consequências ficam mascaradas, gerando mais perguntas e calando a sociedade.

A pesquisa divulgada pela Eletropaulo mostrou-se dentro dos limites estabelecidos pela ABRICEM para o público em geral. Houve dificuldade de encontrar materiais de estudo e pesquisas feitas para o público ocupacional, impossibilitando uma análise mais crítica e conclusiva para este setor da população.

Os limites de exposição futuramente serão publicados e regulamentados pela ABNT, fortalecendo aqueles que sempre acreditaram nos efeitos maléficos da exposição aos campos elétricos e eletromagnéticos.

O principal objetivo deste trabalho foi aprimorar conhecimentos em relação à exposição aos campos elétricos e eletromagnéticos, gerar mais dúvidas a futuros estudiosos, expor o cenário atual, divulgar os limites de referência adotados pela ABRICEM e abrir um leque maior para futuros pesquisadores, mostrando que as pesquisas estão intensificando-se vindo a ter grandes descobertas.

Então, com o aumento do uso da energia elétrica a sociedade cada vez mais ficará exposta aos campos elétricos e eletromagnéticos e com os resultados das pesquisas futuras teremos um melhor caminho para afirmar e defender os efeitos colaterais de tal exposição. Não podemos nos esquecer de respeitar os limites estabelecidos pela ABRICEM.

5- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRICEM – **Limites para a Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos variáveis no Tempo (até 300 GHz)**, Rio de Janeiro, Maio 2000.
- AES Eletropaulo; ABRICEM – **Campos Elétricos e Magnéticos Associados ao Uso de Eletricidade**, São Paulo, 2004.
- Brodeur, Paul – **The Great Power-Line Cover-Up – How the Utilities and the Government are Trying to Hide the Cancer Hazards Posed by Electromagnetic Fields**, Back Bay Books Little, Brown, USA, 1993 – 1995.
- Carmargo, José de Melo – **Exposição Humana a Campos Magnéticos e Elétricos Gerados por Instalações Elétricas – 60 Hz**, Projeto de P &D AES Eletropaulo, São Paulo, Setembro, 2008.
- Cristofaletti, Sérgio Luiz; Bettoni, Roberto C.Z.; Nogueira, Luis Alberto – **EMI – Interferência Eletromagnética, Compatibilidade Eletromagnética em Equipamentos Eletromédicos**, UNICEP – Universidade Central Paulista e ASSER – Associação de Escolas Reunidas, Curso de Graduação Engenharia Elétrica, São Carlos, Maio de 2004.
- Davis, Albert Roy & Jr., Walter C. Rawls – **Magnetism and its effects on the living system**, Acres U.S.A., Kansas City, Missouri, February, 1993.
- Davis, Albert Roy & Jr., Walter C. Rawls – **The Magnetic Effect**, Acres U.S.A., Kansas City, Missouri, 1997.
- ICNIRP – **Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Eletromagnetic Fields (up to 300 GHz)**, Health Physics, April 1998.

- National Radiation Laboratory, NRL – **Electric and Magnetic Fields And Your Health** – Information on electric and magnetic fields associated with transmission lines, distribution lines and electrical equipment, NRL, Ministry of Health, New Zealand, Revised Edition 2001.
- Ress, Camilla and Havas, Magda – **Public Health SOS: The Shadown Side of the Wireless Revolution**, Copyright Wide Angle Health, LLC, Lexington, KY, USA – 24 November 2009.
- Santos, Gláucio – **Considerações do Ambiente Eletromagnético Urbano na Análise de Interferências em Veículos Automotores**, Dissertação de Mestrado, POLI-USP, São Paulo, 2002.
- Shuck, Ronaldo – **A questão dos Campos Eletromagnéticos de Baixa Frequência no Setor Elétrico Brasileiro**, Ministério de Minas e Energia do Brasil, Brasília, Agosto, 2006.
- Tejo, Francisco de Assis F., **Radiações Eletromagnéticas Não Ionizantes da Telefonia Celular: Impactos Sobre a Saúde e Recomendações**, 3ª Reunião do Grupo de Trabalho sobre Telecomunicações da Câmara Técnica Permanente de Controle Ambiental, Centro de Treinamento do IBAMA, Brasília, Agosto 2002.
- Oka, Maurício Massazumi – História da Eletricidade – 2000 v 1.0 – <<http://www.lsi.usp.br/~dmi/manuais/HistoriaDaEletricidade.pdf>>
Acessado em: 13 fev. 2010.