

I INTRODUÇÃO

I.1 Urbanização

As primeiras cidades surgiram na Mesopotâmia (atual Iraque), depois vieram as cidades do Vale do Nilo, do Indo, da região mediterrânea e Europa e, finalmente, as cidades da China e do Novo Mundo ¹.

Embora as primeiras cidades tenham aparecido há mais de 3.500 anos a.C., o processo de urbanização moderno teve início no século XVIII, em consequência da Revolução Industrial, desencadeada inicialmente na Europa. No Terceiro Mundo, a urbanização é um fato bem recente. Hoje quase metade da população mundial vive em cidades havendo uma tendência de aumento conforme se acelera o desenvolvimento ¹.

No século XX, após a II Guerra Mundial, devido à necessária reconstrução física a que se viram obrigadas algumas cidades, muitos países importantes tomaram medidas para formalizar leis baseadas em princípios urbanísticos ².

Na Era Moderna, a Inglaterra foi o primeiro país do mundo a se urbanizar, tendo já em 1850 mais de 50% da população urbana, no entanto a urbanização acelerada da maior parte dos países desenvolvidos industrializados só ocorreu a partir da segunda metade do século XIX. Além disso, esses países demoraram mais tempo para se tornar urbanizados que a maioria dos atuais países em desenvolvimento. Portanto, em geral, quanto mais tarde um país se torna industrializado tanto mais rápida é sua urbanização ¹.

O Brasil conhece o fenômeno da urbanização propriamente dita somente em meados do século XX. Até então, a vida urbana resumia-se, na maior parte do país, a funções administrativas voltadas a garantir a ordem e coordenar a produção agrícola ³.

Em fins do século XIX, o Brasil assiste ao crescimento do fenômeno de urbanização do território. São Paulo, líder na produção cafeeira, inicia a formação de uma rede de cidades, envolvendo os estados do Rio Janeiro e de Minas Gerais. Mas, será apenas em meados do século XX, quando ocorre a unificação dos meios de transporte e comunicação, que as condições se tornam propícias para uma verdadeira integração do território. Modificam-se substancialmente os fluxos econômicos e demográficos, conferindo um novo valor aos lugares ⁴.

A evolução da taxa de urbanização no Brasil indica a importância e a velocidade das transformações. Em 1950 este índice alcançava 36% sobre o total da população do País. Em 1970 representava 57%, ou seja, mais da metade da população, e em 1990, chegava a 77%. A população urbana no Brasil em 1991, 116 milhões de habitantes, se aproximava da população total do País da década anterior – 119 milhões de habitantes em 1980 ³. Nessa década, o país já contava com 142 cidades com mais de 100 mil habitantes e, em 1991, eram 187 ⁴.

Nos anos 90 constata-se uma elevação nas taxas de urbanização das diversas regiões do País. O Sudeste, pioneiro do moderno sistema urbano brasileiro, apresentava, em 1996, um índice em torno de 88%, seguido pelo Centro-oeste, com 81%, o Sul, com 74%, o Nordeste, com 61%, e, por fim, o Norte, com 58%. De modo geral, o fenômeno é significativo e os diferentes índices refletem diferenças qualitativas ligadas à forma e ao conteúdo da urbanização ³.

Nos últimos duzentos anos, a população humana residente nas cidades aumentou de 5% para 50%. As estimativas para 2030 são de mais de dois terços da população mundial morando em centros urbanos. Tal mudança trouxe consigo várias alterações no estilo de vida, pois reflete o desenvolvimento industrial e tecnológico exponencial que parece ser a maior razão individual para o aumento dos grandes centros urbanos ⁵.

Todo esse fantástico crescimento foi possível graças ao desenvolvimento científico e tecnológico, especialmente por que propiciou a redução da alta mortalidade por várias doenças e permitiu o aumento da produção de alimentos, esse mediante a criação de novas variedades de plantas e o uso maciço de agroquímicos na chamada “revolução verde” dos anos 1960-70, que teve, porém, profundas implicações ambientais negativas ⁶.

A revolução moderna da saúde pública começou nas cidades Européias do Século XIX sob as pressões da industrialização, pobreza crescente e superpopulação proporcionando uma vida urbana que se deteriorava a cada ano ⁵. Até a metade do século XX, a principal causa de morte nas regiões industrializadas era por doenças infecto-contagiosas. Entretanto, essa causa começou a diminuir na segunda metade do século XIX, devido à melhoria de fatores ambientais, principalmente saneamento básico, assim como o aumento dos suprimentos alimentares. Outros fatores foram a melhoria das condições de moradia, da água oferecida; a prática da higiene doméstica e a diminuição do analfabetismo. Alguns autores reforçam a importância das intervenções de saúde pública, incluindo engenharia sanitária e vacinação ⁵.

Ao mesmo tempo em que a industrialização se intensificava, o ambiente era invadido por diferentes tipos de poluentes, sendo a poluição do ar a primeira a ser

relacionada com danos à saúde humana. Episódios de intensa poluição aérea ocorreram na Europa e América do Norte na metade do século XX, tendo como exemplo mais marcante, o grande *fog* de Londres em 1952. Com isso, houve o advento de legislações que obrigavam a diminuição da propagação de partículas pesadas e dióxido sulfúrico. No entanto, aumentou a concentração de gás carbônico e outras partículas menores. Além disso, outras formas de poluição surgiram com a falta de saneamento básico e coleta de esgoto, poluindo águas fluviais e mananciais; o depósito irregular de resíduos sólidos, trazendo a poluição do solo e dos aquíferos subterrâneos⁵.

As cidades possuem uma função ativa na modificação dos sistemas de reciclagem naturais que mantêm o ecossistema em equilíbrio por meio dos ciclos biológicos, limpeza das águas e ar e reciclagem de nutrientes. Enquanto antigamente tais funções não eram valorizadas devido ao pequeno número de habitantes terrestres, hoje, as mudanças ocorrem de tal ordem que a população mundial corre o risco de vários problemas de saúde. A mudança mais radical até o momento tem sido no clima, com o aumento da temperatura do planeta. O mundo urbanizado (um quinto da população mundial) contribui com três quartos das emissões de gases poluentes na atmosfera. Como consequência da mudança climática haverá diminuição de alimentos, de água potável e do controle de infecções⁵.

I.2 Poluição

Entende-se por poluição a introdução de substância ou energia no meio ambiente, alterando suas condições naturais e gerando prejuízos à saúde e ao bem-estar humano. Emissão de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, em quantidade superior à capacidade de absorção do meio ambiente ou maior do que a quantidade existente no meio. Também é causada pelo lançamento de substâncias que não existem na natureza, como os inseticidas. A poluição interfere no equilíbrio ambiental e na vida dos animais e vegetais ⁷.

Desde quando o homem começou a conviver em grandes comunidades, ele alterou a natureza de forma a assegurar a própria sobrevivência e lhe proporcionar conforto. A agricultura, a pecuária e a construção de cidades modificam diretamente a natureza transformando características geográficas como vegetação, permeabilidade do solo, absorvidade e refletividade da superfície terrestre, além de alterar as características do ar atmosférico e das águas ⁸.

Todos os tipos de poluição são freqüentes nas grandes cidades, como a poluição do ar produzida pelas combustões das fontes industriais e, mais recentemente, dos veículos automotores, a poluição das águas, por resíduos químicos, esgoto industrial e doméstico, a poluição do solo causada por depósito irregular dos resíduos, domésticos e industriais, a poluição sonora, a visual, a luminosa e a mais moderna, a poluição eletromagnética provocada pelo aumento vertiginoso de novas tecnologias.

Assim observa-se que a degradação ambiental urbana altera não apenas as condições locais, mas também agride o meio ambiente como um todo, poluindo-o de diversas formas e, ao ser humano que nele habita, resta conviver num ambiente inóspito e muitas vezes responsável pelos diversos males físicos, mentais e sociais.

I.2.1 Poluição atmosférica

Desde os mais remotos registros da presença humana na superfície da Terra, há aproximadamente um milhão de anos, com o aparecimento dos primeiros homínídeos na porção mais ao sul do continente africano, o homem tem atuado de forma transformadora e, muitas vezes, predatória sobre a natureza. A partir da descoberta do fogo, aproximadamente 800 mil anos antes de Cristo, o homem passou a contribuir de forma atuante, porém não consciente, para a deterioração da qualidade do ar e a sofrer as conseqüências desse ato^{9, 10}.

Originam-se em eras pré-cristãs as primeiras preocupações com a qualidade do ar. Devido ao uso do carvão como combustível, as cidades dessa época já ostentavam ares com qualidade aquém do desejável. Essa situação veio se agravando durante os primeiros séculos da história pós-cristã, até que os primeiros atos de controle de emissão de fumaça foram baixados na Inglaterra do final do século XIII¹¹.

Vastas quantidades de poluentes resultantes de atividades humanas são lançadas na atmosfera. As refinarias de petróleo, indústrias químicas e siderúrgicas, fábricas de papel e cimento emitem óxidos sulfúricos e nitrogenados, hidrocarbonetos, enxofre, diversos resíduos sólidos e metais pesados (como chumbo, zinco e níquel). Aerossóis e outros produtos liberam clorofluorcarbonos (CFCs), produtos químicos sintéticos. Os veículos automotores emitem gases como o monóxido e o dióxido de carbono, o óxido de nitrogênio, o dióxido de enxofre e os hidrocarbonetos. As fontes de emissão de poluentes primários e dos componentes secundários podem ser as mais variadas⁷.

Nas plantas, os poluentes químicos prejudicam o metabolismo, causando danos na membrana celular, interferindo no mecanismo de abertura e fechamento de

estômatos e corrosão da cutícula das folhas e acículas. Quando as plantas estão sujeitas as altas concentrações de poluentes, sofrem danos agudos, com sintomas exteriormente visíveis: despigmentação da clorofila, descoloração das folhas, necrose de áreas de tecido e órgãos ou a morte. Com baixas concentrações de poluentes, não há, de início, nenhum envenenamento exteriormente visível. Mas mudanças químicas, bioquímicas, estruturais e funcionais podem ocorrer (entupimento dos estômatos, alterações na fisiologia da planta), além da susceptibilidade a pragas e doenças ¹².

Sabe-se que episódios agudos de poluição estão relacionados com mortes por problemas respiratórios, portanto quanto mais poluído está o ar maior é a chance de pessoas morrerem por problemas respiratórios ¹³.

Se a poluição está relacionada com o aumento da mortalidade, está também relacionada com a maior morbidade que pode ser observada por meio do número de admissões hospitalares ou em pronto socorros, visitas ao médico, declínio da função pulmonar e aumento de sintomas respiratórios. Diversos estudos mostram que as duas faixas etárias mais afetadas pelos danos da poluição são os idosos e as crianças ¹⁴.

Toda essa concentração de poluentes está intimamente associada com o desenvolvimento e a crescente necessidade de produção de energia para a sobrevivência e conforto da grande massa populacional aglomerada nos centros urbanos.

I.3 Energia

"A energia térmica e luminosa liberada pelo fogo foi a primeira a ser controlada pelos ancestrais do homem, há 500 mil anos; a madeira era o principal combustível utilizado na época.

As carroças movidas por animais surgem em 3.500 a.C. na Suméria, na mesma época em que são inventados no Egito os botes com velas. A roda d'água surge em 3000 a.C, na Babilônia.

A China adota o carvão como fonte de energia por volta de 1.000 a.C. À medida que o carvão da superfície escasseava, ele começou a ser escavado, mas não conseguiu substituir a madeira.

Em 1640, o petróleo extraído de um poço em Módena, na Itália, começa a ser utilizado na iluminação de rua. O uso do petróleo se estende como combustível para a Romênia, em 1650.

Em 1764, James Watt aperfeiçoa a máquina a vapor, que passa a ser usada em locomotivas a partir de 1804, motivando a criação das estradas de ferro, e em navios em 1807.

A primeira usina de energia elétrica surgiu em Londres, em janeiro de 1881, e a segunda em Nova York, em setembro do mesmo ano. Forneciam energia para iluminação e usavam a corrente contínua.

Em 1901, Pierre Curie descobriu que cada grama de rádio liberava 140 calorías por hora. A descoberta indicou a existência da energia radioativa, que mais tarde seria chamada de energia atômica”¹⁵.

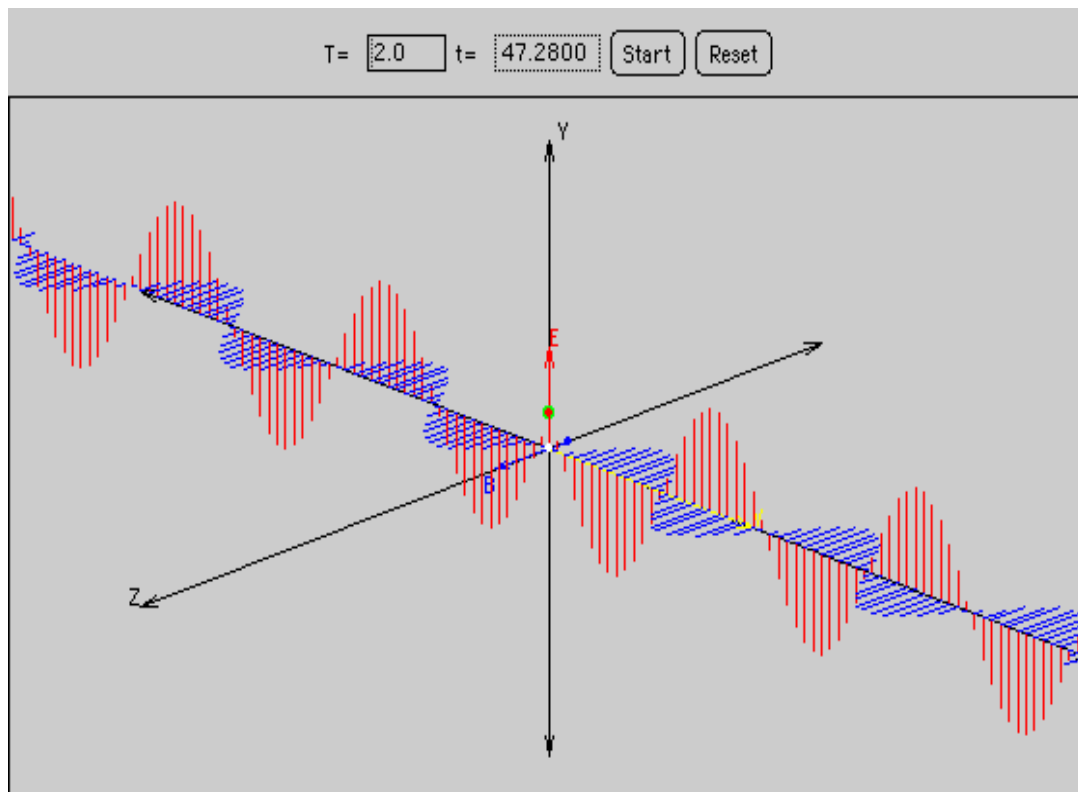
I.3.1 Energia elétrica

A eletricidade é um fenômeno associativo de partículas da matéria com cargas positivas e negativas. As propriedades inerentes às cargas elétricas, que determinam a movimentação das partículas, contribuem para a ocorrência do fluxo elétrico ou corrente elétrica. A concepção moderna da eletricidade está relacionada com o campo elétrico, ou seja, o espaço que circunda a partícula carregada eletricamente. A eletricidade não é uma fonte primária de energia, mas a forma mais refinada de utilização energética ¹⁶.

O magnetismo – que é um fenômeno submetido a campos magnéticos – exerce efeitos sobre os materiais e se manifesta também na presença de cargas elétricas em movimento. Por essa razão ele sempre foi considerado parte integrante dos estudos sobre eletricidade ¹⁶.

Na radiação eletromagnética, a energia se propaga através de um meio material ou espacial sob a forma de ondas (eletromagnéticas). Essas decorrem da movimentação, oscilante e acelerada da energia elétrica, provocando uma alteração característica que define a existência de um campo magnético e de outro elétrico em propagação. Esta alteração em si é que determina a onda eletromagnética (Figura 1). A faixa de variação, em que as ondas eletromagnéticas se propagam, situa-se a partir de zero (0), até 10^{23} Hz (Hertz) ¹⁶.

Figura 1. Esquema representativo da propagação das ondas eletromagnéticas.

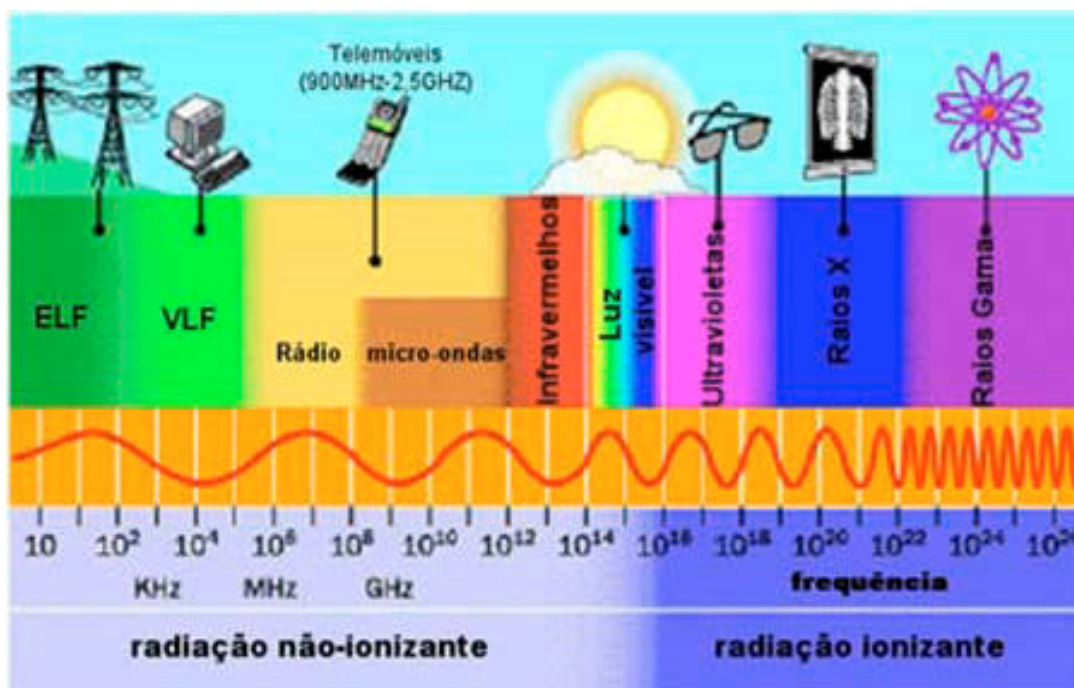


Fonte: <http://webphysics.ph.msstate.edu/javamirror/ntnujava/emWave/emWave.htm>

Onde **E** representa o campo elétrico e **B** seu correspondente fluxo magnético

Conforme a figura 2, diversos exemplos podem mostrar essa abrangente faixa do espectro eletromagnético.

Figura 2. O espectro eletromagnético e suas correspondentes faixas de frequência e utilizações.

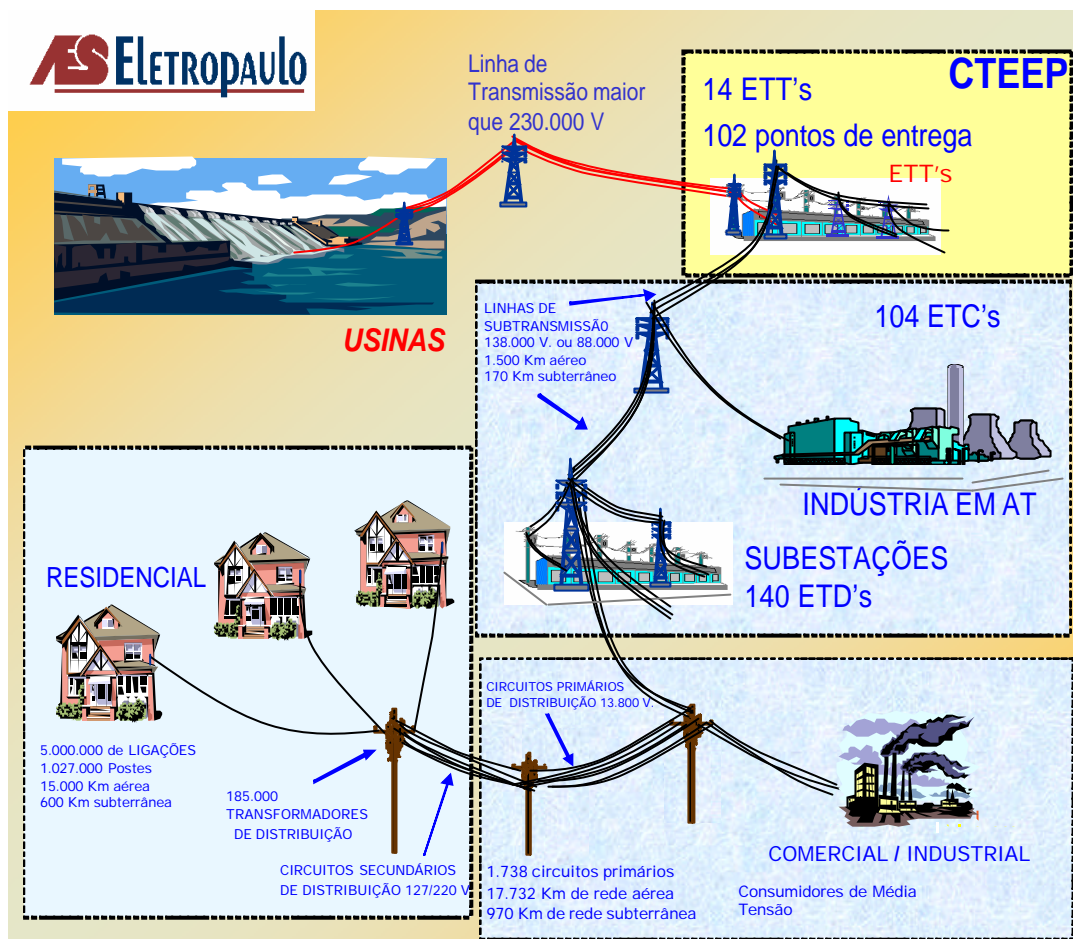


Fonte: educar.sc.usp.br/ otica/espectro.gif

A utilização da energia elétrica na forma convencional tem a sua mais importante parcela relacionada com o emprego da corrente alternada (CA). No Brasil, o sistema distribuidor da energia elétrica sob CA submete-se a uma frequência de 60 Hz que é a frequência industrial, padrão brasileiro ¹⁷.

O lugar onde a energia é gerada não é, na maioria das vezes, aquele em que ela será utilizada. Por esse motivo é necessário, em geral, efetuar a transmissão dessa energia adequadamente entre a fonte produtora e o consumidor. Por razões técnicas, essa transmissão de energia é efetuada por uma linha de transmissão (LT) ou linha elétrica e é feita em alta tensão. A partir de certo ponto denominado, subestação abaixadora, a energia é distribuída por meio de linhas de distribuição ¹⁷ (Figura 3).

Figura 3. Distribuição da energia elétrica sob responsabilidade da AES Eletropaulo na cidade de São Paulo.



Fonte: Projeto Eletropaulo/Abricem

Os campos elétricos são produzidos por cargas elétricas e sua intensidade se mede em Volts por metro (V/m) ou em Kilovolts por metro (KV/m). A intensidade das forças de atração e repulsão se denomina tensão elétrica ou voltagem e se mede em Volts (V). Os campos elétricos são mais intensos quanto mais próximos estão da sua fonte e diminuem com a distância e com a presença de outros materiais como a madeira ou metal ¹⁸.

Os campos magnéticos são produzidos, em particular, quando as cargas elétricas estão em movimento, ou seja, quando há correntes elétricas. Sua intensidade se

mede em Ampéres por metro (A/m), que pode ser expressa em função da indução magnética que produz, medida em Teslas (T), militeslas (mT) ou microteslas (μ T). Em alguns países, se utiliza o Gauss (G) ($10.000\text{G}=1\text{T}$; $1\text{G}=100\mu\text{T}$; $1\text{mT}=10\text{G}$; $1\mu\text{T}=10\text{mG}$). Todo circuito conectado a uma rede elétrica gerará em seu redor, se estiver ligado e com corrente circulante, um campo magnético proporcional à quantidade de corrente que a fonte possui. A intensidade desses campos é tanto maior quanto mais próximo se estiver do circuito elétrico, e diminui com a distância, porém não são aparados por outros materiais ¹⁸.

I.3.2 Campos eletromagnéticos (CEM)

Campos elétricos têm sua origem em diferentes voltagens: quanto mais elevada é a voltagem, mais forte será o campo resultante. Campos magnéticos têm sua origem nas correntes elétricas: uma corrente mais forte resulta em um campo mais forte. Um campo elétrico não existe sem que haja corrente. Quando há corrente, a magnitude do campo magnético mudará com o consumo, porém a força do campo elétrico decairá igualmente ¹⁹.

No meio em que vivemos, há campos eletromagnéticos por toda parte, porém são invisíveis para o homem. Campos elétricos são produzidos pela acumulação de cargas elétricas em determinadas zonas da atmosfera por efeito das tormentas. O campo magnético terrestre provoca a orientação das agulhas das bússolas em direção Norte-Sul e os pássaros e peixes o utilizam para orientar-se ¹⁸.

Além das fontes naturais, no espectro eletromagnético há também fontes geradas pelo homem. A eletricidade que surge de qualquer tomada de corrente elétrica está associada a campos eletromagnéticos de frequência baixa. Além disso, diversos tipos de ondas de rádio de frequência mais alta são utilizadas para transmitir informação, seja por meio de antenas de televisão, estações de rádio ou estações rádio base de telefonia móvel ¹⁸.

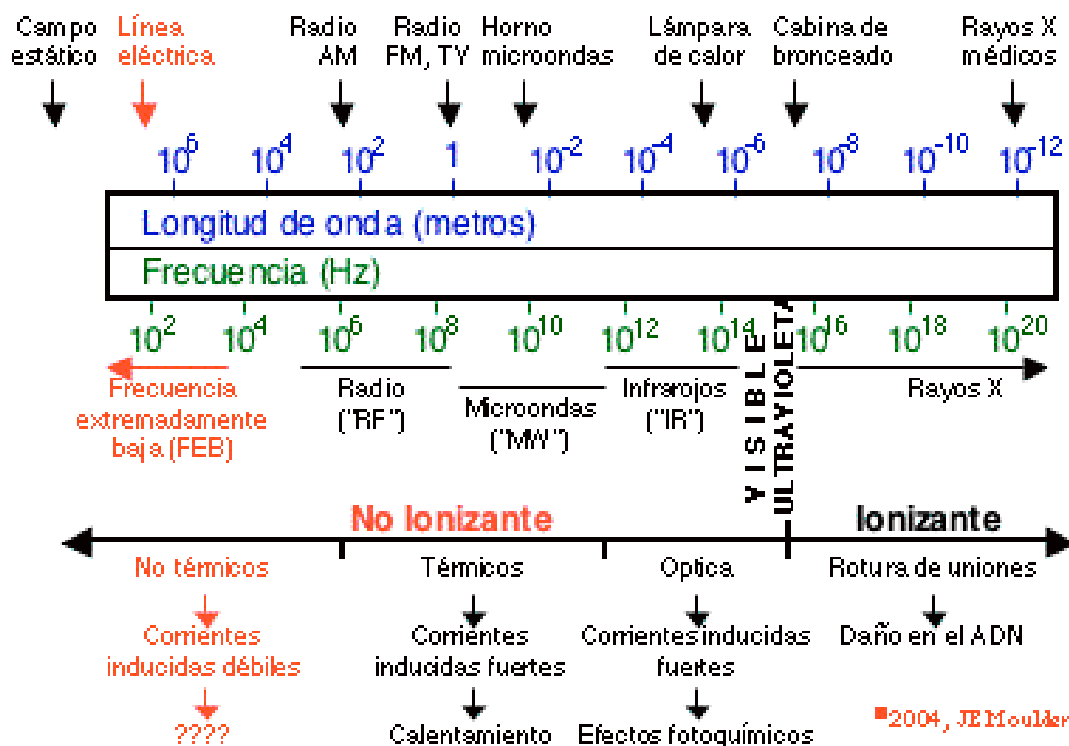
Uma das principais magnitudes que caracterizam um campo eletromagnético (CEM) é sua frequência e seu correspondente comprimento de onda. O efeito sobre o organismo dos diferentes campos eletromagnéticos é função desta frequência. A frequência simplesmente descreve o número de oscilações ou ciclos por segundo, enquanto que a expressão «comprimento de onda» se refere à distância entre uma onda e a seguinte. Por conseguinte, o comprimento de onda e a frequência estão associados: quanto maior é a frequência, menor é o comprimento de onda.

O comprimento de onda e a frequência determinam outra característica importante dos campos eletromagnéticos. As ondas eletromagnéticas são transportadas por partículas chamadas quantum de luz. Os quantum de luz de ondas com frequências mais altas (menor comprimento de onda) transportam mais energia do que o das ondas de menor frequência (maior comprimento de onda). Algumas ondas eletromagnéticas transportam tanta energia por quantum de luz que são capazes de romper as ligações entre as moléculas. Das radiações que compõem o espectro eletromagnético, os raios gama que emitem os materiais radioativos, os raios cósmicos e os raios X têm essa mesma capacidade e são conhecidos como radiações ionizantes. As radiações compostas por quantum de luz sem energia

suficiente para romper as ligações moleculares são conhecidas como radiações não ionizantes.

As fontes de campos eletromagnéticos geradas pelo homem, constituem uma parte fundamental das sociedades industriais (a eletricidade, as microondas e os campos de radiofrequência), estão no extremo do espectro eletromagnético correspondente a comprimentos de onda relativamente longos. Frequências baixas e seus quantum de luz não são capazes de romper ligações químicas ¹⁸ (Figura 4).

Figura 4. O espectro eletromagnético, suas aplicações e relação com a saúde.



Fonte: <<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/lineas-electricas-cancer-FAQ/toc.html>>

Os campos elétricos são mais intensos quanto menor é a distância da carga ao condutor carregado que os gera e sua intensidade diminui rapidamente ao aumentar

a distância. Os materiais condutores, como os metais, proporcionam uma proteção eficaz contra os campos elétricos. Outros materiais, como os de construção e as árvores, apresentam também certa capacidade protetora. Por conseguinte, as paredes, os edifícios e as árvores reduzem a intensidade dos campos elétricos das linhas de condução elétrica situadas no exterior das casas. Quando as linhas de condução elétrica estão enterradas no solo, os campos elétricos que geram quase não são detectados na superfície. Igualmente aos campos elétricos, os campos magnéticos são mais intensos nos pontos próximos à sua origem e sua intensidade diminui rapidamente conforme aumenta a distância desde a fonte. Os materiais comuns, como as paredes dos edifícios, não bloqueiam os campos magnéticos¹⁸.

Os campos eletromagnéticos, variáveis no tempo que os circuitos elétricos produzem, são um exemplo de campos de frequência extremamente baixa (Extremely Low Frequency-ELF), com frequências geralmente até 300 Hz. Outras tecnologias produzem campos de frequência intermediária (FI), com frequências de 300 Hz a 10 MHz, e campos de radiofrequência (RF), com frequências de 10 MHz a 300 GHz. Os efeitos dos campos eletromagnéticos sobre o organismo não só dependem de sua intensidade, mas também de sua frequência e energia. As principais fontes de campos de ELF são a rede de abastecimento elétrico e todos os circuitos elétricos; as telas de computadores e os sistemas de segurança são as principais fontes de campos de FI e as principais fontes de campos de RF são o rádio, a televisão, as antenas de radares e telefones celulares e os fornos de microondas. Esses campos induzem correntes no organismo que, dependendo de sua amplitude e frequência, podem produzir diversos efeitos como aumento da temperatura e choques elétricos. Os telefones móveis, a televisão e os transmissores de rádio e radares produzem campos de RF. Esses

campos são utilizados para transmitir informação a distâncias longas e são a base das telecomunicações, assim como a difusão de rádio e televisão em todo o mundo. As microondas são campos de RF de frequências altas, da ordem de GHz ¹⁸.

A transmissão de eletricidade a longa distância se realiza mediante linhas elétricas de alta tensão. Essas altas tensões se reduzem mediante transformadores para a distribuição local a residências e empresas. As instalações de transmissão e distribuição de eletricidade, o cabeamento e os circuitos elétricos domésticos geram um nível de fundo de campos elétricos e magnéticos de frequência de rede nas residências. Naquelas que não estão situadas próximo de linhas de condução elétrica a intensidade desse campo de fundo pode ser aproximadamente de 0,2 μ T. Os campos dos lugares situados diretamente abaixo das linhas de condução elétrica são muito mais intensos. Dessa forma, a intensidade dos campos elétricos e magnéticos se reduz ao aumentar a distância das linhas elétricas. Entre 50 m e 100 m de distância a intensidade dos campos é normalmente equivalente a de zonas afastadas das linhas elétricas de alta tensão. Os campos elétricos de frequência de rede mais intensos presentes normalmente no entorno são os dos lugares situados abaixo das linhas de transmissão de alta tensão. Ao contrário, os campos magnéticos de frequência de rede mais intensos se encontram normalmente em pontos muito próximos a motores e outros circuitos elétricos, assim como em equipamentos especializados como aparelhos de ressonância magnética, utilizados para gerar imagens no diagnóstico médico ¹⁸.

Conforme mostra a tabela 1 os CEM estão presentes em todos os ambientes da vida moderna, tendendo a aumentar conforme o avanço tecnológico causando interferências até mesmo nos sistemas biológicos.

As autoridades científicas e governamentais passaram a estudar e legislar sobre o tema para o melhor controle da disseminação deste moderno tipo de poluição, a fim de que não se torne mais um dos problemas de saúde pública devido a poluentes ambientais produzidos pela ação descontrolada do homem sobre seu ambiente.

Tabela 1. Intensidades de campo elétrico típicas, medidas em eletrodomésticos a uma distância de 30 cm.

Eletrodoméstico	Intensidade de campo elétrico (V/m)
Receptor estereofônico	180
Ferro	120
Frigorífico	120
Batedeira	100
Torradeira	80
Secador de cabelo	80
Televisor colorido	60
Cafeteira elétrica	60
Aspirador	50
Forno elétrico	8
Lâmpada	5
Valor limite recomendado	5000

Fonte: Oficina federal alemã de segurança radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), 1999.

I.4 Legislação

Levando em consideração o “princípio da precaução” que prioriza as ações não apenas pela ocorrência de doenças e desastres acidentais, mas antecipando esses eventos pelo reconhecimento prévio dos riscos e dos contextos nocivos à saúde, em 1974, a Associação Internacional de Proteção a Radiações (IRPA) organizou um grupo de trabalho sobre radiação não ionizante (RNI) que se tornou a Comissão Internacional de Radiação Não Ionizante - *International Non-Ionizing Radiation Committee* – (INIRC) no Congresso da IRPA em Paris em 1977. Durante o Oitavo Congresso Internacional da IRPA (Montreal, 1992), foi criada uma nova organização científica internacional independente - a Comissão Internacional de Proteção contra as Radiações Não-Ionizantes - *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), com função de investigar os perigos que podem ser associados às diferentes formas de RNI, desenvolver diretrizes internacionais sobre limites de exposição e também tratar de todos os aspectos da proteção a RNI. A base científica para essas diretrizes foram os estudos dos efeitos biológicos relatados como resultantes da exposição a campos elétricos e magnéticos estáticos e de frequência extremamente baixa (ELF) ²⁰.

O principal objetivo dessa publicação foi o de estabelecer as diretrizes para limitar a exposição aos Campos Eletromagnéticos (CEM), de forma a proteger contra efeitos reconhecidamente adversos à saúde. Desse modo, as diretrizes apresentadas referem-se às exposições de caráter ocupacional e público ²⁰.

Diretrizes referentes à alta frequência e aos CEM de 50/60Hz, foram emitidas pela IRPA/INIRC em 1988 e 1990, respectivamente, mas foram substituídas pelas

atuais, que abrangem a totalidade da faixa de CEM variáveis no tempo (até 300 GHz) ²⁰.

A conformidade com essa diretriz, porém, não garante que sejam evitadas interferências ou efeitos em dispositivos médicos, como próteses metálicas, marcapassos cardíacos, desfibriladores e implantes cocleares. A exposição aos CEM variáveis no tempo resulta em correntes internas no corpo e absorção de energia nos tecidos, que dependem dos mecanismos de acoplamento e da frequência envolvida. Essas diretrizes são baseadas em efeitos na saúde de caráter imediato, em curto prazo, tais como estimulação dos nervos periféricos e músculos, choques e queimaduras causadas por tocar em objetos condutores e elevação de temperatura nos tecidos, resultante da absorção de energia durante exposição aos CEM. No caso dos efeitos potenciais da exposição em longo prazo, tais como aumento de risco de câncer, a ICNIRP concluiu que os dados disponíveis são insuficientes para prover uma base para fixar restrições à exposição, embora uma pesquisa epidemiológica tenha produzido evidências significativas, mas não convincentes, de uma associação entre possíveis efeitos carcinogênicos e a exposição à densidade de fluxo magnético de 50/60Hz em níveis substancialmente inferiores aos recomendados. Porém, essas diretrizes são periodicamente revisadas e atualizadas, assim que sejam feitos avanços na identificação de efeitos prejudiciais à saúde, devidos a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo ²⁰.

As tabelas 2 e 3 mostram os limites preconizados pela ICNIRP, aceitos até a presente data, para exposições ocupacionais e de público, de curto prazo e para efeitos térmicos. Deve-se observar que não há limites estabelecidos para exposições de longo prazo e seus efeitos atérmicos. Nessas tabelas destaca-se em **negrito** os

limites para campos eletromagnéticos na frequência (f) 60 Hz, respectivamente para exposição ocupacional e de público.

Tabela 2. Níveis de referência para exposição ocupacional a campos elétricos e magnéticos.

Faixas de frequência	Intensidade de campo E ($V.m^{-1}$)	Intensidade de campo H ($A.m^{-1}$)	Campo B (μT)	Densidade de potência de onda plana equivalente S_{eq} ($W.m^{-2}$)
Até 1 Hz	-	$1,63 \times 10^5$	2×10^5	-
1 – 8 Hz	20.000	$1,63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	-
8 – 25 Hz	20.000	$2 \times 10^4/f$	$2,5 \times 10^4/f$	-
0,025 – 0,82 Hz	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	$3/f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$0,01f^{1/2}$	$f/40$
2 – 300 GHz	137	0,36	0,45	50

Referente à Tabela 6 da ICNIRP

Campo E = Intensidade de Campo Elétrico

Campo H = Intensidade de Campo Magnético

Campo B = Indução Magnética.

Tabela 3. Níveis de referência para exposição do público em geral a campos elétricos e magnéticos.

Faixas de frequência	Intensidade de campo E ($V.m^{-1}$)	Intensidade de campo H ($A.m^{-1}$)	Campo B (μT)	Densidade de potência de onda plana equivalente S_{eq} ($W.m^{-2}$)
Até 1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	-
1 – 8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	-
8 – 25 Hz	10.000	$4000/f$	$5000/f$	-
0,025 – 0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	-
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 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Referente à tabela 7 da ICNIRP

Na tabela 4 estão sumarizados os limites de campo elétrico e magnético considerando a exposição humana, empregados nos países mais importantes de cada continente e os normalizados pelas principais organizações internacionais.

Tabela 4. Limites de campo elétrico e densidade de fluxo magnético para exposição pública e ocupacional nos principais países e os normalizados pelas principais organizações internacionais.

País / Organização	Limites de Campo Elétrico (kV/m)		Limites de Densidade de Fluxo Magnético (μ T)	
	Ocupacional	Público	Ocupacional	Público
Alemanha ⁽¹⁾	-	5 ⁽⁴⁾	-	100 ⁽⁴⁾
França ⁽¹⁾	-	5 ⁽⁴⁾	-	100 ⁽⁴⁾
Reino Unido ⁽²⁾	10	10	1333	1333
Itália ⁽¹⁾	-	5 e 10 ⁽³⁾	-	100 e 1.000 ⁽³⁾
Suécia	-	-	-	-
Suíça ⁽¹⁾	-	5 ⁽⁴⁾	-	1 e 100 ⁽⁴⁾
Canadá ⁽²⁾	8,33 ⁽⁴⁾	4,17 ⁽⁴⁾	417 ⁽⁴⁾	83 ⁽⁴⁾
Flórida – EUA ⁽²⁾	-	2 - 8 e 10	-	15, 20 e 25
Minesota-EUA ⁽²⁾	-	8	-	-
Montana-EUA ⁽²⁾	-	7 e 1	-	-
Nova Jérsei-EUA ⁽²⁾	-	3	-	-
Nova Iorque-EUA ⁽²⁾	-	11,8-11-7-1,6	-	20
Oregon – EUA ⁽²⁾	-	9	-	-
Japão	3	3	-	-

Continua

Continuação

País / Organização	Limites de Campo Elétrico (kV/m)		Limites de Densidade de Fluxo Magnético (μT)	
	Ocupacional	Público	Ocupacional	Público
Rússia	25	-	1.000	-
Coréia do Sul ⁽²⁾	8,33 ⁽⁴⁾	4,17 ⁽⁴⁾	417 ⁽⁴⁾	83 ⁽⁴⁾
África do Sul ⁽²⁾	8,33 ⁽⁴⁾	4,17 ⁽⁴⁾	417 ⁽⁴⁾	83 ⁽⁴⁾
Austrália ⁽²⁾	10 ⁽³⁾	5 ⁽³⁾	500 ⁽³⁾	100 ⁽³⁾
Brasil ⁽²⁾	25	5 ⁽³⁾	1.000	-
CENELEC ⁽²⁾	25	8,33	1333	533
IEC	-	-	-	-
IEEE	-	-	-	-
ACGIH ⁽²⁾	25	-	1000	-
ICNIRP ⁽²⁾	8,33	4,17	417	83,33

⁽¹⁾ Campos de 50 Hz

⁽²⁾ Campos de 60 Hz

⁽³⁾ Regulamentação em revisão

⁽⁴⁾ Adota recomendações da ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

CENELEC - Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

IEC - International Electrotechnical Commission

IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH[®])

Pode-se observar que os limites de campo elétrico para exposição ocupacional estão na faixa entre 3 e 25 kV/m e para o público em geral entre 1 e 11,8 kV/m. Para a densidade de fluxo magnético os limites variam entre 417 e 1333 μT (ou 4170mG

e 13330mG) para exposição ocupacional, e entre 1 e 1000 μ T (ou 10mG e 10000mG) para a população.

A grande divergência entre os valores deve-se às diferenças entre os fatores de segurança utilizados, aos locais de exposição em que estão sendo considerados os limites (faixas de segurança de linhas de transmissão, locais sensíveis, creches, edifícios de escritório) e, principalmente, aos fatores políticos, sociais, econômicos e geográficos que são levados em consideração quando se aplicam medidas de precaução.

Pode-se observar também que a maioria dos países desenvolvidos segue as recomendações da ICNIRP: 4 dos 6 países europeus, 1 dos 2 países norte-americanos, e 1 dos 3 países asiáticos. A ICNIRP é a organização que apresenta os valores mais conservativos e com os maiores fatores de segurança, dentre as organizações normatizadoras que emitiram diretrizes baseadas em evidências científicas.

No Brasil, não existe limite estabelecido para exposição do público em geral a campos magnéticos de baixas frequências. Para campo elétrico de 60 Hz, a ABNT, por meio da NBR 5422 - Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica -, estabeleceu 5 kV/m como limite para exposição da população no limite das faixas de segurança de linhas de transmissão. Para exposição ocupacional, as Normas Regulamentadoras NR 9 e NR 15 do Ministério do Trabalho e Emprego, estabelecem como limite os valores da ACGIH: 25 kV/m para campos elétricos e 1.000 μ T para densidade de fluxo magnético.

I.5 Campos eletromagnéticos e seres vivos

Hoje em dia, todas as populações do mundo estão expostas à CEM, em maior ou menor grau e, conforme avança a tecnologia, o grau de exposição continuará crescendo. Por isso, até mesmo um pequeno efeito sobre a saúde causado pela exposição à CEM poderia produzir um grande impacto na saúde pública¹⁸.

Alguns estudos sugerem a possibilidade de que a exposição a campos magnéticos de frequências da rede elétrica (50/60 Hz), ou seja, de frequência extremamente baixa, poderia produzir um incremento da incidência de câncer em crianças e outros efeitos prejudiciais para a saúde; os indícios procedem principalmente de estudos epidemiológicos em zonas residenciais. Esses estudos sugerem que existe uma associação entre a exposição de crianças a campos magnéticos de baixa frequência e o aumento do risco de leucemia¹⁸.

Os campos de radiofrequência (RF) são utilizados em numerosos âmbitos da vida cotidiana, como a transmissão de rádio e televisão, as telecomunicações (por exemplo, os telefones móveis), no diagnóstico e tratamento de doenças e nas indústrias. Com a rápida introdução de dispositivos de telecomunicação móvel, entre a população em geral, tem-se prestado especial atenção aos problemas associados com a exposição da cabeça aos campos próximos de RF emitidos pela antena dos telefones móveis¹⁸.

Como parte de seu preceito de proteger a saúde pública e em resposta à preocupação da população sobre os efeitos da exposição aos CEM, a Organização Mundial da Saúde (OMS) criou em 1996 o Projeto Internacional CEM para avaliar as provas científicas dos possíveis efeitos sobre a saúde dos CEM no intervalo de

freqüência de 0 a 300 GHz. O Projeto fomenta as investigações dirigidas a preencher importantes lacunas do conhecimento e a facilitar o desenvolvimento de normas aceitáveis internacionalmente que limitem a exposição aos CEM.

Os objetivos do projeto são:

1. Dar uma resposta internacional e coordenada às inquietudes que suscitam os possíveis efeitos sanitários da exposição aos CEM;
2. Avaliar as publicações científicas e elaborar informes atuais sobre os efeitos sanitários;
3. Descobrir aspectos insuficientemente conhecidos por meio de uma investigação mais profunda, que permita avaliar melhor os riscos;
4. Incentivar a criação de programas de investigação especializados e de alta qualidade;
5. Incorporar resultados de investigações em monografias da série Critérios de Saúde Ambiental da OMS, nas quais se avaliarão metodicamente os riscos sanitários da exposição aos CEM;
6. Facilitar o desenvolvimento de normas internacionalmente aceitáveis sobre a exposição aos CEM;
7. Fornecer, às autoridades, informação sobre a gestão dos programas de proteção contra os CEM, e em particular monografias sobre a percepção, comunicação e gestão dos riscos derivados dos CEM;
8. Assessorar as autoridades sobre os efeitos sanitários e ambientais dos CEM, e sobre as eventuais medidas ou atuações de proteção necessárias.

Esse projeto tem previsão de completar em 2007 as avaliações dos riscos para a saúde devido à exposição aos CEM, já que se prevê que as investigações em curso proporcionarão, neste intervalo, resultados suficientes para avaliar os riscos para a saúde de forma mais categórica ¹⁸.

As suspeitas referentes a uma associação entre CEM e câncer surgiram quando Wertheimer e Leeper referiram (1979) ²¹ uma associação entre mortalidade por leucemia infantil e a proximidade de casas às linhas de distribuição de energia, o que os pesquisadores classificam como “wire codes” ou “código de configuração elétrica” (“wire code” – conceito que inclui dimensões, número, tipo e distância da residência e de condutores externos à mesma). A hipótese básica que emergiu do estudo original foi a de que a intensidade dos campos magnéticos de 50/60 Hz, no ambiente residencial devido a fontes externas tais como linhas de transmissão, poderia estar relacionada ao risco de leucemia infantil.

A partir desse, dezenas de outros estudos foram realizados sobre câncer na infância e a exposição a campos magnéticos de 50/60 Hz, devido a linhas de transmissão nas proximidades de residências. Esses estudos estimaram a exposição ao campo magnético a partir de medidas de curto prazo ou com base na distância entre a residência e a linha de transmissão e, na maioria dos casos, a partir da configuração da linha; e outros estudos levaram em conta a carga da linha. Os resultados relacionados à leucemia são os mais consistentes; de treze estudos publicados ^{21 - 33}, oito apontaram estimativas de riscos relativos entre 1,5 e 3,0.

Tanto as medições diretas dos campos magnéticos, quanto as estimativas baseadas na proximidade de linhas de transmissão, são procedimentos imprecisos e insuficientes para avaliar a exposição que ocorreu em várias situações antes que

fossem diagnosticados os casos de leucemia. Também não é claro qual dos dois métodos de avaliação oferece a estimativa mais válida de exposição. Embora os resultados sugiram que realmente o campo magnético possa estar associado ao risco de leucemia, há uma incerteza em função do pequeno número de observações e também à dependência entre o campo magnético e a proximidade às linhas de transmissão ³⁴.

Estudos que examinaram o uso de aparelhos eletrodomésticos, principalmente cobertores elétricos, em relação a câncer e outros problemas de saúde, geralmente apontaram resultados negativos ^{35 - 39}. Somente dois estudos caso-controle avaliaram o uso de eletrodomésticos em relação ao risco de leucemia na infância. Um foi realizado em Denver ⁴⁰ e sugeriu uma ligação com o uso pré-natal de cobertores elétricos, o outro, feito em Los Angeles ²⁷, encontrou uma associação entre leucemia e crianças que usaram secadores de cabelo e assistiam televisão em receptores monocromáticos.

O fato dos resultados de estudos relacionando leucemia e proximidade entre residências e linhas de transmissão mostrar relativa consistência, levou o Comitê da Academia Nacional de Ciências dos Estados Unidos (NAS) a concluir que crianças morando perto de linhas de transmissão parecem apresentar um maior risco de leucemia, porém devido às pequenas amostras, os intervalos de confiança dos estudos isolados são, em geral, amplos, aumentando o grau de incerteza. Quando considerados em conjunto, os resultados são consistentes, apontando um risco relativo de 1,5 ⁴¹, o que evidencia um excesso de risco de 50% entre os expostos a campos eletromagnéticos de baixa frequência em relação aos não expostos. Em contraste, as medições de curto prazo do campo magnético, em alguns dos estudos,

não forneceram nenhuma evidência de associação entre exposição a campos de 50/60 Hz e risco de leucemia ou de outro tipo de câncer em crianças. O Comitê ficou convicto de que os aumentos de risco reportados pudessem ser explicados pela exposição a campos magnéticos, pois não houve nenhuma associação aparente quando a exposição foi estimada pela leitura de medidores de campos magnéticos, tanto nas residências de casos de leucemia, como nas residências de controles. Foi sugerido que a explicação poderia estar na junção de algum outro fator de risco de leucemia na infância, vinculado à residência e sua vizinhança às linhas de transmissão.

Após o Comitê da NAS ter completado sua revisão, foram publicados os resultados de um estudo na Noruega ³³ com mais de 500 casos de todos tipos de câncer infantil. A exposição de cada indivíduo foi estimada pelo cálculo do nível do campo magnético produzido na residência por linhas de transmissão na vizinhança, estimativa essa feita pela média do ano inteiro. Não foi observada nenhuma associação entre leucemia e campos magnéticos para residentes na época do diagnóstico. Distância da linha de transmissão, exposição durante o primeiro ano de vida, exposição das mães durante a gravidez e exposição maior que a mediana do grupo de controle, não revelaram nenhuma associação com leucemia, câncer do cérebro ou linfoma. Contudo, o número de casos expostos era reduzido.

Foi também publicado um estudo feito na Alemanha, depois de concluída a revisão da NAS ³¹. Refere-se a um estudo caso-controle sobre leucemia na infância, baseado em 129 casos e um grupo de controle de 328 indivíduos. A avaliação da exposição compreendeu medições de campo magnético por mais de 24 horas no quarto de dormir da criança, na residência em que ela havia morado por mais tempo

antes da data do diagnóstico. Foi notado um elevado risco relativo (3,2) para campos mais intensos que 2 mG.

Linnet (1997)³² publicou um longo estudo caso-controle realizado nos Estados Unidos (638 casos de leucemia e 620 indivíduos como controles) para testar se a leucemia linfóide aguda na infância estaria associada à exposição a campos magnéticos de 60 Hz. As exposições a campos magnéticos foram determinadas usando a média de medições, ponderadas pelo tempo, efetuadas durante 24 horas no quarto de dormir e medições de 30 segundos em vários outros quartos. Também foram feitas medições nas residências em que a criança havia morado por 70% dos 5 anos anteriores ao ano do diagnóstico ou o período correspondente para crianças do grupo controle. Para pares de casos e controles com residência estável, nos quais ambos não haviam mudado de residência durante os anos anteriores ao diagnóstico, foi avaliada a “configuração dos condutores” das linhas de distribuição (“wire code”), como forma indireta de avaliação da exposição. Essas determinações puderam ser feitas para 416 pares. Não houve nenhuma indicação de uma associação entre a configuração de condutores da linha e leucemia. Quanto às medições de campos magnéticos, os resultados são mais intrigantes. Para o limite de 2 mG, a análise de risco comparando casos e controles, resultou em riscos de 1,2 (análise de regressão logística não pareada) e 1,5 (análise de regressão logística pareada); ambos valores não significantes estatisticamente. Para o conjunto de exposições de 3 mG ou mais, o risco relativo estimado foi de 1,7 e estatisticamente significativo; essa análise foi baseada em 45 casos e 28 controles. Assim, os resultados de medições sugerem uma associação positiva entre os campos magnéticos e o risco de leucemia. Esse estudo constitui uma contribuição importante

devido ao seu tamanho, número de indivíduos em categorias de exposição elevada, período das medições dos campos eletromagnéticos após o diagnóstico de leucemia linfoblástica aguda (geralmente dentro de 24 meses após o diagnóstico), outras medidas usadas para obter dados de exposição e qualidade da análise, permitindo avaliar a presença de múltiplos fatores de confusão.

Os resultados relacionando câncer em adultos e exposição residencial a campos magnéticos são escassos ⁴¹. Nenhuma conclusão pode ser extraída dos poucos estudos publicados até agora, já que todos foram compostos por um número muito pequeno de casos ^{26, 42 - 47}.

A International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), reconhecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS), entende que na ausência de apoio em pesquisas experimentais, os resultados de pesquisas epidemiológicas sobre exposição a campos magnéticos e câncer, inclusive leucemia infantil, não são suficientemente seguros para servirem como base científica às diretrizes que estabelecem limites de exposição a campos elétricos e magnéticos. Esta avaliação está de acordo com publicações de outras instituições internacionais ^{48, 49}.

Em relação à exposição ocupacional, um grande número de estudos epidemiológicos têm sido realizado para avaliar as possíveis ligações entre exposição a campos de baixas frequências e o risco de câncer entre trabalhadores do setor elétrico. O primeiro estudo deste tipo realizado por Milham (1982) ⁵⁰, que utilizou uma base de dados fundamentada em atestados de óbito, incluía tipos de trabalho e informações sobre a mortalidade por câncer. Como método para avaliar a exposição, considerado impreciso, Milham classificou os tipos de atividade de acordo com a exposição presumida a campo magnético. Assim, encontrou um

excesso de risco para a leucemia entre os trabalhadores do setor elétrico. Em outro estudo, Savitz e Ahlbom (1994)⁵¹ utilizaram bases de dados similares; os tipos de câncer para os quais foram notados riscos elevados variaram nos diversos estudos, particularmente quando foram caracterizados por subtipos de câncer. Foram relatados aumento de risco para vários tipos de leucemia e tumores de tecido nervoso, e em alguns casos, para câncer de mama feminino e masculino^{52 - 55}.

Três outros estudos tentaram superar algumas das deficiências em trabalhos anteriores, medindo a exposição a campos de baixa frequência no local de trabalho e levando em conta a duração da jornada de trabalho^{56 - 58}. Foi observado um elevado risco de câncer entre os indivíduos expostos, sendo que o tipo de câncer variou de um estudo para o outro. Floderus e col. (1993)⁵⁶, verificaram uma associação significativa com a leucemia; Theriault e col. (1994)⁵⁷ também notaram uma associação positiva, embora fraca e não significativa. Savitz e Loomis (1995)⁵⁸, não observaram nenhuma ligação. Para os subtipos de leucemia, houve uma inconsistência ainda maior, mas o número de pacientes incluídos na análise foi pequeno. Floderus e col. (1993)⁵⁶, acharam um excesso de glioblastoma (astrocitoma III-IV) no tecido nervoso, enquanto Theriault e col. (1994)⁵⁷ e Savitz e Loomis (1995)⁵⁸, acharam somente evidências sugestivas de um aumento de glioma (astrocitoma I-II).

As três concessionárias de energia elétrica que participaram do estudo de campos magnéticos realizado por Theriault e col. (1994)⁵⁷, também analisaram os dados relativos a campos elétricos. Comparando trabalhadores do grupo controle e trabalhadores com leucemia numa das concessionárias, notaram que esses últimos

possivelmente teriam sido mais expostos a campos elétricos. A associação foi mais forte num grupo que havia sido exposto a uma combinação de campos elétricos e magnéticos intensos ⁵⁹. Numa segunda concessionária, os pesquisadores não encontraram nenhuma associação entre leucemia e exposição cumulativa a campos elétricos no local de trabalho, mas algumas das análises mostraram uma associação com o câncer de cérebro ⁶⁰. Foi também relatada uma associação com o câncer de cólon; porém, em outros estudos, com grande número de trabalhadores das concessionárias, não foi encontrado este tipo de câncer. Na terceira concessionária, não foi observada nenhuma associação entre campos elétricos intensos e câncer do cérebro ou leucemia, mas este estudo foi pouco abrangente e com menor possibilidade para detectar pequenas alterações, caso estivessem presentes ⁶¹.

Estudos de coorte de trabalhadores de companhias elétricas examinaram a mortalidade por doença cardiovascular. O primeiro estudo ⁶¹ foi conduzido com 20.000 trabalhadores de uma companhia elétrica em Quebec, no Canadá. A exposição a campos elétricos e magnéticos de 60 Hz foi avaliada por meio de uma matriz de exposição ocupacional. Entre os expostos, a taxa de mortalidade foi geralmente menor do que a taxa nos grupos de não expostos, incluindo a mortalidade por doenças cardiovasculares. Savitz e col. (1999) ⁶², acompanharam cerca de 139.000 trabalhadores de uma empresa fornecedora de energia. Os resultados revelaram que a mortalidade por doenças cardiovasculares e isquemia foi menor na coorte de estudo do que na população americana, porém mortes por arritmias cardíacas e infarto agudo do miocárdio foram relacionadas às exposições crescentes a campos elétricos e magnéticos entre 5 e 20 anos anteriores à morte.

Alguns estudos buscaram relacionar a exposição a campos eletromagnéticos e distúrbios psiquiátricos, como suicídio^{61, 63, 64}, e depressão^{65 - 70}.

Estudos epidemiológicos sobre efeitos na gravidez em mulheres trabalhando com monitores de vídeo não têm fornecido nenhuma evidência consistente^{71 - 74}. Por exemplo, estudos combinados, comparando mulheres grávidas que usam monitores de vídeo, com mulheres que não usam, não revelaram nenhum excesso de risco de aborto espontâneo ou malformação congênita⁷². Dois outros estudos concentraram-se em medidas reais dos campos elétricos e magnéticos emitidos por monitores de vídeo: um estudo sugeriu uma associação entre campos magnéticos de baixa frequência e aborto⁷⁵, enquanto o outro não verificou tal associação⁷⁶. De um estudo que incluiu um grande número de casos, com alto índice de participação e uma detalhada avaliação das exposições⁷⁷, resultou que nem o peso ao nascer, nem a taxa de crescimento intra-uterino tinham relação com qualquer exposição a campos de baixa frequência. Conseqüências adversas não foram associadas aos níveis mais altos de exposição. As medições de exposição incluíram a capacidade de corrente das linhas de transmissão fora das residências, medições de exposição individual por 7 dias, medições nas residências por 24 horas, relatórios individuais sobre o uso de cobertores elétricos, colchões com água aquecida e monitores de vídeo. As informações, em sua maioria, não apóiam uma associação entre exposição ocupacional a monitores de vídeo e efeitos nocivos à reprodução^{73, 74}.

A despeito do grande número de estudos empreendidos para descobrir os efeitos biológicos dos campos elétricos e magnéticos de frequências extremamente baixas, poucos estudos sistemáticos definiram os limiares para os campos que produzem

perturbações significativas nas funções biológicas. Está bem estabelecido que correntes elétricas induzidas podem estimular tecidos nervosos e musculares diretamente, desde que a densidade da corrente induzida exceda valores limiares^{74, 78, 79}.

Muitos estudos têm sugerido que a transferência de sinais elétricos fracos na faixa de baixas frequências, envolve interações com a membrana celular, conduzindo a respostas bioquímicas citoplasmáticas, que, por sua vez, implicam mudanças em estados funcionais e de proliferação das células. A partir de modelos simples do comportamento de células individuais em campos fracos, foi calculado que o sinal elétrico, na região extracelular, deve ser maior que aproximadamente 10 - 100 mV.m^{-1} (correspondente a uma densidade de corrente induzida de 2 - 20 mA.m^{-2}), para exceder o nível de ruído endógeno físico e biológico, em membranas celulares⁸⁰. Evidências também sugerem que várias propriedades estruturais e funcionais das membranas, podem ser alteradas em resposta a campos de baixa frequência induzidos, de valor igual ou abaixo de 100 mV.m^{-1} ^{81, 82}. Alterações neuroendócrinas (por exemplo: supressão da síntese noturna de melatonina), foram observadas em resposta a campos elétricos induzidos de 10 mV.m^{-1} , ou menos, correspondentes a densidades de corrente induzidas de aproximadamente 2 mA.m^{-2} , ou menos^{74, 83}.

Foi observado que campos elétricos e correntes induzidas em níveis excedendo aqueles de sinais endógenos bioelétricos presentes nos tecidos, causam numerosos efeitos fisiológicos que aumentam em severidade quando a densidade de corrente induzida aumenta^{74, 84}. Na faixa de densidades de corrente de 10 a 100 mA.m^{-2} , tem

sido relatados efeitos nos tecidos e mudanças nas funções cognitivas do cérebro ^{41,}
⁸⁵. Os limiares para estímulo neuronal e neuromuscular são excedidos quando a densidade da corrente induzida ultrapassa valores de 100 ou várias centenas de mA.m⁻², para frequências entre 10 Hz e 1 kHz. As densidades de corrente limiares aumentam progressivamente nas frequências abaixo de vários hertz e acima de 1 kHz. Finalmente, nas densidades de corrente extremamente altas, com valor acima de 1 A.m⁻², podem ocorrer efeitos sérios e potencialmente letais, tais como extrasístole cardíaca, fibrilação ventricular, espasmo muscular e falha respiratória. A severidade dos efeitos sobre tecidos e a probabilidade de serem irreversíveis aumentam com a exposição crônica a densidades de corrente induzidas acima do nível de 10 a 100 mA.m⁻². Portanto, parece ser apropriado limitar a exposição humana a campos que induzem densidades de corrente não maiores que 10 mA.m⁻² na cabeça, pescoço, e tronco, numa faixa de frequências de poucos hertz até 1 kHz. Um aspecto importante na avaliação dos efeitos de campos eletromagnéticos é a possibilidade de efeitos teratogênicos e no desenvolvimento, porém até o momento não há evidências científicas publicadas de que campos de frequências baixas tenham efeitos adversos em mamíferos, no seu desenvolvimento embrionário ou logo após o nascimento ^{74, 86, 87}. Além do mais, evidências atualmente disponíveis indicam que mutações somáticas e efeitos genéticos não são resultados prováveis da exposição a campos elétricos e magnéticos de frequências abaixo de 100 kHz ⁸⁸.

Existem numerosos relatos na literatura sobre efeitos “in vitro” de campos de baixas frequências nas propriedades das membranas celulares (transporte de íons e interação de mitógenos com receptores superficiais em células) e mudanças em funções celulares e propriedades de crescimento (por exemplo, o aumento de

proliferação e alterações no metabolismo, expressão gênica, biossíntese de proteína e atividades enzimáticas)^{74, 82, 83, 88, 89}.

Nascimento e col. (2003)⁹⁰, submeteram *E.coli*, em caldo glicosado, a campo eletromagnético de 5G, gerado por fonte de tensão alternada de 60 Hz, por 8 horas, e observaram menor valor de glicose residual e maior turbidez no grupo exposto, sugerindo estimulação do sistema de transporte de glicose, como a Difusão Facilitada ou por ressonância ciclotrônica e o aumento do crescimento pelo encurtamento da *lag phase* e estimulação da *log phase*.

Uma considerável atenção foi dirigida aos efeitos de campos de baixa frequência sobre o transporte de Ca⁺⁺ através de membranas celulares e a concentração intracelular deste íon^{91 - 93}; RNA mensageiro e padrões de síntese de proteína^{94 - 98}, e atividade de enzimas como ornitina descarboxilase (ODC) que são relacionadas à proliferação de células e promoção de tumores^{99 - 102}.

Os resultados de estudos em laboratório projetados para detectar danos no DNA e em cromossomos, mutações e aumento na frequência de transformações, não demonstraram nenhuma evidência que campos de baixa frequência causem alteração na estrutura do DNA e cromatina, e não são esperados efeitos mutacionais e de transformação neoplásica^{74, 85, 103, 104}. A falta de efeitos na estrutura dos cromossomos sugere que campos de baixas frequências, se é que têm algum efeito no processo de carcinogênese, é mais provável que ajam como promotores do que como iniciadores, ocasionando a proliferação de células geneticamente alteradas, mais do que propriamente causando lesão inicial em DNA ou cromatina. Uma influência no desenvolvimento do tumor poderia ocorrer por meio de efeitos

epigenéticos desses campos, tais como as alterações nos caminhos de sinalização celulares ou expressão gênica. O foco de estudos recentes tem sido, portanto, no sentido de descobrir possíveis efeitos de campos de baixas frequências sobre fases de promoção e progressão de desenvolvimento de tumores, após seu início, provocado por um carcinógeno químico. Estudos de crescimento de células de tumores “in vitro” e o desenvolvimento de tumores transplantados em roedores, não proporcionaram nenhuma evidência significativa de possíveis efeitos carcinogênicos da exposição a campos de baixas frequências ⁷⁴.

Diversos estudos, de aplicação mais direta a câncer humano, envolveram testes “in vivo” para determinar as atividades promotoras dos campos magnéticos de baixas frequências em tumores na pele, fígado, cérebro e nas mamas de roedores. Três estudos de promoção de tumor na pele ^{105 - 108}, não demonstraram nenhum efeito da exposição contínua, ou intermitente, a campos magnéticos de 50/60 Hz, em promover tumores induzidos quimicamente.

Experiências sobre o desenvolvimento de focos neoplásicos no fígado iniciados por carcinógeno químico e promovido por éster de forbol em ratos parcialmente hepatectomizados, não revelaram nenhuma promoção ou efeito de co-promoção pela exposição a campos de 50 Hz variando em intensidade de 5 a 500 mG ^{109, 110}.

Estudos de desenvolvimento do câncer de mama em roedores tratados com um iniciador químico, sugeriram um efeito de promoção de câncer pela exposição a campos magnéticos de 50/60 Hz, com intensidades na faixa de 0,1 a 300 G ^{111 - 116}. Estas observações levaram à hipótese de relacionar o aumento da incidência de tumores nos ratos expostos a campos, com a supressão de melatonina pineal

induzida pelos campos e um conseqüente aumento dos níveis de hormônios esteróides e do risco de câncer de mama ^{117, 118}.

Para a *International Agency for Research on Cancer (IARC)*, os resultados dos estudos para campos magnéticos de frequência extremamente baixa (ELF) evidenciam que uma associação entre campos elétricos e leucemia infantil é *inadequado para avaliação*, ou seja, a avaliação dos estudos é de qualidade insuficiente, não há consistência ou poder estatístico que permita apresentar conclusão de presença ou ausência de associação causal entre exposição e câncer ou não há dados de câncer humano avaliáveis. No entanto, classifica os Campos Magnéticos de Frequência Extremamente Baixa (ELF) como possivelmente carcinogênicos para seres humanos (GRUPO – 2B), ou seja, o agente é possivelmente carcinogênico para humanos ¹¹⁹.

Perante tantas incertezas e falta de resultados significativos, faz-se necessário a contínua investigação de possíveis efeitos adversos ou danos potenciais a sistemas biológicos, na tentativa de auxiliar estudos mais complexos.

Deste modo, a utilização de bioindicadores de poluição ambiental pode apresentar-se como uma ferramenta de grande utilidade na obtenção de resultados que possam sinalizar respostas mais plausíveis e de maior consistência científica.

I.6 Bioindicadores de poluição ambiental

Com o desenvolvimento industrial surgiram palavras novas em nosso vocabulário. Algumas já têm seu significado incorporado em nosso dia-a-dia, como poluente e poluição. Entretanto, identificar e mensurar o efeito de poluentes no ambiente exige, na maioria das vezes, um esforço multidisciplinar. Avaliar o comportamento da poluição no ambiente, por meio do monitoramento da sua ação em organismos vivos é um tópico novo nas ciências ambientais, que tem sido chamado de biomonitoramento ou bioindicação: um estímulo ambiental, assim como um estímulo produzido por um poluente, provoca reações no organismo vivo e pode acarretar várias alterações em seu funcionamento. Nos métodos da bioindicação, o comportamento do organismo perante a um poluente é utilizado na avaliação da qualidade desse ambiente. O monitoramento feito por meio de métodos físico-químicos aborda o tipo e a intensidade de fatores, inferindo eventualmente sobre os efeitos biológicos. Na bioindicação são obtidas informações sobre os efeitos desses fatores no sistema biológico, podendo-se eventualmente inferir sobre sua qualidade e quantidade. A área de monitoramento biológico é jovem, tendo a Europa como palco principal de desenvolvimento de estudos nessa área, com enfoque na avaliação da poluição atmosférica. No Brasil essa metodologia começa a despertar interesse para as questões referentes à avaliação de impacto ambiental ¹²⁰.

Os indicadores ou marcadores de efeito podem ser definidos como alterações mensuráveis, de natureza bioquímica e/ou fisiológica, em um sistema biológico qualquer, que, dependendo de sua magnitude podem ser consideradas como

sinalizadoras em potencial de um agravo à saúde, ou mesmo de uma doença já estabelecida. Essa definição compreende sinais bioquímicos ou celulares de disfunção tecidual, sinais fisiológicos de disfunção em sistemas ou aparelhos orgânicos, ou até mesmo, sem ser considerado diretamente como um efeito adverso, representar e sinalizar um dano em potencial para a saúde ¹²¹.

O termo “indicador”, em ecologia, refere-se a um organismo cuja presença (ou ausência) em determinada área, serve como indicação da existência de certas condições ambientais, como por exemplo, a poluição ¹²².

Bioindicadores podem ser definidos como organismos ou grupo de organismos que respondem à variação dos distúrbios ambientais por meio de alterações nas suas funções vitais ou composição química e podem ser usados para a avaliação da extensão das mudanças na atmosfera. O bioindicador é um organismo, parte de um organismo ou uma comunidade, compreendendo um ou vários itens de informações sobre a qualidade do ambiente ou parte dele. Em contraste, o biomonitor é um organismo, ou parte de um organismo ou uma comunidade, compreendendo um ou muitos itens de informações sobre ambos, a quantidade e a qualidade da contaminação ambiental. Desta maneira, a avaliação ambiental por meio de bioindicadores, possui a característica qualitativa baseada na resposta biológica de um organismo vivo que revela a presença ou ausência de contaminantes com a ocorrência de sintomas ou respostas mensuráveis ¹²³.

O uso de bioindicadores vegetais de genotoxicidade parece representar uma alternativa simples, eficiente, rápida e de baixo custo para avaliar o potencial genotóxico de agentes contaminantes ambientais, permitindo inclusive, a difusão de

técnicas de biomonitoramento “in situ” e testes “in vivo” em locais que disponham apenas de condições básicas de investigação. Além disso, os bioensaios vegetais permitem avaliar a genotoxicidade de substâncias químicas simples a misturas complexas, o que é de suma importância na avaliação da poluição atmosférica urbana ¹²⁴.

Diversas espécies de vegetais superiores há muito vêm sendo investigadas, sendo reconhecidamente sensíveis a substâncias genotóxicas e adequadas para monitorização ambiental ¹²⁴, sendo recomendado seu uso pela Organização Mundial de Saúde ¹²⁵ e pelo Programa de Genotoxicidade da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos ¹²⁶.

I.6.1 *Tradescantia* como bioindicador de poluição

Plantas superiores proporcionam valiosos sistemas de ensaios genéticos para “screening” e monitoramento de poluentes ambientais. São reconhecidos como excelentes indicadores de efeitos citogenéticos e mutagênicos de contaminantes químicos ambientais e são aplicáveis para a detecção de mutagênese ambiental tanto para ambientes internos quanto externos. Comparações entre sistemas de ensaios genéticos com plantas e não-plantas, indicam que os ensaios genéticos com plantas superiores têm alta sensibilidade ¹²⁷.

Dois ensaios considerados ideais para monitoramento “in situ” e testes de agentes mutagênicos no ar e na água, são o ensaio do pelo estaminal com *Tradescantia* para mutação e o ensaio de micronúcleos com *Tradescantia* para

aberrações cromossômicas. Ambos os ensaios podem ser usados em testes “in vivo” e “in vitro”¹²⁷.

Outros ensaios de genotoxicidade com plantas superiores que têm grande número de marcadores genéticos ou dados e são também altamente convenientes para testar agentes genotóxicos incluem *Arobidopsis thaliana*, *Allium cepa*, *Hordeum vulgare*, *Vicia fava* e *Zea mays*, só para destacar alguns exemplos.

Desde os primórdios dos estudos da atividade genética de compostos químicos e agentes físicos, várias espécies e clones do gênero *Tradescantia* têm sido utilizados como organismos experimentais, em virtude de uma série de características genéticas favoráveis. Apresentando apenas seis pares de cromossomos grandes e facilmente observáveis, células de quase todas as partes da planta, da ponta da raiz ao tubo polínico em desenvolvimento, fornecem material excelente para estudos citogenéticos¹²⁷.

Como conseqüência do uso intenso de *Tradescantia* em estudos genéticos, encontrou-se uma série de características que permitem a detecção de agentes que afetam a estabilidade do genoma. Pelo menos quatro dessas características foram selecionadas como indicadores em bioensaios de avaliação de toxicidade genética. Dois desses ensaios, o da mitose em ponta de raiz e o do tubo polínico, são ensaios de aberração cromossômica nos quais se observam deformações morfológicas visíveis nos cromossomos¹²⁸. Um terceiro, o ensaio da mutação para célula cor-de-rosa em pelo estaminal (Trad-SHM)¹²⁹, é um teste de mutação mitótica pontual que se baseia na expressão de um gene recessivo para a cor da flor em plantas heterozigotas. O quarto ensaio é um teste citogenético que se baseia na formação de

micronúcleos (Trad-MCN) que resultam da quebra cromossômica nas células meióticas geradoras do pólen ¹³⁰.

Essa quebra ocorre preferencialmente em locais próximos aos centrômeros, sugerindo que eventos mutacionais e tensões mecânicas durante a espiralação dos cromossomos durante a replicação, devam estar envolvidos ^{131, 132}.

Estudos sobre o genoma de *Tradescantia* iniciaram-se com os trabalhos pioneiros de Sax e Edmonds (1933) sobre o gametófito masculino de *T. reflexa*, quando foram descritas as várias fases do desenvolvimento do micrósporo e determinados os períodos e o ritmo dos eventos meióticos. Primeiramente, determinou-se que cromossomos meióticos eram mais suscetíveis à quebra que cromossomos mitóticos; e, mais importante, cromossomos em divisão eram ao menos dez vezes mais susceptíveis que aqueles em repouso. Em segundo lugar, as quebras não se distribuíam aleatoriamente nos cromossomos. Estes conceitos de temporalidade e sensibilidade tornaram-se extremamente importantes na seleção de bioindicadores para mutagênese, uma vez que a sincronia no desenvolvimento celular e a precisão nos períodos de recuperação após os tratamentos foram dois fatores decisivos para o desempenho destes bioensaios. A maior suscetibilidade dos cromossomos meióticos quando comparados aos mitóticos foi mais tarde confirmada em um estudo da influência da falta de oxigênio na meiose em *T. paludosa* ¹³³. Esta pesquisa representou a primeira tentativa de observação de micronúcleos nas células mãe do pólen como indicadores diretos de fragmentação cromossômica. Uma taxa espontânea de 0,87% de células contendo micronúcleos foi definida para *T. paludosa*, aumentando para 8,0% em células expostas a anaerobiose nos estágios iniciais da prófase ¹³⁴.

O ritmo dos estágios da meiose foi ainda melhor caracterizado em um estudo da diferenciação das anteras de *T.paludosa*. Aproximadamente 24 horas se passaram para compleição do ciclo meiótico, permitindo a definição do período de recuperação apropriado entre a exposição das inflorescências a agentes tóxicos e sua fixação para análise do número de micronúcleos, conseqüentemente da atividade genotóxica ¹³⁵.

O emprego do ensaio Trad-MCN para o monitoramento de agentes clastogênicos ambientais foi primeiramente proposto após estudos envolvendo agentes pró-mutagênicos (benzo- α -pireno) e localidades poluídas. Uma grande vantagem percebida nestes estudos foi a de que nenhuma atividade enzimática externa era necessária para ativar os agentes pró-mutagênicos, dado que o aparato enzimático continuava totalmente funcional nos talos extraídos das plantas e expostos aos tratamentos ^{136, 137}.

A abundante informação sobre a genética e o desenvolvimento da *Tradescantia* oferece uma sólida estrutura de suporte para seu uso como um bioindicador para ensaios de toxicidade genética ambiental ¹²⁷. Micronúcleos nas células mãe dos grãos de pólen são facilmente observáveis, permitindo um baixo grau de incerteza nas avaliações, e diminuindo a subjetividade presente no reconhecimento de aberrações cromossômicas; enquanto a indução de mutações para rosa em células dos pelos estaminais oferece um indicador somático sensível de mutagênese. Adicionalmente, os ensaios com *Tradescantia* têm sido valiosos nos estudos de sinergismo entre agentes químicos e entre estes e outros agentes genotóxicos como radiações ionizantes, uma propriedade valiosa de riscos genotóxicos em vários tipos de estudos ¹³⁸.

II OBJETIVOS

II. 1 Objetivo geral

Testar a sensibilidade de um sistema biológico à exposição a campos magnéticos.

II. 2 Objetivos específicos

- Testar a sensibilidade da *Tradescantia pallida* como um bioindicador para exposição a campos magnéticos de frequência extremamente baixa;
- Testar o bioensaio Trad-MCN com a *Tradescantia pallida* frente a diferentes doses de campos magnéticos de frequência extremamente baixa e desta forma estabelecer uma curva dose-resposta.

III MATERIAL E MÉTODOS

III. 1 *Tradescantia pallida*

Nome Científico: *Tradescantia pallida* (Rose) D. R. Hunt cv. *Purpúrea Boom*.

Angiospermae da Família Commelinaceae.

Nomes populares: Trapoeraba roxa, Coração roxo e Trapoerabão, entre outros.

É uma planta herbácea, prostada, suculenta, de 15 a 25 centímetros de altura, com folhas e flores roxas e pubescentes, ornamental, nativa da região da América do Norte e Central (México e Honduras) e classificada em 1975^{139, 140}.

As folhas da *T. pallida* adquirem a tonalidade roxa característica quando a planta é cultivada em ambientes com boa incidência de raios solares. Também apresenta pouca tolerância a baixas temperaturas de inverno; multiplica-se por estacas e por divisão da planta; suas sementes não são utilizadas diretamente para multiplicação, mas, quando levadas por diversos agentes, podem germinar em lugares inesperados. É utilizada como forração e em maciços, bem como em jardineiras como planta pendente com terra enriquecida e de boa fertilidade e com material orgânico, mantida úmida¹⁴⁰.

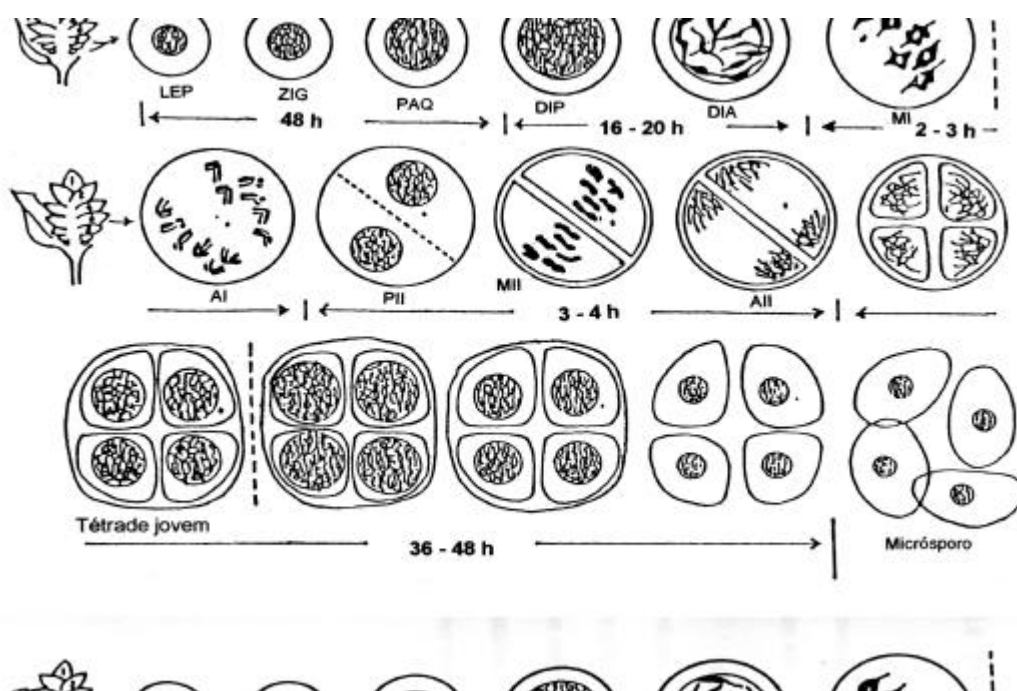
A *T. pallida*, particularmente, tem sido muito utilizada para estudos citogenéticos, evidenciados por meio do teste do micronúcleo^{141 - 151}.

III. 2 Bioensaio de micronúcleo com *Tradescantia pallida* (Trad-MCN)

O bioensaio Trad-MCN consiste em um conjunto de procedimentos de exposição de inflorescências jovens de *Tradescantia* a agentes contaminantes, que culmina com a estimativa da frequência de micronúcleos em células mães de grãos de pólen na forma de tétrades. Sua realização permite, assim, a determinação do potencial clastogênico de meios contaminados por tais agentes ¹³⁷.

Micronúcleos são fragmentos acêntricos de cromossomos lesados na prófase I da meiose, durante a formação de grãos de pólen. Esses fragmentos são expulsos do núcleo e aparecem como pequenos núcleos visíveis no citoplasma nas tétrades de grãos de pólen. A formação e a visualização de micronúcleos ao longo do processo da meiose estão ilustradas na figura 5.

Figura 5. Esquema da meiose em *Tradescantia* ¹⁵².



Nesse estudo foram utilizadas hastes de 15 centímetros de inflorescências jovens, colhidas nos jardins da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 24 horas antes do início da exposição.

Para cada exposição foram coletadas 50 hastes de inflorescências jovens, imediatamente encaminhadas ao Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, situado no campus central na Cidade Universitária, onde uma sala do Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética havia sido previamente escolhida e preparada para o experimento. Nessa sala não havia nenhuma fonte de emissão de qualquer tipo de campo magnético que pudesse interferir no experimento, assegurando desta forma, que as doses de exposição foram emitidas somente pela aparelhagem elétrica especialmente montada para o experimento.

Todo o experimento, ou seja, a aplicação das três diferentes doses de CEM foi conduzido na mesma sala e nas mesmas condições pré-estabelecidas.

Ao chegar ao local do experimento, as hastes foram divididas em dois copos béquer, imersas em água deionizada, 25 hastes em cada copo, e permaneceram sob constante aeração produzida por uma bomba de aquário simples, durante 24 horas para que se adaptassem ao meio ambiente do experimento, conforme figura 6.

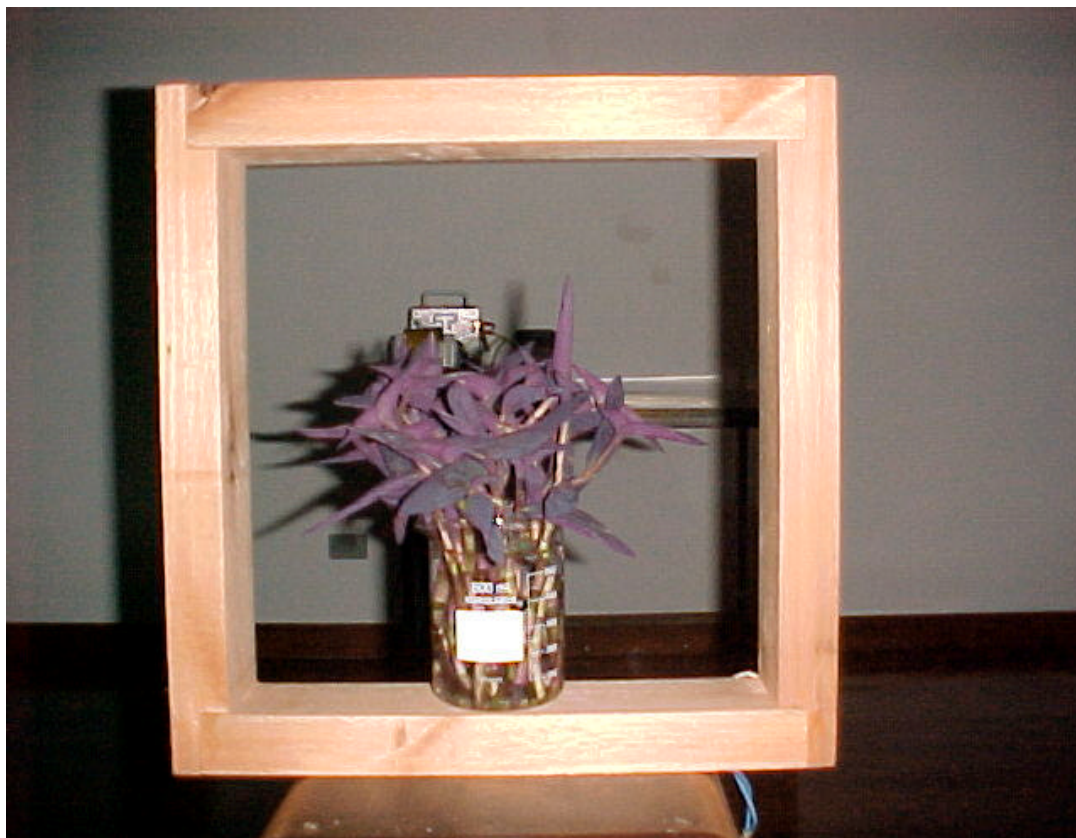
Figura 6. Hastes de inflorescências jovens em período de adaptação/recuperação, sob aeração.



Arquivo próprio

Após o período de 24 horas de adaptação, a água deionizada foi substituída por solução nutritiva de Hoagland 1:3 (v/v), e um dos copos béquer com 25 hastes permaneceu no mesmo local como controle, e o outro foi transferido para o interior da bobina, na mesma sala onde ocorreram as exposições, por oito horas, conforme a figura 7.

Figura 7. Hastes prontas para a exposição, em copo béquer no interior da bobina.



Arquivo próprio

Foram definidas três doses de exposição, de acordo com os limites estabelecidos pela norma ICNIRP²⁰ para exposição ao público e para exposição ocupacional. Os limites definidos para o estudo foram 416mG, metade da dose limite para exposição do público, 833mG, dose limite para exposição do público em geral e 4160 mG, dose limite para exposição ocupacional.

As 25 hastes, pré-adaptadas, ficaram expostas a cada uma das diferentes doses durante oito horas. Nesse período, medidas de fluxo magnético eram tomadas periodicamente, tanto do interior da bobina, quanto em diferentes pontos da sala, para a certificação de que não estivesse havendo interferências de outros CEM que

não os produzidos pela aparelhagem especialmente montada. Como a intensidade de fluxo magnético diminui com a distância da fonte, todo o experimento pôde ser alocado na mesma sala, porém com distâncias seguras avaliadas por medições periódicas.

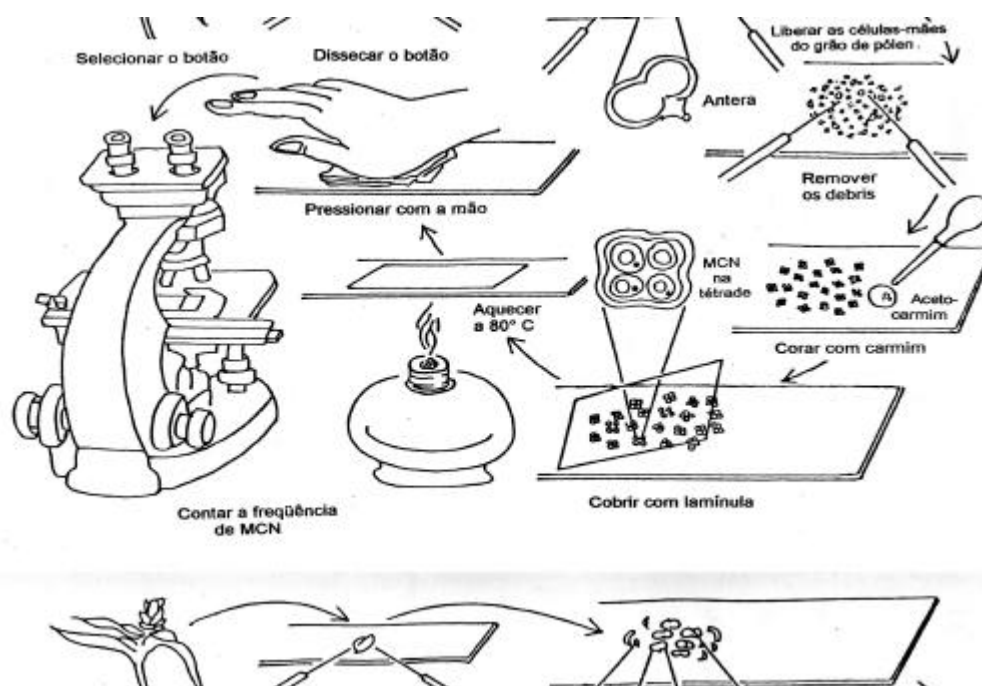
Após cada período de exposição a aparelhagem elétrica era desligada e as hastes transferidas para o local da adaptação, onde permaneciam outras 24 horas em recuperação, novamente em constante aeração, juntamente com as 25 hastes controle. Este período é necessário para que a meiose progrida e as células mãe dos grãos de pólen atinjam a fase de tétrade nos botões jovens das inflorescências.

Após este período os botões florais foram destacados das hastes e fixados em solução de ácido acético e etanol 1:3 (v/v).

Todas as amostras foram codificadas e transferidas para o Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental do Departamento de Fisiopatologia Experimental da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, a fim de serem tratadas conforme o protocolo proposto por Ma em 1981, conforme mostra a figura 8.

As exposições foram realizadas em seis semanas, ou seja, as hastes foram colhidas às segundas-feiras pela manhã, deixadas em adaptação por 24 horas, expostas às terças-feiras, durante 8 horas, deixadas em recuperação por mais 24 horas e fixadas nos finais de tarde das quartas-feiras; as três últimas semanas serviram para a repetição do experimento a fim de aumentar o número de amostras e alcançar o tamanho estatisticamente desejado.

Figura 8. Esquema ilustrativo da técnica de preparo da lâmina com células na fase de tétrades ¹³⁷.



Para cada grupo de exposição e de controle foram selecionados botões de inflorescências que continham anteras com grãos de pólen na forma de tétrades. Essa seleção foi feita em lâmina de microscópio óptico num aumento de 100 X. As anteras destes botões foram separadas e maceradas sobre a lâmina em solução de corante aceto-carmin. Após eliminação dos debrís, colocou-se uma lamínula e aqueceu-se levemente em lâmparina a álcool para fixação. O excesso de corante foi eliminado com uma leve pressão sob folhas de papel absorvente.

A seguir, o número de micronúcleos foi contado em um grupo aleatório de 300 tétrades por lâmina, em microscópio óptico, sob aumento de 400 X. As frequências de micronúcleos foram obtidas dividindo-se o número de micronúcleos pelo número total de tétrades contadas, sendo expressas em número de micronúcleos por 100 tétrades. Todas as leituras foram feitas de maneira cega, ou seja, sem que o técnico soubesse a codificação usada nos grupos de exposição.

III. 3 Aparelhagem elétrica utilizada para o experimento

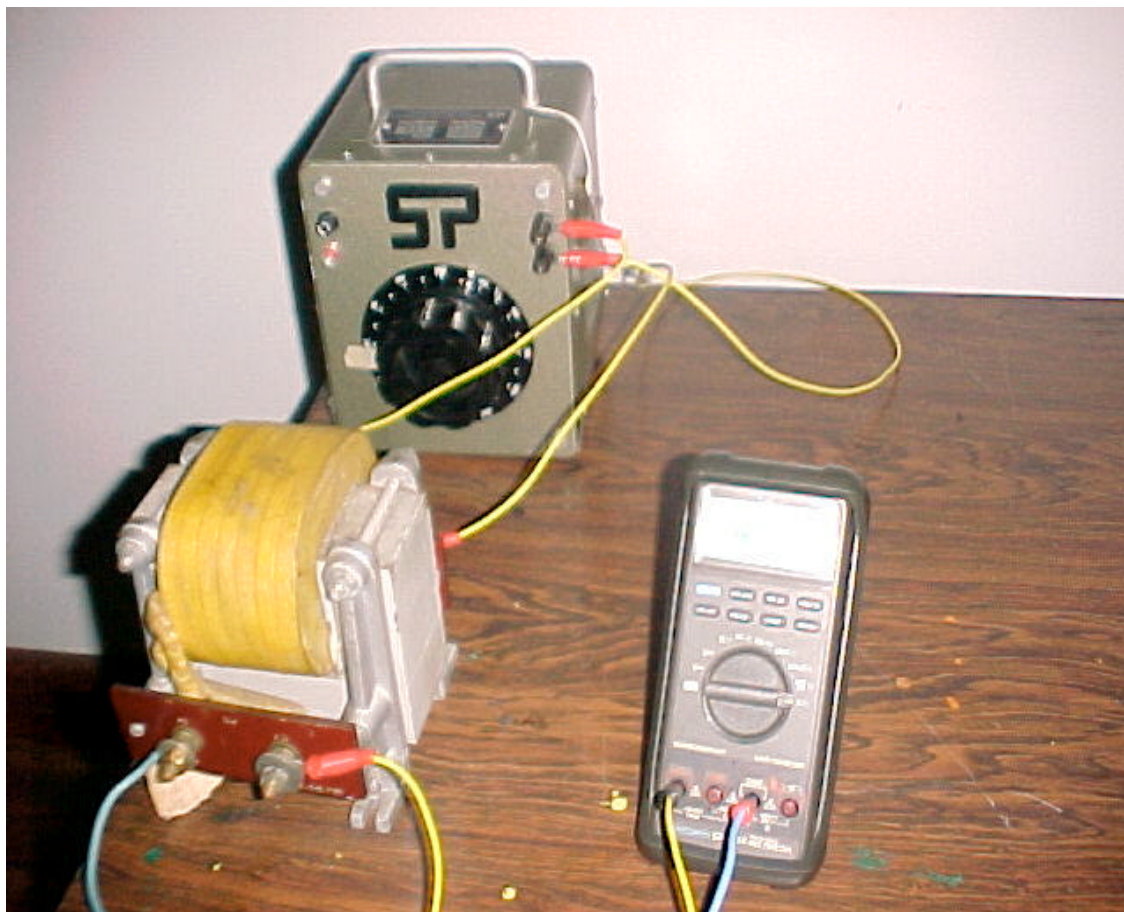
Para a geração das diferentes doses de exposição dos campos magnéticos na frequência de 60 Hz foi confeccionada, pelos engenheiros do Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, uma bobina com armação quadrada, de madeira, de 40 centímetros de lado, envolvida por 18 voltas de fio condutor de energia elétrica de 4 milímetros de diâmetro.

Esta bobina foi ligada, em série, a um Amperímetro (aparelho que mede a corrente elétrica em ampères (A)), a um gerador de corrente elétrica e a um Variac (aparelho transformador/variador de voltagem, tipo VME-366, monofásico com frequência de 60 Hz e potência máxima de 1,5 kVA) que estabelece uma tensão, utilizada para a geração do campo magnético previsto. Conforme Figuras 9, 10 e 11.

Esta aparelhagem foi alocada numa sala previamente escolhida para o experimento, assegurando assim, que nenhuma outra fonte de CEM pudesse interferir nas medidas desejadas.

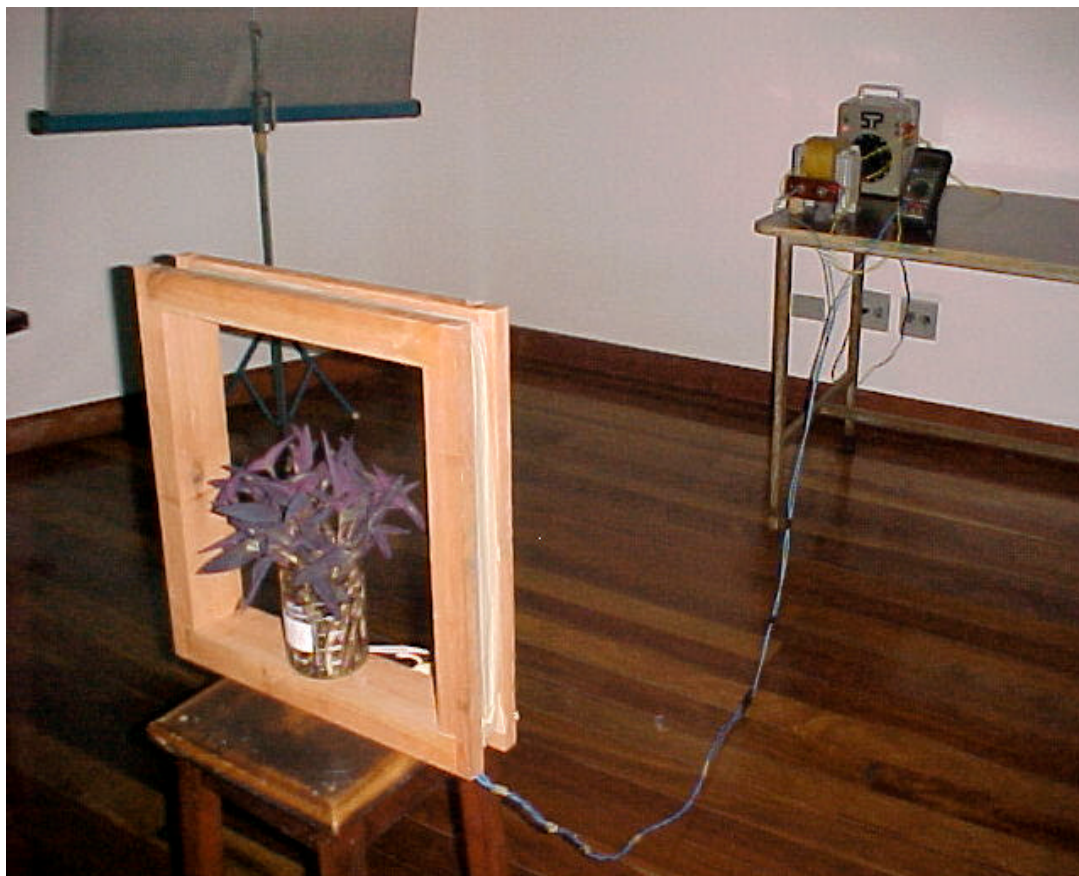
Tomou-se o cuidado de manter as luzes da sala sempre apagadas e todo o material utilizado para acomodar os equipamentos era de madeira, que é um mal condutor de eletricidade.

Figura 9. Aparelhagem elétrica composta por um amperímetro (1), um gerador de corrente elétrica (2) e um Variac (3).



Arquivo próprio

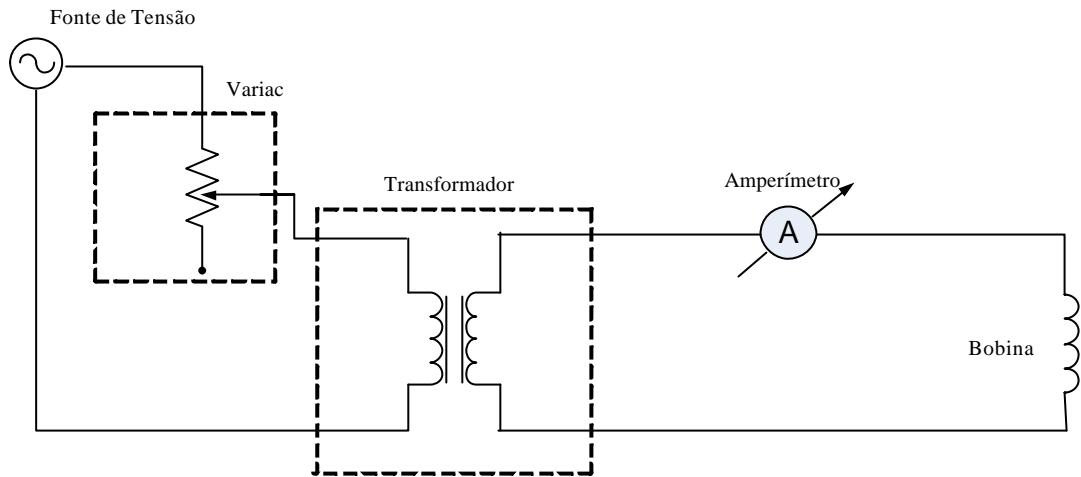
Figura 10. Aparelhagem elétrica (amperímetro, gerador e Variac) ligada em série, por fio condutor, à bobina contendo as hastes em exposição.



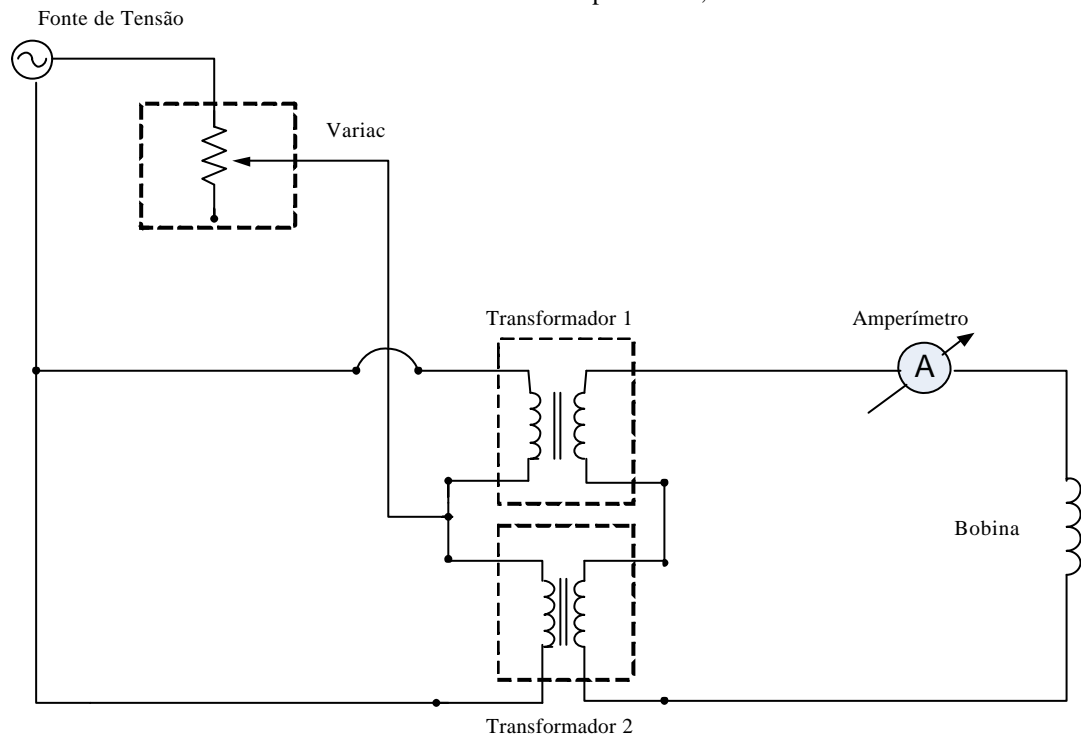
Arquivo próprio

Figura 11a. Representação gráfica da aparelhagem elétrica

Na rede de 110 V para $\vec{B} = 416,5 \text{ mG}$ e $\vec{B} = 833 \text{ mG}$



Na rede de 220 V para $\vec{B} = 4,165 \text{ G}$



Para a primeira exposição, codificado como Grupo 416, foi estabelecida uma tensão de 12,16 Volts no Variac, ligado ao gerador de corrente, que transforma a tensão em corrente elétrica, ligado ao amperímetro medindo 0,86 A. Este circuito, ligado em série à bobina, produziu uma dose de campo magnético de 416,5mG (\pm 3% do valor medido) conferido por um medidor isotrópico EFA-300 Wandel Goltermann (Figura 12).

Figura 12. Medidor Isotrópico



Arquivo próprio

Na segunda exposição, Grupo 833, foi estabelecida uma tensão de 24 Volts no Variac, o amperímetro mediu 1,73 A, para a produção de uma dose de campo magnético de 833mG ($\pm 3\%$ do valor medido).

Finalmente, na terceira exposição, Grupo 4160, foi estabelecida uma tensão de 165 Volts, com 8,50 A, para produção de uma dose de campo magnético de 4160mG ($\pm 3\%$ do valor medido).

Durante os períodos de exposição, os valores das doses dos campos magnéticos foram medidos periodicamente, tanto no local onde as hastes estavam expostas, ou seja, no centro da bobina, quanto no local em que elas permaneceram como controles. Além das medidas dos valores de exposição, também foram controlados os valores de campo em diferentes distâncias da bobina e em diferentes pontos da sala.

III. 4 Análise estatística

Foi feita a análise descritiva da frequência de micronúcleos nos quatro grupos de exposição, avaliando a sua distribuição em relação as médias, medianas, percentis e desvios-padrão.

O teste de Kolmogorov-Smirnov foi utilizado para avaliar se os dados apresentavam uma distribuição normal. O teste de Levene foi usado para checar a homocedasticidade das variáveis.

Para investigar a diferença entre os grupos de exposição, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis e, para identificar o grupo de exposição que apresentou diferença, foi aplicado o teste de comparações múltiplas de Tukey.

IV RESULTADOS

A tabela 5 apresenta os tamanhos das amostras (N), as médias, as medianas, os percentis 25 e 75, os desvios-padrão, os valores mínimos e máximos dos Grupos Controle, 416mG, 833mG e 4160mG.

Pela análise descritiva pode-se observar que os valores médios aumentam conforme aumenta a dose de exposição, sendo que o grupo de exposição com 4160 mG apresentou uma média quase 100 % maior que os outros grupos. Em relação às medianas e percentis o comportamento foi semelhante.

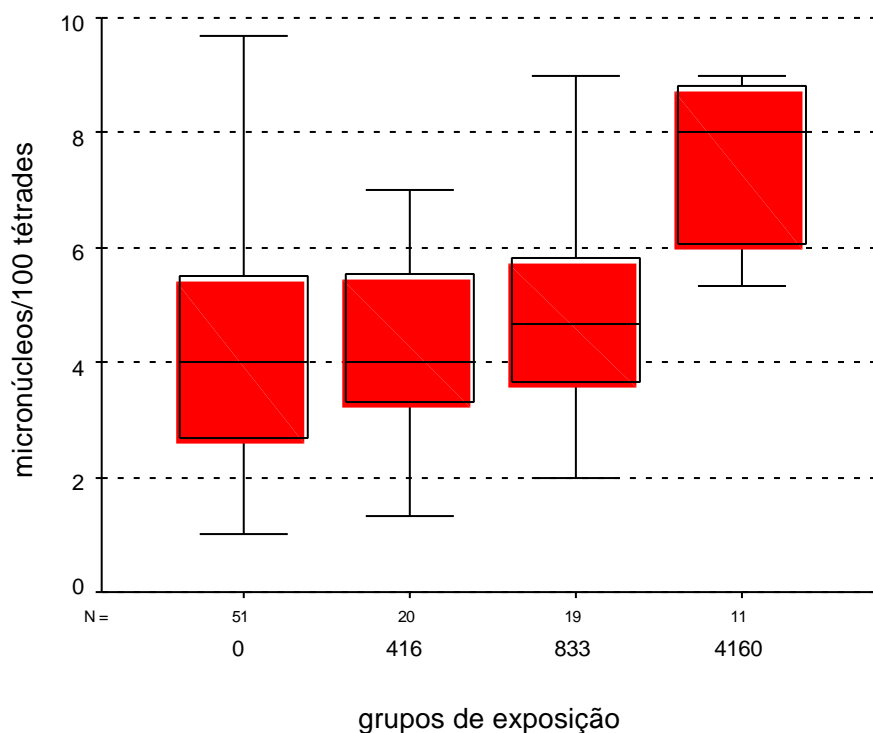
Tabela 5. Análise descritiva dos grupos expostos às diferentes doses de campo magnético.

Grupos (mG)	Controle	416	833	4160
N	51	20	19	11
Média	4,25	5,10	5,38	10,32
Mediana	4,00	4,00	4,67	8,00
Percentis	25	2,67	3,30	3,67
	75	5,67	5,68	6,00
Desvio-padrão	2,17	3,75	2,67	7,31
Mínimo	1,00	1,33	2,00	5,33
Máximo	10,40	17,33	11,50	26,30

O gráfico 1 demonstra a distribuição da frequência de micronúcleos por 100 tétrades observados entre os grupos.

O grupo exposto à dose de 4160mG apresenta a maior mediana e a menor variabilidade na quantidade de micronúcleos por 100 tétrades.

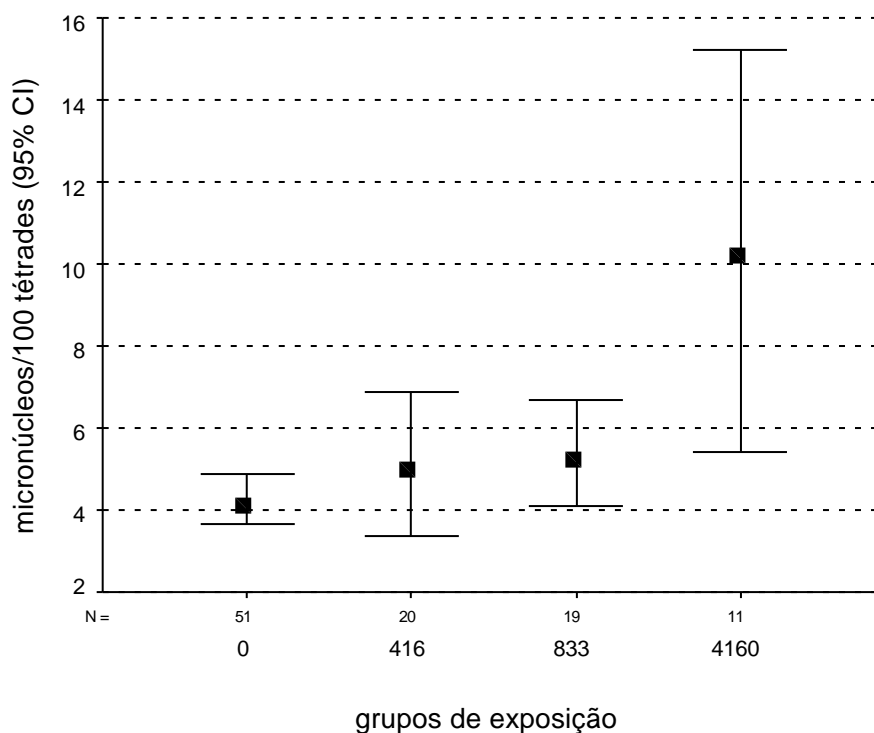
Gráfico 1. Distribuição da quantidade de micronúcleos observados por 100 tétrades entre os grupos expostos.



O gráfico 2 apresenta as médias e os intervalos de 95% de confiança dos valores observados, encontrados em cada um dos grupos de exposição.

Podemos observar que existe uma tendência de aumento do efeito quando há um aumento da dose de exposição. Este efeito é mais acentuado após a maior dose de exposição.

Gráfico 2. Valores médios e intervalos de 95% de confiança em cada dose de exposição.



Os valores entre os grupos não apresentaram uma distribuição normal de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov. A homogeneidade das variâncias não foi igual após o teste de Levene.

Utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, que mostrou uma diferença entre os grupos com um nível de significância inferior a 1%.

Quando aplicado o teste Honest Tukey, verificou-se que a diferença entre a maior dose de exposição (4160 mG) e as outras doses de exposição era significativa (Tabela 6).

Tabela 6. Teste Honest Tukey entre os grupos de intensidade de exposição.

GRUPO	N	p = 0,05	
		1	2
Controle	51	4,2498	
416	20	5,1020	
833	19	5,3779	
4160	11		10,32

V DISCUSSÃO

A “Carta da Terra” diz que: “Estamos diante de um momento crítico na história da Terra, numa época em que a Humanidade deve escolher o seu futuro... ou formar uma aliança global para cuidar da Terra e uns dos outros ou arriscar a nossa destruição e a da diversidade da vida”.

Este alarme não é infundado, pois nas últimas décadas temos construído o princípio da autodestruição. Como espécie – *Homo sapiens et demens* -, temos ocupado 83% do planeta, explorando para nosso proveito quase todos os recursos naturais. A voracidade é tal que temos depredado os ecossistemas, a ponto de a Terra ter superado em 20% sua capacidade de suporte e regeneração. Mais ainda, fizemo-nos reféns de um modelo civilizatório depredador e consumista que, se universalizado, demandaria três planetas semelhantes ao nosso ⁶.

A intensa urbanização ocorrida no último século, que resultou fundamentalmente da transferência de pessoas do meio rural (campo) para o meio urbano (cidade), é sem dúvida consequência desse modelo. A idéia de que urbanização estava intimamente associada ao modelo de desenvolvimento econômico levou a concentração de muitas pessoas em um espaço restrito (a cidade) e substituiu as atividades primárias (agropecuária) por atividades secundárias (indústrias) e terciárias (serviços) como fonte principal de renda para os seus habitantes ¹.

A poluição decorrente da ação humana sempre existiu e é fato notório que antigas civilizações, mesmo com baixa tecnologia, agrediram o ambiente com substâncias nocivas e dejetos, por vezes com repercussão global¹⁵³.

No último século tem-se assistido ao apogeu da intervenção do homem sobre o planeta, com o surgimento dos motores a combustão, com a queima de combustíveis fósseis, com o surgimento de indústrias siderúrgicas e de produtos químicos. Processos esses que não foram acompanhados das devidas análises de impacto ambiental e dos prováveis danos à saúde humana advindos dessa intervenção descontrolada. Por isso, nos últimos 70 anos, a humanidade tem se deparado com os resultados desastrosos desse processo desordenado e lutado para entender quais as conseqüências dessa corrida desenvolvimentista, tentando evitar os seus efeitos deletérios para o planeta e seus habitantes¹⁰.

Após a década de 50, como reflexo da industrialização, impõe-se uma nova lógica na organização da sociedade brasileira. As inovações econômicas e sociais são enormes, pois se associam, neste contexto, à revolução demográfica, ao êxodo rural e à integração do território pelos transportes e comunicações. Crescem cidades de todos os tipos e com diferentes níveis funcionais. Tem início o processo de metropolização³.

Na Europa, no final da década de 1960, esse conceito foi ampliado, modificando a orientação do urbanismo, principalmente nas cidades destruídas na II Guerra, ultrapassando assim os aspectos físicos, transformando-se num processo contínuo que afeta não só o projeto de reconstrução, mas também recobre temas de

regulamentação social, econômica e política e, mais recentemente, as questões ambientais ². Essa fase de planejamento e reestruturação urbana só aconteceu à medida que o desenvolvimento social, econômico e tecnológico foi ocorrendo, minimizando os problemas decorrentes desse processo.

A partir da década de 70, ocorre a difusão generalizada das modernizações, tanto no campo como na cidade. A construção e expansão de estradas de rodagem e a criação de um moderno sistema de telecomunicações possibilitaram maior fluidez no território, além de permitir a unificação do mercado em escala nacional⁴.

Com a expansão recente da moderna economia de serviços de apoio à produção surgiu uma nova urbanização, marcada pela demanda e conseqüente aumento exponencial de trabalho intelectual. As cidades de todos os níveis acolhem os novos trabalhos - altamente especializados e qualificados - envolvendo profissionais voltados à inovação tecnológica e à regulação mais eficaz da distribuição e circulação dos produtos. Justamente estas novas demandas do sistema produtivo é que encontram correspondência, por sua vez, em uma maior demanda de urbanização e conseqüentemente maior demanda por novas e mais modernas fontes de energia ³.

As três formas principais pelas quais o ambiente urbano afeta a saúde manifestam-se por meio das mudanças sociais que acompanham o urbanismo, modificando comportamentos; o risco proporcionado pela urbanização através de novos agentes tóxicos e infecciosos; de impactos, em grande escala, no ecossistema da biosfera, levando ao desequilíbrio ecológico ¹⁵⁶.

Segundo a FUNASA, nas últimas quatro décadas do século XX, o Brasil experimentou uma significativa mudança no seu perfil epidemiológico, com uma progressiva queda na morbimortalidade por doenças infecciosas transmissíveis e uma elevação, também progressiva, da morbimortalidade pelas doenças e agravos não transmissíveis (DANT). Essa mudança, denominada de “transição epidemiológica”, representa o reflexo de um conjunto de mudanças mais gerais ocorridas na sociedade, como modificações demográficas, econômicas e sociais, provocando um aumento expressivo das chamadas “doenças da modernidade” ¹⁵⁴. Isso se deu, provavelmente, pelo intenso processo de urbanização ocorrido no país.

Países desenvolvidos têm conseguido equacionar os problemas decorrentes da urbanização, tais como destino dos resíduos, controle da emissão de poluentes, preservação das áreas de mananciais. Os países em desenvolvimento ainda enfrentam dificuldades nesse tópico, devido ao crescimento urbano desordenado e a baixa condição sócio-econômica, gerando um processo de deterioração dos recursos naturais no entorno das áreas de ocupação ¹⁵⁵.

Avaliando a história da humanidade, constata-se um aumento da demanda de energia desde os primórdios da civilização, que se intensificou no século dezenove com a revolução industrial. Hoje, o consumo de energia per capita é dez vezes maior do que o do homem primitivo. A utilização do carvão e, posteriormente, do petróleo e da eletricidade, trouxeram o avanço tecnológico necessário para o desenvolvimento dessa sociedade ¹⁵⁶, tendo, no entanto, o custo da degradação ambiental e a utilização de matrizes energéticas que são finitas, como mal necessário para o progresso.

Novas modalidades de poluição atmosférica têm surgido em decorrência do desenvolvimento e da busca crescente dessas novas matrizes energéticas. No último século, foram estudados elementos químicos radioativos produtores de energia, que, no entanto, emitem grandes quantidades de radiações ionizantes, identificadas posteriormente como deletérias a saúde. O episódio ocorrido em Chernobyl, com o vazamento de grande quantidade de energia radioativa para o ambiente, causou contaminação em diversos ecossistemas, levando à morte milhares de pessoas. A escolha desse tipo de matriz energética não levou em conta a relação custo-benefício do ponto de vista ambiental e, principalmente, da sua relação com a saúde humana no sentido mais amplo da sua definição.

A evolução e transformação das formas de energia utilizadas pelo homem sugerem que os campos magnéticos emitidos por diversas fontes em diferentes frequências, tendem a aumentar vertiginosamente na mesma proporção e velocidade dos avanços tecnológicos, suscitando uma preocupação tanto do meio científico, quanto dos órgãos públicos gerenciais e até mesmo da população mais atenta, a respeito de como essa nova forma de poluição “invisível” pode influenciar no meio ambiente e, conseqüentemente na saúde humana.

Desde que a poluição é definida como a introdução de substâncias ou energia no meio ambiente, alterando suas condições naturais e gerando prejuízos à saúde, podemos então dizer que as emissões de campos magnéticos como forma de energia liberada no ambiente, podem ser consideradas como uma forma de poluição, a eletromagnética, que, alterando as condições naturais pode desequilibrar até mesmo

o metabolismo de sistemas biológicos, e conseqüentemente interferir na morbimortalidade dos indivíduos mais susceptíveis.

A crescente utilização de equipamentos eletroeletrônicos tem pautado a vida moderna. O desconhecimento e, muitas vezes, a falsa impressão que essa exposição não acarreta efeitos na saúde, pode levar a falta de controle social dessas emissões mesmo em países desenvolvidos.

O estudo dos efeitos dessa exposição sobre a saúde humana tem uma relevância científica e social. Conseqüentemente, a exposição a campos magnéticos de frequência extremamente baixa tem sido investigada por diversos grupos de pesquisadores apresentando resultados ainda inconclusivos¹⁵⁷. Estudos experimentais, onde os fatores de confusão podem ser controlados, sugeriram que os campos magnéticos agem de diferentes maneiras nos diferentes sistemas biológicos, desde simples células isoladas até em organismos mais complexos. Já os estudos epidemiológicos, importante ferramenta para confirmar ou refutar os achados em estudos experimentais, têm sido de difícil realização, já que, na maioria das vezes, muitos fatores de confusão podem estar envolvidos, dificultando a interpretação dos resultados. Diante desse quadro, ainda há uma grande dificuldade em sistematizar os resultados, gerando incertezas e preocupação da população devido à percepção do risco, ou seja, do potencial perigo que a exposição aos ELF pode trazer à saúde humana.

A OMS tem se preocupado com esse importante tópico, desenvolvendo o Projeto Internacional CEM desde 1996 para avaliar as provas científicas dos

possíveis efeitos sobre a saúde dos CEM no intervalo de frequência de 0 a 300 GHz. O Projeto CEM fomenta as investigações dirigidas a preencher importantes lacunas do conhecimento e a facilitar o desenvolvimento de normas aceitáveis internacionalmente que limitem essa exposição.

Vale ressaltar que a exposição ocupacional tem sido apontada como um fator que possa causar danos à saúde em alguns grupos de profissionais que, em sua consciência cotidiana se expõem a essas fontes de emissão.

Os estudos experimentais têm auxiliado significativamente na investigação dos efeitos na saúde humana da exposição aos CEM, trazendo evidências mais sólidas dessa relação entre exposição e efeito, controlando para os possíveis fatores de confusão ^{74, 82, 83, 85, 88 - 90, 99 - 104}.

Desde que sistemas de plantas superiores foram reconhecidos como excelentes indicadores de efeitos citotóxicos, citogenéticos e mutagênicos para contaminantes químicos ambientais, tendo a vantagem única para o monitoramento “in situ” e o “screening”, é recomendado que estes sistemas de plantas superiores sejam aceitos pelas autoridades regulatórias como uma alternativa de sistema de ensaio inicial para a detecção de possíveis danos genéticos resultantes da poluição ou uso de contaminantes químicos ambientais ¹²⁷.

A utilização de bioindicadores reforça a adoção do “princípio da precaução” como conceito que deve servir de guia para as ações em vigilância ambiental no campo da saúde, isto é, não se deve priorizar a ação apenas pela ocorrência de

doenças e desastres ou acidentes, mas antecipar esses eventos pelo reconhecimento prévio dos riscos e dos contextos nocivos à saúde. Por definição, a vigilância ambiental em saúde se configura como um conjunto de ações que proporcionam o conhecimento e a detecção de qualquer mudança nos fatores determinantes e condicionantes do meio ambiente que interferem na saúde humana, com a finalidade de recomendar e adotar as medidas de prevenção e controle dos fatores de riscos e das doenças ou agravos relacionados à variável ambiental ¹⁵⁴.

Dessa forma, o presente trabalho teve como princípio escolher um sistema biológico que pudesse fornecer uma resposta segura sobre como os campos magnéticos de frequência extremamente baixa (ELF), ou seja, campos magnéticos produzidos pela corrente elétrica, que permeiam todo o ambiente e, por isso, podem ser considerados importante agente de alterações fisiológicas.

Dentre as várias espécies de vegetais superiores, espécies e clones do gênero *Tradescantia* têm sido utilizadas, com vasta experiência, como bioensaio para estudo da atividade genética de compostos químicos e agentes físicos, consequência de uma série de aspectos que as tornam especialmente apropriadas para esta finalidade ¹⁴⁵.

A abundante informação sobre a genética e o desenvolvimento da *Tradescantia* oferece uma sólida estrutura de suporte para seu uso como um bioindicador nos ensaios de toxicidade genética ambiental ¹²⁷.

Assim, optou-se por utilizar o bioensaio do micronúcleo (Trad-MCN) com *Tradescantia pallida*, protocolado como um sistema bioindicador de poluição atmosférica, por se tratar de um meio barato, simples e seguro para demonstrar uma possível relação dose-dependente.

O Trad-MCN indica uma clastogênese, ou uma alteração no DNA da célula mãe do grão de pólen, que produz um efeito quantitativo facilmente observável, numa espécie vegetal (*Tradescantia pallida*) amplamente disseminada e muito bem adaptada na Cidade de São Paulo.

Por ser um bioensaio fácil e barato com uma planta tão bem adaptada, pode ser introduzido como sistema de monitoramento de poluição ambiental servindo, inclusive, como atividade de educação ambiental para estudantes de 1º e 2º graus.

Na Europa foi criado, em 1999, o projeto "Rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet)", dentro do programa "LIFE Environment" da União Europeia (EC 1998). Sob a coordenação da Universidade de Hohenheim na Alemanha, os municípios e regiões de Edimburgo e Sheffield (Reino Unido), Copenhagen (Dinamarca), Düsseldorf (Alemanha), Grande Nancy e Grande Lyon (França), Klagenfurt (Áustria), Verona (Itália) e Catalunha/Barcelona (Espanha), mais a cidade de Ditzingen (Alemanha) como parceira associada, participam desta rede de biomonitoramento de qualidade do ar, a maior instalada em centros urbanos na Europa ¹⁵⁸.

Os resultados dos ensaios com sistemas de plantas superiores podem ser uma contribuição significativa na proteção pública advindas de agentes que podem causar mutação e câncer.

Por seu baixo custo, fácil aplicação, alta sensibilidade e possibilidade do uso em condições de campo, principalmente em países em desenvolvimento, o bioensaio Trad-MCN tem sido extensivamente utilizado na avaliação do risco da poluição do ar, solo e água por vários grupos em diferentes partes do mundo^{136, 142, 143, 145, 147, 148, 159, 160 - 168}. Se os mesmos resultados forem demonstrados na avaliação de campos magnéticos de frequência extremamente baixa por estudos subsequentes, pode-se obter um bioensaio capaz de fornecer avaliações de risco.

Em situações em que é esperado um crescente aumento à exposição humana a campos magnéticos de frequência extremamente baixa, a avaliação e o bioensaio, baseados numa resposta biológica poderão fornecer informações adicionais às medidas físicas destes campos magnéticos, a fim de evitar desnecessário risco humano.

No Brasil, o Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da Faculdade de Medicina da USP tem utilizado bioindicadores vegetais para diversos tipos de poluição. Batalha (1999) estabeleceu uma curva dose resposta para raios-x utilizando Trad-MCN, gerando assim a hipótese do presente estudo: que o mesmo bioindicador responderia a uma situação experimental de emissão de ELF.

Para esse fim, em conjunto com os engenheiros do Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE-USP montou-se uma aparelhagem elétrica para a produção dos fluxos magnéticos, bastante simples e que atendia perfeitamente ao desenho do estudo. Essa aparelhagem foi alocada no Laboratório de Compatibilidade Eletromagnética, local onde a influência de outros campos eletromagnéticos não interferiu no experimento, controlando assim para outros fatores de confusão.

Os parâmetros de fluxo magnético foram determinados segundo a norma aceita pela OMS e acatada pela maioria dos países, inclusive pelo Brasil através da ANEEL – agência reguladora do setor elétrico.

Foi demonstrado que uma única exposição a campos magnéticos de frequência extremamente baixa por um período de oito horas, em níveis próximos ao limite de exposição ocupacional, induz a danos no DNA das células germinativas do bioindicador escolhido para o estudo (*Tradescantia*).

Os gráficos 1 e 2 demonstram uma tendência de aumento da frequência de micronúcleos com o aumento das doses de exposição a campo magnético a partir das intensidades mais baixas. Esse resultado sugere que, essa tendência dose-dependente pode ser melhor evidenciada se protocolos de longas exposições forem considerados.

Ao analisar a influência dos ELF gerados com limites próximos para exposição do público e para exposição ocupacional, percebe-se um aumento na frequência dos micronúcleos próximo ao limite de exposição ocupacional, sugerindo que

trabalhadores do setor elétrico podem estar sujeitos a mais essa fonte de alteração do sistema fisiológico.

Conforme mencionado no capítulo inicial desta dissertação, a *International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) entende que os resultados de pesquisas epidemiológicas sobre exposição a campos magnéticos e câncer, inclusive leucemia infantil, não são suficientemente seguros para poder servir de base científica a diretrizes que estabelecem limites de exposição a campos elétricos e magnéticos.

No entanto Draper e col. (2005) num estudo desenvolvido no Reino Unido e País de Gales, com 29000 casos de câncer em crianças, incluindo 9700 casos de leucemia, encontrou um risco aumentado de leucemia infantil em crianças que viveram a 200 metros das proximidades de linhas de alta tensão desde o nascimento, comparados com aquelas que viveram além de 600 metros (risco relativo de 1,7) ¹⁶⁹.

Em relação à exposição ocupacional a campos de baixas frequências e o risco de câncer entre trabalhadores do setor elétrico, existem estudos epidemiológicos que encontraram uma associação positiva. Milham (1982) ⁵⁰ encontrou um excesso de risco para a leucemia, entre os trabalhadores do setor elétrico. Estudos realizados posteriormente apontam uma associação entre ELF não só com leucemias, mas com outros tipos de neoplasias ^{51 - 55}.

Theriault e col. (1994) ⁵⁷, comparando trabalhadores do grupo controle e trabalhadores com leucemia, acharam que estes últimos possivelmente teriam sido

mais expostos a campos elétricos. A associação foi mais forte num grupo que havia sido exposto a uma combinação de campos elétricos e magnéticos intensos ⁵⁹.

De acordo com a literatura pesquisada, este é o primeiro trabalho que demonstra que campos magnéticos de frequência extremamente baixa causam clastogênese em células eucarióticas empregando um bioensaio com vegetais.

A demonstração de que o bioensaio Trad-MCN é sensível o suficiente para detectar efeitos dos campos magnéticos de frequência extremamente baixa em níveis próximos aos apresentados em “situações reais”, evidencia a possibilidade de monitorar os seus efeitos em estudos de campo, auxiliando a avaliação do risco de populações expostas.

Esses resultados encorajam a utilização deste bioensaio na avaliação da utilidade desse monitor de efeito em estudos de campo, talvez auxiliando na real caracterização do papel dos campos magnéticos na causa das neoplasias humanas.

Desta forma, pode-se concluir que este estudo, além de servir como instrumento técnico para a aplicação de um indicador de controle de emissão de CEM em ambientes ocupacionais; também levanta a necessidade da realização de estudos, experimentais e epidemiológicos, tentando estabelecer qual o intervalo seguro para exposição humana a CEM de diversas frequências e em diferentes situações; qual a plausibilidade biológica da exposição em sistemas biológicos simples e complexos; o quanto os CEM interferem nestes sistemas e em quais condições; de que maneira as células, sistemas, órgãos e organismos de animais reagem a diferentes doses de exposição nas diferentes frequências.

VI CONCLUSÕES

- Os campos magnéticos de frequência extremamente baixa induzem danos ao DNA de *Tradescantia pallida*.
- Esses danos apresentaram um comportamento dose dependente.
- O bioensaio do micronúcleo com *Tradescantia* (Trad-MCN) pode ser considerado um teste eficiente de sensibilidade para estudos com CEM.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 NetOpédia [online]. *Urbanização*. [citado 4 abr. 2005]. Disponível em:
members.tripod.com/~netopedia/geogra/urbanizacao.htm.
- 2 Vestibular1 [online]. *Urbanização*. [citado 4 abr. 2005]. Disponível em:
www.vestibular1.com.br/revisao/urbanizacao.doc.
- 3 Bernardes A. [online]. *Urbanização*. [citado 4 abr. 2005]. Disponível em:
www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/consnac/ocupa/procurb.
- 4 Almeida EP. [online]. *Urbanização do Território*. [citado 4 abr. 2005]. Disponível em:
www.mre.gov.br/cdbrasil/itamaraty/web/port/consnac/ocupa/procurb/urban/.
- 5 MacMichael AJ. *Urbanização e Saúde: Questões no Terceiro Mundo*. Bulletin of the World Health Organization. 2000. 78 (9).
- 6 Boff L. *Meio Ambiente e Espiritualidade*. Meio Ambiente no Século 21. Ed.Sextante. 2003. 35 - 43.
- 7 Jr Roberto CP. [online]. *Vivemos os últimos anos do juízo final*. [citado 26 abr. 2005]. Disponível em: www.ecoambiental.com.br/.
- 8 Costa APF. [online]. *Clima e Degradação Ambiental Urbana*. [citado 12 abr. 2005]. Disponível em: www.cabano.com.br/conforto_ambiental_0.htm.
- 9 Utell MJ, Samet JM, Bates DV, Becklake MR, Dockery DW, Leaderer BP, Mauderly JL, Speizer FE. *Air pollution and health. Report on a Symposium*. Am. Rev. Respir. Dis. 1988.10: 1065 - 8.

- 10 Braga ALF, Conceição GMS, Pereira LAA, Kishi HS, Pereira JCR, Andrade MF, Gonçalves FLT, Saldiva PHN, Latorre MRDO. *Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil*. J. Environ. Med. 1999. 1: 95 – 102.
- 11 Clayton GD. *Air pollution*. In: Clayton GD, Clayton FE. *Patty's industrial hygiene and toxicology*. 3. Ed. New York, John Willey & Sons, 1978. 1: 595 - 652.
- 12 Ambiente Brasil. [online]. *Poluição Urbana*. [citado 19 abr. 2005]. Disponível em: www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./urbano/index.html.
- 13 Saldiva PHN, King M, Delmonte VLC, Macchione M, Parada MAC, Daliberto ML, Sakae RS, Criado PMP, Silveira PLP, Zin WA, Böhm GM. *Respiratory alterations due to urban air pollution: An experimental study in rats*. Environ. Res. 1992. 57: 19 - 33.
- 14 Dockery DW, Pope CA. *Acute respiratory effects of particulate air pollution*. Annu. Rev. Public Health. 1994. 15: 107 – 32.
- 15 Jornal Folha de São Paulo. [online]. *Veja cronologia do uso de fontes de energia pelo homem*. São Paulo. 2003 jun. 05.
- 16 Menezes AA. *Eletrotécnica*. Livros Técnicos e Científicos. Ed. S/A Rio de Janeiro. 1981.
- 17 Toledo AP. *Linhas e Sistemas de Transmissão, RF-AF*. McGraw – Hill do Brasil. São Paulo. 1978.
- 18 World Health Organization - WHO. [online]. *The International EMF Project*. [citado 29 Out. 2003]. Disponível em: <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>.

- 19 EMF Contents . *Los Campos Electromagnéticos y La Salud Pública : Las Frecuencias Extremadamente Bajas (ELF)* . Nota descriptiva nº 205. Noviembre 1998.
- 20 ICNIRP – International Commission on Non-Ionising Radiation Protection – *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. Health Physics. 1998. 74: (4) 494 – 522.
- 21 Wertheimer N, Leeper E. *Electrical wiring configurations and childhood cancer*. Am. J. Epidemiol. 1979. 109: 273 – 284.
- 22 Fulton JP, Cobb S, Preble L, Leone L, Forman E. *Electrical wiring configurations and childhood leukemia in Rhode Island*. Am. J. Epidemiol. 1980. 111: 292 – 295.
- 23 Myers A, Cartwright RA, Bonnell JA, Male JC, Cartwright SC. *Overhead power lines and childhood cancer*. International Conference of Electric and Magnetic Fields in Med. and Biology, London, December 4-5. 1985. IEEE Conf. Publ. 257: 126.
- 24 Tomenius L. *50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm county*. Bioelectromagnetic. 1986. 7: 191-207.
- 25 Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. *Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields*. Am. J. Epidemiol. 1988.128: 21 – 38.
- 26 Coleman MP, Bell CMJ, Taylor HL, Primic-zakelj M. *Leukemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study*. Br. J. Cancer. 1989. 60: 793 - 798.

- 27 London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC, Peters JM. *Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia*. Am. J. Epidemiol. 1991. 134: 923 – 937.
- 28 Feychting M, Ahlbom A. *Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high voltage power lines*. Am. J. Epidemiol. 1993. 138: 467 - 481.
- 29 Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. *Residence near high-voltage facilities and the risk of cancer in children*. Danish Cancer Registry; AG-NIR. 1993. 1 – 26.
- 30 Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jörvlnen PJ, Heikkila KV, Koskenvuo M. *Risk of cancer in Finnish children living close to power lines*. Br. Med. J. 1993. 307: 895 – 899.
- 31 Michaelis J, Schüz J, Meinert R, Menger M, Grigat JP, Kaatsch P, Kärner H. *Childhood leukemia and electromagnetic fields: results of a population-based case-control study in Germany*. Cancer Causes and Control. 1997. 8: 167 – 174.
- 32 Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA, Robinson LL, Kaune WT, Friedman DR, Severson RK, Haines CM, Hartsock CT, Niwa S, Wacholder S, Tarone RE. *Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children*. New Eng. J. Med. 1997. 337: 1 – 7.
- 33 Tynes T, Haldorsen T. *Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines*. Am. J. Epidemiol. 1997. 145: 219 – 226.
- 34 Feychting M, Kaune TW, Savitz DA, Ahlbom A. *Estimating exposure in studies on residential magnetic fields and cancer*. Epidemiology. 1996. 7: 220 – 224.

- 35 Preston-Martin S, Peters JM, Yu MC, Garabrant DH, Bowman JD. *Myelogenous leukemia and electric blanket use*. *Bioelectromagnetics*. 1988. 9: 207 – 213.
- 36 Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, Strader CH, Daling JR. *Use of electric blankets and risk of testicular cancer*. *Am. J. Epidemiol.* 1990. 131: 759 – 762.
- 37 Vena JE, Graham S, Hellman R, Swanson M, Brasure J. *Use of electric blankets and risk of post-menopausal breast cancer*. *Am. J. Epidemiol.* 1991.134: 180 – 185.
- 38 Vena JE, Freudenheim JL, Marshall JR, Laughli R, Swanson M, Graham S. *Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets*. *Am. J. Epidemiol.* 1994.140: 974 – 979.
- 39 Li D, Ceckoway H, Mueller BA. *Electric blanket use during pregnancy in relation to the risk of congenital urinary tract anomalies among women with a history of subfertility*. *Epidemiology*. 1995. 6: 485 – 489.
- 40 Savitz DA, John EM, Kleckner RC. *Magnetic field exposure from electric appliances and childhood cancer*. *Am. J. Epidemiol.* 1990. 131: 763 – 773.
- 41 National Academy of Science/National Research Council. *Possible health effects of exposure to residential electric and magnetic fields*. 1996. Washington, DC: National Academy Press.
- 42 McDowall M. *Mortality in persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities*. *Br. J. Cancer*. 1986. 53: 271 – 279.

- 43 Severson RK, Stevens RG, Kaune WT, Thomas DB, Houser L, Davis S, Server L
E. *Acute nonlymphocytic leukemia and residential exposure to power frequency magnetic fields*. Am. J. Epidemiol. 1988. 128: 10 – 20.
- 44 Schreiber GH, Swaen GM, Meijers JM, Slangen JJ, Sturmans F. *Cancer mortality and residence near electricity transmission equipment: a retrospective cohort study*. Int. J. Epidemiol. 1993. 22: 9 - 15.
- 45 Feychting M, Ahlbom A. *Magnetic fields, leukemia, and central nervous system tumors in Swedish adults residing near high-voltage power lines*. Epidemiology. 1994. 5: 501 - 509.
- 46 Li CY, Thériault G, Lin RS. *Epidemiological appraisal of studies of residential exposure to power frequency magnetic fields and adult cancers*. Occup. Environ. Med. 1996. 53: 505 – 510.
- 47 Verkasalo PK, Pukkala E, Kaprio J, Heikkila KV, Koskenvuo M. *Magnetic fields of high voltage power lines and risk of cancer in Finnish adults: nationwide cohort study*. Br. Med. J. 1996. 313: 1047 – 1051.
- 48 National Radiological Protection Board. *Electromagnetic fields and the risk of cancer. Summary of the views of the Advisory Group on Non-ionizing Radiation on epidemiological studies published since its 1992 report*. Chilton. UK: National Radiological Protection Board. 1993. NRPB Documents 4(5).
- 49 National Radiological Protection Board. *Electromagnetic fields and the risk of cancer. Supplementary report by the Advisory Group on Non-ionizing Radiation of 12 April 1994*. Radiol. Prot. Bull. 1994b. 154: 10 – 12.

- 50 Milham S JR. *Mortality from leukemia in workers exposed to electrical and magnetic fields*. New Engl. J. Med. 1982. 307: 249.
- 51 Savitz DA, Ahlbom A. *Epidemiologic evidence on cancer in relation to residential and occupational exposure*. In: Biologic effects of electric and magnetic fields. New York: Academic Press. 1994. 2: 233 - 262.
- 52 Demers PA, Thomas DB, Sternhagen A, Thompson WD, Curnen MGM, Satariano W, Austin DF, Issacson P, Greenber RS, Key C, Kolonel LK, West DW. *Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men*. Am. J. Epidemiol. 1991. 132: 775 – 776.
- 53 Matanoski GM, Breyse PN, Elliott EA. *Electromagnetic field exposure and male breast cancer*. Lancet. 1991. 337: 737.
- 54 Tynes T, Andersen A, Langmark F. *Incidence of cancer in Norwegian workers potentially exposed to electromagnetic fields*. Am. J. Epidemiol. 1992. 136: 81 – 88.
- 55 Loomis DP, Savitz DA, Ananth CV. *Breast cancer mortality among female electrical workers in the United States*. J. Nat. Cancer Inst. 1994. 86: 921 – 925.
- 56 Floderus B, Persson T, Stenlund C, Wennberg A, Ost A, Knave B. *Occupational exposure to electromagnetic fields in relation to leukemia and brain tumors: a case-control study in Sweden*. Cancer Causes and Control. 1993. 4: 465 – 476.

- 57 Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guénel P, Deadman J, Imbernon E, To T, Chevalier A, Cyr D, Wall C. *Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France – 1970 - 1989*. Am. J. Epidemiol. 1994. 139: 550 - 572.
- 58 Savitz DA, Loomis DP. *Magnetic field exposure in relation to leukemia and brain cancer mortality among electric utility workers*. Am. J. Epidemiol. 1995. 141: 123 -134.
- 59 Miller AB, To T, Agnew DA, Wall C, Green LM. *Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric fields among Ontario electric utility workers*. Am. J. Epidemiol. 1996. 144: 150 – 160.
- 60 Guénel P, Nicolau J, Imbernom E, Chevalier A, Goldberg M. *Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers*. Am. J. Epidemiol. 1996. 144: 1107 – 21.
- 61 Baris D, Armstrong BG, Deadman J, Thériault G. *A mortality study of electrical utility workers in Quebec*. Occup. Environ. Med. 1996. 53: 25 - 31.
- 62 Savitz DA, Lino D, Sastre A, Kleckner RC, Kavet R. *Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality and electric utility workers*. Am. J. Epidemiol. 1999.149(Suppl2): 135 – 142.
- 63 Baris D, Armstrong B. *Suicide among electric utility workers in England and Wales [Letter]*. Br. J. Ind. Med. 1990. 47: 788 - 792.

- 64 Johansen C, Olsen JH. *Risk of cancer among Danish utility workers – a nationwide cohort study*. Am. J. Epidemiol. 1998. 147: 548 – 555.
- 65 Dowson DI, Lewitt GT. *Overhead high voltage cables and recurrent headache and depression*. Practitioner. 1988. 232: 22.
- 66 Perry FS, Pearl L, Binns R. *Power frequency magnetic field: depression illness and myocardial infarction*. Public Health. 1989. 103: 177 – 180.
- 67 Poole C, Kavet R, Funch DP, Donelan K, Charry JM. *Dreyer N. Depressive symptoms and headaches in relation to proximity of residence to an alternating-current transmission line right-of-way*. Am. J. Epidemiol. 1993. 137: 328 – 330.
- 68 Savitz DA, Boyle CA, Gikngreen P. *Prevalence of depression among electrical workers*. Am. J. Ind. Med. 1994. 25: 165 – 176.
- 69 McMahan S, Ericson J, Meyer J. *Depression symptomatology in women and residential proximity to high voltage transmission lines*. Am. J. Epidemiol. 1994. 139: 58 – 63.
- 70 Verkasalo PK, Kaprio J, Varjonen J, Romanov K, Heikkilä K, Koskenvuo M. *Magnetics fields of transmission lines and depression*. Am. J. Epidemiol. 1997. 146: 1037 – 1045.
- 71 Bergqvist U. *Pregnancy outcome and VDU work - a review*. In: Luczak H, Cakir A, An Cakir G, eds. Work with display units '92 - Selected Proceedings of the 3rd International Conference WWDO '92, Berlin Germany, 1 - 4 September 1992. Amsterdam: Elsevier.1993. 70 - 76.

- 72 Shaw GW, Croen LA. *Human adverse reproductive outcomes and electromagnetic fields exposures: review of epidemiologic studies*. Environ. Health Persp. 1993. 101: 107 – 119.
- 73 National Radiological Protection Board. *Health effects related to the use of visual display units. Report by the Advisory Group on Non-ionizing Radiation*. Chilton, UK: National Radiological Protection Board. 1994a. NRPB Documents 5(2).
- 74 Tenforde TS. *Interaction of ELF magnetic fields with living systems*. In: Polk, C. Postow E. eds. *Biological effects of electromagnetic fields*. Boca Raton, FL: CRC Press. 1996. 185 - 230.
- 75 Lindbohm ML, Hietanen M, Kyyrönen P, Sallmen M, Van Nandelstadh P, Taskinen H, Pekkarinen M, Ylikoski M, Hemminki K. *Magnetic fields of video display terminals and spontaneous abortion*. Am. J. Epidemiol. 1992. 136: 1041 - 1051.
- 76 Schnorr TM, Grajewski BA, Hornung RW, Thun MJ, Egeland GM, Murray, WE, Conover DL, Halperin WE. *Video display terminals and the risk of spontaneous abortion*. New Eng. J. Med. 1991. 324: 727 – 733.
- 77 Bracken MB, Belanger K, Hellebrand K, Dlugosz L, Holford TR, Mcsharry JE, Adesso K, Leaderer B. *Exposure to electromagnetic fields during pregnancy with emphasis on electrically heated beds: association with birthweight and intrauterine growth*. Epidemiol. 1995. 6: 263 - 270.

- 78 ISSA - Internacional Social Security Association. Internacional Section for Electricity. *Biological Effects of Electromagnetic Fields*. Information on various aspects of the EMF issue 2000.
- 79 Bernhardt JH. *The establishment of frequency dependent limits of electric and magnetic fields and evaluation of indirect effect*. Radiat. Environ. Biophys. 1988. 27: 1 - 27.
- 80 Astumian RD, Weaver JC, Adair RK. *Rectification and signal averaging of weak electric fields by biological cells*. PNAS. 1995. 92: 3740 - 3743.
- 81 Sienkiewicz ZJ, Saunders RD, Kowalczyk CI. *The biological effects of exposure to non-ionizing electromagnetic fields and radiation: II Extremely low frequency electric and magnetic fields*. Chilton, UK: National Radiological Protection Board. 1991. NRPB R239.
- 82 Tenforde TS. *Cellular and molecular pathways of extremely-low-frequency electromagnetic field interactions with living systems*. In: Blank, M. ed. *Electricity and magnetism in biology and medicine*. 1993. San Francisco, CA: San Francisco Press. 1 - 8.
- 83 Tenforde TS. *Biological Interactions of extremely-low-frequency electric and magnetic fields*. Bioelectrochem. Bioenerg. 1991. 25: 1 – 17.
- 84 Bernhardt JH. *The direct influence of electromagnetic fields on nerve and muscle cells of man within the frequency range of 1 Hz to 30 MHz*. Radiat. Environ. Biophys. 1979.16: 309 - 323.

- 85 EUA National Radiological Protection Board. *Electromagnetic fields and the risk of cancer*. Report of an Advisory Group on Non-ionizing Radiation. Chilton, UK: National Radiological Protection Board. 1992. Documents 3(1).
- 86 Chernoff N, Rogers JM, Kavet R. *A review of the literature on potential reproductive and developmental toxicity of electric and magnetic fields*. *Toxicology*. 1992. 74: 91 - 126.
- 87 Brent RL, Beckman DA, Landel CP. *Clinical teratology*. *Curr. Opin. Pediatr*. 1993. 5: 201 - 211.
- 88 Sienkiewicz ZJ, Cridland NA, Kowalczyk CI, Saunders RD. *Biological effects of electromagnetic fields and radiations*. In: Stone WR, Hyde G. Eds. *The review of radio science: 1990-1992*. Oxford: Oxford University Press. 1993: 737 - 770.
- 89 Tenforde TS. *Biological interactions and potential health effects of extremely-low-frequency magnetic fields from power lines and other common sources*. *Ann. Rev. Public Health*. 1992. 13: 173 – 196.
- 90 Nascimento LFC, Botura GJR, Mota RP. *Glucose Consume and Growth of E.coli Under Electromagnetic Field*. *Rev. Inst. Med. Trop. S. Paulo*. 2003. 45(2): 65 – 67.
- 91 Walleczek, J, Liburdy RP. *Nonthermal 60 Hz sinusoidal magnetic-field exposure enhances $^{45}\text{Ca}^{++}$ uptake in rat thymocytes: dependence on mitogen activation*. *FEBS Letters*. 1990. 271: 157 – 160.

- 92 Liburdy RP. *Biological interactions of cellular systems with time-varying magnetic fields*. Ann. NY Acad. Sci. 1992. 649: 74 – 95.
- 93 Walleczek J. *Electromagnetic field effects on cells of the immune system: the role of calcium signalling*. The FASEB Journal. 1992. 6: 3177 – 3185.
- 94 Goodman R, Bassett CA, Henderson AS. *Pulsing electromagnetic fields induce cellular transcription*. Science. 1983. 220: 1283 – 1285.
- 95 Goodman R, Henderson AS. *Exposure of salivary gland cells to low-frequency electromagnetic fields alters polypeptide synthesis*. Proc. Nat. Acad. Sci. 1988. 85: 3928 – 3232.
- 96 Goodman R, Henderson AS. *Transcription and Translation in cells exposed to extremely low frequency electromagnetic fields*. Bioelectrochem. Bioenerg. 1991. 25: 335 – 335.
- 97 Greene JJ, Skowronski WJ, Mullins JM, Nardone RM. *Delineation of electric and magnetic field effects of extremely low frequency electromagnetic radiation on transcription*. Biochem. Biophys. Res. Comm. 1991. 174: 742 - 749.
- 98 Phillips JL, Haggren W, Thomas WJ, Ishida-Jones T, Adey WR. *Magnetic field-induced changes in specific gene transcription*. Biochim. Blophys. Acta. 1992. 1132: 40 – 144.
- 99 Byus CV, Pieper SE, Adey WR. *The effects of low-energy 60Hz environmental electromagnetic fields upon the growth-related enzyme ornithine decarboxylase*. Carcinogenesis. 1987. 8: 1385 – 1389.

- 100 Byus CV, Kartun K, Pieper S, Adey WR. *Increased ornithine decarboxylase activity in cultured cells exposed to low energy modulated microwave fields and phorbol ester tumor promoters*. Cancer Res. 1988. 48: 4222 – 4226.
- 101 Litovitz TA, Krause D, Mullins JM. *Effect of coherence time of the applied magnetic field on ornithine decarboxylase activity* . Biochem. Biophys. Res. Comm. 1991. 178: 862 – 865.
- 102 Litovitz TA, Krause D, Penafiel M, Elson EC, Mullins JM. *The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity*. Bioelectromagnetics. 1993. 14: 395 – 403.
- 103 Murphy JC, Kaden DA, Warren J, Sivak A. *Power frequency electric fields: a review of genetic toxicology*. Mutation Res. 1993. 296: 221 – 240.
- 104 McCann J, Dietrich F, Rafferty C, Martin A. *A critical review of the genotoxic potential of electric and magnetic fields*. Mutation Res. 1993. 297: 61 – 95.
- 105 McLean J, Stuchly MA, Mitchel RE, Wilkinson D, Yang H, Goddard M, Lecuyer DW, Schunk M, Callary E, Morrison D. *Cancer promotion in a mouse-skin model by a 60-Hz magnetic field: II. Tumor development and immune response*. Bioelectromagnetics. 1991. 12: 273 – 287.
- 106 Rannug A, Ekström T, Mild KH, Holmberg B, Gimenez-Conti I, Slaga TJ. *A study on skin tumour formation in mice with 50 Hz magnetic field exposure*. Carcinogenesis. 1993a. 14: 573 – 578.

- 107 Rannug A, Holmberg B, Ekström T, Mild KH, Gimenez-Conti I, Slaga TJ. *Intermittent 50 Hz magnetic field and skin tumour promotion in Sencar mice.* Carcinogenesis. 1994. 15: 153 – 157.
- 108 Stuchly MA, McLean JRN, Burnett R, Goddard M, Lecuyer DW, Mitchel REJ. *Modification of tumor promotion in the mouse skin by exposure to an alternating magnetic field.* Cancer Letters. 1992. 65: 1 – 7.
- 109 Rannug A, Holmberg B, Ekström T, Mild KH. *Rat liver foci study on coexposure with 50 Hz magnetic fields and known carcinogens.* Bioelectromagnetics. 1993b.14: 17 – 27.
- 110 Rannug A, Holmber B, Mild KH. *A rat liver foci promotion study with 50-Hz magnetic fields.* Environ. Res. 1993c. 62: 223 – 229.
- 111 Beniashvili DS, Bilanishvili VG, Menabde, MZ. *The effect of low-frequency electromagnetic fields on the development of experimental mammary tumors.* Vopr. Onkol. 1991. 37: 937 - 941.
- 112 Löscher W, Mevissen M, Lehmacher W, Stamm A. *Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field.* Cancer Letters. 1993. 71: 75 – 81.
- 113 Mevissen M, Stamm A, Buntenkötter ,S Zwingelberg R, Wahnschaffe U, Löscher W. *Effects of magnetic fields on mammary tumor development induced by 7,12-dimethylbenz(a)anthrance in rats.* Bioelectromagnetics. 1993. 14: 131 – 143.

- 114 Mevissen M, Kietzmann M, Lösche W. *In vivo* exposure of rats to weak alternating magnetic field increases ornithine decarboxylase activity in the mammary gland by a similar extent as the carcinogen DMBA. *Cancer Letters*. 1995. 90: 207 - 214.
- 115 Baum A, Mevissen M, Kamino K, Mohr U, Löscher W. *A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 mT magnetic field exposure*. *Carcinogenesis*. 1995. 16: 119 - 125.
- 116 Löscher W, Mevissen M. *Linear relationship between flux density and tumor co-promoting effect of prolonging magnetic exposure in a breast cancer model*. *Cancer Letters*. 1995. 96: 175 – 180.
- 117 Stevens RG, Davis S. *The Melatonin hypotheses: electric power and breast cancer*. *Environ. Health Persp.* 1996. 104(Suppl. 1): 135 – 140.
- 118 Stevens RG, Davis S, Thomas DB, Anderson LE, Wilson BW. *Electric power, pineal function and the risk of breast cancer*. *The FASEB Journal*. 1992. 6: 853 – 860.
- 119 IARC - International Agency for Research on Câncer. *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans and their Supplements. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields*. 80. 2002.

- 120 Lima JS. [online]. *Bioindicação, Biomonitoramento: Aspectos Bioquímicos e Morfológicos e O Bioindicador como Ferramenta Complementar na Avaliação de Impactos Ambientais – Discutindo conceitos*. [citado 05 mai. 2004]. Disponível em: www.ambientebrasil.com.br.
- 121 ASTDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological Profile for Benzene*. 1993. Atlanta. Geórgia.
- 122 Houaiss A, Villar MS, Franco FMM. *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Rio de Janeiro. Objetiva. 2001.
- 123 Sumita NM, Mendes ME, Macchione M, Guimarães ET, Lichtenfels AJFC, Lobo DJA, Saiki M, Saldiva PHN. *Tradescantia pallida* cv. *Purpurea Boom* in the characterization of air pollution by accumulation of trace elements. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 2003. 53: 574 - 579.
- 124 Grant WF. *The present status of higher plant bioassays for the detection of environmental mutagens*. *Mutation Res.* 1994. 310: 175 – 85.
- 125 WHO – World Health Organization. *Guide to short term test for detecting mutagenic and carcinogenic chemicals*. Environmental Health Criteria. 1985. 52. Genebra.
- 126 Constantin MJ, Onens ET. *Introduction and perspectives of plant genetics and cytogenetics assays*. A report of the US Environmental Protection Agency Gene-Tox Program. *Mutation Res.* 1982. 99: 1 – 12.
- 127 Ma TH, Grant WF. *The Tradescantias – adventurous plants*. *The Herbarist.* 1982. 48: 36 – 44.

- 128 Ma TH. *Tradescantia* cytogenetic tests (root-tip mitosis, pollen mitosis, pollen mother-cell meiosis). A report of the U.S. Environmental Protection Agency Gene-Tox Program. Mutation Res. 1982. 99: 293 – 302.
- 129 Underbrink AG, Shairer LA, Sparrow AH. *Tradescantia* stamen hairs: a radiobiological test system applicable to chemical mutagenesis. In: Hollaender A. Ed. Chemical Mutagens. Principles and Methods for Their Detection. New York: Plenum Press. 1973. 171 - 207.
- 130 Ma TH. *Tradescantia* micronuclei (Trad-MCN) test for environmental clastogens. In: Kolber AR, Wong TK, Grant LD, DeWoskin RS, Hughes TJ. Ed. In Vitro Toxicity Testing of Environmental Agents. Current and Future Possibilities. Part A: Survey of Test Systems. New York. Plenum Press. 1979b. 191 – 214.
- 131 Sax K, Edmond HW. *Development of the male gametophyte in Tradescantia* Botanical Gazette. 1933. 95: 156 - 63.
- 132 Sparrow AH, Singleton WR. *The use of radio cobalt as a source of gamma rays and some effects of chronic irradiation on growing plants.* The American Naturalist. 1953. 87: 29 – 48.
- 133 Steinitz LM. *The effect of lack of oxygen on meiosis in Tradescantia.* American Journal of Botany. 1944. 31: 428 – 443.
- 134 Rodrigues GS. *Bioensaios de toxicidade genética com Tradescantia.* Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1998.

- 135 Taylor JH. *The duration of differentiation in excised anthers*. American Journal of Botany. 1950. 37: 137 – 143.
- 136 Ma TH. *Micronuclei induced by X-rays and chemical mutagens in meiotic pollen mother cells of Tradescantia, a promising mutagen test system*. Mutation Res. 1979b. 64: 307 – 313.
- 137 Ma T.H. *Tradescantia micronucleus bioassay and pollen tube chromatid aberration test for in situ monitoring and mutagen screening*. Environmental Health Perspectives. 1981. 37: 85 – 90.
- 138 Shima N, Ichikawa S. *Mutagenic synergism detected between dimethyl sulfate and X-rays but not found between N-methyl-N-nitrosourea and X-rays in the stamen hairs of Tradescantia clone BNL 4430*. Mutation Res. 1995. 331: 79 – 87.
- 139 USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network – GRIN. Taxonomy information (on line). National Germplasm Resources Laboratory. 1997. Beltsville, Maryland.
- 140 Lorenzi H, Souza HM. *Plantas ornamentais no Brasil: arbustivas, herbáceas, trepadeiras*. 3 ed. Nova Odessa. Instituto Plantarum. 2001.
- 141 Ma TH, Harris MM, Andreson VA, Ahmed I, Mohanmad K, Bare JL, Lin G. *Tradescantia micronucleous (Trad-MCN) tests on 140 health-related agents*. Mutation Res. 1984b. 138: 157 – 167.
- 142 Ma TH, Cabrera GL, Chein R, Gill BS, Sandhu SS, Vandenberg AL, Salamone MF. *Tradescantia Micronucleus Bioassay*. Mutation Res. 1994. 310: 221 – 230.

- 143 Grant WF, Lee HG, Logan DM, Salamone MF. *The use of Tradescantia and Vicia fava bioassays for the in situ detection of mutagens in an aquatic environmental.* Mutation Res. 1992. 270: 53 – 64.
- 144 Rodrigues GS, Madkours SA, Weinstein LH. *Genotoxic activity of ozone in Tradescantia.* Environ. Exp. Bot. 1996. 36: 45 – 50.
- 145 Rodrigues GS, Ma TH, Pimentel D, Weinstein LH. *Tradescantia bioassays as monitoring systems for environmental mutagenesis – A review.* Critical Reviews in Plant Sciences. 1997.16: 325 – 359.
- 146 Knasmuller S, Gottmann E, Steinkellner H, Fomin A, Pickl C, Paschke A, God R, Kund M. *Detection of genotoxic effects of heavy metal contaminated soils with plant bioassays.* Mutation Res. 1998. 420: 37 - 48.
- 147 Batalha JRF, Guimarães ET, Lobo DJA, Lichtenfels AJFC, Deur T, Carvalho HÁ, Alves ES, Domingos M, Rodrigues GS, Saldiva PHN. *Exploring the clastogenic effects of air pollutants in São Paulo (Brazil) using the Tradescantia micronuclei assay.* Mutation Res. 1999. 426: 229 - 232.
- 148 Fomin A, Paschke A, Arndt U. *Assesment of the genotoxicity of mine-dump material using the Tradescantia stamen hair (Trad-SHM) and the Tradescantia micronucleus (Trad-MCN) bioassays.* Mutation Res. 1999. 426: 173 – 181.

- 149 Ferreira MI, Petrenko H, Lobo DJA, Rodrigues GS, Moreira A, Saldiva PHN. *In Situ Monitoring of the Mutagenic Effects of the Gaseous Emissions of a Solid Waste Incinerator in Metropolitan São Paulo, Brazil, Using the Tradescantia Stamen-Hair Assay*. Journal of the Air & Waste Management Association. 2000. 50: 1852 – 1856.
- 150 Guimarães ET, Domingos M, Alves ES, Caldini NJr, Lobo DJA, Lichtenfels AJFC, Saldiva PHN. *Detection of the genotoxicity of air pollutants in and around the city of São Paulo (Brazil) with the Tradescantia-micronucleus (Trad-MCN) assay*. Environmental and Experimental Botany. 2000. 44: 1 – 8.
- 151 Guimarães ET, Macchione M, Lobo DJA, Domingos M, Saldiva PHN. *Evaluation of the mutagenic potential of urban air pollution in Sao Paulo, southeastern Brazil, using the Tradescantia stamen-hair assay*. Environ. Toxicol. 2004. 19: 578 - 584.
- 152 Ma TH, Anderson VA, Ahmed I. *Environmental clastogens detected by meiotic pollen mother cells of Tradescantia*. In: Tice RR, Costa DL, Schaich KM. Eds. Genotoxic Effects of Airborne Agents. New York. Plenum Press. 1982. 141 – 157.
- 153 Câmara I G. *Meio Ambiente – Ciência e Tecnologia*. Meio Ambiente no Século 21. Ed. Sextante. 2003. 158 – 169.
- 154 Ministério da Saúde. [online]. Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. *Vigilância Ambiental*. [citado 18 abr. 2002].
- Disponível em: www.funasa.gov.br/amb/amb00.htm.

- 155 World Resources. A Guide to the Global Environmental. *The Urban Environmental 1996-97*. 1996. New York. Oxford. Oxford University Press.
- 156 Trigueiro A. *Meio Ambiente no Século 21: 21 especialistas falam da questão ambiental nas suas áreas de conhecimento*. Sextante. Rio de Janeiro. 2003.
- 157 Moulder JE. [online]. *Electromagnetic Fields and Human Health*. Medical College of Wisconsin. Version: 9.6.0. 8-Oct-2004. [citado 3 dez. 2004]. Disponível em: www.mcw.edu/gcrc/cop/powerlines-cancer-FAQ/toc.html.
- 158 Klumpp A, Ansel W, Klumpp G. *Urban Air Pollution, Bioindication and Environmental Awareness*. Cuvillier Verlag. Göttingen. 2004.
- 159 Gichner T, Velemínský J. Monitoring the genotoxicity of soil extracts from two heavily polluted sites in Prague using the Tradescantia stamen hair and micronucleus (MCN) assays. *Mutation Res*. 1999. 426: 163 - 166.
- 160 Ichikawa S. *In situ monitoring with Tradescantia around nuclear power plants*. *Environ. Health Perspect*. 1981. 37: 145 - 164.
- 161 Isidori M, Ferrara M, Lavorgna M, Nardelli A, Parrella A. *In situ monitoring of urban air in southern Italy with the Tradescantia micronucleus bioassay and semipermeable membrane devices (SPMDs)*. *Chemosphere*. 2003. 52: 121 - 126.
- 162 Ma TH. *Tradescantia micronucleus test on clastogens and in situ monitoring*. In: Mendelsohn ML and Albertini RJ. Eds. *Mutation and the Environment, Part E*, Wiley-Liss. New York. 1990. 83 - 90.

- 163 Ma TH, Anderson VA, Harris MM, Neas RE, Lee TS. *Mutagenicity of drinking water detected by the Tradescantia micronucleus test*. Can. J. Genet. Cytol. 1985. 143 - 150.
- 164 Ma TH, Xu C, Liao S, McConnell H, Jeong BS, Won CD. *In situ monitoring with the Tradescantia bioassays on the genotoxicity of gaseous emissions from a closed landfill site and an incinerator*. Mutation Res. 1996. 359: 39 - 52.
- 165 Ma TH, Anderson VA, Harris MM, Bare JL. *Tradescantia-micronucleus (Trad-MCN) test on the genotoxicity of malathion*. Environ. Mutagen. 1983. 5: 127 - 137.
- 166 Ruiz EF, Rabago VME, Lecona SU, Perez AB, Ma TH. *Tradescantia-micronucleus (Trad-MCN) bioassay on clastogenicity of wastewater and in situ monitoring*, Mutation Res. 1992. 270: 45 - 51.
- 167 Saiki M, Alves ER. *INAA applied to Tradescantia pallida plant study for environmental pollution monitorin*. Czech. J. Physics. 2002. 52: 53 - 58.
- 168 Steinkellner H, Kassie F, Knasmüller S. *Tradescantia-micronucleus assay for the assessment of the clastogenicity of austrian water*. Mutation Res. 1999. 426: 113 - 116.
- 169 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*. British Medical Journal. 2005. 330: 1290.