

Transmissão sem fio, ondas, campos magnéticos e
os seus efeitos na saúde humana

Luiz Fernando Oliveira Corte Real

23 de dezembro de 2008

1 Introdução

A tecnologia evoluiu muito rápido nos últimos anos. Dentre as novas tecnologias que surgiram nos últimos anos, a comunicação sem fio é, sem dúvida, uma das mais poderosas e importantes. Graças a ela, o mundo tornou-se mais conectado, o conhecimento se propagou mais rápido e as distâncias se encurtaram.

Entretanto, talvez por causa dos inúmeros benefícios dessa tecnologia, pouco se cogitou sobre seus malefícios ao ser humano e ao meio ambiente. Porém, mais recentemente, a preocupação com esse aspecto da comunicação sem fio cresceu, juntamente com o surgimento das primeiras evidências de problemas causados por ela.

Neste texto, será dada uma introdução aos conceitos fundamentais para entender o funcionamento das tecnologias sem fio. Em seguida, serão apresentados os efeitos já conhecidos da radiação eletromagnética e, por fim, os efeitos ainda não completamente conhecidos ou aceitos, mas que apresentam evidências de nocividade ao ser humano.

2 Conceitos

Toda a comunicação sem fio é, atualmente, baseada na radiação eletromagnética. A radiação eletromagnética compõe-se de um campo elétrico e um magnético, que oscilam perpendicularmente um ao outro e à direção da propagação de energia. Ela se auto-propaga, isto é, não é necessário um meio para que ela se propague.

A radiação eletromagnética é classificada de acordo com a frequência da onda, que em ordem decrescente de comprimento da onda é: onda de rádio, microonda, radiação terahertz (Raios T), radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, Raios-X e Radiação Gama. Essa classificação forma o espectro eletromagnético, representado na Figura 1 [1].

A radiação eletromagnética também pode ser classificada em duas categorias: não-ionizante e ionizante. A não-ionizante é aquela cujas ondas não possuem energia suficiente para alterar os átomos da matéria, ou seja, não é capaz de ionizar a matéria. As radiações de frequência menor ou igual à da luz visível (8×10^{14} Hz) [2] [3].

2.1 Comunicação

A comunicação por ondas eletromagnéticas surgiu com a invenção do telégrafo sem fio, no início do século XIX. Nesta época, descobriu-se a possibilidade de transmitir mensagem telegráficas por ondas de rádio graças, em parte, à comprovação da relação entre eletricidade e magnetismo: a corrente elétrica, quando passa por um condutor, gera, ao redor deste condutor, um

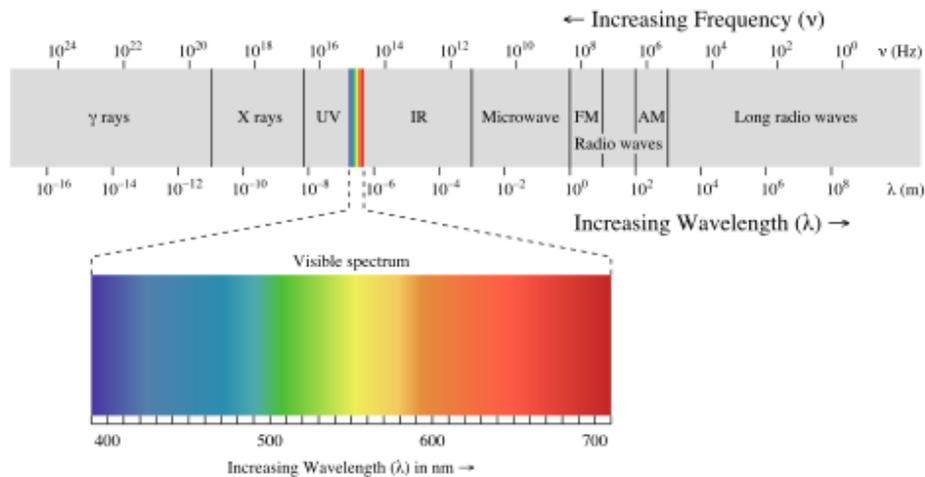


Figura 1: Espectro eletromagnético com o espectro de luz visível indicado.

campo magnético cujas propriedades estão intimamente relacionadas com as da corrente elétrica.

Num aparelho de transmissão de ondas eletromagnéticas, estas ondas são geradas por meio de variações de corrente elétrica aplicadas numa antena. Num aparelho receptor, sua antena capta essas ondas por meio de outra antena, transformando-as novamente em impulsos elétricos, e então filtra-se a frequência desejada (uma vez que podem existir diversas transmissões em diferentes frequências ocorrendo ao mesmo tempo no mesmo meio).

Para comunicação, são utilizadas ondas nas frequências não-ionizantes, principalmente na faixa 0-300 GHz. Quanto maior a frequência, maior a largura da banda, ou seja, mais dados podem ser transmitidos por intervalo de tempo. Cada frequência também tem alcance e permeabilidade diferente. Essas características tornam faixas de frequência mais adequadas a diferentes tipos de transmissão. A Tabela 1 [4] mostra as principais aplicações das diversas faixas de frequência.

Os dados da comunicação podem ser transmitidos de diversas formas numa onda, basicamente aproveitando-se das características de uma onda: amplitude, frequência e fase. Ou então, por pulsos de ondas eletromagnéticas, digitalmente.

3 Efeitos

A radiação eletromagnética não-ionizante, utilizada para comunicação, pode ter efeitos perigosos dependendo de sua intensidade. Ondas eletromagnéticas induzem corrente elétrica por qualquer condutor pelo qual passem. Isso significa que uma onda de intensidade suficientemente grande pode dar choques

Frequência	Comprimento de Onda	Aplicações
3 a 30 Hz	$10^7 - 10^8$ m	Comunicação com submarinos
300 Hz a 3 kHz	$10^5 - 10^6$ m	Comunicação em minas
30 a 300 kHz	$10^3 - 10^4$ m	Comunicação internacional, navegação, rádio em alguns países
300 kHz a 3 MHz	$10^2 - 10^3$ m	Navegação, rádios AM
3 a 30 MHz	10 – 100 m	Rádios HM
30 a 300 MHz	1 – 10 m	Rádios FM, televisão, aviação
300 MHz a 3 GHz	0,1 – 1 m	Televisão aberta, celulares, redes sem fio
3 a 30 GHz	$10^{-2} - 10^{-1}$ m	Redes sem fio, satélites
30 a 300 GHz	$10^{-3} - 10^{-2}$ m	Radares, rádio-astronomia, armas avançadas

Tabela 1: Faixas de frequência e suas principais aplicações.

elétricos em seres humanos e animais.

Além do efeito indutor, outro efeito bem conhecido dos campos eletromagnéticos em seres vivos é a diatermia, um aquecimento dos tecidos biológicos. Esse aquecimento é causado pela rotação de moléculas polares, como a da água. Essa rotação ocorre porque a tendência dessas moléculas é alinharem-se com um campo. Como o campo oscila (por causa da propagação de ondas), as moléculas permanecem em constante rotação, causando um aumento da energia cinética das moléculas e, portanto, da temperatura da substância. Esse efeito é o que possibilita o uso de microondas para a preparação de comida [5]. O aquecimento causado pela energia eletromagnética varia com a frequência da onda.

A frequência de uma onda eletromagnética influencia na sua absorção por tecidos vivos. Essa taxa de absorção é conhecida internacionalmente como SAR (*Specific Absorption Rate*) e varia de acordo com o tecido e a amostragem, pois a taxa é calculada pela média para uma certa região. Com essa medida, a frequência e a potência de emissão de um transmissor, é possível determinar uma distância mínima de segurança deste a uma pessoa, por exemplo. Diversos institutos utilizam-na para definir limites seguros de exposição à radiação eletromagnética. Por exemplo, nos EUA, o FCC (*Federal Communications Commission*) definiu que o índice seguro de exposição é de 1,6 W/kg medido para um volume com um grama de tecido. Já na Europa, o índice é de 2 W/kg medido para um volume com dez gramas de tecido [6].

Atualmente, a diatermia é o único efeito considerado no cálculo do nível

seguro de exposição à radiação eletromagnética, uma vez que o outro efeito bem conhecido – a indução de corrente – necessita de um campo muito mais forte para incomodar do que a diatermia. Entretanto, há evidências de que esses não são os únicos efeitos da radiação nos seres vivos. Por exemplo, um estudo com pacientes bipolares mostrou que a exposição a um certo padrão de ondas eletromagnéticas aliviou os sintomas da doença. Sabe-se, também, que ondas eletromagnéticas podem afetar o equilíbrio, a sensação de dor e o funcionamento do cérebro em geral [7].

Há cientistas que argumentam que os efeitos não-térmicos – como são chamados os efeitos diferentes da diatermia – são disparados pelo nosso próprio organismo, em defesa aos efeitos térmicos da radiação. Esse tipo de reação explicaria efeitos como alterações na estrutura do DNA (que seria temporariamente modificado para produzir proteínas de defesa contra o aquecimento por radiação) [6].

A preocupação com o efeito da radiação em crianças e jovens é maior ainda, dado que são seres humanos em formação e, por isso, são mais vulneráveis. Um estudo feito na Letônia com crianças mostrou que as funções motoras, a memória e a atenção de crianças expostas a sinais de rádio como os de redes de computadores *wireless* são bastante prejudicadas [8].

3.1 Telefonia Celular

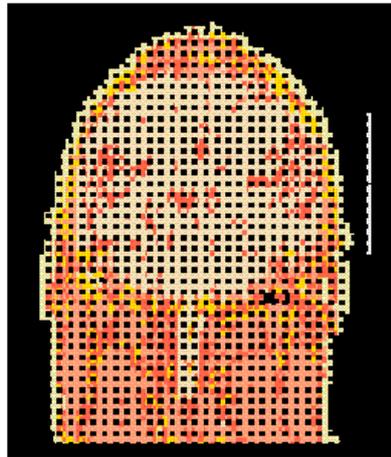
Muitos estudos sobre o efeito da radiação dos telefones celulares foram feitos recentemente devido a relatos de problemas de saúde por pessoas residentes próximas às antenas de transmissão e à crescente utilização desta tecnologia.

A potência emitida por um aparelho celular varia de acordo com a tecnologia utilizada na rede celular e com a utilização que se lhe dá. Por exemplo, o sinal emitido por um celular GSM pode ter a potência de até 2 W. Já o sinal de um aparelho CDMA pode atingir até 3,6 W. Para evitar possíveis problemas por exposição excessiva à radiação, a maioria das tecnologias atuais adapta a potência do sinal emitido de acordo com a necessidade, mantendo o nível o mais baixo possível sem prejudicar a utilização.

Mesmo com a regulamentação da potência máxima de emissão, o índice SAR ultrapassa facilmente o máximo recomendado em algumas regiões da cabeça quando uma pessoa está telefonando por um celular. A Figura 2 [6] mostra a distribuição calculada do índice SAR para um modelo de cabeça humana recebendo um sinal de 125 mW com frequência de 1900 MHz de uma antena de celular próxima a ela. O índice chega a 9,5 W/kg para 1 mg de tecido.

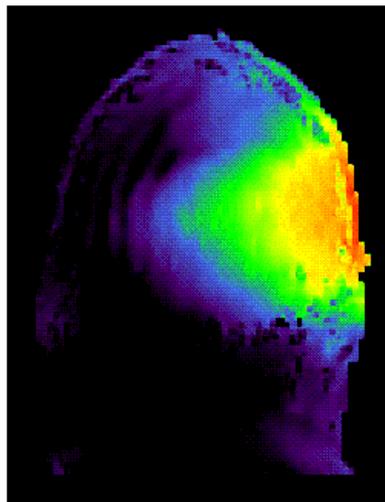
Parte da radiação emitida por um telefone celular (mesmo com fone de ouvido) é absorvida pela cabeça do usuário. Por isso, a maioria dos estudos considera como possíveis efeitos diferentes tipos de tumores e cancer cerebrais como evidências de malefícios da radiação emitida pelo aparelho.

Um grande estudo feito por um órgão da OMS mostrou, recentemente,



Voxel size =
1.0x1.0x1.0 mm

Tissues: muscle &
high water content
tissue-light red, fat
and bone-dark yellow,
blood-dark red, brain
-light yellow, skin-ligh
yellow



Radiated power
from antenna =
125 mW

0 db = 9.50 W/kg



Figura 2: Distribuição do SAR calculada num modelo anatômico da cabeça humana para um sinal de 1900 MHz com 125 mW de potência.

Ano	Limite ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
1966	10000
1982	1000
1986	580
1998	450

Tabela 2: Evolução do limite máximo da potência de emissão de uma torre de telefonia celular

que o uso dos aparelhos por mais de dez anos aumenta em até cinco vezes as chances de se desenvolver câncer [9]. Entretanto, esse aumento não pôde ser associado com a radiação do aparelho. Muitos outros estudos apontam não haver riscos na radiação emitida pelas torres e aparelhos de telefonia celular [10]. Mas um estudo bastante recente ataca os resultados dos estudos anteriores e afirma que a radiação da telefonia móvel é mais perigosa do que cigarros [11]. Segundo o autor do estudo, doutor Vini Khurana, os estudos feitos anteriormente não foram longos o suficiente para observar o aparecimento de câncer.

Um estudo publicado pela Universidade de Atenas, em 2004, mostrou uma redução na fertilidade de moscas da espécie *Drosophila* expostas diariamente a cinco minutos de sinal semelhante ao de um aparelho celular. No mesmo ano, um estudo feito conjuntamente por diversos países da Europa, chamado REFLEX, descobriu fortes evidências de alterações no DNA de células expostas a sinais de intensidade considerada segura pelos principais órgãos reguladores, além de indicativos de aberrações cromossômicas e divisão celular acelerada, o que pode representar um início de câncer num ser vivo.

Além do telefone celular, há bastante preocupação com a radiação emitida pelas torres de telefonia celular, especialmente porque, ao contrário do telefone, a torre emite sinais constantemente, além de utilizar uma potência maior. Também há limites definidos pela ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) para a potência de emissão máxima para uma torre, que são $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, para frequências na faixa de 900 MHz, e $900 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, para frequências na faixa de 1800 MHz. Esse limite máximo de emissão alterou-se bastante com o tempo, como mostra a Tabela 2, mas ainda há pessoas e organizações que não confiam nos limites estabelecidos atualmente, em parte porque estes também levam em conta somente os efeitos térmicos da radiação. Na Áustria, por exemplo, o limite estabelecido é bem menor: $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Foram feitos diversos levantamentos a respeito dos efeitos da radiação das torres nos moradores próximos a elas, muitos mostrando um aumento no número de problemas de saúde relatados, como dores de cabeça, perda de memória e sono de má qualidade, mas ainda não há consenso sobre o assunto.

Para tentar diminuir o nível de radiação próximo às torres e amenizar seus

efeitos nos moradores, uma medida possível é aumentar o número de torres. Assim, cada torre precisa cobrir uma região menor e, portanto, seu sinal pode ser menos potente para que seja de boa qualidade na região necessária; essa idéia, aparentemente, já é utilizada em alguns lugares. Fora isso, as novas tecnologias de telefonia celular – 3G, por exemplo – utilizam torres com potências de emissão cada vez menores [6].

4 Eletrossensíveis

Pessoas que dizem sofrer os efeitos da radiação são conhecidas como “eletrossensíveis”. A proporção de pessoas na população mundial que sofre desse tipo de problema é estimada em torno de 3% [12]. Nem todas são afetadas pelos mesmos tipos de radiação e cada uma sofre consequências diferentes. Um levantamento feito na Suécia com pessoas que se dizem eletrossensíveis mostra que as principais fontes dessa sensibilidade são computadores e instalações elétricas e os principais efeitos são problemas de pele, sensibilidade à luz e cansaço [13].

4.1 Evidências

Diversos estudos foram feitos a fim de verificar se a origem dos sintomas descritos por eletrossensíveis é mesmo a radiação eletromagnética e se esses sintomas são verdadeiros. Devido à diversidade de origens e sintomas, há muita controvérsia nos resultados obtidos. Alguns sintomas, inclusive, podem ser facilmente confundidos com sintomas de estresse: cansaço, dores de cabeça, visão distorcida e perda de memória.

Um dos principais estudos publicados a esse respeito chegou à conclusão de que as pessoas que se denominavam eletrossensíveis não conseguiam detectar a presença de radiação eletromagnética com uma precisão muito melhor do que as que não alegavam ter essa sensibilidade [14]. Entretanto, o estudo foi realizado utilizando como fonte de radiação bases de telefone sem fio, fonte que, segundo o levantamento feito na Suécia, desperta os sintomas em apenas 3,6% dos eletrossensíveis e um 1/5 dos que se diziam eletrossensíveis foram excluídos do experimento devido a problemas de saúde.

Independente da origem, um estudo realizado por um professor da Universidade de Essex mostrou que realmente existem pessoas que sofrem problemas de saúde quando sabem que estão sob radiação eletromagnética [15]. O estudo mediu diversos sinais vitais e, por meio de questionários, a qualidade de vida dos eletrossensíveis.

4.2 Causas

Atualmente, não se sabe exatamente o mecanismo que dispara a sensibilidade a radiação eletromagnética. De acordo com o levantamento feito na

Suécia [13], o fator que mais desencadeia a eletrossensibilidade é, de longe, o computador, seguido pela presença de amálgama no corpo devido à manipulação incorreta dessa substância em tratamentos dentários. Um estudo, aliás, relaciona essas duas principais causas, afirmando que algumas frequências de energia emitidas por computadores são capazes de liberar amálgama no corpo do usuário [16].

Um levantamento feito por um hospital britânico mostra uma forte conexão entre toxicidade química e eletrossensibilidade, o que é confirmado por vários outros estudos [16] [17]. Segundo esse levantamento, quando um paciente eletrossensível remove de seu organismo substâncias tóxicas, a eletrossensibilidade também desaparece.

4.3 Repercussão

Apesar de não haverem resultados conclusivos a respeito dos efeitos da radiação não-ionizante, utilizada para a comunicação sem fio, no corpo humano, alguns órgãos públicos tomaram medidas preventivas, como desligar redes sem fio e recomendar à população a diminuição da exposição à radiação.

Alguns eletrossensíveis dizem-se discriminados pela presença de redes sem fio em construções públicas e querem que essas redes sejam desligadas [18]. Outros simplesmente se isolam em suas casas, as quais são devidamente isoladas, e passam a viver com o mínimo de equipamentos elétricos possível.

4.4 Tratamento

Como não se sabe a causa exata da eletrossensibilidade, não há tratamentos com certeza de cura. Devido à forte relação da sensibilidade com substâncias tóxicas, um dos tratamentos possíveis é a desintoxicação química.

A maior parte do tratamento existente é sintomático, e inclui desligar aparelhos eletrônicos no interior das casas, remédios e tratamentos alternativos (acupuntura, *shiatsu*). Existem, também, empresas que oferecem proteção contra radiação eletromagnética para quem quiser isolar sua casa.

Um estudo feito em nove clínicas diferentes testou alguns tratamentos e medidas de precaução para a eletrossensibilidade: telas de proteção para monitores de computador, acupuntura, vitaminas e terapias cognitivo-comportamentais (CBT), dentre outros. Dentre os tratamentos utilizados, o que obteve melhores resultados, aparentemente, foi o CBT [17].

5 Conclusão

Há diversos estudos que apontam para uma ligação entre problemas de saúde e a radiação eletromagnética. Há, também, diversos estudos que negam essa relação. Visto que há um grau de incerteza muito grande associado a esse tópico, é interessante adotar o “princípio da precaução”, também recomendado

pela OMS (Organização Mundial de Saúde), e reduzir ao máximo a radiação recebida no dia-a-dia. Isso inclui não só diminuir o uso de aparelhos celulares, mas de todo tipo de tecnologia que emita radiações eletromagnéticas no seu funcionamento, o que inclui redes sem fio de computadores, telefones sem fio, televisores (principalmente os de tubo de raios catódicos) e até mesmo computadores.

É possível que, por trás dos estudos que negam os efeitos negativos da radiação nos seres vivos, haja o interesse das empresas de tecnologia, assim como houve, no passado, diversos estudos que buscavam negar os efeitos tóxicos do cigarro, com o apoio das indústrias tabagistas.

A telefonia celular, aparentemente, apresenta ainda mais riscos do que as outras tecnologias de comunicação sem fio. É necessário observar que a telefonia celular emite sinais com as potências mais elevadas dentre as tecnologias sem fio atuais. Apesar de não se poder estender os resultados obtidos sobre celulares para outras tecnologias sem fio, esses resultados podem ser um indicativo de que realmente há mais efeitos do que apenas os térmicos.

Como há tecnologias baseadas em radiação eletromagnética há muito tempo e somente recentemente a preocupação aumentou significativamente, talvez apenas a diminuição da exposição à radiação seja suficiente para garantir a saúde do seres vivos, não sendo necessário extinguir toda e qualquer emissão. Um indicativo de que esse pode ser o caminho é o fato de, independente de haver transmissão de ondas eletromagnéticas geradas por equipamentos eletrônicos, sempre houve e vai haver exposição à radiação eletromagnética pois o planeta recebe, também, muita radiação cósmica que, embora seja parcialmente filtrada pela atmosfera terrestre, atinge os seres vivos.

Com o que se sabe atualmente sobre os efeitos da radiação eletromagnética não-ionizante, não é possível chegar a uma conclusão definitiva sobre a sua relação com a eletrossensibilidade. Os resultados dos estudos e tratamentos aplicados em pessoas eletrossensíveis mostram evidências de que a origem desta sensibilidade pode ser psicológica. Por um lado, esta sensibilidade psicológica pode ser originada pela presença de substâncias químicas tóxicas no organismo. Mas, por outro lado, pode ser que, de fato, a radiação eletromagnética afete o funcionamento do cérebro de modo a causar esses sintomas.

Referências

- [1] WIKIPÉDIA. *Radiação electromagnética*. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Radiação_electromagnética>. Acesso em: 04 dezembro 2008.

- [2] WIKIPÉDIA. *Radiação não ionizante*. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Radiação_não_ionizante>. Acesso em: 04 dezembro 2008.
- [3] WIKIPEDIA. *Electromagnetic radiation and health*. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation_and_health>. Acesso em: 05 dezembro 2008.
- [4] ASTRIZI, T. *Introdução à Comunicação entre Computadores e Tecnologias de Rede: A Comunicação sem Fio*. 2008. Disponível em: <http://pt.wikibooks.org/wiki/Introdução_à_Comunicação_entre_Computadores_e_Tecnologias_de_Rede/Índice/A_Comunicação_sem_Fio>. Acesso em: 05 dezembro 2008.
- [5] WIKIPEDIA. *Dielectric heating*. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Diathermy>>. Acesso em: 05 dezembro 2008.
- [6] WIKIPEDIA. *Mobile phone radiation and health*. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_phone_radiation_and_health>. Acesso em: 05 dezembro 2008.
- [7] WIKIPEDIA. *Bioelectromagnetics*. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Bioelectromagnetics>>. Acesso em: 05 dezembro 2008.
- [8] DANIELS, N. Wi-fi: should we be worried? *The Times*. 2006. Disponível em: <http://www.timesonline.co.uk/tol/life_and_style/health/features/article665419.ece>. Acesso em: 01 dezembro 2008.
- [9] LEACH, B. Mobile phones increase risk of cancer, study says. *Telegraph*. 2008. Disponível em: <<http://www.telegraph.co.uk/health/3208416/Mobile-phones-increase-risk-of-cancer-study-says.html>>. Acesso em: 01 dezembro 2008.
- [10] World Health Organization. *Electromagnetic fields and public health: mobile telephones and their base stations*. 2000. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/>>. Acesso em: 01 dezembro 2008.
- [11] LEAN, G. Mobile phones 'more dangerous than smoking'. *The Independent*. 30 março 2008. Disponível em: <<http://www.independent.co.uk/life-style/health-and-wellbeing/health-news/mobile-phones-more-dangerous-than-smoking-or-asbestos-802602.html?r=RSS>>. Acesso em: 02 dezembro 2008.

- [12] LEVALLOIS, P., NEUTRA, R., LEE, G. e HRISTOVA, L. Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. *Environmental Health Perspectives*. p. 619-623. 110 ed. Agosto 2002.
- [13] GRANLUND-LIND, R. e LIND, J. *Black on White*. 2. ed. 2004. Disponível em: <<http://www.feb.se/feb/blackonwhite-complete-book.pdf>>. Acesso em: 01 dezembro 2008.
- [14] KNIGHT, T. *The Essex Study*. 2008. Disponível em: <http://www.electrosensitivity.org/essex_study.htm>. Acesso em: 01 dezembro 2008.
- [15] FLEISHMAN, G. Academic Study Says Cell Tower “Allergy” Has No Cause, But Produces Real Symptoms. *Wi-Fi Networking News*. 2007. Disponível em: <<http://wifinetnews.com/archives/007802.html>>. Acesso em: 01 dezembro 2008.
- [16] KNIGHT, T. *What Causes It?*. 2008. Disponível em: <<http://www.electrosensitivity.org/cause.htm>>. Acesso em: 02 dezembro 2008.
- [17] WIKIPEDIA. *Electromagnetic hypersensitivity*. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_sensitivity>. Acesso em: 02 dezembro 2008.
- [18] SCHWARTZ, G. e PANAS, J. *Group wants Wi-Fi banned from public buildings*. 2008. Disponível em: <<http://kob.com/article/stories/S451152.shtml?cat=517>>. Acesso em: 01 dezembro 2008.