

Mateus Habermann^IIzabel Marcílio^{II}Marina Lopes^{II}Rogério Prado^{II}Miriam Souza^{II}Nelson Gouveia^{II}

Desigualdade social e exposição a campos magnéticos na Região Metropolitana de São Paulo

Social inequality and exposure to magnetic fields in the metropolitan region of São Paulo, Southeastern Brazil

RESUMO

OBJETIVO: Estimar a prevalência de exposição aos campos magnéticos gerados por linhas de transmissão (LT) e caracterizar a população exposta.

MÉTODOS: Informações sobre LT da Região Metropolitana de São Paulo foram fornecidas pelas concessionárias de energia e mapeadas usando sistema de informação geográfica (SIG). Dados demográficos e socioeconômicos foram obtidos por meio do Censo 2000 e incluídos no SIG em outra camada. Foram considerados expostos os domicílios e seus habitantes localizados a uma distância da LT suficiente para gerar um campo magnético $\geq 0,3 \mu\text{T}$ (microteslas). A prevalência foi estimada por meio da área de corredores de exposição ao longo das LT. A largura dos corredores de exposição se baseou em duas abordagens: uma consistiu em larguras pré-definidas pela tensão da LT e a outra por meio de cálculo do campo magnético. As informações socioeconômicas entre expostos e não expostos foram comparadas pela aplicação do teste de duas proporções ($\alpha = 5\%$).

RESULTADOS: Nos corredores com larguras pré-definidas a prevalência de exposição foi de 2,4% e nos corredores calculados, foi de 1,4%. Ambos os métodos indicaram maior prevalência de exposição na população mais jovem, com menores níveis de renda e escolaridade ($p < 0,001$).

CONCLUSÕES: A prevalência de exposição aos campos magnéticos gerados por LT na região metropolitana de São Paulo ficou abaixo do observado em outros países. Os resultados indicam desigualdade na exposição aos campos magnéticos nessa área urbana, com maiores riscos às populações vulneráveis, como crianças e pessoas socioeconomicamente desfavorecidas.

DESCRITORES: Campos Eletromagnéticos, efeitos adversos. Exposição Ambiental. Fatores de Risco. Fatores Socioeconômicos. Desigualdades em Saúde. Estudos transversais.

^I Programa de Pós-Graduação em Ciências. Faculdade de Medicina (FM). Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP, Brasil

^{II} Departamento de Medicina Preventiva. FM-USP. São Paulo, SP, Brasil

Correspondência | Correspondence:

Mateus Habermann
Departamento de Medicina Preventiva
Faculdade de Medicina – Universidade de São Paulo
Av. Dr. Arnaldo, 455, 2º andar
Cerqueira César
01246-903 São Paulo, SP, Brasil
E-mail: mathab@usp.br

Recebido: 5/3/2009

Aprovado: 5/2/2010

Artigo disponível em português e inglês em:
www.scielo.br/rsp

ABSTRACT

OBJECTIVE: To estimate the prevalence of exposure to magnetic fields generated by transmission lines (TL) and characterize the exposed population.

METHODS: Information about TL in the metropolitan region of São Paulo, Southeastern Brazil, was provided by the electricity companies and mapped out using geographic information system (GIS). Demographic and socioeconomic data were obtained from the 2000 Census and added to the GIS in another layer. Households and their inhabitants that were located at a distance from the TL that was sufficient to generate a magnetic field $\geq 0.3 \mu\text{T}$ (microteslas) were deemed to be exposed. The prevalence was estimated according to the area of the corridors of exposure along the TL. Two approaches were used to delimit the corridor width: one consisted of widths that were predefined by the TL voltage, and the other consisted of calculation of the magnetic field. The socioeconomic information on the exposed and non-exposed populations were compared by applying the two-proportion test ($\alpha = 5\%$).

RESULTS: In the corridors with predefined widths, the prevalence of exposure was 2.4%, and in the calculated corridors, the prevalence was 1.4%. Both methods indicated higher prevalence of exposure among the younger population, and among individuals with lower education and income levels ($p < 0.001$).

CONCLUSIONS: The prevalence of exposure to magnetic fields generated by TL in the metropolitan region of São Paulo was lower than what has been observed in other countries. The results indicate inequality in the exposure to magnetic fields in this urban area, with greater risk to vulnerable populations such as children and socioeconomically less favored individuals.

DESCRIPTORS: Electromagnetic Fields, adverse effects. Environmental Exposure. Risk Factors. Socioeconomic Factors. Health Inequalities. Cross-Sectional Studies.

INTRODUÇÃO

A sociedade convive com riscos gerados pelo seu próprio sistema organizacional. A chamada pós-modernidade⁴ trouxe benefícios inestimáveis para o conforto e bem-estar do homem. Em contrapartida, isso tem gerado ameaças, como resultado da emissão de resíduos e efluentes perigosos, que contaminam o ar, o solo e as águas, podendo trazer consequências para a saúde humana.¹¹

Dentre os riscos gerados pelos avanços tecnológicos, a poluição eletromagnética decorre do uso de energia elétrica e de aparelhos eletrodomésticos, como os fornos de microondas, monitores de vídeo e telefones celulares.^a

Os campos eletromagnéticos variam bastante em relação à frequência, medida em Hertz (Hz). A energia elétrica produz campos eletromagnéticos de frequência extremamente baixa, entre 50 Hz e 60 Hz. A preocupação maior se relaciona aos campos magnéticos (medidos em microteslas – μT), que podem atravessar materiais

comuns de construção, enquanto os campos elétricos são atenuados pela maioria desses materiais.¹²

Ainda há controvérsias sobre os efeitos da exposição aos campos magnéticos à saúde, uma vez que estes induzem correntes elétricas fracas e energia insuficiente para danificar diretamente o DNA e desencadear o processo de carcinogênese.^{5,10} No final da década de 1970 foram publicados os primeiros estudos epidemiológicos para avaliar a exposição residencial aos campos magnéticos e o risco de leucemia, cânceres e outros desfechos na saúde.^{7,10} Tais estudos vêm sendo realizados com vários desenhos (caso-controle,^{1,2,6,8,9} coorte^{13,14} e ecológico¹⁵) e diversos métodos de avaliação de exposição.

Um dos principais problemas enfrentados na caracterização dos efeitos desses campos à saúde em estudos epidemiológicos é a dificuldade metodológica de quantificar a exposição. Muitos estudos estimam a exposição e seus efeitos por meio de corredores delimitados e

^a World Health Organization. What are electromagnetic fields? Geneva; 2006[citado 2008 jun 09]. Disponível em: <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/>

distância das residências em relação à linha de transmissão (LT),^{1,2,6,8,13-15} assumindo que a maior proximidade residencial da LT acarrete maior exposição. O campo magnético dos corredores de exposição ao longo das linhas é proporcional à corrente. Portanto, linhas de diferentes tensões e cargas devem ser categorizadas por corredores de exposição cuja largura varie conforme sua intensidade, além de outras características, a saber: geometria dos cabos, altura das torres e outras.

Estudos reportam larguras de corredores de 500 m, de modo que incluam exposições $\geq 0,05 \mu\text{T}$,^{13,14} e entre 40 m para LT de 33 kV até 300 m para LT de 420 kV⁸ de forma a definir uma exposição $\geq 0,1 \mu\text{T}$,⁹ ou também corredores de 100 m em cada lado da LT, estimando haver exposição $\geq 0,2 \mu\text{T}$,¹⁴ ou ao longo de linhas de 110 kV e 380 kV.¹

Vários estudos apresentam resultados estatisticamente significantes entre exposição aos campos magnéticos e desenvolvimento de desfechos como câncer e leucemia.²⁻⁴ Muitos deles se utilizam de técnicas proporcionadas pelos SIG para delimitar corredores e determinar a distância residencial das LT como avaliação da exposição. O presente estudo teve por objetivo estimar a prevalência de exposição aos campos magnéticos gerados por LT e caracterizar a população exposta.

MÉTODOS

Estudo transversal desenvolvido como parte do Projeto EMF-SP,^b realizado na região metropolitana de São Paulo, SP. Atualmente a região metropolitana possui uma população de 19.697.337 habitantes e densidade demográfica de aproximadamente 2.479,6 habitantes/km².^c Dados sobre as LT que atravessam essa área foram fornecidos pelas concessionárias de energia participantes do projeto e mapeados utilizando o programa de SIG MapInfo (Professional version 8.5; MapInfo Corporation, New York, NY, USA).

A base cartográfica dos setores censitários do IBGE dos municípios da região metropolitana de São Paulo, que contém as informações domiciliares, populacionais, por idade, e socioeconômicas, escolaridade e renda por chefe de domicílio, foi adicionada ao SIG em outra camada (*layer*) junto com a das LT e dos corredores de exposição.

Para avaliar exposição foi definido como exposto o domicílio e seus habitantes que estivessem dentro dos limites de um corredor ao longo das LT, cujo campo magnético fosse estimado como sendo $\geq 0,3 \mu\text{T}$. A largura desses corredores de exposição se baseou em dois métodos:

Corredores com largura pré-definida para cada LT, com base em estudos epidemiológicos que utilizaram método similar de avaliação da exposição.^{8,9} A largura dos corredores ao longo das LT variou conforme a tensão (LT de 88 kV – 60 m; 138 kV – 100 m; 230 kV – 150 m; 345 kV – 200 m; $\geq 440 \text{ kV}$ – 250 m), para corresponder ao campo magnético $\geq 0,3 \mu\text{T}$. Havendo várias LT numa mesma área de servidão, a largura do corredor se baseou naquela com maior tensão.

Corredores calculados para média de exposição a campo magnético $\geq 0,3 \mu\text{T}$. Os cálculos foram realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas, utilizando informações técnicas de cada linha que corta a região estudada, tais como a carga média anual, a tensão, o posicionamento e a distância das fases, entre outros. A largura desses corredores variou de acordo com a intensidade do campo magnético e com as características das respectivas LT, apresentando larguras entre 20 m e 200 m ao longo de cada linha.

O ponto de corte de $0,3 \mu\text{T}$ para caracterizar exposição foi adotado com base na metanálise de Greenland et al³ que, baseada nos resultados de 12 estudos epidemiológicos, estimou um OR = 1,7 (IC 95%: 1,2;2,3) para leucemia infantil e exposições $\geq 0,3 \mu\text{T}$ comparado com exposições $\leq 0,1 \mu\text{T}$ (grupo referência).

Em ambos os métodos, o programa de SIG somou os valores populacionais e domiciliares dos setores censitários inseridos nas áreas de interesse, no caso de setores completamente inseridos nos corredores. O programa também estimou, por meio de soma proporcional, os valores referentes àqueles setores parcialmente contidos em cada corredor. Os valores populacionais foram proporcionalmente corrigidos para o ano de 2008 por meio de informações obtidas no site da Fundação Seade.^c

Para a análise socioeconômica foram adotados indicadores sobre o chefe da família que representassem os extremos de escolaridade (até cinco anos de estudo e ≥ 13 anos de estudo) e renda (até 2 salários mínimos e > 20 salários mínimos) e apontassem maior ou menor vulnerabilidade socioeconômica. As proporções dessas categorias de renda e escolaridade entre expostos e não expostos foram comparadas por meio do teste de proporções ($\alpha = 5\%$).

RESULTADOS

A região metropolitana de São Paulo é cortada por uma rede de 2.571 km de LT aéreas (Figura 1), sendo as linhas de 88 kV aquelas que se apresentaram mais frequentes (879,2 km, 34,2% do total), seguidas pelas linhas de 345 kV (26,1%) (Tabela 1).

^b O projeto EMF-SP foi coordenado pela Associação Brasileira de Compatibilidade Eletromagnética, financiado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Projeto nº 0390-041/2004) e contou com a participação das empresas transmissoras e distribuidoras de energia elétrica do estado de São Paulo.

^c Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Município de São Paulo – MSP. São Paulo: 2008 [citado 2008 set 29]. Disponível em: <http://www.seade.sp.gov.br/produtos/msp/index.php>

Tabela 1. Extensão das linhas de transmissão de energia elétrica. Região Metropolitana de São Paulo, SP, 2008.

Tensão (kV)	Comprimento (km)	%
88	879,2	34,2
138	264,2	10,3
230	162,9	6,3
345	671,8	26,1
440	267,2	10,4
≥ 500	325,7	12,7
Total	2.571	100,0

Fontes: Bandeirante, Companhia Paulista de Força e Luz, Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, AES Eletropaulo, Elektro e Furnas

Os corredores de larguras pré-definidas incluíram completa ou parcialmente 2.568 setores censitários, totalizando 474.011 habitantes. A prevalência de exposição nesses corredores foi de 2,4%. Os corredores calculados incluíram 2.316 setores censitários, totalizando 269.924 habitantes e prevalência de exposição de 1,4%.

De acordo com a Tabela 2, cerca de metade dos indivíduos dentro dos corredores, em ambos os métodos, tinha até 24 anos. Por outro lado, a população idosa (≥ 70 anos) residente na área dos corredores apresentou menores percentuais, quando comparada às outras faixas etárias.

A prevalência diminuiu gradativamente nas faixas etárias mais elevadas e os menores valores foram encontrados a partir da faixa etária dos 40 anos. O grupo ≥ 80 anos apresentou a menor prevalência de exposição.

A prevalência de exposição foi mais alta nos grupos de chefes de família com menor escolaridade, diminuindo em grupos com maior escolaridade (Figura 2).

A análise da renda dos chefes de família indicou resultados semelhantes aos observados em relação à escolaridade, acompanhando a tendência de aumento da prevalência nos grupos com menor renda. Predominaram nos corredores próximos de uma LT os domicílios de famílias cujo chefe possuía rendimentos mais baixos, sendo a prevalência mais alta entre os grupos de chefes sem rendimento ou recebendo até três salários mínimos. Em contrapartida, as menores prevalências de exposição estavam entre os domicílios de chefes com rendas superiores a dez salários mínimos (Figura 3).

Analisando conjuntamente renda e escolaridade entre a população exposta e não exposta, observou-se que entre os expostos há maior proporção de chefes de domicílio com até cinco anos de estudo e com renda mensal até dois salários mínimos. Por outro lado, entre os não expostos é maior a proporção de chefes com 13 anos ou mais de estudo e com renda mensal superior a 20 salários mínimos. Todas essas diferenças entre expostos e não expostos foram estatisticamente

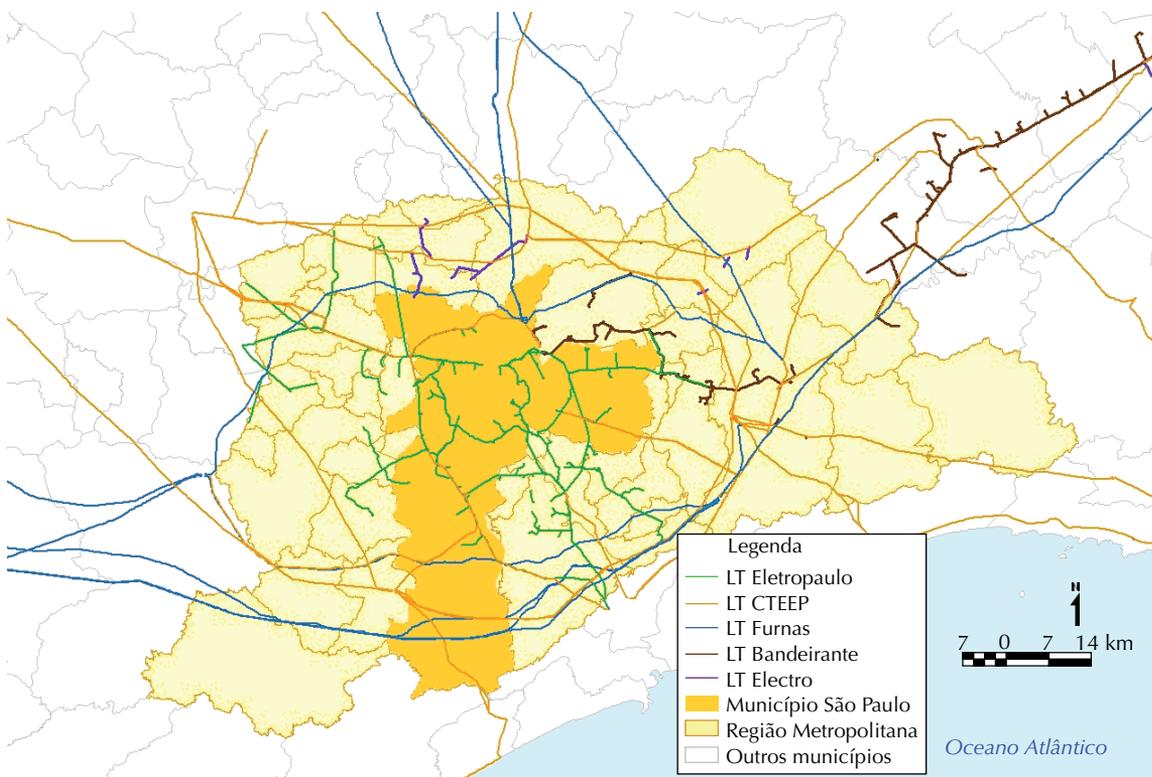
**Figura 1.** Distribuição das linhas de transmissão na Região Metropolitana de São Paulo, SP, 2008.

Tabela 2. Distribuição da população residente segundo corredores de exposição aos campos magnéticos gerados por linhas de transmissão. Região Metropolitana de São Paulo, SP, 2008.

Idade	População ^a	%	Corredores com larguras pré-definidas			Corredores calculados		
			Expostos ^a	%	Prevalência (%)	Expostos ^a	%	Prevalência (%)
≤ 10	3.768.592	19,3	99.288	21,0	2,6	54.750	20,4	1,4
11 a 14	1.427.690	7,2	36.041	7,6	2,5	20.003	7,5	1,4
15 a 24	3.873.462	19,7	94.777	20,0	2,5	53.106	19,8	1,4
25 a 29	1.784.450	9,0	43.968	9,3	2,5	24.681	9,2	1,4
30 a 39	3.216.148	16,3	77.641	16,4	2,4	43.786	16,3	1,4
40 a 49	2.505.962	12,7	57.120	12,0	2,3	32.723	12,2	1,3
50 a 59	1.523.740	7,7	33.392	7,0	2,2	19.470	7,3	1,3
60 a 69	909.798	4,6	18.859	4,0	2,1	11.348	4,2	1,2
70 a 79	507.120	2,6	9.701	2,0	1,9	6.045	2,3	1,2
≥ 80	180.374	0,9	3.223	0,6	1,8	2.012	0,8	1,1
Total	19.697.337	100	474.011	100	2,4	267.924	100	1,4

^a Resultados corrigidos para o ano de 2008

significantes para corredores delimitados por ambos os métodos ($p < 0,001$).

DISCUSSÃO

A prevalência de exposição aos campos magnéticos gerados por LT variou de 1,4% a 2,4% dependendo do método empregado para definir os corredores de exposição. Os maiores índices de prevalência ocorreram entre a população infantil e jovem, até 18 anos, e menor prevalência entre população idosa, com mais de 70 anos.

Houve maior exposição em populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica, uma vez que se encontrou maior prevalência em populações com menor escolaridade e renda. Entretanto, o desenho transversal do presente estudo apenas indica essas desigualdades, impossibilitando definir os mecanismos.

Comparando os resultados de prevalência de exposição aos campos magnéticos nos dois métodos de delimitação de corredores com a literatura do tema, os valores de prevalência obtidos ficaram abaixo do encontrado em outros países. Contudo, esses estudos adotaram corredores de larguras diferentes do que as do presente estudo, o que compromete comparações.

Para avaliar ocorrência de câncer de mama, Kliukiene et al⁸ estimaram corredores cuja largura variou de 40 m para LT de 33 kV até 300 m para LT de 420 kV, de modo que incluíssem exposições $\geq 0,05 \mu\text{T}$. Encontrou-se uma prevalência de exposição de 5% em mulheres da Noruega. Os corredores do estudo de Olsen et al⁹ também variavam conforme a tensão das LT, de forma a definir uma exposição $\geq 0,1 \mu\text{T}$ para investigar a ocorrência de câncer infantil.

Baumgardt-Elms et al¹ utilizaram corredores de 100 m de largura ao longo de linhas de 110 kV e 380 kV, em Hamburgo (Alemanha), para avaliar risco de câncer testicular. A prevalência de exposição encontrada foi de 6,9% nos casos e 5,8% nos controles (OR = 1,3; IC 95%: 0,56;2,8).¹

Em estudo sobre câncer infantil na Finlândia, Verkasalo et al¹³ adotaram corredores de 500 m ao longo das LT, assumindo que nessa largura já houvesse campo magnético $\geq 0,01 \mu\text{T}$. Em outro estudo para avaliar depressão¹⁴ utilizando método similar, encontrou-se risco estatisticamente significativo para o desfecho em questão.

Draper et al,² no Reino Unido, utilizaram distância ≤ 600 m das LT de 275 kV e 400 kV para avaliar exposição e

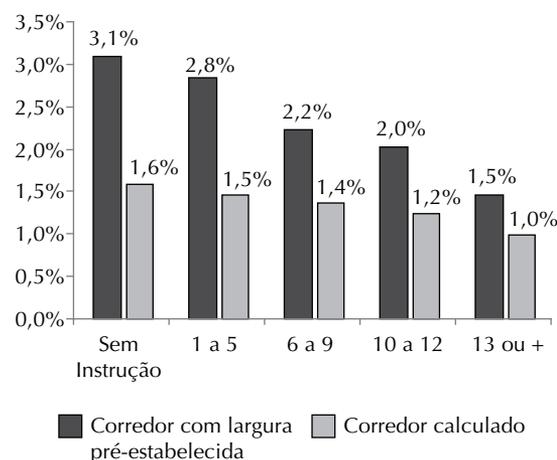


Figura 2. Percentual de chefes de domicílio, de acordo com a escolaridade, residindo nos corredores de exposição. Região Metropolitana de São Paulo, SP, 2008.

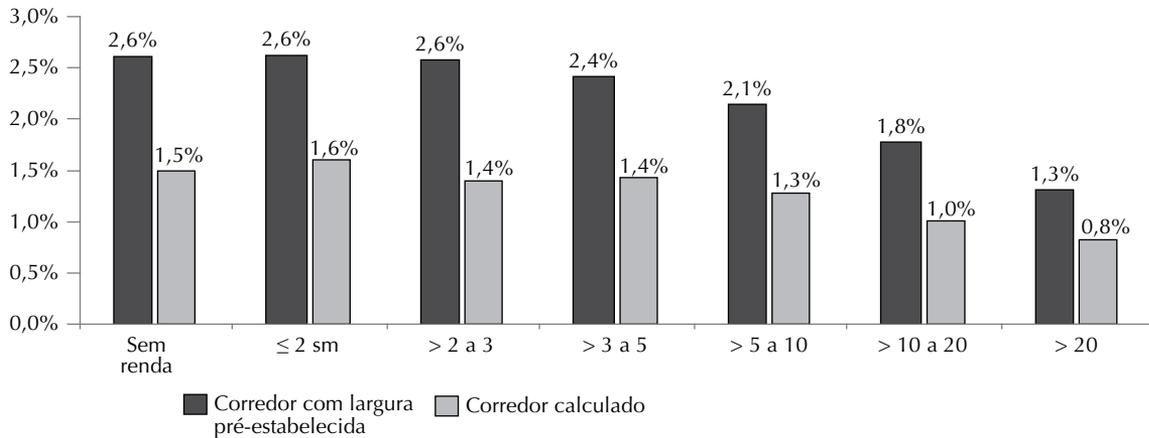


Figura 3. Percentual de chefes de domicílio, de acordo com o rendimento mensal, residindo nos corredores de exposição. Região Metropolitana de São Paulo, SP, 2008.

encontrou-se associação estatisticamente significativa, com risco aumentado de leucemia infantil e prevalência de exposição de 4% em crianças ≤ 14 anos.

Como auxiliar para avaliar exposição residencial no Japão, Kabuto et al⁶ empregaram a distância de residências a LT de 22 kV a 500 kV, considerando expostos os residentes até 99 m de uma LT e ≥ 100 m como grupo de referência. Em distâncias até 50 m os resultados foram estatisticamente significantes, com risco aumentado para leucemia linfoblástica aguda em crianças.

É possível que a menor prevalência de exposição encontrada em nosso estudo se deva ao fato de muitas LT passarem por regiões com menor densidade de residências em São Paulo, áreas com outros usos, zonas industriais, comerciais, rurais, áreas florestais (Serra da Cantareira, por exemplo), margens de rios (como as Marginais dos Rios Pinheiros e Tietê).

Os baixos valores de prevalência podem ter duas interpretações. Por um lado, pode ser positiva, uma vez

que esses campos acarretam efeitos nocivos à saúde. Por outro lado, a prevalência mais elevada nas populações infantil e jovem pode ter como consequência o desenvolvimento de leucemia e câncer devido a essa exposição.^{2-4,6} Ainda, como resultado negativo, a maior prevalência na população com menor nível de escolaridade e renda adiciona os campos magnéticos como mais uma carga sobre as populações em situação de maior vulnerabilidade socioeconômica.

Em relação à baixa prevalência, comparada aos resultados de outros estudos, a exposição real pode ter sido subestimada ao se basear na largura dos corredores em função da carga média das LT, já que a carga e o campo magnético da LT variam durante o dia, conforme a demanda de energia elétrica da população.

Concluindo, a prevalência de exposição estimada pelo presente estudo pode contribuir para a discussão dessa importante exposição ambiental na região metropolitana de São Paulo.

REFERÊNCIAS

1. Baumgardt-Elms C. Residential exposure to overhead high-voltage lines and the risk of testicular cancer: results of a population-based case-control study in Hamburg (Germany). *Int Arch Occup Environ Health*. 2005;78(1):20-6. DOI:10.1007/s00420-004-0550-1
2. Draper G, Vincent T, Kroll ME, Swanson J. Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *Brit Med J*. 2005; 330(7503):1290-95. DOI:10.1136/bmj.330.7503.1290
3. Greenland S, Sheppard AR, Kaune WT, Poole C, Kelsh MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. *Epidemiology*. 2000;11(6):624-34. DOI:10.1097/00001648-200011000-00003
4. Harvey DA. Justiça Social e a cidade. São Paulo: Hucitec; 1980.
5. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Review of the Epidemiologic Literature on EMF and Health. *Environ Health Persp*. 2001;109 (Supl 6):911-33.
6. Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, Yamaguchi N, Akiba S, Honda Y, et al. Childhood leukemia and magnetic fields in Japan: A case-control study of childhood leukemia and residential power-frequency magnetic fields in Japan. *Int J Cancer*. 2006;119(3):643-50. DOI:10.1002/ijc.21374
7. Kheifets LI, Greenberg RS, Neutra RR, Hester GL, Poole CL, Rall DP, Lundell G. Electric and Magnetic Fields and Cancer: Case Study. *Am J Epidemiol*. 2001;154(Supl 12):50-8.
8. Kliukiene J, Tynes J, Andersen A. Residential and Occupational Exposures to 50-Hz Magnetic Fields and Breast Cancer in Women: A Population-based Study. *Am J Epidemiol*. 2004;159(9):852-61. DOI:10.1093/aje/kwh116
9. Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high voltage facilities and risk of cancer in children. *BMJ*. 1993; 307(6909):891-95. DOI:10.1136/bmj.307.6909.891
10. Poole C, Ozonoff D. Magnetic fields and childhood cancers. *IEEE Eng Med Biol*. 1996;15(4):41-9. DOI:10.1109/51.511981
11. Smith K. Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster. London: Routledge; 1992.
12. Marcilio I, Habermann M, Gouveia N. Campos magnéticos de frequência extremamente baixa e efeitos na saúde: revisão da literatura. *Rev Bras Epidemiol*. 2009;12(2):105-23. DOI:10.1590/S1415-790X2009000200002
13. Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Järvinen PJ, Heikkilä KV, et al. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *Brit Med J*. 1993; 307(6909):895-99. DOI:10.1136/bmj.307.6909.895
14. Verkasalo PK, Kaprio J, Varjonen J, Romanov K, Heikkilä K, Koskenvuo M. Magnetic Fields of Transmission Lines and Depression. *Am J Epidemiol*. 1997;146(12):1037-35.
15. Wartenberg D, Greenberg M, Lathrop R. Identification and characterization of population living near high-voltage transmission lines: a pilot study. *Environ Health Persp*. 1993; 101(7):626-32. DOI:10.2307/3431648

Artigo baseado na dissertação de mestrado de Habermann M, apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em 2008.

Os autores declaram não haver conflitos de interesses.