



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GIA 06  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

#### **GRUPO IV**

#### **GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS – GIA**

### **ANÁLISE DOS IMPACTOS ELETROMAGNÉTICOS PRODUZIDOS POR LINHAS DE TRANSMISSÃO AVALIAÇÃO DOS LIMITES E CRITÉRIOS UTILIZADOS NO BRASIL**

**Luís Adriano M. C. Domingues  
Athanasio Mpalantinos Neto**

**Rafael Monteiro da Cruz Silva  
Carlos Ruy N. Barbosa**

**CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**

#### **RESUMO**

Um dos requisitos para o projeto e operação de linhas de transmissão é o controle dos impactos produzidos no ambiente. Parte considerável desses impactos está ligada, diretamente ou indiretamente aos campos eletromagnéticos produzidos pelas linhas. Dentre os diversos efeitos pode-se citar, como mais significativos, as interferências eletromagnéticas, ruído audível e os efeitos de exposição a campo elétrico e campo magnético.

Neste IT apresenta-se um levantamento dos limites e critérios adotados no Brasil e em outros países para controle dos quesitos: ruído, radiointerferência, campo elétrico e campo magnético. Apresenta-se também um levantamento de valores medidos em linhas no Sistema de Transmissão da Rede Básica, para ilustrar a situação real face aos limites e critérios utilizados.

No caso específico de campo elétrico e magnético faz-se a distinção entre efeitos diretos (induições e correntes de contato entre pessoas e objetos) e efeitos de longo prazo (supostos efeitos de campos eletromagnéticos na saúde humana). Esta hipótese de efeitos de longo prazo tem causado muita celeuma nos últimos anos, e sido objeto de múltiplos questionamentos e ações contra empresas do Setor Elétrico solicitando embargo à operação de instalações (linhas e subestações). A tendência mundial é a de seguir as recomendações do ICNIRP, o que vem sendo sugerido no Brasil, para adoção em normas e na futura legislação.

Em seguida é efetuada uma avaliação da metodologia utilizada pelo ICNIRP para estabelecer os valores considerados aceitáveis de campos elétrico e magnético. Mostra-se que a formulação utilizada é extremamente simplificada e a determinação daqueles limites pode ser feita com maior segurança. Apresenta-se então um estudo, baseado numa modelagem mais realista, para determinar os níveis de correntes induzidas no interior do corpo, e faz-se uma avaliação da precisão e segurança envolvidos nos limites do ICNIRP.

Apresentam-se finalmente conclusões relativas às condições de manutenção em linha viva, e propõem-se condições e limites para exercício dessa atividade em consonância com as diretrizes reconhecidas de segurança biológica para exposição a campos eletromagnéticos.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Campos Eletromagnéticos, Interferências, dosimetria, impactos ambientais.

## 1.0 - O AMBIENTE ELETROMAGNÉTICO DE LTs E SEUS EFEITOS

No projeto de linhas de transmissão é feito o controle de grandezas que produzem impactos no ambiente, especialmente seres vivos. Os principais efeitos podem ser classificados como segue:

- Incômodos: efeitos como ruído audível e interferências eletromagnéticas (que degradam a qualidade de recepção de sinais de rádio e televisão); esta categoria de impacto causa incômodos, porém não envolve aspectos de segurança pessoal, pelo que os critérios adotados têm uma relativa flexibilidade. No Brasil, atualmente, os Editais de Licitação de empreendimentos de transmissão especificam limites que devem ser atendidos 50% do tempo, o que significa que se aceita que os limites sejam superados metade do tempo de funcionamento da LT.
- Efeitos indiretos: no ambiente eletromagnético formado em torno de linhas de transmissão ocorrem efeitos de indução, na presença de objetos condutores; essas induções resultam em choques tanto por descargas quando choques sustentados, quando há contato entre pessoas e esses objetos. Estes choques ocasionam tanto desconforto, no caso das microdescargas e choques de baixa intensidade, quanto riscos à saúde, no caso de correntes que atinjam níveis mais elevados (corrente de "let-go", quando a pessoa sofre contração muscular involuntária e não tem capacidade de se separar da fonte de corrente, e corrente de fibrilação, que pode provocar parada cardíaca). Neste caso, por haver possibilidade de risco à saúde humana, os critérios são de caráter mandatório, estabelecendo níveis máximos toleráveis que não podem ser ultrapassados nas condições operativas da LT.
- Efeitos diretos: a interação direta entre campos eletromagnéticos variando no tempo e organismos provoca efeitos como fluxo de cargas (correntes elétricas), fenômenos de polarização (formação de dipolos) e reorientação de dipolos já existentes no organismo [1-15]. Acima de determinados limiares esses efeitos podem ser nocivos, em particular a circulação de correntes elétricas. Neste caso os limites existentes são estabelecidos por um processo indireto, uma vez que não há registro dos campos ou correntes no interior dos organismos. Utilizam-se modelos matemáticos para estimar os valores de corrente no organismo que se estima serem gerados por determinado nível de campo e estabelece-se o limite aceitável para o campo elétrico e magnético. Pela natureza do fenômeno estes limites também são mandatórios, isto é valores máximos aceitáveis, que não devem ser excedidos.
- Efeitos de longo prazo: a possibilidade de campos eletromagnéticos de baixa frequência causarem modificações biológicas que venham a ser responsáveis, no longo prazo, por efeitos indesejáveis, é um assunto que vem produzindo alguma polêmica, porém a posição científica atual neste não reconhece qualquer evidência conclusiva de relação entre campos EM e efeitos de longo prazo. Não havendo evidência de relação causal, não há também base científica para propor limites neste caso.

## 2.0 - CONTROLE DOS IMPACTOS – LIMITES DE CAMPO

Nas duas classes de processos que têm impacto direto na saúde e segurança de pessoas (efeitos diretos e indiretos) a abordagem adotada é a seguinte:

### 2.1 Efeitos diretos (correntes induzidas no organismo)

Os efeitos que podem ocorrer pela presença de uma pessoa no ambiente eletromagnético de uma linha de transmissão são decorrentes de correntes induzidas. Efeitos ligados a aquecimento, por absorção de potência somente são verificados em frequências elevadas (celular, micro-ondas, etc.). Acima de  $10 \text{ mA/m}^2$  foi observada a formação de fosfenos visuais no interior de olhos e acima de  $100 \text{ mA/m}^2$  a estimulação direta de músculos e do Sistema Nervoso Central. A Comissão Internacional para Proteção contra Radiações Não-Ionizantes (ICNIRP) propôs o valor de  $2 \text{ mA/m}^2$  como limite seguro e adequado para o público em geral, o que vem sendo adotado por diversos países no mundo [1].

Pela inviabilidade de monitorar correntes induzidas em órgãos e tecidos no interior do corpo utilizam-se técnicas de análise dosimétrica, que consistem em utilizar modelos computacionais que relacionam os campos da linha com as correntes que se estima serem induzidas no organismo. Este procedimento requer uma análise mais cuidadosa pela evolução extremamente rápida do detalhamento dos modelos computacionais que se verificou nos últimos anos. Na época em que foram realizados os estudos que levaram à elaboração do documento guia do ICNIRP, os modelos eram relativamente simplificados (aproximação do corpo humano por espiras ou elipsóides), sendo que atualmente os recursos computacionais permitem modelos detalhados de diferenças finitas e elementos finitos, com alto detalhamento geométrico pelo recurso a imagens de ressonância magnética [7, 8].

Uma questão complexa é a determinação das características elétricas (condutividade e permitividade) dos tecidos e órgãos. Os estudos realizados [7, 8] adotam valores publicados na literatura baseados em medições efetuadas em cadáveres. Há razões para supor que esses valores não representem adequadamente o comportamento de tecidos vivos. Neste IT relata-se adiante a pesquisa desenvolvida para tentar caracterizar mais precisamente o comportamento do corpo humano.

### 2.2 Efeitos indiretos (choques e microdescargas)

Quando uma pessoa fica exposta a um campo elétrico é induzida carga elétrica na superfície do corpo. Em campos elevados (acima de  $15 \text{ kV/m}$ ) essa carga induzida ocasiona eriçamento de cabelos, o que é um efeito conhecido por profissionais que trabalham em instalações de alta tensão. No caso de contato entre a pessoa e um objeto metálico

aterrado, essa carga superficial é descarregada para a terra, ocasionando um choque elétrico. Alternativamente um objeto carregado tocado por uma pessoa bem aterrada pode descarregar para a terra, ocasionando igualmente um choque. No caso de aproximação entre pessoa e objeto, antes de se estabelecer o contato elétrico, pode formar-se uma descarga percebida como microchoque, análoga à que se observa freqüentemente em ambientes secos (salas com ar condicionado, por exemplo).

Os choques por contato entre pessoas e objetos já foram razoavelmente estudados e foi estabelecida uma escala que vai do limiar de percepção, passando por incômodo, dor até o risco de fibrilação cardíaca. Próximo ao limiar de dor existe uma condição que já é considerada grave, em termos de segurança, que é o de perda de controle muscular – nesta situação a pessoa pode ter uma contração muscular involuntária e ficar incapaz de desfazer o contato elétrico, ficando exposta a risco. Este limiar ( $\sim 5\text{mA}$ ) é muito inferior ao de fibrilação cardíaca ( $\approx 150\text{mA}$ ), porém já é considerado de alto risco, portanto intolerável. A prática tradicionalmente adotada no projeto e construção de linhas no Brasil e na maioria dos países, determina que possíveis choques por contato com objetos na proximidade de linhas de transmissão fiquem restritos ao limiar de percepção ( $\sim 1\text{mA}$ ). Deve-se notar, contudo, que no caso de descarga de um objeto através de uma pessoa aterrada, o valor de corrente depende tanto do campo elétrico quanto das dimensões do objeto, pelo que o controle deve ser efetuado nos dois quesitos, não se devendo permitir objetos ou construções de grandes dimensões próximos a LTs – isto se aplica por exemplo a grandes extensões de cercas metálicas, veículos de grande porte, etc. No caso das microdescargas, os valores susceptíveis de ocorrer na vizinhança de LTs não ultrapassam o limiar de desconforto, não sendo caso, em geral, de adotar limites de segurança.

Os níveis de segurança são determinados para a pior condição: uma pessoa totalmente isolada do solo, tocando um objeto perfeitamente aterrado e, inversamente, um objeto isolado descarregando através de uma pessoa estabelecendo contato perfeito com o solo. Como corrente limite adota-se o limiar de percepção para adultos ( $\sim 1\text{mA}$ ). É interessante notar que os limites de campo elétrico para efeitos diretos ( $5\text{kV/m} - 10\text{kV/m}$ ), cujo estabelecimento será discutido com mais detalhe a seguir, são suficientes para o controle adequado dos efeitos indiretos.

### 3.0 - VERIFICAÇÃO DOS LIMITES PARA ACOPLAMENTO ENTRE ORGANISMOS E CEMS

A interação dos campos elétricos e magnéticos de baixa freqüência com organismos vivos tem sido objeto de discussão em muitos trabalhos e estudos nos últimos anos. Diante da inviabilidade de se medir grandezas elétricas como correntes induzidas no interior do corpo humano, a dosimetria computacional é utilizada para estimar o valor destas grandezas no interior do organismo, representado através de um modelo físico-matemático. A dosimetria de campos eletromagnéticos define a relação entre ambiente de exposição e grandezas elétricas induzidas no corpo, que para campos de baixa freqüência incluem campo elétrico e densidade de corrente em tecidos e órgãos. A dosimetria serve especialmente a três propósitos:

- Identificar cenários de exposição para os quais um dado limiar (restrição básica, em geral) é superado.
- Estimar as quantidades associadas a um efeito documentado
- Avaliar a possibilidade de efeitos biológicos

Nos últimos anos, modelos dosimétricos anatomicamente realistas do corpo humano têm sido propostos, abrangendo mais de 30 tipos de tecidos e órgãos diferentes. No entanto divergências entre os resultados, sobretudo nos valores do campo máximo em órgãos críticos, tem dificultado a adoção destes modelos tanto na revisão de limites de exposição quanto na fixação de Normas como a do IEEE [12]. No estudo da ARPANSA [14] é feita uma análise detalhada que explica as diferenças existentes entre as principais recomendações – ICNIRP e IEEE, e é proposta uma norma diferente, embora na essência similar ao ICNIRP. Dois fatores possíveis de discrepância nos resultados são a qualidade da discretização geométrica e os valores das constantes que representam os tecidos (permitividade e condutividade).

A discretização geométrica dos mais recentes modelos de elementos finitos, que utilizam informações obtidas de ressonâncias magnéticas [v], é muito boa, não devendo este ser um fator de erro significativo. Porém os valores das constantes elétricas (permitividade e resistividade) para tecidos e órgãos utilizadas nos modelos dosimétricos, são obtidas em experimentos com tecidos de animais mortos [3], não se podendo determinar com precisão até que ponto estes valores diferem das constantes elétricas dos tecidos vivos.

Esta incerteza é mais preocupante no caso de exposição a campo elétrico, pois a presença de objetos ou pessoas num campo elétrico modifica consideravelmente a distribuição original de campo. No caso de campo magnético este efeito não ocorre, a menos de objetos com propriedades magnéticas, e o campo no interior do organismo é o mesmo do campo externo original.

Este motivo levou ao desenvolvimento de uma metodologia para a obtenção de uma constante de permitividade representativa para o corpo humano. A metodologia desenvolvida consistiu na obtenção de forma indireta de uma constante de permitividade aproximada para o Corpo Humano através da análise da distribuição do Campo Elétrico externo. E posteriormente foi desenvolvida uma metodologia para obtenção de um valor de resistividade para determinadas partes do modelo considerado.

#### 3.1 Método de obtenção de forma indireta da permitividade aproximada do corpo humano

Um objeto quando colocado em um meio sob ação de um campo elétrico, provoca perturbação na distribuição do campo. Esta perturbação é função do formato do objeto e características do material. Deste modo é possível, pela medição do

campo elétrico modificado pela presença de uma pessoa, verificar através de modelagem numérica, qual o valor de constante dielétrica resulta no padrão observado de campo externo.

A metodologia de medição para campo elétrico ao redor de organismos vivos, apresentada por Shimizu et al [10], serviu de como marca de referência para as simulações efetuadas no Programa Phenix, desenvolvido pelo Cepel, e no Programa MEGA [13], baseados no método de elementos finitos.

No método proposto, fundamentalmente a constante de permissividade, foi estimada através da razão entre os valores de campo elétrico com e sem perturbação ( $E/E_0$ ). Assumindo-se o comportamento condutivo dos materiais biológicos na faixa de 50/60 Hz, comprovada com experimentos utilizando animais. Posteriormente variou-se o valor da constante de permissividade do objeto até que houvesse concordância tanto com os valores do perfil de campo elétrico da referência citada quanto na medição real.

### 3.1.2 Resultados

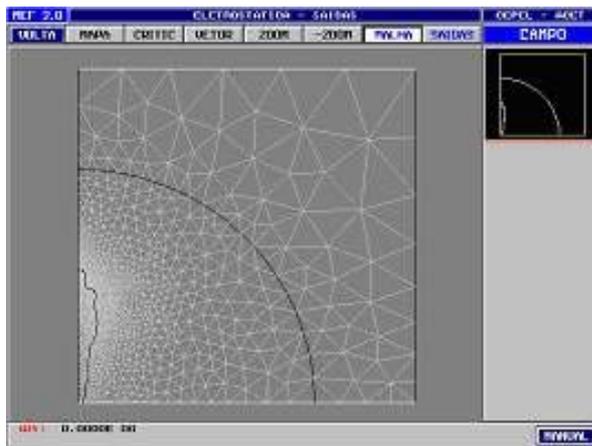


Figura 1 - Malha e domínios

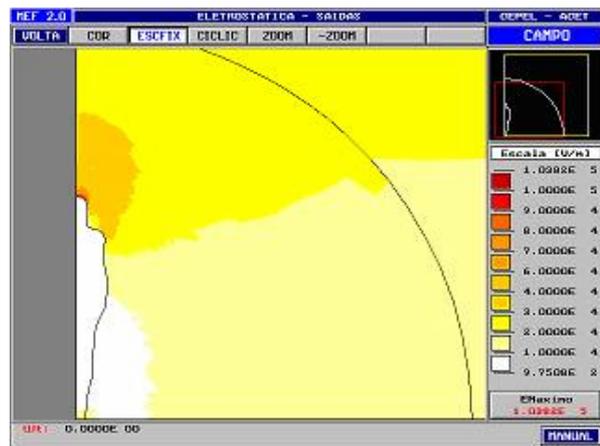


Figura 2 - Mapa de C.E.  $\epsilon_r=30$

A comparação entre os padrões medidos e simulados de campo elétrico em volta de uma pessoa colocada num campo externo mostra uma boa aderência para um valor de permissividade maior que  $\epsilon_r=30$ , o que é significativamente superior ao valor utilizado na maioria dos estudos publicados.

### 3.1.3 Discussão

A análise dos resultados obtidos indica que o comportamento de organismos vivos na presença de campos elétricos é consideravelmente mais condutivo do que se vem supondo nos estudos publicados. Isto significa que há um efeito maior de redução do campo que efetivamente atua no interior dos órgãos, representando uma maior proteção do que está implícita nos estudos que foram utilizados na produção de limites.

### 3.2 Método de obtenção indireta da resistividade aproximada do corpo humano

Para a obtenção de valores de resistividade aproximada para algumas partes do corpo, o objeto de estudo passa a ser campo elétrico induzido no interior do modelo. Medidas de simplificação foram tomadas, como a utilização do recurso da simetria axial (eixo Y), transformando um problema 3-D em um problema 2-D.

O modelo composto por Chiba et al [11], composto por elementos de geometria regular, foi implementado. Subdividido em 8 partes, compreendendo diferentes partes do corpo e conseqüentemente diferentes valores de resistividade. Adotou-se o valor do campo elétrico sem perturbação igual a 1 kV/m e comportamento uniforme.

Os valores de resistividade, foram obtidos através da Lei de Ohm. Que relaciona a densidade de corrente induzida no interior do corpo com a intensidade do campo elétrico.

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

Como referência para os valores de correntes induzidas e campo elétrico induzido, foram utilizados os resultados apresentados por Kavet [6] e Stuchly [7].

### 3.2.1 Resultados

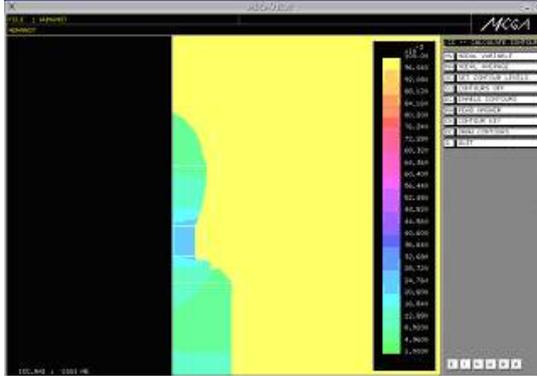


Figura 3 – Mapa do módulo de E ( $\epsilon_r = 5E6$ )

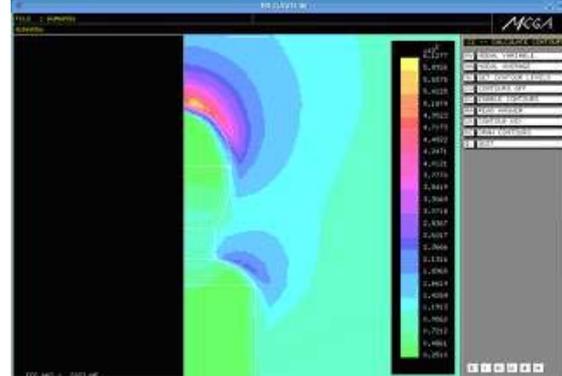


Figura 4 – Mapa do módulo de E ( $\epsilon_r = 30$ )

No presente estágio do trabalho as simulações ainda não são conclusivas em vista de definição de valores de condutividade para os tecidos representativos do corpo humano. Por este motivo as análises dosimétricas seguintes são efetuadas utilizando os valores determinados em [7].

### 4.0 - APLICAÇÃO A UMA LT – VERIFICAÇÃO DOS CAMPOS E LIMITES NO BRASIL

Ao longo dos anos recentes o Setor Elétrico Brasileiro vem realizando medições de campos elétrico e magnético, especialmente no sistema de transmissão. Em todas as medições realizadas verificou-se que os valores registrados estão de acordo com os critérios de projeto, e que, em mais de 90% dos casos, esses valores atendem as recomendações do ICNIRP.

Um outro aspecto que foi analisado neste trabalho é o da exposição efetiva que ocorre no ambiente eletromagnético de uma LT. Os limites propostos consideram separadamente a exposição a campo elétrico e a campo magnético, porém na situação real os dois estão presentes, variando de ponto a ponto o módulo, direção e ângulo de fase relativa dos campos. Foi feita, com intuito ilustrativo, a simulação de um vão real de linha de transmissão onde, numa seção próxima ao meio do vão foram calculados os mapas de campo elétrico e magnético na área correspondente ao limite da faixa de servidão, até a altura dos condutores. Para cada ponto no espaço é feito o cálculo da corrente que seria induzida num organismo nesse ponto, considerando ambos os campos. O resultado dessa simulação é ilustrado na figura

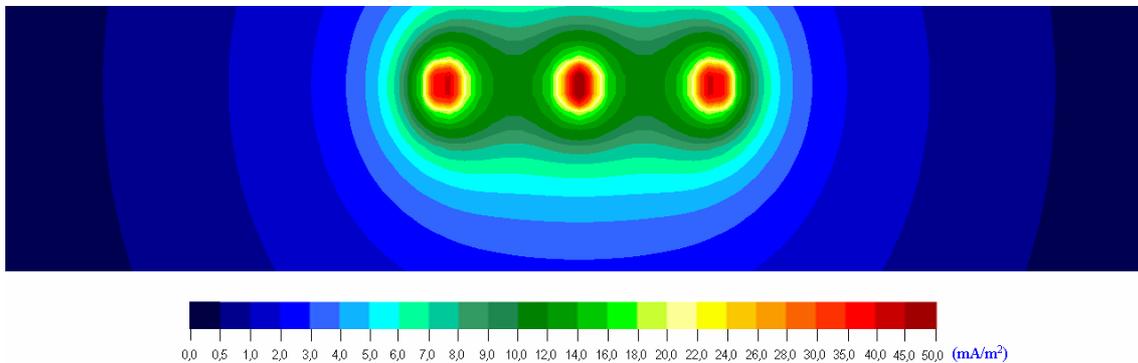


Figura 5 - Mapa da simulação de densidades de corrente induzida numa pessoa na vizinhança de uma LT.

### 5.0 – SITUAÇÃO MUNDIAL DE LIMITES DE CEMs

A associação entre campos produzidos por linhas de transmissão e possíveis efeitos sobre a saúde da população exposta a estes campos, tem motivado uma grande discussão nos últimos 30 anos. Estudos nesta linha têm sido feitos em vários países desde os anos 80, para determinar se o campo magnético de baixa frequência pode causar ou favorecer o aparecimento de câncer. Os resultados durante muitos anos foram variados e algumas vezes contraditórios. No entanto a posição atual da Organização Mundial de Saúde conclui pela inexistência de resultados conclusivos quer para uma relação causal, quer para uma relação epidemiológica entre campos eletromagnéticos e doenças. Conclusão semelhante foi obtida pela Agência Internacional de Pesquisas de Câncer (IARC), que em 2001 classificou o campo magnético de baixa frequência como potencialmente carcinogênico. Concluindo que campos magnéticos fracos representariam uma possibilidade - embora não provável ou comprovada - de risco de leucemia. Atualmente a referência principal para limites de campos eletromagnéticos é a recomendação do ICNIRP [1], que é avalizada pela Organização Mundial de Saúde.

Esta incerteza quanto aos efeitos da exposição de longa duração a campos magnéticos de baixa frequência tem levado alguns países a adotar limites mais restritivos que as recomendações do ICNIRP, baseados no Princípio da Preocupação ou na sua variante, o Princípio da Abstenção por Prudência.

Princípio da Precaução - “Política de gerenciamento de risco aplicado em circunstâncias com alto grau de incerteza científica ” onde foi determinado uma necessidade em reduzir o risco de um dano, usualmente através de políticas provisórias, até que pesquisas forneçam respostas conclusivas.

Abstenção por Prudência - Mesmo sem qualquer risco demonstrável, adotam-se medidas de custo razoável para reduzir a exposição a campos eletromagnéticos. Trabalhos recentes, NRD (antigo NRPB) e ARPANSA

### 5.1 Europa

Apesar do Conselho Europeu emitir uma Recomendação do Conselho 1999/519/EC, propondo a adoção dos limites de exposição a campos eletromagnéticos para o público geral nas frequências de 0 a 300 GHz nos valores recomendados na diretriz do ICNIRP, e da proposta por parte da Comissão Européia em harmonizar as normas de proteção, o panorama dos limites na Europa permanece não-homogêneo, FIGURA 6 (Mapa ilustrativo de Limites).



FIGURA 6 – Mapa Limites CEM Europa

Para efeito comparativo dos limites adotados nos países, estes foram divididos em 4 categorias:

- Limites ICNIRP
- Limites Equivalentes ao ICNIRP
- Limites Inferiores
- Limites Superiores

Além dessas categorias foram listados os países que utilizam somente o Princípio da Precaução como critério, ou que não possuem limites para campos elétricos e magnéticos de baixa frequência.

TABELA I – Limites mundiais com relação ao ICNIRP

LIMITES ICNIRP		LIMITES EQUIVALENTES	LIMITES SUPERIORES	LIMITES INFERIORES
África do Sul	Malta	Alemanha	Bélgica	China
Croácia	Portugal	Hungria	Bulgária	Costa Rica
Estônia	Reino Unido	Itália	Eslovênia	Grécia
Finlândia	República da Coreia	Suíça	HOLANDA	Holanda
França	República Tcheca			Japão
Irlanda	Singapura			Polônia
	Taiwan			Rússia

Há países que apresentam Normas apenas para alta-frequência. São os casos de Canadá, Espanha, Filipinas, Nova Zelândia e Turquia.

O Princípio da Precaução tem sido adotado em países como Dinamarca, Espanha, Luxemburgo e Suécia.

Porém alguns países tem incorporado o PP na sua Norma de exposição. Casos da Suíça e Itália.

Na Suíça a ONIR, Lei relativa a proteção contra radiação não-ionizante, se aplica sob duas formas:

- Limitando a exposição de curta duração a fim de prevenir danos a saúde aceitos cientificamente
- Como medida preventiva, reduzindo a exposição de longa duração a fim de proteger contra potenciais riscos a saúde.

Para exposição de curta duração os limites seguem as recomendações do ICNIRP.

Em áreas de uso sensível, ou seja, lugares ocupados por pessoas em grandes períodos de tempo, como residências, escolas, parques, playground, hospitais e escritórios, adotou-se um limite mais baixo ( $1\mu\text{T}$ ).

Essa exigência é feita para instalações novas, modificadas e antigas.

A Itália possui limites para público geral semelhantes ao ICNIRP. No entanto para campo magnético possui 2 outros níveis:

- nível de observação igual a  $10\mu\text{T}$ , em caso de exposição maior que 4 horas.
- nível de qualidade igual a  $3\mu\text{T}$ , para novas linhas.

Lembrando que os valores acima citados são valores médios diários.

A Holanda apresenta uma situação interessante por propor em 2005, através de seu Governo à autoridades locais, a recomendação que não dêem permissão para a construção de novas residências na zona de  $0,4\mu\text{T}$  das linhas de transmissão.

A Polônia limita a intensidade de campo elétrico em  $1\text{kV/m}$  em áreas residenciais, ou vizinhas a hospitais, creches e pátios de escolas. Para os outros lugares o limite é  $10\text{kV/m}$ .

## 5.2 Continente Americano

Os Estados Unidos não possuem leis federais regulando campos elétricos e magnéticos de baixa frequência.

Entretanto seis estados possuem normas para campo elétrico gerado por linha de transmissão e dois deles possuem também limites para campo magnético.

O Canadá possui regulamentação de limite de campo elétrico em 3 províncias, adotadas por companhias elétricas com o objetivo de minimizar o potencial induzido em grande objetos metálicos e conseqüentemente o risco de ocorrer choque elétrico. O fato é que as três províncias possuem valores diferentes para a intensidade do campo elétrico no interior da faixa a um metro do solo. Hydro-Quebec, Hydro One-Ontario e BC Hydro-British Columbia, estabelecem  $2\text{kV/m}$ ,  $3\text{kV/m}$  e  $5\text{kV/m}$  respectivamente.

## 5.3 Brasil

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

- o desenvolvimento da norma NBR 15415 (métodos de medição e níveis de referência para exposição a campos elétricos e magnéticos nas frequências de 50 Hz e 60 Hz) que, além de definir os níveis de referência e critérios da ICNIRP para utilização nos empreendimentos no Brasil, ainda define critérios para realização de medições de campo;
- a criação da Comissão Nacional de Bioeletromagnetismo, recentemente instalada, englobando, além do Ministério das Minas e Energia, o Ministério da Saúde, o Ministério do Meio Ambiente, o Ministério das Comunicações, entre outros órgãos governamentais, com o objetivo de harmonizar diferentes entendimentos do problema entre os diversos setores do governo e da sociedade;
- o projeto de lei nº 2.576, que dispõe sobre a instalação de fontes emissoras de radiação eletromagnética, em tramitação no congresso nacional.

Disparidades entre as Normas ao redor do mundo, tem provocado um aumento na preocupação do público com relação a exposição a campos eletromagnético. A OMS tem procurado através de seminários internacionais e reuniões de grupos de trabalho, harmonizar as Normas de CEM.

## 6.0 – CONCLUSÕES

O trabalho apresentado neste IT apresenta uma evolução com relação ao processo de estabelecimento de limites proposto pelo ICNIRP nos seguintes quesitos:

- Melhor caracterização dos campos eletromagnéticos na vizinhança de LTs (modelagem 3D, campos não uniformes).
- Modelagem mais elaborada para estabelecimento da relação entre 'campo exterior' e 'corrente induzida'.
- Investigação teórico-experimental para caracterização do comportamento do corpo humano submetido a campo elétrico em baixa frequência.
- Análise das restrições básicas (corrente induzida no organismo) considerando o efeito combinado do campo elétrico e magnético presentes na vizinhança de LTs – variação do módulo, direção e ângulo de fase.

Verificou-se, mediante uma pesquisa teórico-experimental, que o comportamento do organismo humano em baixa frequência é significativamente mais condutivo do que se vem utilizando nos estudos, o que proporciona uma proteção adicional, uma vez que os campos efetivamente presentes no interior do organismos serão inferiores aos estimados anteriormente.

Os estudos efetuados indicam que os níveis de referência propostos pelo ICNIRP são adequados para garantir a proteção de pessoas na vizinhança de linhas de transmissão (interior e limites da faixa de passagem). Porém na vizinhança dos condutores as restrições básicas (correntes induzidas) podem ser excedidas, o que indica a necessidade de estudos adicionais para situações onde ocorra essa aproximação.

Publicações recentes [x,r] sugerem que se adote as recomendações do ICNIRP porém que não se estabeleça essas recomendações como limite legal. No Brasil existe a possibilidade de se adotar os níveis do ICNIRP como limites legais. Nesse caso há que observar os seguintes cuidados:

- A intenção de considerar o interior da faixa de passagem como área de exposição ocupacional é questionável. A adoção de limites diferenciados para 'público em geral' e 'exposição ocupacional' é sugerida [v] para levar em conta a presença, na população, de indivíduos com saúde não perfeita, crianças, idosos, históricos familiares de determinadas doenças, etc. e não significando pessoas informadas da presença dos campos.
- A prática de projeto no Brasil determina os valores de campos eletromagnéticos no limite da faixa próximo ao solo (1-1,5 m) na etapa de dimensionamento e posteriores verificações experimentais. Há que levar em conta que, no limite da faixa, a alturas do solo superiores os valores de campo podem ser superiores, o que pode acarretar dificuldades para garantir os limites de campo em casos como: LTs urbanas, construções ou atividades na vizinhança das LTs, etc.

Uma simulação completa do ambiente eletromagnético de uma linha de transmissão, considerando a exposição simultânea a campo elétrico e campo magnético, revela que os limites de densidade de corrente considerados seguros são respeitados na faixa de passagem e sob a LT, porém podem ser violados próximo aos condutores, o que indica a necessidade de estudos adicionais ao planejar atividades de manutenção em linha viva.

## 7.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Technical Report, ICNIRP, 2001
- (2) European Information System on Electromagnetic Fields Exposure and Health Impacts Country Reports on EMF and Health: Sources, Regulations, and Risk Communication Approaches, December 2005 European Commission.
- (3) IMPLEMENTATION REPORT ON THE COUNCIL RECOMMENDATION LIMITING THE PUBLIC EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC FIELDS (0 Hz TO 300GHz)
- (4) "EMF Exposure Standards Applicable In Europe and Elsewhere", Environmental & Society Working Group, Brussels: Union of the Electricity Industry - EURELECTRIC, May 2003
- (5) WU, N., "Regulation Power Line EMF Exposure: International Precedents", Environmental Law Centre Faculty of Law, University of Victoria, April 22,2005
- (6) Kavet, R., Stuchly, M., Bailey, W.H. and Bracken, T.D., " Evaluation of Biological Effects, Dosimetric Models, and Exposure Assessment Related to ELF Electric-and Magnetic-Field Guidelines," Appl. Cooupat. Environ. Hygiene, 2001
- (7) Stuchly, M., Dawson, T.W., " Interaction of Low-Frequency Electric and Magnetic Fields with the Human Body," Proceedings of the IEEE, VOL.88, NO.5, MAY 2000.
- (8) S. Gabriel, R.W Lau and C. Gabriel, "The Dielectric Properties of Biological Tissues: III Parametric Models of the Dielectric Spectrum of Tissues," Phys Med Biol 41:2271-2293(1996).
- (9) Programa PHENIX, "Análise de Campos Eletromagnéticos por Métodos Numéricos", CEPEL.
- (10) Shimizu, K., Endo, H. and Matsumoto, G. " Visualization of Electric Fields Around a Biological Body," IEEE Transactions of Biomedical Engineering, VOL.35, NO.5, MAY 1988.
- (11) Chiba, A., Isaka, K., et al. " Application of Finite Element Method to Analysis of Induced Currents Densities Inside Human Model Exposed to 60-Hz Electric Field", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, PAS-103,7, pp.1895-1901(1984)
- (12) Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE): *IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Electromagnetic Fields, 0 to 3 kHz* (IEEE C95.6-2002). [Standard] Piscataway, N.J.: Subcommittee 3 of Standards Coordinating Committee 28, IEEE Standards Department, 2002
- (13) Mega Manual, Department of Electronic and Electrical Engineering, University of Bath, Claverton Down, Bath BA2 7AY, United Kingdom
- (14) EMF Standard and the development of the ARPANSA ELF Standard, Swinburne University of Technology, Melbourne. www.arpansa.gov.au.
- (15) Compilation of the dielectric properties of body tissues at RF and microwave frequencies1996 Final Report for the Period December 1994 - 14 December 1995 Prepared for AFOSR/NL Bolling AFB DC 20332-0001