



SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA

GCQ - 08  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

**GRUPO XIII  
GRUPO DE ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS, COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA E QUALIDADE DE  
ENERGIA - GCQ**

**MEDIÇÕES DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS DE BAIXA FREQUÊNCIA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO  
E SUBESTAÇÕES**

**Leonardo Morozowski Ardjomand\* Ana Letícia Borille Fogaça Nilton Sergio Ramos Quoirin  
Ricardo Luiz Araújo Anderson Luis Saviski Alexandre Albarello Costa Álvaro Claudino Küster**

**LACTEC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO  
UNIDADE DE TECNOLOGIA EM COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA**

**RESUMO**

A crescente preocupação com os possíveis efeitos da exposição a campos eletromagnéticos de baixa frequência, tanto do público como de trabalhadores da área, torna importante a avaliação dos níveis de campos eletromagnéticos nas empresas do setor elétrico. Este artigo apresenta a metodologia e os resultados de um extenso trabalho de mapeamento de campo elétrico e magnético realizado pelo LACTEC em subestações e linhas de transmissão de uma concessionária de energia. Os resultados da pesquisa fornecerão subsídios para novos empreendimentos, assim como para o esclarecimento da população e de funcionários da empresa em relação a reclamações ou eventuais demandas judiciais.

**PALAVRAS – CHAVE**

Campo elétrico, Campo magnético, Exposição ocupacional, Radiação não-ionizante.

**1.0 INTRODUÇÃO**

A crescente preocupação com os possíveis efeitos da exposição a campos eletromagnéticos de baixa frequência, tanto do público em geral como de trabalhadores da área, torna importante a avaliação dos níveis de campos elétricos e magnéticos nas instalações das empresas do setor elétrico. Trabalhadores de subestações frequentemente responsabilizam a companhia para a qual trabalham por problemas de saúde causados, supostamente, pela exposição excessiva a campos eletromagnéticos no local de trabalho. Ao mesmo tempo, a construção de linhas de transmissão e de subestações em regiões densamente povoadas por vezes enfrenta protestos e reclamações da população da região. Em alguns casos, novas subestações ou linhas de transmissão chegam a ter suas construções embargadas, causando grandes prejuízos financeiros e a deterioração da imagem da empresa concessionária de energia. Na maioria das situações, nem as empresas, nem a população possuem evidências suficientes para comprovar a existência ou não de riscos para a saúde devido à exposição prolongada a campos eletromagnéticos [1, 2].

No primeiro semestre de 2004, a Unidade de Tecnologia em Compatibilidade Eletromagnética do LACTEC realizou medições de campos eletromagnéticos, na faixa de frequência de 5 Hz a 2 kHz, em subestações e nas adjacências de linhas de transmissão de uma concessionária de energia elétrica. Na primeira etapa do trabalho, foram mapeadas vinte e duas subestações, com tensões variando entre 13,8 kV e 525 kV. A segunda etapa

\*Centro Politécnico da UFPR – Caixa Postal 19067 - CEP 81531-990 - Curitiba - PR - BRASIL  
Tel.: (041) 361-6160 - Fax: (041) 366-7373 - e-mail: leonardo@lactec.org.br

consistiu na medição dos campos elétricos e magnéticos próximo a nove linhas de transmissão, com tensões entre 69 kV e 525 kV. As duas etapas resultaram em valores de medições em cerca de 28000 pontos.

O trabalho realizado traz informações sobre os níveis típicos de campos eletromagnéticos nas instalações da concessionária e servirá de apoio no planejamento da empresa, pois torna possível a tomada de decisões baseadas em dados e não em suposições. Os resultados da pesquisa também fornecerão subsídios para a implantação de novos empreendimentos, assim como para um posicionamento da empresa frente a novas normas. Outro mérito da pesquisa é propiciar uma base para o esclarecimento da população e de funcionários da companhia em relação a reclamações ou eventuais demandas judiciais. A metodologia adotada neste trabalho poderá ser utilizada em trabalhos futuros, atendendo ao interesse de outras concessionárias de energia.

## 2.0 MEDIÇÃO DE CAMPOS ELETROMAGNÉTICOS

As medições de campos eletromagnéticos foram realizadas no período compreendido entre fevereiro e abril de 2004 em subestações e linhas de transmissão em diversos locais da área de atuação da concessionária de energia. A seguir são apresentados os principais detalhes do trabalho realizado.

### 2.1 Locais de medição

A seleção das subestações e linhas de transmissão foi efetuada por uma equipe técnica da empresa concessionária de modo a obter uma amostra representativa do parque de instalações da companhia. As subestações escolhidas foram analisadas e consideradas representativas pela equipe técnica do LACTEC envolvida no projeto.

Frente ao exposto acima, foram selecionadas 22 subestações e 9 linhas de transmissão, apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1 - Subestações selecionadas para medição de campo eletromagnético

Subestação	Tensão (kV)	Subestação	Tensão (kV)
1	138 - 230 - 525	12	230 - 69
2	138 - 69 - 34,5 - 13,8	13	138 - 13,8
3	138 - 34,5 - 13,8	14	138 - 13,8
4	230 - 138 - 34,5 - 13,8	15	138 - 34,5 - 13,8
5	500 - 230	16	138 - 13,8
6	138 - 34,5 - 13,8	17	138 - 34,5 - 13,8
7	138 - 69 - 13,8	18	138 - 13,8
8	69 - 13,8	19	138 - 34,5 - 13,8
9	69 - 13,8	20	230 - 138 - 34,5 - 13,8
10	69 - 13,8	21	500
11	230 - 69 - 13,8	22	138 - 34,5 - 13,8

TABELA 2 - Linhas de transmissão selecionadas para medição de campo eletromagnético

Linha de transmissão	Tensão (kV)
1	69
2	138
3	500
4	138
5	69
6	69
7	138
8	230
9	230

## 2.2 Equipamentos de medição

Para a execução das medições foi utilizado o medidor de campo eletromagnético Wandel & Goltermann EFA-300, de propriedade da Unidade de Tecnologia em Compatibilidade Eletromagnética do LACTEC. O medidor possui uma sonda para a medição de campo elétrico isolada oticamente, assim como uma sonda passiva para a medição de campo magnético.

O medidor de campos eletromagnéticos EFA-300 possui capacidade de medir campos eletromagnéticos no intervalo de frequências situado entre 5 Hz e 32 kHz, com possibilidade de utilização de diferentes filtros seletores e formas de análise, tais como valor de campo, análise espectral, campos harmônicos e exposição.

Para a execução das medições foi utilizado um filtro que limita a operação do equipamento entre 50 Hz e 2 kHz, adequado para obter valores confiáveis do campo de uma subestação ou de uma linha de transmissão levando-se em consideração a frequência fundamental (60 Hz) e as harmônicas típicas dos sistemas de potência.

Durante o processo de medição de campo elétrico, tomou-se o cuidado de utilizar um cabo óptico entre o medidor e o sensor, de modo que o operador estivesse o mais afastado possível deste sensor, evitando-se assim distorções nos valores medidos causadas pela presença do corpo humano nos pontos de medição.

Na Figura 1 são apresentados, respectivamente, o medidor EFA-300 e os sensores de campo elétrico e magnético utilizados

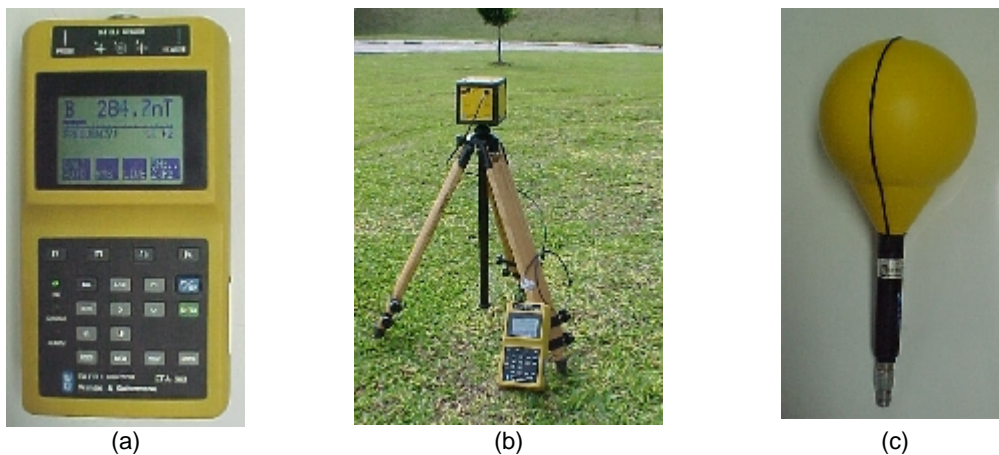


FIGURA 1 – (a) Medidor de campo eletromagnético EFA-300; (b) sensor de campo elétrico; (c) sensor de campo magnético

## 2.3 Metodologia para medição de campos eletromagnéticos

Para a execução das medições de campos elétrico e magnético nas vizinhanças das linhas de transmissão, foi utilizada como referência técnica a norma IEEE 644-1994 - Procedimentos para Medição de Campos Elétrico e Magnético em Linhas de Alta Tensão (*IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from Power Lines*) [3]. Esta norma, editada pelo IEEE (Instituto de Engenheiros Eletrônicos e Eletricistas), é tida como a norma americana oficial para medição de campos em baixa frequência nas proximidades de linhas de transmissão, possuindo a aprovação da ANSI – Instituto Americano de Normalização.

A norma IEEE 644-1994 fornece uma metodologia para a execução de medições de campo elétrico e magnético, além de procedimentos para calibração da instrumentação utilizada, interpretação dos resultados e para a prevenção de interferências durante o processo de medição. Como não existe uma norma para a medição de campo elétrico e magnético em subestações, a norma IEEE 644 também foi adotada para o mapeamento de campo eletromagnético nas subestações.

Seguindo-se os procedimentos estabelecidos pela referida norma, as medições foram realizadas a uma altura de aproximadamente 1 metro em relação ao solo. Para as medições de campo elétrico, foi registrada a componente vertical do campo, representada pelo eixo coordenado y. O campo magnético foi medido através da combinação resultante das três componentes vetoriais do campo, representadas pelos eixos x, y e z. Ambos os sensores (e eixos coordenados) estão representados na Figura 2.

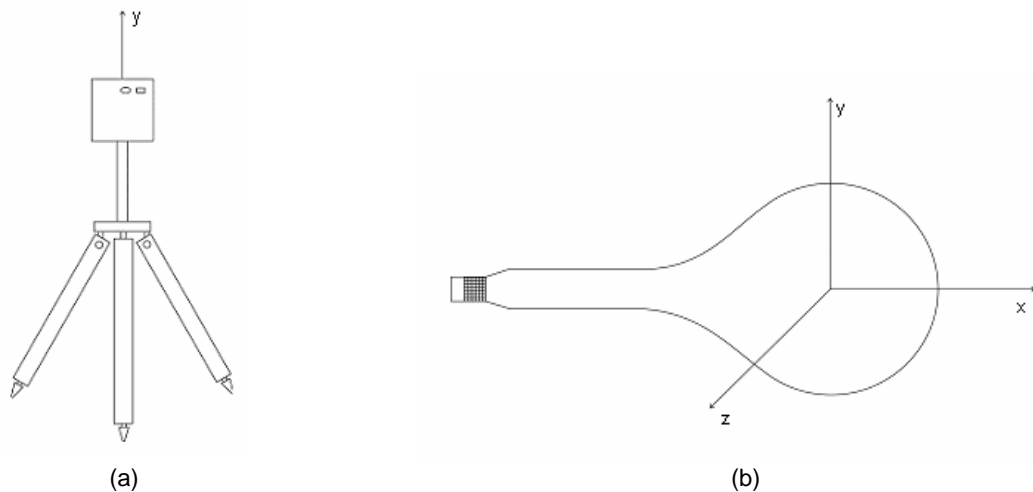


FIGURA 2 – (a) Sensor de campo elétrico e (b) sensor de campo magnético e eixos cartesianos

### 2.3.1 Medições em subestações

Em cada subestação foi desenhada uma grade de medição no solo através de cordas, cercando todo o contorno da subestação e cortando-a em determinados trechos. Como mostra a Figura 3, a grade foi, então, dividida de metro em metro, sendo determinados desta maneira os pontos para medição de campo.

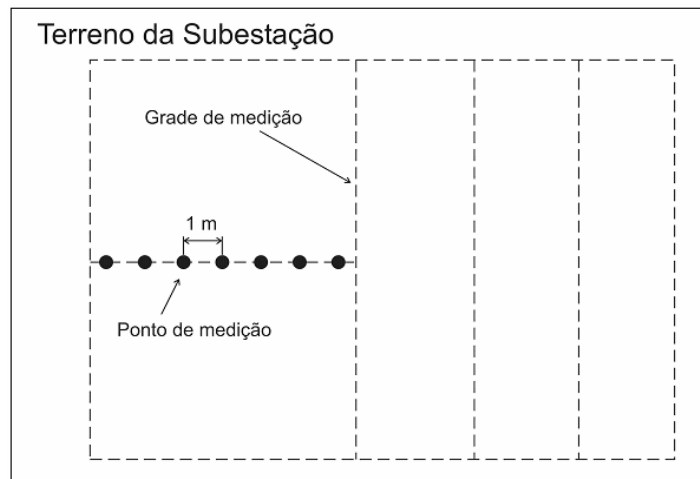


FIGURA 3 - Metodologia utilizada nas medições em subestações

### 2.3.2 Medições em linhas de transmissão

Em cada linha de transmissão, foram selecionados três locais para a execução das medições. Em cada local foi traçada uma linha perpendicular ao traçado dos cabos (dita linha de medição). Em cada uma destas linhas, foram realizadas medições com espaçamento igual a 1 m, como apresentado na Figura 4.

## 2.4 Metodologia para análise de dados obtidos

No Brasil, não existe atualmente uma legislação específica sobre a exposição do público em geral e de trabalhadores a campos de baixa frequência. A norma técnica ABNT NBR 5422 (Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica) [4] fornece apenas um limite de 5 kV para o campo elétrico no limite da faixa de servidão de uma linha de transmissão. Tal norma não fornece o nível de campo magnético máximo nem o nível de campo elétrico no interior da faixa de servidão, o que torna sua aplicação questionável em linhas situadas em regiões urbanas, nas quais existe uma grande circulação de pessoas sob estas linhas.

Desta forma, para a avaliação e interpretação dos valores de campos eletromagnéticos medidos nas subestações e linhas de transmissão, foram utilizadas como referência as diretrizes de exposição a campos eletromagnéticos

do ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* - Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes) [5].

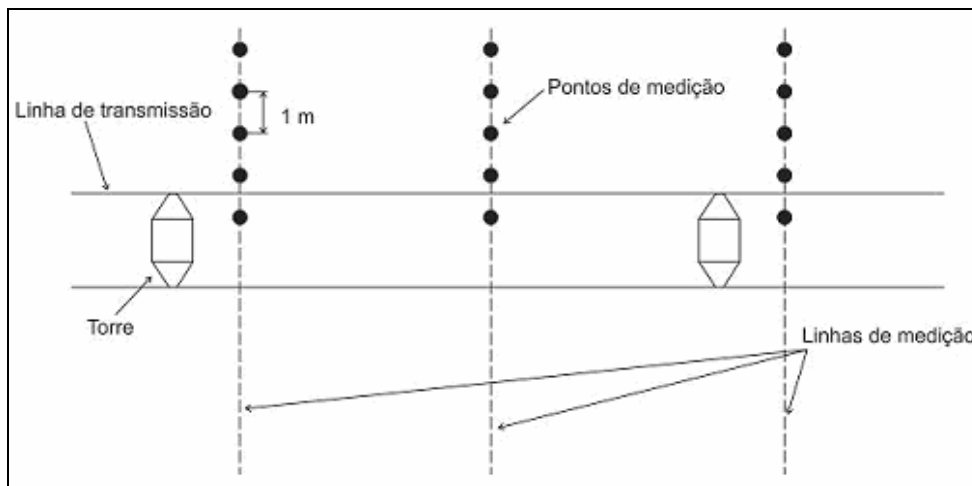


FIGURA 4 - Metodologia utilizada nas medições em linhas de transmissão

O ICNIRP foi fundado em 1992 com o objetivo de estudar efeitos nocivos à saúde causados por radiações não-ionizantes. As Diretrizes para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variantes no tempo até 300 GHz (*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields up to 300 GHz*) da ICNIRP estabelecem níveis máximos de campo elétrico e magnético em função da frequência de forma a evitar possíveis efeitos adversos à saúde.

As recomendações deste documento baseiam-se em uma revisão profunda da literatura já publicada, envolvendo resultados de estudos epidemiológicos e em laboratório. Apenas efeitos imediatos, como choques, queimaduras e estimulação de músculos e nervos periféricos são considerados. Efeitos causados por exposições prolongadas a níveis baixos de campo, como o possível aumento do risco de incidência de câncer, não foram levados em conta, uma vez que os dados disponíveis foram considerados insuficientes para estabelecer uma relação destes efeitos com os níveis de campo.

Os limites estabelecidos levam em conta tanto efeitos diretos como efeitos indiretos. Os efeitos diretos resultam da interação direta dos campos eletromagnéticos com o corpo humano; efeitos indiretos são conseqüentes de interações do corpo com objetos em potenciais elétricos diferentes devido ao campo local.

As diretrizes do ICNIRP apresentam níveis RMS máximos para exposição ocupacional, assim como limites para o público em geral. Estes níveis, denominados níveis de referência, asseguram que restrições básicas não são excedidas. As restrições básicas são restrições baseadas diretamente em efeitos à saúde estabelecidos.

Para a faixa de 0,025 kHz a 0,82 kHz, os campos elétrico e magnético RMS máximos são dados na **Tabela 3** (para valores de frequência em kHz):

TABELA 3 - Limites de campo elétrico e campo magnético para o intervalo de frequências de 0,025 kHz a 0,82 kHz (f corresponde à frequência em kHz)

Campo elétrico (V/m)		Densidade de fluxo magnético ( $\mu$ T)	
Exposição ocupacional	Público em geral	Exposição ocupacional	Público em geral
500/f	250/f	25/f	5/f

Desta forma, para a frequência de 60 Hz, os limites de campo elétrico e de densidade de fluxo magnético resultam nos valores mostrados na Tabela 4:

TABELA 4 - Limites de campo elétrico e campo magnético em 60 Hz

Campo elétrico (kV/m)		Densidade de fluxo magnético ( $\mu$ T)	
Exposição ocupacional	Público em geral	Exposição ocupacional	Público em geral
8,33	4,17	416,7	83,3

### 3.0 RESULTADOS

#### 3.1 Resultados em subestações

A Tabela 5 apresenta os níveis máximos de campo elétrico nas subestações. Em algumas subestações, o nível de campo elétrico ultrapassou o limite de exposição ocupacional em alguns pontos. Para estas subestações, são apresentadas a relação entre o campo elétrico medido e o limite recomendado e a percentagem de pontos acima do nível máximo estabelecido.

TABELA 5 - Níveis máximos de campo elétrico em subestações

Subestação	Campo Elétrico Máximo [kV/m]	Campo medido / Limite	Percentagem de pontos acima do recomendado
1	20,4	2,45	5,84%
2	5,76	0,69	-
3	5,63	0,68	-
4	9,05	1,09	0,15%
5	14,6	1,75	0,07%
6	6,73	0,81	-
7	9,05	1,09	-
8	1,63	0,20	-
9	1,78	0,21	-
10	2,11	0,25	-
11	10,9	1,31	0,29%
12	10,7	1,28	0,29%
13	5,55	0,67	-
14	2,65	0,32	-
15	1,86	0,22	-
16	3,24	0,39	-
17	5,32	0,64	-
18	3,14	0,38	-
19	6,83	0,82	-
20	9,76	1,17	1,94%
21	15,8	1,90	26,97%
22	4,71	0,57	-

A Tabela 6 apresenta os níveis máximos de campo magnético nas subestações. Em algumas subestações, o nível de campo magnético ultrapassou o limite de exposição ocupacional em alguns pontos. Para estas subestações, são apresentadas a relação entre o campo magnético medido e o limite recomendado e a percentagem de pontos acima do nível máximo estabelecido.

TABELA 6 - Níveis máximos de campo magnético em subestações acima do recomendado

Subestação	Campo Magnético Máximo [ $\mu$ T]	Campo medido / Limite	Percentagem de pontos acima do recomendado
1	65,3	0,16	-
2	377	0,90	-
3	379	0,91	-
4	468	1,12	0,10%
5	50,5	0,12	-
6	477	1,14	0,37%
7	544	1,31	0,14%
8	858	2,06	1,14%
9	62,4	0,15	-
10	220	0,53	-
11	42,7	0,10	-
12	29,5	0,07	-
13	85,0	0,20	-
14	21,6	0,05	-
15	684	1,64	0,41%
16	644	1,55	0,19%
17	35,7	0,09	-
18	685	1,64	1,56%
19	3,87	0,01	-
20	11,5	0,03	-
21	9,44	0,02	-
22	1220	2,93	1,24%

### 3.2 Resultados em linhas de transmissão

A Tabela 7 mostra os maiores níveis de campo elétrico e magnético medidos nas vizinhanças das linhas de transmissão. Todos os valores encontrados são inferiores aos limites de exposição ocupacional.

TABELA 7 – Maiores níveis de campo elétrico e de campo magnético em linhas de transmissão

Linha de Transmissão	Campo Elétrico Máximo [kV/m]	Campo Magnético Máximo [ $\mu$ T]
1	0,143	0,941
2	0,891	0,968
3	2,97	10,0
4	0,476	1,20
5	1,54	1,36
6	0,744	2,51
7	1,07	1,04
8	2,76	1,40
9	2,23	2,93

#### 3.2.1 Análise dos resultados

Observando-se os valores máximos medidos pode-se constatar que em aproximadamente um terço das subestações o campo elétrico e o campo magnético ultrapassaram os limites recomendados.

Os dois piores casos ocorreram nas subestações 1 (campo elétrico quase 2,5 vezes o valor do limite) e 22 (campo magnético quase 3 vezes o valor do limite). É importante lembrar que esses foram os valores máximos,

encontrados em alguns pontos das subestações. Na subestação 1, 5,84% dos pontos apresentaram níveis de campo elétrico superiores ao limite de exposição ocupacional. Na subestação 22, apenas 1,24% dos pontos ultrapassaram o limite recomendado pela ICNIRP.

Já nas linhas de transmissão ambos os campos permaneceram dentro dos limites recomendados pela ICNIRP. Os maiores níveis de campo elétrico foram encontrados nas linhas 3 e 8. Os maiores valores de campo magnético foram medidos nas linhas 3 e 9. No entanto, em ambos os casos, os campos medidos foram muito inferiores aos limites recomendados.

#### 4.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou o resultado das medições de campo elétrico e magnético em subestações e linhas de transmissão de uma concessionária de energia elétrica. Devido à crescente preocupação com a possível ocorrência de efeitos adversos à saúde causados pela exposição a campos eletromagnéticos, o conhecimento dos níveis de campos nas instalações da concessionária tem importância fundamental. As medições foram efetuadas seguindo o procedimento recomendado pela norma 644 do IEEE.

Os resultados referentes aos valores de campo elétrico e de campo magnético próximo às linhas de transmissão mostraram conformidade com os níveis máximos de exposição ocupacional recomendados pelas diretrizes do ICNIRP. Os maiores valores encontrados nas proximidades das linhas foram muito inferiores aos limites recomendados.

Os valores de campo elétrico e campo magnético medidos nas subestações encontram-se, na sua maioria, abaixo dos limites recomendados pelo ICNIRP. Entretanto, em cerca de 30% das subestações, os maiores níveis encontrados excedem os limites das diretrizes.

Os maiores valores de campo elétrico foram sempre observados nos setores de maior tensão das subestações, especialmente nos locais em que as estruturas são mais baixas. Nos setores de menor tensão, os níveis medidos sempre ficaram abaixo dos limites recomendados. Os maiores níveis de campo magnético foram, na maioria das vezes, encontrados nos setores de menor tensão, em especial próximo às mufas, onde circulam correntes elevadas.

É importante ressaltar que níveis de campo acima dos níveis de referência recomendados pelo ICNIRP não significam necessariamente que as restrições básicas estão sendo excedidas. Nestes casos, deve-se dar atenção especial aos pontos com maiores valores de campo, verificando os locais das subestações em que se encontram e quais os fatores que causam estes níveis. Além disto, recomenda-se a adoção de medidas que minimizem a exposição do trabalhador a campos acima dos limites recomendados. Exemplos simples são a limitação do acesso aos locais e a utilização de sinalizações sonoras e visuais.

#### 5.0 BIBLIOGRAFIA

(1) POLK, C. Biological effects of low-level low-frequency electric and magnetic fields. IEEE Transactions on Education, p. 243-249, v. 34, n. 3, ago. 1991.

(2) NATIONAL INSTITUTE OF ENVIRONMENTAL HEALTH SCIENCES. Report on health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields, 1999. Disponível em: <[http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/html/EMF\\_DIR\\_RPT/Report\\_18f.htm](http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/html/EMF_DIR_RPT/Report_18f.htm)> Acesso em: 27 out. 2004.

(3) INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. IEEE 644: IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from Power Lines. Nova Iorque, 1994.

(4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5422: Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Rio de Janeiro, 1985.

(5) INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Oberschleissheim, 1998.