

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS MÉDICAS  
FACULDADE DE MEDICINA**

**MONOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS COMPORTAMENTAIS DA  
RADIÇÃO ELETROMAGNÉTICA: USO DE MODELO ANIMAL  
EXPERIMENTAL**

**Nome dos alunos:**

Gêneton Romualdo de França

Francisco de Assis Pinto Cabral Júnior Rabello

Filipe Henrique Alves da Costa

**Campina Grande, 20 de setembro de 2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS MÉDICAS  
FACULDADE DE MEDICINA**

**MONOGRAFIA**

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS COMPORTAMENTAIS DA  
RADIÇÃO ELETROMAGNÉTICA: USO DE MODELO ANIMAL  
EXPERIMENTAL**

**Nomes dos alunos:**

Gêneton Romualdo de França

Francisco de Assis Pinto Cabral Júnior Rabello

Filipe Henrique Alves da Costa

Monografia à ser apresentada para banca examinadora como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de medicina da Universidade Federal de Campina Grande sob orientação do professor Dr. Alexandre Magno da Nóbrega Marinho

**Campina Grande, 20 de setembro de 2013**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA SETORIAL HUAC

F814a

França, Gêneton Romualdo de

Avaliação dos efeitos comportamentais da radiação eletromagnética: uso do modelo animal experimental / Gêneton Romualdo de França, Francisco de Assis Pinto Cabral Júnior Rabello, Filipe Henrique Alves da Costa. - Campina Grande, 2013.

58f.: il.

Monografia (Graduação em Medicina) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Unidade Acadêmica de Ciências Médicas, Curso de Medicina, Campina Grande, 2013.

Orientação: Prof. Dr. Alexandre Magno da Nóbrega Marinho.  
Contém figuras, gráficos e tabelas.

1. Radiação eletromagnética. 2. Alteração comportamental.  
3. Modelo experimental. I. Rabello, Francisco de Assis Pinto Cabral Júnior. II. Costa, Filipe Henrique Alves da. III. Título.

CDU 615.849.11



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - MEDICINA

## ATA DE DEFESA

Aos vinte e três dias do mês de setembro do ano de dois mil e treze, às dez horas, na sala 06 da UACS do CCBS, realizou-se a apresentação da Defesa de TCC - "Avaliação Dos Efeitos Comportamentais Da Radiação Eletromagnética: Uso De Modelo Animal Experimental". Esta monografia foi de autoria dos discentes do Curso de Graduação em Medicina: GÊNÉTON ROMUALDO DE FRANÇA, FRANCISCO DE ASSIS PINTO CABRAL JÚNIOR RABELLO E FILIPE HENRIQUE ALVES DA COSTA. A Comissão Examinadora esteve constituída pelos professores: ALEXANDRE MAGNO DA NÓBREGA MARINHO (orientador e presidente de Banca), MABEL CALINA DA FRANÇA PAZ e SILVIA TAVARES DONATO. Foi realizada apresentação oral do trabalho, após sorteio, pelo primeiro aluno. Concluídos os trabalhos de apresentação e arguição, os discentes foram APROVADOS pela Comissão Examinadora. Foi concedido um prazo de 30 dias, para os mesmos efetuarem as correções sugeridas pela Comissão Examinadora e apresentar o trabalho em sua redação definitiva. E, para constar, foi lavrada a presente ata, que vai assinada pelos membros da Comissão.

ALEXANDRE MAGNO DA NÓBREGA MARINHO  
Orientador-Presidente

MABEL CALINA DA FRANÇA PAZ  
1º Examinador

SILVIA TAVARES DONATO  
2º Examinador

**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS MÉDICAS  
FACULDADE DE MEDICINA**

**ORIENTADOR:  
DR. ALEXANDRE MAGNO DA NOBREGA MARINHO  
DOUTORADO**

Monografia à ser apresentada para banca examinadora como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de medicina da Universidade Federal de Campina Grande sob orientação do professor Dr. Alexandre Magno da Nóbrega Marinho

**Campina Grande, 20 de setembro 2013**

## DEDICATÓRIA

Esta obra representa a coroação pelas vitórias sobre inúmeras lutas travadas no decorrer deste curso de Medicina. Foram momentos difíceis, é verdade, mas completamente engrandecedores. Dedico ao meu bom Deus esta coroa, como forma de reconhecimento da sua onipotência e do seu grande amor por mim. Amor este, que me aqueceu e embalou em todos os momentos tristes e felizes de minha trajetória. A Ele toda honra e toda glória.

De forma alguma poderia deixar de dedicar esta obra a todos aqueles anjos que encontrei em meu caminho e que me ajudaram a prosseguir, tornando meus dias mais felizes: aos meus amados pais, Gil e Vilma, e irmãs, Givani e Aninha; às minhas queridas avós, D. Nenza e D. Céu (*in memoriam*); ao meu vô Ivo; aos meus tios avós – Noura, Helena, Chico, França e José-; a todos os outros tios – Ramo, Rosilda, Rosa, Daguia, Tutu, Valda, Valéria-; e a minha florzinha, Ismênia.

Gêneton Romualdo de França

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta conquista a todos aqueles que - cada um à sua maneira - semearam o caminho com amor, estímulo e bons exemplos. Não posso deixar de citar meu companheiro de travessia, Edilho; meus pais, Marlucia e Assis, e meus irmãos, Daiane e Neto, Ana Zulema e Família, Tia Socorro e o Trio Parada Dura: Tia Marleide, Tia Pequena e Vovó Severina.

Francisco de Assis Pinto Cabral Júnior Rabello

## DEDICATÓRIA

Dedico esta obra primeiramente a Javé por ter me concedido o dom da vida e o *vocativo* para medicina permitindo que toda minha intelectualidade fosse utilizada para trazer saúde ou mitigar sofrimento do próximo. Dedico esta obra também aos professores Dr. Saulo Rios Mariz o qual me proporcionou o primeiro contato com a pesquisa, Dr. Alexandre Magno da Nóbrega Marinho sem o qual esta obra não seria possível, Dr<sup>a</sup> Maria das Graças Loureiro Chagas Campelo que me proporcionou o contato e aprimoramento da neurologia e neurociências e a Dr. Douglas Dogol Sucar o meu Mestre pelo exemplo de médico, sabedoria e pesquisador cujo amor ao conhecimento não tem limites.

Filipe Henrique Alves da Costa



## **AGRADECIMENTOS**

Aqui deixo meus agradecimentos a todas as pessoas que tiveram papel essencial no desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço:

- A Deus, por me guiar, dar forças e nunca me abandonar;
- Aos meus pais e familiares, por me incentivarem e apoiarem dia após dia;
- A Ismênia, por sua paciência e solicitude;
- Ao professor Alexandre, por sua amizade e pela oportunidade, a mim concedida, do desenvolvimento de minhas habilidades acadêmicas;
- Aos meus colegas que também tiveram participação essencial neste trabalho, em especial, Francisco e Filipe;
- Aos funcionários do biotério do CCBS/UFCG, pelo apoio e treinamento na lida com os animais, em especial, Paulino;
- Aos meus outros mestres, que, em seus ensinamentos, me forneceram meios para desenvolver um senso crítico necessário ao pesquisador;
- E a todos os outros que de forma direta e indireta contribuíram para este trabalho.

Gêneton Romualdo de França

## AGRADECIMENTOS

À Javé ser único onisciente, onipresente e onipotente por ter me concedido a dádiva de tornar-me médico. Agradeço aos meus pais Maria Janile Alves da Costa e Ewerton Florêncio da Costa pelo exemplo de vida, dedicação e amor ao saber em especial a minha mãe pelo exemplo de médica, fé, honra, justiça, caráter e amor ao próximo. Agradeço também aos meus padrinhos Dr. João Campos Filho e Dr<sup>a</sup>. Maria Fragoso Campos pelo exemplo de fé e apoio incondicional que dedicaram a mim quando aceitaram o convite de serem meus “anjos da guarda”. Não posso deixar de agradecer *in memoriam* a minha avó Luiza Alves Secundo que sempre desejou que me tornasse médico me ensinando que o conhecimento nunca é demais e o mesmo deve servir para trazer *lux* aos nossos semelhantes a esta também devo o exemplo de amor incondicional a mim dedicado, por fim agradeço aos meus familiares, amigos e professores que estiveram presentes ao longo da minha vida trazendo ensinamentos, lições de vida, compaixão, educação e sabedoria.

Felipe Henrique Alves da Costa

# ÍNDICE

<b>Introdução</b> .....	<b>pág. 01</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>pág. 02</b>
<b>Fundamentação teórica</b> .....	<b>págs. 03 - 12</b>
-Radiação Eletromagnética (REM): Definições .....	pág. 03
-Magnitude da exposição populacional à REM: Existe risco efetivo à saúde? ...	pág. 05
-Possíveis efeitos da REM sobre sistemas biológicos .....	pág. 07
-Possíveis efeitos comportamentais e neurobiológicos da REM: utilização de modelos experimentais .....	pág. 09
<b>Materiais e métodos</b> .....	<b>págs. 13 - 22</b>
-Materiais .....	pág. 13
-Métodos .....	pág. 16
-Análises estatísticas .....	pág. 22
<b>Resultados</b> .....	<b>págs. 23 - 31</b>
- Teste do Campo Aberto .....	pág. 23
-Teste do Labirinto em Cruz Elevado .....	pág. 25
-Teste do Nado Forçado .....	pág. 28
-Teste do Labirinto de Morris .....	pág. 30
<b>Discussão</b> .....	<b>págs. 32 - 37</b>
<b>Conclusões</b> .....	<b>pág. 38</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>págs. 39 - 43</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**BA** - Braços abertos

**BF** - Braços fechados

**CCBS** - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

**CCT** - Centro de Ciência e Tecnologia

**CEM** - Campos eletromagnéticos

**EEM** - Espectro eletromagnético

**EIMF** - Espectroscopia de infravermelho modificada por Fourier

**ERB** - Estações rádio base

**GE** - Grupo Experimental

**HEM** - Hipersensibilidade eletromagnética

**ICNIRP** - Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes

**IRPA** - Associação Internacional de Proteção às Radiações

**LABCOM** - Laboratório de Comunicações

**LCE** - Labirinto em Cruz Elevado

**LM** - Labirinto de Morris

**MT** - Membrana timpânica

**nBF** - Número de bolos fecais

**OMS** - Organização Mundial de Saúde

**REM** - Radiação eletromagnética

**RF** - Radiofrequência

**RNI** - Radiação não ionizante

**SAR** - Taxa de absorção específica

**SNC** - Sistema nervoso central

**tB** - Tempo gasto boiando

**TCA** - Teste do Campo Aberto

**tD** - tempo gasto se debatendo

**tN** - Tempo gasto nadando

**TNF** - Teste do Nado Forçado

**UFMG** - Universidade Federal de Campina Grande

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Flutuações dos campos elétrico e magnético de uma onda.....	pág. 03
Figura 02 - Espectro de frequências da radiação eletromagnética.....	pág. 04
Figura 03 - Curvas comparativas de SAR em função da frequência (MHz) para um rato de tamanho médio e para um homem de estatura mediana.....	pág. 05
Figura 04 - Exemplo do teste do campo aberto.....	pág.19
Figura 05 - Exemplo do teste do labirinto em cruz elevado.....	pág. 20
Figura 06 - Exemplo de aparelho ilustrativo do experimento do nado forçado.....	pág. 21
Figura 07 - Exemplo esquemático e ilustrativo do experimento labirinto de Morris.....	pág. 22

## LISTA DE GRÁFICOS

- Gráfico 01 - Médias da variável Número de Quadrantes Percorridos.....pág. 23
- Gráfico 02 - Médias da variável Tempo no Quadrante Central, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 24
- Gráfico 03 - Médias da variável Número de *Rearings*, antes e após a exposição dos rato à radiação.....;.....pág. 24
- Gráfico 04 - Médias da variável Número de Bolos Fecais, antes e após a exposição dos rato à radiação.....;.....pág. 25
- Gráfico 05 - Médias da variável Tempo nos Braços Abertos, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 26
- Gráfico 06 - Médias da variável Tempo nos Braços Fechados, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 26
- Gráfico 07 - Médias da variável Número de Entradas nos Braços Abertos, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág.27
- Gráfico 08 - Médias da variável Número de Entradas nos Braços Fechados, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 28
- Gráfico 09 - Médias da variável Tempo Gasto Debatendo-se, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 29
- Gráfico 10 - Médias da variável Tempo Gasto Nadando, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 29
- Gráfico 11 - Médias da variável Tempo Gasto Boiando, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 30
- Gráfico 12 - Médias da variável Tempo de Latência de Escape, antes e após a exposição dos rato à radiação.....pág. 31

## RESUMO

Diariamente somos submetidos a uma grande quantidade de radiação eletromagnética, em especial, na faixa de radiofrequência. Tal faixa é emitida por aparelhos difundidos em nossa sociedade, a exemplo de celulares, televisores, rádios, radares, tecnologias de uso de internet sem fio e as estações de radiobase (responsáveis pelo funcionamento dos celulares). Diversos estudos sobre o assunto apontaram a possibilidade de efeitos deletérios, sobre a saúde humana e animal, advindos desta exposição, incluindo desde lesões físicas a prováveis alterações cognitivas e comportamentais. Devido à escassez de dados na literatura sobre os efeitos comportamentais, buscamos através de modelo experimental, verificar esta possibilidade. O objetivo deste estudo foi investigar os possíveis efeitos comportamentais da radiação eletromagnética (REM), nos níveis de radiofrequência (RF) de 850MHz, em ratos. O estudo incluiu um grupo de 6 ratos Wistar, da espécie *Rattus norvegicus*, machos, albinos, com peso variando entre 250 a 300g, que foram expostos à REM na frequência de 850MHz, 2 horas por dia, durante 10 dias e que foram submetidos a testes comportamentais (teste do campo aberto, labirinto em cruz elevado, teste do nado forçado e labirinto de Morris), antes e depois da irradiação. Os dados produzidos nos testes foram analisados através da análise da variância em medidas repetidas (ANOVA). Os resultados demonstraram aumento no número de bolos fecais durante os testes comportamentais, após a radiação, e maior quantidade de entradas nos braços fechados do teste do labirinto em cruz elevado. Estas alterações podem estar ligadas a uma maior ativação do sistema nervoso autônomo e a ansiogênese, gerando um comportamento defensivo. Não foram observados déficits de aprendizado e de memória nos ratos após exposição à REM.

**Palavras-chaves:** radiação eletromagnética; alteração comportamental; modelo experimental.

## **ABSTRACT**

Every day we are subjected to a large amount of electromagnetic radiation, in particular in the waveband. This track is emitted by devices disseminated in our society, like cell phones, televisions, radios, radars, use of wireless internet and the presence of base stations (responsible for the operation of the cell). Several studies pointed to the possibility of deleterious effects resulting from this exposure on human and animal health, including the likely injury from cognitive and behavioral changes. Due to the limited data in the literature of behavioral effects, seek through experimental model to verify this possibility. The aim of this study was to investigate the possible behavioral effects of electromagnetic radiation (EMR), at the levels of radio frequency (RF) of 850MHz in rats. The study included a group of six rats, *Rattus norvegicus*, male, albino, with weighing between 250 and 300g, were exposed to REM frequency of 850MHz, 2 hours per day for 10 days and were subjected to behavioral tests (open field test, elevated plus maze, forced swim test and Morris's maze) before and after irradiation. The data produced in this test were analyzed by analysis of variance (ANOVA). The results showed an increase in the number of pats during the behavioral tests, after the radiation and a larger number of entries into the closed arms of the elevated plus maze test. These changes may be linked to an increased activation of the autonomic nervous system and anxiogenesis, generating a defensive behavior. There were no deficits in learning and memory in mice after exposure to REM.

**Keywords:** electromagnetic radiation; behavioral change; experimental model.



## **INTRODUÇÃO**

A radiação eletromagnética (REM) nos níveis de radiofrequência (RF) está presente, de forma marcante, em nossa sociedade. A maior parte da mesma é produzida a partir de aparelhos de televisão, rádio, radares celulares e de antenas de rádio base, necessárias ao funcionamento das redes de telefone sem fio.

Apesar de sua ubiquidade, sua ação sobre os organismos vivos não é totalmente conhecida. Alguns relatórios confirmam a presença de fenômenos térmicos induzidos durante a exposição à REM. Outros enfocam efeitos biológicos diversos, como crescimentos de tecidos, potencial cancerígeno, fertilidade, entre outros, mas com resultados muitas vezes inconclusivos. Mas, raros, são os estudos que enfocam os possíveis efeitos da REM em nosso comportamento.

O trabalho buscou levantar dados na literatura, sobre os efeitos da REM com estudos experimentais realizados com grupo de ratos expostos à REM na faixa de radiofrequência, para avaliar os potenciais efeitos sobre a atividade comportamental dos ratos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos gerais:**

- Avaliar os efeitos comportamentais da REM.
- Realizar revisão bibliográfica descritiva sobre o tema;

### **Objetivos específicos:**

- Avaliar, através do Labirinto de Morris, os efeitos da REM sobre a memória dos ratos;
- Avaliar, através do Teste do Nado Forçado, os efeitos da REM sobre a ansiogênese dos ratos;
- Avaliar, através do Labirinto em Cruz Elevado, os efeitos da REM sobre a capacidade locomotora e a ansiogênese dos ratos;
- Avaliar, através do Teste de Campo Aberto, os efeitos da REM sobre a capacidade locomotora, atividade exploratória e ansiogênese dos ratos;
- Analisar os dados gerados em nosso estudo, comparando com a literatura disponível sobre o tema.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### Radiação Eletromagnética (REM): Definições

A REM é universal e constitui-se de um espectro de ondas emitidas por todos os corpos que possuem sua temperatura acima do 0 (zero) Kelvin, ou seja, acima do 0 (zero) absoluto. Esta radiação se propaga sob a forma de ondas eletromagnéticas, que são compostas de um campo magnético e um elétrico oscilando, perpendicularmente entre si, em direção à propagação da energia (figura 1). Estas ondas possuem uma velocidade de propagação aproximada de 300.000 km/seg (no vácuo) e não necessitam de qualquer meio material para se propagar. Esta velocidade é diretamente proporcional à frequência de oscilação e ao comprimento da onda. (NOVO, 1989).

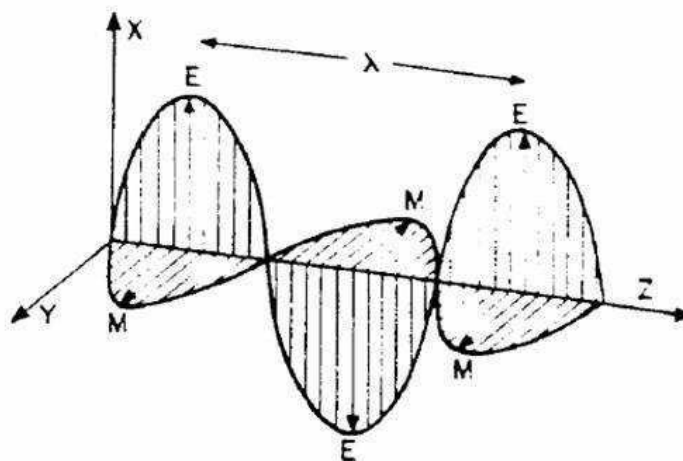


Figura 1: Flutuações dos campos elétrico e magnético de uma onda. Fonte: NOVO, 1989.

Os comprimentos ou as frequências das ondas eletromagnéticas podem ser ordenados em razão de seus níveis de intensidade, compondo, assim, o espectro desta radiação. Tal espectro eletromagnético (EEM) é subdividido em função do tipo de processo físico que originou a energia eletromagnética, do tipo de interação desta energia com o ambiente e da capacidade de atenuação das ondas pela atmosfera (Figura 2) (FIGUEIREDO, 2005).

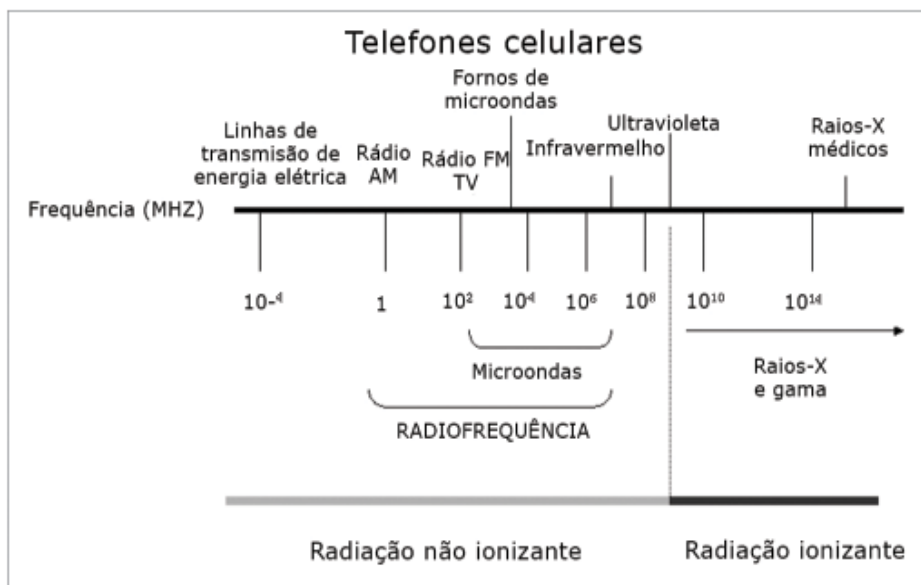


Figura 2: Espectro de frequências da radiação eletromagnética. Fonte: BALBANI, 2008 & MONTOVANI, 2008.

Os níveis permitidos de exposição à radiação de RF podem ser expressos em termos da densidade de potência ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ), associada aos campos elétrico e magnético, e às correntes de contato ou induzida, ou também em termos da Taxa de Absorção Específica (SAR), parâmetro também comumente utilizado.

A SAR representa a taxa no tempo, no qual a energia eletromagnética de RF é fornecida a um elemento de massa de um indivíduo, ou seja, a potência absorvida por unidade de massa (INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS AND ELECTRICIANS, 1992). Simplificando, a SAR é a potência absorvida pelo tecido em  $\text{W}/\text{kg}$  do peso do corpo.

Testes têm mostrado que para uma SAR de  $4\text{W}/\text{kg}$ , a temperatura do tecido aumenta de  $1^\circ\text{C}$  depois de aproximadamente 20 minutos. Esse tipo de efeito térmico é compensado pelo processo de regulação térmica do próprio corpo, sem nenhum prejuízo à saúde.

Este aumento da temperatura é relacionado de forma direta ao efeito Joule. O efeito Joule – aumento da temperatura de objetos expostos à REM – ocorre devido ao choque dos elétrons em movimento, provenientes da corrente elétrica induzida pela REM, com os átomos constituintes do corpo. Este choque

aleatório transmite energia cinética dos elétrons para os átomos, aumentando, assim, sua vibração e temperatura (TRAJANO, 2013).

Na pesquisa, a fim de verificar possíveis danos à saúde, animais foram irradiados e os efeitos observados foram inferidos, por meio de cálculos dosimétricos, para os previstos em seres humanos. Curvas da SAR em função da frequência para um rato de tamanho médio 0,2m e um homem de estatura mediana 1,75m são mostradas na figura a seguir:

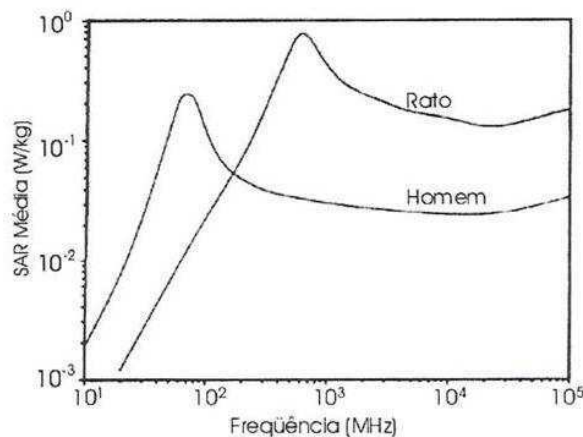


Figura 3. Curvas comparativas de SAR em função da frequência (MHz) para um rato de tamanho médio e para um homem de estatura mediana.

Observando as curvas nota-se que, devido à SAR para seres humanos estar em uma ordem de grandeza abaixo da SAR para ratos, os efeitos obtidos nos animais em uma determinada densidade de potência só poderão ser verificados no homem para valores de densidade de potência superiores (LOPES, 2003).

### **Magnitude da exposição populacional a REM: Existe risco efetivo à saúde?**

O ser humano contribui de forma decisiva para geração de REM. Além de emití-la através de seu corpo, nas faixas de comprimento de ondas infravermelhas, também é responsável pela produção de aparelhos que operam em determinadas faixas de oscilação e comprimentos de onda. O nosso sistema de telecomunicação, através de aparelhos como rádios, televisores, celulares, antenas de rádio base, radares e satélites, produz um

espectro de REM definido como radiofrequência (RF), que abrange desde as micro-ondas até o limiar do infravermelho (frequência de 9KHz a 300GHz), e que não contempla o espectro de radiação ionizante. (ANATEL, 1999; MOULDER et al, 2005)

Com o uso rotineiro da telefonia móvel, que depende de uma rede extensa de antenas e de estações rádio base (ERB) para retransmitir os dados necessários às ligações, tínhamos, em 2006, mais de 1,4 milhões de ERB. Devido à introdução da tecnologia de terceira geração (3G) e o aumento de aparelhos celulares entre todas as classes econômicas, inclusive as de menor poder aquisitivo, tivemos um crescimento contínuo e significativo deste número. Além deste incremento, temos as redes de transmissão de internet sem fio, que também se encontram em expansão e que estão presentes em diversas áreas públicas e privadas de nossa sociedade. Há, desta maneira, um aumento contínuo da exposição populacional a REM nos níveis de RF (OMS, 2006).

Desde o início, o aparecimento de uma importante quantidade de aparelhos emissores de radiação, em níveis de RF, levou os governos e a população a se preocuparem com os possíveis efeitos da REM sobre nosso organismo. E desde 1974, com a criação do grupo de estudo sobre a radiação não ionizante (RNI), a Associação Internacional de Proteção às Radiações (IRPA) deu início aos estudos sobre este assunto. Chegando a criar, em 1977, a Comissão Internacional de Proteção contra Radiações Não-Ionizantes (ICNIRP). Este órgão, junto à Organização Mundial de Saúde (OMS), foi responsável por vários estudos sobre a REM na faixa de RF e pela elaboração de protocolos de segurança para proteção da população contra este tipo de exposição. (ANATEL, 1999)

Nos estudos citados e em estudos posteriores, fomentados por esta linha de pesquisa da OMS e do ICNIRP, encontramos resultados apontando diversas associações entre algumas doenças e a radiação de RF. Os prováveis efeitos foram divididos em razão de seu período de aparecimento, com relação à exposição à REM, sendo caracterizados em efeitos de surgimento agudo e de surgimento subagudo a crônico (OMS, 2011).

## **Possíveis efeitos da REM sobre sistemas biológicos**

A fisiopatologia envolvida nos efeitos advindos da REM se relaciona com as correntes elétricas induzidas no corpo por este tipo de radiação. Ao que parece, estas correntes competem com as já existentes em nosso corpo, desequilibrando a homeostase interna. Além disto, mesmo que a REM nos níveis de RF não tenha a capacidade de ionizar átomos, portanto, não sendo capaz de quebrar diretamente a estrutura molecular de nosso material genético, alguns estudos demonstraram que o efeito Joule, produzido por estas correntes, pode ter esta mesma ação (ANSELMO et al, 2005).

Quanto aos efeitos de surgimento precoce provavelmente associados à REM, que ocorrem durante e logo após a exposição aos campos eletromagnéticos (CEM), temos: a elevação da temperatura local, as alterações de constituintes das membranas celulares e os quadros de hipersensibilidade eletromagnética (HEM).

Estas variações de temperatura, no corpo humano, são contrabalanceadas por mecanismos contrarregulatórios fisiológicos, como a vasodilatação local, a produção de suor e a distribuição pelos tecidos superficiais. Devido a estes mecanismos, os níveis de aumento na temperatura são insignificantes para quaisquer órgãos do corpo (OMS, 2011).

Em um estudo duplo cego realizado sobre condições controladas, foi comparada a temperatura da membrana timpânica (MT) contralateral ao da exposição a um aparelho celular, emissor de REM na faixa de 900MHz, com a temperatura da MT exposta a um placebo. Os resultados demonstraram um aumento médio de 0,03°C na temperatura, com significância estatística ( $p=0,0001$ ), quando o aparelho era usado de forma contínua por 60 minutos, em relação ao placebo. Já quando o uso era intermitente, distribuído em quatro períodos de 15 minutos, encontrou-se uma redução média de 0,11°C, em relação ao grupo controle, com a mesma significância estatística. Concluindo-se que a resposta fisiológica e o aumento da temperatura, induzidos pelos CEM's de celulares em humanos, estão mais relacionados ao tipo de exposição, se contínua ou intermitente. (BORTKIEWICZ, 2012).

As correntes elétricas induzidas pela REM podem alterar constituintes lipídicos e proteicos das membranas celulares e, conseqüentemente, os potenciais transmembranas e a viabilidade celular. Foi o que apontou um estudo experimental realizado com células de neuroblastoma após exposição a um CEM de 50Hz no intervalo de 50  $\mu$  T a 1,4 mT, analisadas com espectroscopia de infravermelho modificada por Fourier (EIMF) (CALABRÓ et al, 2013).

A HEM consiste num conjunto de sintomas inespecíficos, associados à exposição eletromagnética, relatados por alguns indivíduos. Os sintomas variam entre afecções dermatológicas – como hiperemia e parestesias – e sintomas neurovegetativos – como astenia, incapacidade de se concentrar, vertigens, náuseas, palpitações e distúrbios digestivos – e surgem quando os indivíduos acreditam que estão expostos a CEM. Alguns estudos experimentais duplo-cegos, controlados e bem conduzidos demonstraram que os sintomas não eram correlacionados com a exposição a CEM e que estes indivíduos não eram capazes de identificar a REM. Especialistas acreditam que os sintomas estejam relacionados a outros fatores ambientais e não à REM (OMS, 2005).

Quanto aos efeitos de surgimento mais tardio, geralmente associados a exposição crônica a REM, temos: a genotoxicidade celular, as neoplasias, as alterações na reprodução, as alterações neuronais e as prováveis alterações comportamentais.

Em 2011, a OMS e a Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer (IARC) emitiram parecer classificando a RF como possivelmente cancerígeno para os seres humanos, grupo 2B. Após esta definição algumas metanálises foram elaboradas sobre a real possibilidade de genotoxicidade e o risco do desenvolvimento de neoplasias. Em metanálise conduzida pelo Departamento de Radiologia da Universidade do Texas, EUA, concluiu-se que nos estudos realizados no período 1990-2011, não havia efeito significativo da REM na indução de genotoxicidade. Relatou ainda que os índices médios de alterações genéticas em expostos à radiação de RF, em comparação aos controles, estavam dentro dos limites de mutações espontâneas relatadas em uma grande base de dados (VIJAYALAXMI, 2012).

Avaliando os estudos sobre a associação da RF e o risco de surgimento de neoplasias do Sistema Nervoso Central (SNC), em uma metanálise da



literatura vigente, o grupo sueco de Hardell não encontrou definição sobre a probabilidade ou não de aumento deste risco. Os estudos atuais sobre o assunto possuem resultados divergentes, sugerindo, por isto, maior controle do governo sobre a exposição populacional a REM (HARDELL et al, 2013).

Já em um estudo de Coorte, realizado com todos os cidadãos dinamarqueses acima de 30 anos de idade no ano de 2011, não se notou risco aumentado para tumores de SNC associado a exposição a RF emitida por telefones celulares, oferecendo pouca evidência para uma relação causal (FREI et al, 2011).

Sobre os prováveis efeitos da REM sobre o sistema reprodutivo, Anselmo et al, em um artigo de revisão de literatura, aponta uma taxa aumentada de aborto em gestantes expostas cronicamente à radiação de RF. Relata, ainda, a ocorrência de redução da fertilidade de ratos machos e fêmeas expostos à radiação durante a sua maturação sexual e a presença de alterações celulares prejudiciais em células germinativas de ratos também expostos (ANSELMO, et al, 2005).

### **Possíveis efeitos comportamentais e neurobiológicos da REM: utilização de modelos experimentais.**

Quanto aos possíveis efeitos e alterações induzidas no SNC pela REM, que podem estar diretamente ligados à alterações comportamentais e à memória, temos algumas pesquisas demonstrando indução de morte em alguns grupos neuronais e alterações de neurotransmissores em determinados locais do SNC.

Em um estudo experimental controlado, astrócitos de ratos foram expostos a REM nos níveis de 1950 MHz durante 48 horas e, posteriormente, comparados com um grupo controle. Na avaliação do tecido exposto, observaram-se lesões radio-induzidas, em mitocôndrias e em membranas celulares, e a ativação da via da caspase-3, naturalmente envolvida na apoptose celular, culminando com a morte celular programada destas células (LIU et al, 2012). Esta morte tecidual *in vitro* pode corresponder a uma perda tecidual *in vivo*, podendo afetar, de forma subclínica ou clínica, o funcionamento do SNC.

Em outro estudo, grupos de ratos adultos foram expostos diariamente, durante 1, 2 e 4 meses, a REM nos níveis de frequência de 1800MHz e depois foram sacrificados para avaliar as quantidades de monoaminas em determinadas áreas do cérebro e compará-las com um grupo controle. Os resultados demonstraram haver diferença significativa destes níveis em relação ao grupo controle, revelando aumento das concentrações de serotonina nas regiões hipotalâmica, hipocampal, mesencefálica e bulbar e, de dopamina e norepinefrina na região bulbar, com redução nas concentrações de dopamina e norepinefrina nas regiões hipocampal e mesencefálica (ABOUL EZZ et al, 2013).

Tais regiões afetadas estão ligadas a memória e a afetividade, acreditando-se que estas alterações, induzidas pela REM, estejam ligadas ao prejuízo destas funções. O aumento de serotonina na região límbica é prejudicial ao aprendizado, sendo necessários níveis baixos da mesma para permitir o armazenamento de memória (MCENTEE & CROOK, 1991). Além disso, são necessários níveis adequados de dopamina, na região hipotalâmica, para a geração de potenciais de longa duração, relacionados ao armazenamento de memórias. Uma redução nestes níveis é danosa a este processo (LISMAN & GRACE, 2005).

Quando a questão das possíveis alterações comportamentais induzidas pela radiação de RF é focada, são escassos os dados encontrados na literatura atual. As poucas pesquisas existentes sobre o assunto, em sua maioria, abordam estudos experimentais utilizando animais. Isso reflete a maior facilidade de execução desses estudos e o fato dos modelos animais serem menos sensíveis a outros estímulos externos, quando comparados ao cérebro humano. Dessa forma, ocorrem as diminuições do número de variáveis envolvidas no experimento e dos possíveis vieses decorrentes das mesmas.

Sobre os estudos envolvendo seres humanos, encontram-se pesquisas que buscam esclarecer as possíveis interferências da exposição à REM no ciclo sono-vigília e na capacidade cognitiva dos indivíduos expostos.

Um estudo de coorte, buscando avaliar os efeitos da REM sobre o sono, foi realizado na Suíça e contou com a participação de 955 pessoas com idade entre 30 e 60 anos. Esta pesquisa se utilizou de um questionário padronizado sobre qualidade do sono e sonolência diurna, de dados do uso de celular dos

participantes fornecidos pelas operadoras e da quantificação estimada, da REM advinda de exposição ambiental, por modelo válido. Chegando a conclusão de que não existe efeito estatisticamente significativo da REM sobre o ciclo sono-vigília (MOHLER et al, 2012). Entretanto, esse achado não é consenso, uma vez que estudo realizado por Moulder et al em 2005 detectou alterações leves do sono em voluntários humanos expostos a REM.

Outro estudo randomizado, duplo-cego, cruzado, realizado com 22 adolescentes divididos em três grupos, sendo dois deles submetidos a uma faixa específica de REM e um terceiro, a uma sessão do tipo placebo, enquanto realizavam alguns testes cognitivos. Além destes experimentos, foram realizados eletroencefalogramas pós-irradiação (intervalos de 0, 30 e 60 minutos pós-exposição) em todos os participantes. Os resultados do estudo não apresentaram diferença estatística significativa entre os grupos, afastando a hipótese dos efeitos da REM pesquisados (LOUGHRAN et al, 2013).

Quanto aos modelos animais, temos um estudo experimental que foi realizado com ratos senescentes expostos durante 15 minutos a um CEM de 900MHz e, logo após, submetidos a realização de testes de memória contextual emocional e dosagens de corticosterona plasmática. Os resultados encontrados indicavam uma maior memória contextual emocional e ainda um aumento nos níveis de corticosterona (BOUJI et al, 2012).

Apesar deste estudo apresentar um resultado diferente do esperado pela pesquisa relacionada as alterações de neurotransmissores no SNC, não podemos compará-los devido as divergências na metodologia. O aumento da corticosterona é induzido pelo estresse provocado pela exposição, confirmando esta ação estressora da REM sobre nosso organismo.

Em outro estudo experimental com metodologia similar a anterior, onde ratos eram expostos a REM na frequência de 905 MHz, por duas horas seguidas e depois tinham seu comportamento e memória aferidos por testes comportamentais e o seu nível de glicocorticoides plasmáticos mensurados. Os testes apontaram uma elevação dos níveis de ansiedade e reduções nas atividades locomotora, de orientação e de exploração, nas fêmeas, e redução de atividades de orientação e exploração, nos machos. Os níveis de glicocorticoides também estavam maiores que o normal. Estes resultados demonstram um efeito significativo da radiação emitida por celulares sobre o

comportamento de animais, assim, como, seu papel estressor (KHIRAZOVA et al, 2012).

Um estudo mais recente, utilizando modelo experimental com variáveis controladas, expôs cada um dos três grupos de 12 ratos jovens, a cada uma das três sessões de 28 dias consecutivos: um grupo permaneceu na gaiola não sendo exposto a RF, o outro foi exposto a RF emitida quando o celular se encontra em *stand by*, e o outro foi exposto a RF emitida quando o celular se encontra em chamadas ou com internet 3G ativada. Um dia após o fim da exposição, sua emotividade e capacidade locomotora foram aferidas através do teste do Labirinto em Cruz Elevado (LCE). Os resultados demonstraram que a porcentagem de entradas, o tempo gasto, a distância percorrida nos braços abertos e o comportamento exploratório foram significativamente reduzidos no terceiro grupo. Não havendo diferença estatística significativa das variáveis aferidas nos braços fechados, nem no índice de paralelismo entre os grupos (NARAYANAN et al, 2013).

Os resultados dos testes animais, até agora realizados, indicaram haver uma influência, às vezes, positiva e, outras vezes, negativa da RF sobre o comportamento dos animais. Mas os dados sobre o assunto ainda são muito escassos, não sendo possível discriminar qual estudo está correto ou se ambos encontraram resultados reais, originados de períodos diferentes da exposição à radiação.

Em virtude da universalidade da exposição a RF e das possíveis consequências dos efeitos comportamentais induzidos por ela – como diminuição do rendimento no trabalho, redução da memória e do aprendizado, maiores níveis de ansiedade, alterações do humor e outros prejuízos causados por estas possíveis alterações comportamentais –, há a necessidade de se conhecer melhor estes efeitos. Devemos executar experimentos mais aprofundados, com um maior número de testes comportamentais e seguir uma metodologia semelhante aos trabalhos anteriores, para, possivelmente, confirmar ou afastar o prejuízo da RF, sobre as atividades comportamentais, encontrado em estudos anteriores sobre o assunto.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### MATERIAL

O referido experimento teve por base a revisão da literatura onde foram pesquisados artigos nos bancos de dados da Pubmed, Scielo e Lilacs, até a data de 19 de setembro de 2013, com os seguintes descritores: radiação eletromagnética, efeitos da radiação eletromagnética, efeitos cognitivos da radiação eletromagnética, efeitos comportamentais da radiação eletromagnética; efeitos da radiofrequência e todos os seus correspondentes na língua inglesa. Após a leitura e seleção dos mesmos com base na sua semelhança metodológica e devido aos resultados apresentados nos testes comportamentais adotados pelo experimento em questão, os dados foram analisados e comparados para uma posterior discussão dos resultados, visando a uma concordância, ou não, com o que se tem atualmente descrito na literatura ou na escassez destes, acrescentar achados inéditos.

Para a realização dos experimentos foram utilizados, no total, 6 ratos Wistar (*Rattus norvegicus*), machos, albinos, com idade de 8 a 10 semanas e peso variando de 250-300g, procedentes do biotério do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal de Campina Grande (CCBS/UFCG), selecionados e alojados em gaiolas de polipropileno, contendo 6 animais cada, mantidos sob condições controladas de temperatura de  $25 \pm 2$  °C e ciclo claro/escuro de 12 horas (fase clara: 06:00 – 18:00 horas), tendo, ainda, livre acesso a alimentação (tipo *pellets* de ração da marca comercial Purina®) e água. Também foram utilizados equipamentos disponibilizados pelo Laboratório de Comunicações (LABCOM) do CCBS, como o campo aberto (“open-field”), labirinto em cruz elevado (“elevated plus-maze”), um pequeno compartimento (50 cm de altura X 30 cm de diâmetro) para o teste do nado forçado, o labirinto de Morris, além da fonte geradora de microondas cedidas pelo Centro de Ciência e Tecnologia (CCT) da UFCG.

Para os experimentos na frequência de 850MHz, foi utilizado um conjunto que funciona como fonte geradora da radiação na frequência de microondas, formado por um transmissor analógico e uma antena LPD. O transmissor utilizado durante os experimentos é um transmissor analógico

Rádio Ericsson Telecomunicações modelo BT'E 101101/11 com uma potência de saída limitada em 10 W, operando na faixa de frequência 824-894 MHz e usando padrão AMPS, com modulação em frequência, alimentado por uma fonte DC de 24 V e controlado por *software*. A escolha desta faixa de frequência deve-se ao fato de, no Brasil, os telefones celulares portáteis utilizarem portadoras nessa faixa de radiofrequências, para as bandas "A" e "B". A vantagem deste tipo de transmissor é que, pelo fato de ser controlado por *software* (*Local Control* plataforma Windows), disponibiliza ao operador alguns recursos, como ajuste mais preciso da potência emitida e desligamento automático do equipamento após o período de irradiação dos animais, facilitando a realização do experimento e minimizando a ocorrência de erros. A antena é uma Antena Dipolo Log-Periódica-LPD 7907/2N com impedância de saída de 50  $\Omega$  e opera na faixa de radiação eletromagnética de 790 a 960 MHz.

A escolha de um gerador a ser utilizado em uma determinada aplicação considera, sobretudo, eficiência, estabilidade em frequência e baixo custo. A válvula *magnetron* naturalmente se enquadra dentro dessas características, além da possibilidade de se obter consideráveis potências de saída. Outras válvulas são inerentes ao maior custo e complexidade para usos em alguns processos, embora permitam obter elevadas potências de saída e estabilidade de frequência, tornam-se economicamente inviáveis. O circuito propriamente dito e o comportamento diante da frequência foram medidos no Laboratório de Comunicações (LABCOM) com o analisador de espectro 8594E da HP.

Existem vários tipos de antenas (antenas com abertura circular, por exemplo), mas nesse experimento, foi utilizada uma antena com abertura retangular tipo corneta. As antenas tipo corneta são extremamente populares na região de microondas acima de 1GHz. Esse tipo de antena possui um ganho elevado, uma banda relativamente larga, um baixo peso, além de ser de fácil construção. Como benefício adicional, os cálculos teóricos são bem próximos aos obtidos na prática (GHEYI, 2000).

As medições foram realizadas no Laboratório de Comunicações (LABCOM) da UFCG com um medidor de potência EMR-300 da Wandel & Goltermann, para uma distância de 30cm. As antenas utilizadas possuem as

seguintes especificações para a frequência de 850 MHz: ganho de 7 dB e potência de 200 mW.

A realização do experimento só foi possível após a aprovação do mesmo na submissão ao Conselho de Ética da Universidade Federal de Campina Grande, da cidade de Patos (PB).

## MÉTODOS

### Protocolo experimental

#### *Estudo dos parâmetros comportamentais*

Para avaliar os efeitos causados pelo estresse e pelos tratamentos propostos foram utilizadas as seguintes tarefas comportamentais: tarefa do campo aberto, labirinto em cruz elevado, tarefa do nado forçado e labirinto de Morris. As avaliações foram feitas em três etapas: antes de acontecer a fase de irradiação (fase 0) e três baterias de testes comportamentais feitos após a exposição a radiação (tempos 1, 2 e 3), espaçados de 20 dias cada.

Durante a etapa 2, os animais foram expostos a radiação de 850MHz durante uma hora, duas vezes por dia, com intervalo de 12 horas entre as sessões por 10 dias. Após cada período expositivo, os animais foram então colocados em uma caixa de acrílico, onde passaram a receber auxílio em sua limpeza, na reposição hídrica (através do oferecimento de água via oral), sendo também oferecido calor as gaiolas durante os dois primeiros dias após tal procedimento. Abaixo (tabela 1) observa-se o cronograma dos testes.

Etapa	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3				
	(Pré-radiação)		(Pós-radiação)				
Evento	Tempo 0	(Exposição à radiação)	Tempo 1	FE**	Tempo 2	FE	Tempo 3
	TC*		TC (1ª bateria)		TC (2ª bateria)		TC (3ª bateria)
Duração	4 dias	10 dias	4 dias	20 dias	4 dias	20 dias	4 dias

Tabela 1. Delineamento do Experimento. \*TC- testes comportamentais; \*\*FE- Fase de espera.



Os animais foram submetidos aos testes comportamentais no dia subsequente onde cada subetapa, da etapa 3, constituiu-se de 4 dias de testes comportamentais com um intervalo de vinte dias entre os mesmos. Os experimentos foram filmados por uma câmera posta no teto do laboratório, e as gravações foram armazenadas em um computador através de *software* específico, onde foram analisadas posteriormente, por no mínimo, dois pesquisadores que quantificaram o comportamento de cada rato.

As possíveis alterações comportamentais foram aferidas através de uma bateria de testes, sendo detalhados mais adiante: a tarefa do campo aberto, o labirinto em cruz elevado, a tarefa do nado forçado e labirinto de Morris.

Todos os animais foram alojados no mesmo ambiente e sob mesmas condições de instalação.

### ***Padrões Irradiativos***

Os protocolos experimentais foram elaborados dentro dos limites estabelecidos pela Resolução 303/2002 da ANATEL. Foram atendidos os artigos 33 a 54, cap IV: Dos Métodos de medição (ANATEL, 2002). Estes limites são equivalentes aos níveis de referência indicados nas diretrizes da ICNIRP, e foram estabelecidos em termos de grandezas, que podem ser mais facilmente medidas ou calculadas que as Restrições Básicas (INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS AND ELECTRICIANS, 1992 ; ICNIRP, 1998). O Grupo Experimental (GE) foi composto por animais, que foram submetidos a radiação eletromagnética na frequência de 850 MHz por duas sessões de uma hora, intercaladas por um intervalo de 12 horas, durante 10 dias. Recebendo uma densidade de potência de 0,6 mW/cm<sup>2</sup> e 1,6 mW/cm<sup>2</sup>, respectivamente, nível máximo de segurança adotado pelas normas internacionais para seres humanos submetidos inconscientemente às radiações de 850MHz.

Diante da limitação experimental de não termos como garantir a uniformidade a exposição de radiação eletromagnética a qual foram submetidos os sujeitos da pesquisa, cabe-nos ressaltar que os ratos foram submetidos, em média, à intensidade de campo especificada no projeto, tendo

em vista a circulação dos animais, a qual não pode ser anulada. Isso porque o confinamento dos sujeitos a uma região menor que a área da gaiola, redundaria em estresse animal. Desse modo, a intenção ao usar-se o aparato experimental descrito, foi produzir, em média, uma densidade de potência de  $1 \text{ mW/cm}^2$  para as frequências de 850 MHz. As SARs correspondentes a  $0,6 \text{ W/kg}$  para 850MHz são obtidas da curva de ajuste conforme DURNEY (1980). Verificaremos isso mediante a realização de cinco medidas do campo irradiado no interior das gaiolas, bem como foram feitas quatro medidas de intensidade de campo fora das gaiolas.

## **Testes Comportamentais**

### ***Experimento 1: Tarefa do Campo Aberto (“open-field”)***

Foi utilizado um recipiente cilíndrico medindo 60 cm de extensão, 40 cm de largura e 50 cm de altura, com uma parede opaca sendo o animal visualizado pela câmera no teto. O piso deste cilindro é dividido em um círculo central dividido em quatro quadrantes e oito trapézios de base curva concêntricos ao círculo central. Observou-se o comportamento do animal quanto aos seguintes parâmetros: [1] número de quadrantes percorridos – uma medida da atividade locomotora e atividade exploratória. Considerou-se um cruzamento de um quadrante a outro quando o animal transpunha com suas duas patas traseiras o limite entre um e outro; [2] tempo gasto nos dois quadrantes centrais – uma medida de ansiedade, na medida em que, quanto mais ansioso está o animal, menos tempo permanece nestes quadrantes centrais; [3] número de respostas de orientação (ou “rearings”) – movimento de erguer-se sobre as patas traseiras e movimentar o tronco lateralmente. Trata-se também de um comportamento exploratório e [4] número de bolos fecais eliminados – também uma possível medida emocional. A figura a seguir mostra um exemplo do referido experimento.

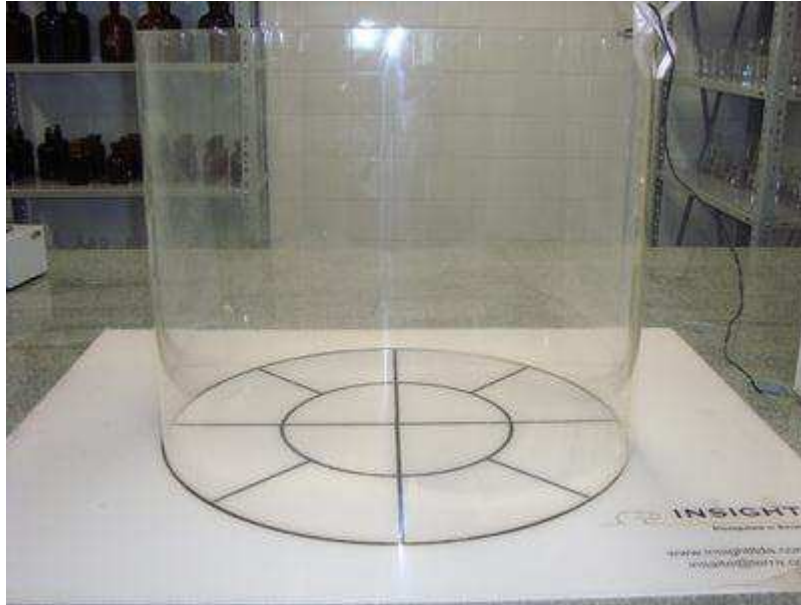


Figura 4: Exemplo do teste do campo aberto (“open-field”). (Fonte: Google Imagens.)

### ***Experimento 2: Tarefa do Labirinto em Cruz Elevado (“elevated plus maze”)***

Descrito originalmente por Pellow e colaboradores (1985), o Labirinto em Cruz Elevado (LCE) é construído em um plano elevado, distante cerca de 1m do piso, na forma de uma cruz, sendo dois de seus braços cercados por paredes altas – braços fechados (BF) – e os outros dois braços destituídos de paredes – braços abertos (BA). Os animais são colocados no centro do labirinto (no cruzamento entre os braços), com a cabeça voltada para um dos braços fechados e o seu comportamento é avaliado por um período de 5 minutos. Registrar-se-á o tempo total que o animal permanece em cada braço e o número total de entradas em cada braço. Nesse paradigma, o número total de entradas pode ser compreendido como uma medida da atividade locomotora e exploratória e – o principal em relação ao LCE – postula-se que a preferência do animal pelo braço aberto (aferida tanto pelo número total de entradas neste, tempo transcorrido neste e proporção de tempo neste em relação ao braço fechado) relaciona-se inversamente à ansiedade do animal (HOGG, 1996). A figura a seguir ilustra um exemplo do referido experimento.



Figura 5: Exemplo do teste do Labirinto em Cruz Elevado (“elevated plus-maze”) muito semelhante ao utilizado no projeto. (Fonte: Google Imagens.)

### ***Experimento 3: Tarefa do Nado Forçado***

O Teste do Nado Forçado (1998) consiste de um pequeno compartimento (50 cm de altura X 30 cm de diâmetro) cheio de água. Os ratos foram colocados individualmente neste modelo após terem passado pelo labirinto em cruz elevado e pelo campo aberto. Embora existam modelos do nado forçado automatizados, cujas observações são feitas por computadores, na presente situação dois pesquisadores quantificaram todo o comportamento de cada rato de acordo com os seguintes parâmetros: tempo gasto se debatendo (definido como vigorosos movimentos do corpo e das patas e arranhões na parede interna do compartimento); tempo gasto nadando (definido como o movimento de todas as patas, que ajudam o rato a nadar pelo modelo); - tempo gasto boiando (definido como ausência total de movimentos, somente o necessário, ocasionalmente, para manter o nível de água acima das narinas); tempo de latência após a primeira vez que ficou boiando. A figura a seguir mostra um exemplo do aparelho do experimento do nado forçado.



Figura 6: Exemplo de aparelho ilustrativo do experimento do nado forçado. (Fonte: Google Imagens.)

#### ***Experimento 4: Teste do Labirinto de Morris***

O Labirinto de Morris consiste em um recipiente com 69 cm de diâmetro, 36 cm de profundidade, dividido em 4 quadrantes de mesmo tamanho. Em um desses quadrantes, foi colocado uma plataforma circular de 22 cm de altura e 10 cm de diâmetro. O recipiente foi preenchido com água até uma altura de 23,5 cm. Com a finalidade de deixar a água opaca para cobrir a plataforma, de forma que ela não se tornasse visível aos ratos em estudo, foram utilizados cerca de 2 litros de leite. O teste consistiu de uma fase de adaptação a plataforma e 4 sessões de treinamento seguidas pelo teste propriamente dito. Durante a fase de adaptação os ratos passaram 1 minuto sobre a plataforma, sendo que toda vez que ele saia da plataforma, ele era dirigido manualmente até a plataforma novamente, até completar-se 1 minuto. Depois era dado 30 segundos de descanso ao rato. Durante a fase de treinamento cada rato passava pelas sessões de treinamento, sendo cada sessão com duração de 1 minuto, para que o rato encontrasse sozinho à plataforma. Se após 1 minuto ele não encontrasse a plataforma, ele era dirigido manualmente até a plataforma e esperava-se que ele permanecesse lá por 10s ou pulasse para

fora do recipiente. Se o mesmo encontrasse a plataforma antes de completar 1 minuto ele era imediatamente retirado do recipiente. Entre cada sessão de treinamento era dado 30s de descanso a eles. Em todas as sessões o animal era colocado na mesma posição, do lado oposto à plataforma, lançado 12-18 cm desta. O teste propriamente dito começava no momento em que ele era colocado do lado oposto a plataforma e era cronometrado o tempo que ele levava para encontrar a plataforma. Após o teste, o rato era retirado, secado e posto novamente na gaiola. Para orientar os ratos, foram colocadas figuras geométricas em três pontos ao redor do recipiente do experimento. Este teste tem a finalidade de avaliar o grau de aprendizagem e memória dos mesmos em situações de estresse. A figura a seguir mostra um exemplo do referido experimento.

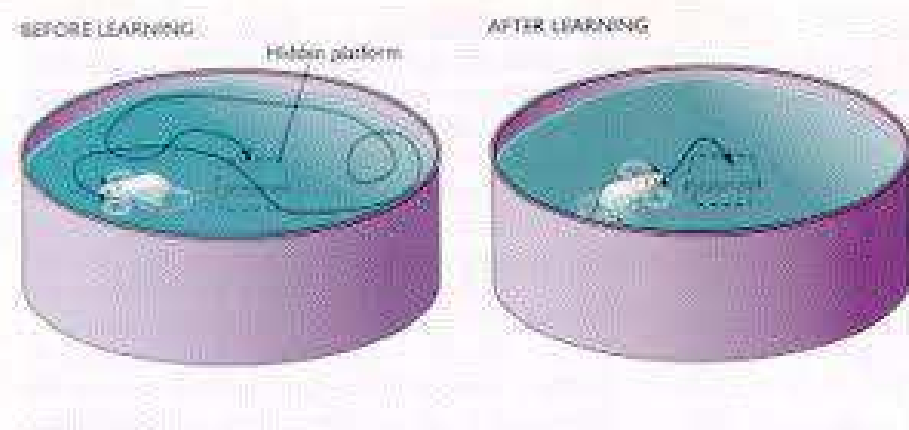


Figura 7: Exemplo esquemático e ilustrativo do experimento Labirinto de Morris. (Fonte: Google Imagens.)

### **Análise Estatística**

Os resultados dos testes após a irradiação (tempo 1, 2 e 3) foram comparados com aqueles realizados previamente à irradiação (tempo 0). Foi feita ANOVA de 2 vias, com um teste Post-Hoc de Tukey ou de Bonferroni, sendo apresentadas diretamente nos gráficos. A hipótese de esfericidade foi testada através do teste de Mauchly. Os resultados somente são considerados significativos quando apresentarem  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

Para a análise dos dados foi realizada ANOVA de medidas repetidas para comparar as médias nos vários tempos. A hipótese de esfericidade foi testada através do teste de Mauchly e o nível de significância em todos os testes foi de 5%.

### Experimento 1: Teste do Campo Aberto

O Gráfico 1 ilustra a variável Número de Quadrantes Percorridos pelos ratos no Teste do Campo Aberto.

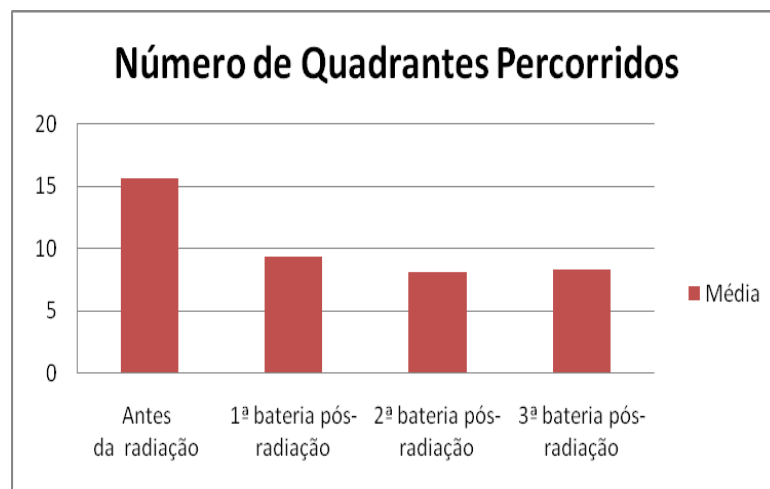


Gráfico 1: Médias da variável Número de Quadrantes Percorridos, antes e após a exposição dos ratos a radiação. (Fonte: MARINHO, A, *et al*).

Na avaliação da variável Número de Campos Percorridos, ilustrado no Gráfico 1, a esfericidade foi aceita pelo teste de Mauchly ( $\chi^2(5) = 0,67$ ,  $p = 0,89$ ), e não existe diferença entre as medidas  $F(3) = 2,16$ ,  $p = 0,138$ , verificando-se que não houve relação entre alteração comportamental dos ratos e a exposição a radiação de acordo com a variável em questão.

O Gráfico 2 ilustra a variável Tempo no Quadrante Central, medida em segundos, do Teste do Campo Aberto.



Gráfico 2: Médias da variável Tempo no Quadrante Central, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na avaliação da variável Tempo no Quadrante Central, ilustrado no Gráfico 2, a esfericidade foi violada ( $\chi^2(5) = 0,023$ ,  $p = 0,019$ ), portanto os graus de liberdade foram corrigidos usando as estimativas de esfericidade de Greenhouse e Geiser ( $\epsilon = 0,39$ ). Os resultados mostraram que não existe diferença entre as medidas  $F(1,165) = 1,642$ ,  $p = 0,255$ , verificando-se que não houve relação entre alteração comportamental dos ratos e a exposição a radiação de acordo com a variável em questão.

O Gráfico 3 ilustra a variável Número de *Rearings* do Teste do Campo Aberto.

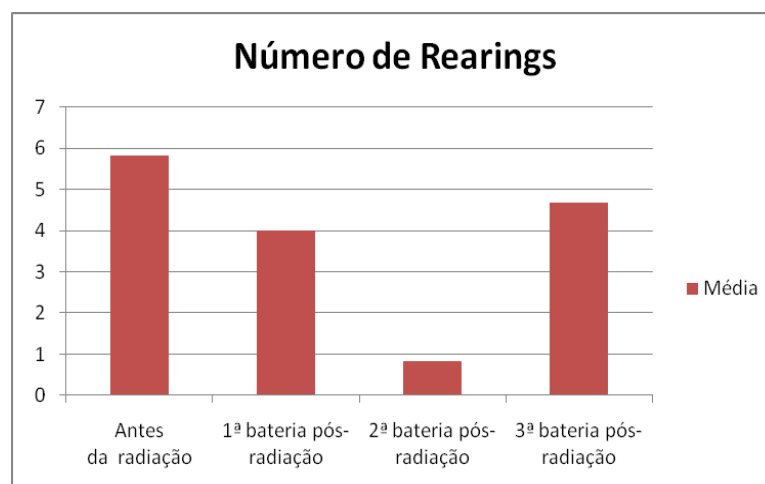


Gráfico 3: Médias da variável Número de *Rearings*, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).



Na avaliação do Número de *Rearings*, ilustrado no Gráfico 3, a esfericidade foi aceita ( $\chi^2(5)= 0,454$ ,  $p=0,72$ ) e os resultados mostraram que não existe diferença entre as medidas  $F(3)=82,3$ ,  $p=0,121$ , verificando-se que não houve relação entre alteração comportamental dos ratos e a exposição a radiação de acordo com a variável em questão.

O Gráfico 4 ilustra a variável Número de Bolos Fecais do Teste do Campo Aberto.

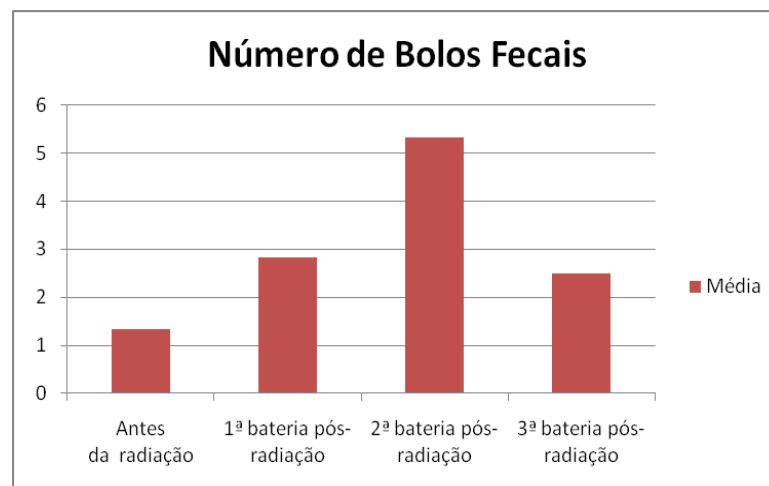


Gráfico 4: Médias da variável Número de Bolos Fecais, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na avaliação do Número de Bolos Fecais, a esfericidade foi aceita ( $\chi^2(5)= 0,587$ ,  $p=0,85$ ) e os resultados mostraram que existe maior número de bolos fecais na 2ª bateria após radiação  $F(3)=51$ ,  $p<0,05$ , verificando-se que houve alteração comportamental momentânea dos ratos provavelmente devido a exposição a radiação.

## Experimento 2: Teste do Labirinto em Cruz Elevado (LCE)

O Gráfico 5 ilustra a variável Tempo nos Braços Abertos, medida em segundos, do Teste Labirinto em Cruz Elevado (LCE).

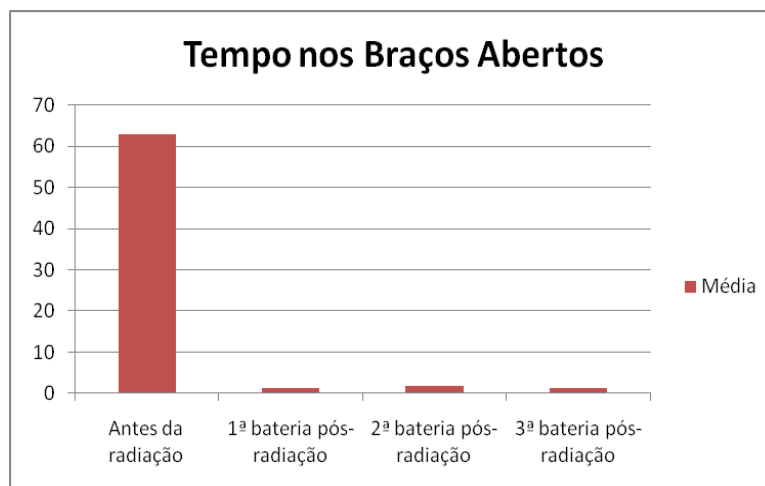


Gráfico 5: Médias da variável Tempo nos Braços Abertos, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na avaliação do Tempo nos Braços Abertos, a esfericidade foi violada, portanto, os graus de liberdade foram corrigidos usando as estimativas de esfericidade de Greenhouse e Geiser ( $\epsilon=0,334$ ). Os resultados mostraram que não existe diferença entre as medidas  $F(1,003)=1,576$   $p=0,265$ , verificando-se que não houve relação entre alteração comportamental dos ratos e a exposição à radiação de acordo com a variável em questão.

O Gráfico 6 ilustra a variável Tempo nos Braços Fechados, medida em segundos, do Teste Labirinto em Cruz Elevado (LCE).

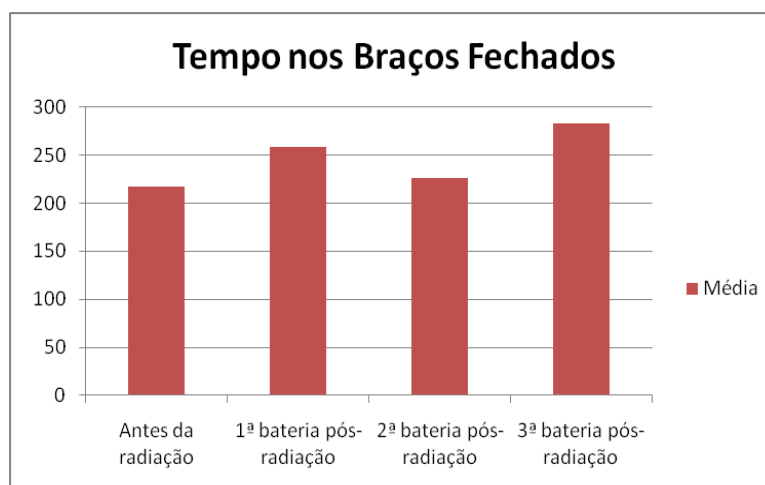


Gráfico 6: Médias da variável Tempo nos Braços Fechados, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na avaliação do Tempo nos Braços Fechados, a esfericidade foi aceita ( $\chi^2(5) = 0,11$ ,  $p=0,158$ ) e não existe diferença entre as medidas  $F(3)=16463,5$ ,  $p=0,278$ , verificando-se que não houve relação entre alteração comportamental dos ratos e a exposição a radiação de acordo com a variável em questão.

O Gráfico 7 ilustra o gráfico da variável Número de Entradas nos Braços Abertos, do Teste do Labirinto em Cruz Elevado (LCE).

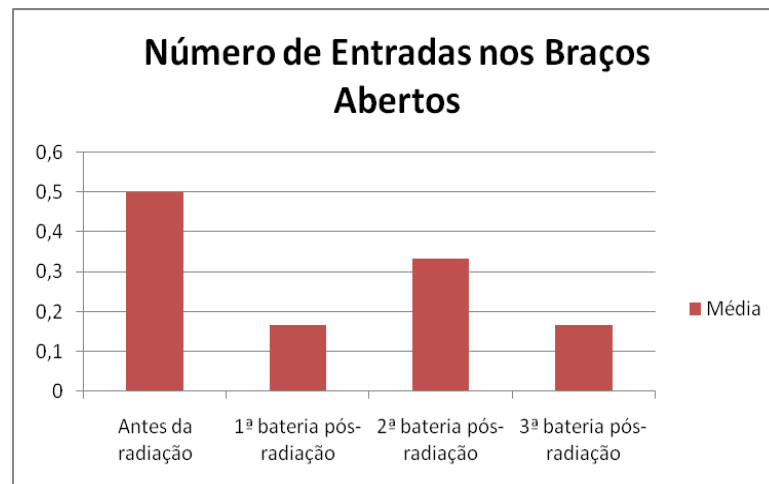


Gráfico 7: Médias da variável Número de Entradas nos Braços Abertos, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na avaliação da variável Número de Entradas nos Braços Abertos, a esfericidade foi violada, portanto os graus de liberdade foram corrigidos usando as estimativas de esfericidade de Greenhouse e Geiser ( $\epsilon=0,322$ ). Os resultados mostraram que não existe diferença entre as medidas  $F(1,865)=0,604$   $p=0,556$ , verificando-se que não houve relação entre alteração comportamental dos ratos e a exposição a radiação de acordo com a variável em questão.

O Gráfico 8 ilustra a variável Número de Entradas nos Braços Fechados, do Teste do Labirinto em Cruz Elevado (LCE).

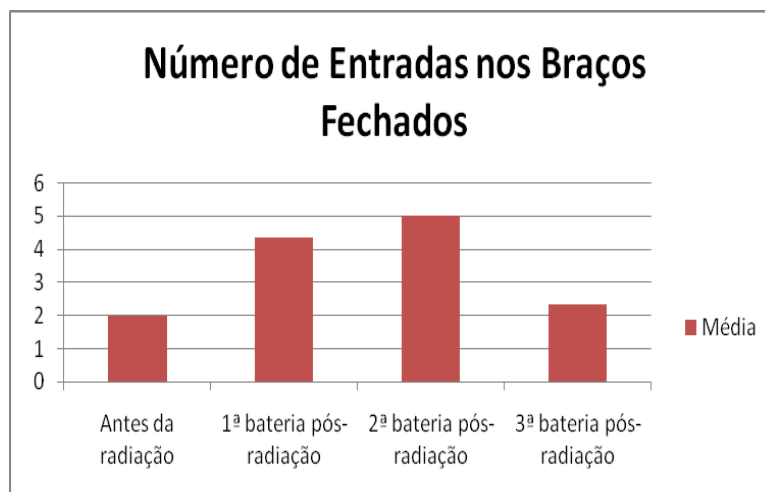


Gráfico 8: Médias da variável Número de Entradas nos Braços Fechados, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte:Marinho *et al*).

Na avaliação da variável Número de Entradas nos Braços Fechados, a esfericidade foi violada ( $\chi^2(5) = 0,024$ ,  $p = 0,021$ , portanto, os graus de liberdade foram corrigidos usando as estimativas de esfericidade de Greenhouse e Geiser ( $\epsilon = 0,659$ ). Os resultados mostram que existe diferença entre as medidas  $F(1,976) = 7,3$   $p = 0,011$ . O teste *posthoc* de Bonferroni identificou que o número de entradas na segunda bateria foi maior que na terceira, verificando-se que houve alteração comportamental momentânea dos ratos provavelmente devido a exposição a radiação.

### Experimento 3: Teste do Nado Forçado

O Gráfico 9 ilustra a variável Tempo Gasto Debatendo-se, medida em segundos, do Teste do Nado Forçado.

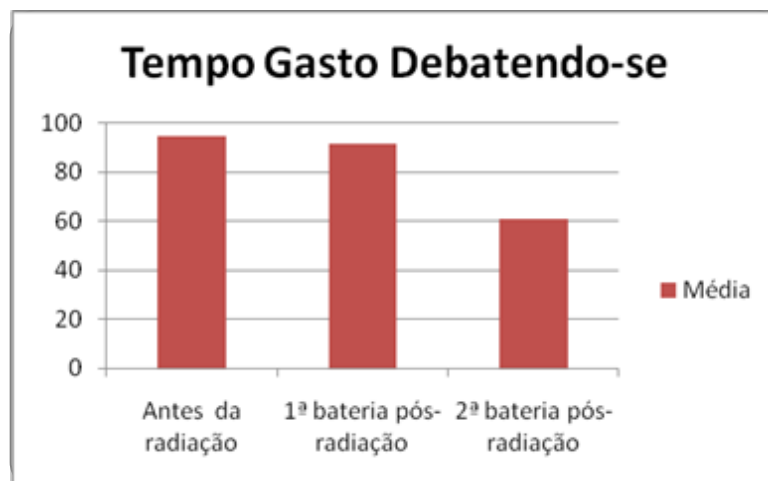


Gráfico 9: Médias da variável Tempo Gasto Debatendo-se, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na avaliação da variável do Tempo Gasto Debatendo-se, a esfericidade foi aceita ( $\chi^2(2) = 0,73$ ,  $p=0,53$ ), existindo diferença entre as medidas  $F(2)=11,56$ ,  $p=0,003$ . Segundo o teste Bonferroni, após a segunda bateria houve redução do tempo gasto debatendo-se, verificando-se que houve alteração comportamental momentânea dos ratos provavelmente devido a exposição a radiação.

O Gráfico 10 ilustra a variável Tempo Gasto Nadando, medida em segundos, do Teste do Nado Forçado.

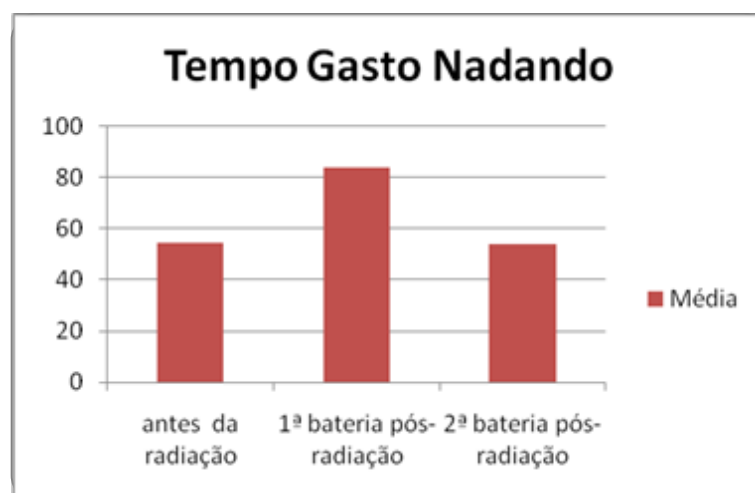


Gráfico10: Médias da variável Tempo Gasto Nadando, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na avaliação da variável Tempo Gasto Nadando, a esfericidade foi aceita ( $\chi^2(2) = 0,48$ ,  $p = 0,231$ ). Houve diferença significativa entre as medidas  $F(2) = 4,6$ ,  $p = 0,039$ . Segundo o teste Bonferroni, após a primeira exposição a radiação houve aumento do tempo gasto nadando, verificando-se que houve alteração comportamental momentânea dos ratos provavelmente devido a exposição a radiação.

O Gráfico 11 ilustra a variável Tempo Gasto Boiando, medida em segundos, do Teste do Nado Forçado.

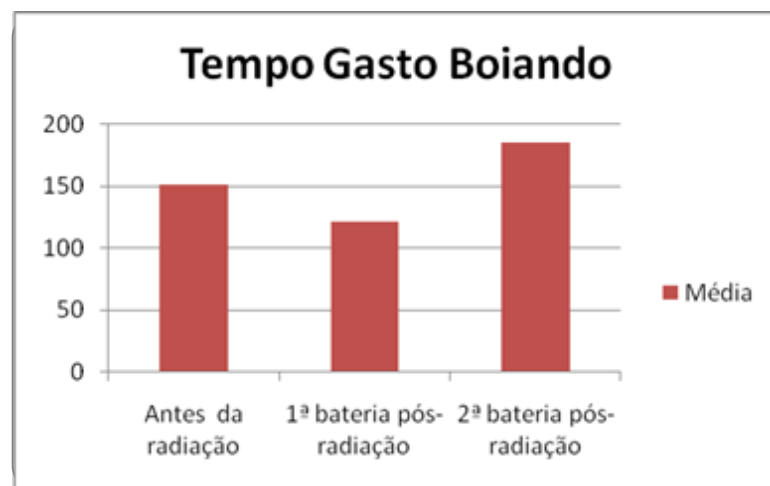


Gráfico 11: Médias da variável Tempo Gasto Boiando, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

A análise da variável Tempo Gasto Boiando revela que a esfericidade foi aceita ( $\chi^2(2) = 0,79$ ,  $p = 0,63$ ). Houve diferença significativa entre as medidas  $F(2) = 19,36$ ,  $p < 0,05$ . Segundo o teste Bonferroni, após a primeira exposição a radiação houve redução do tempo gasto boiando, verificando-se que houve alteração comportamental momentânea dos ratos provavelmente devido a exposição à radiação.

#### **Experimento 4: Teste do Labirinto de Morris**

O Gráfico 12 ilustra a variável Tempo de Latência de Escape, medida em segundos, do Teste do Labirinto de Morris.

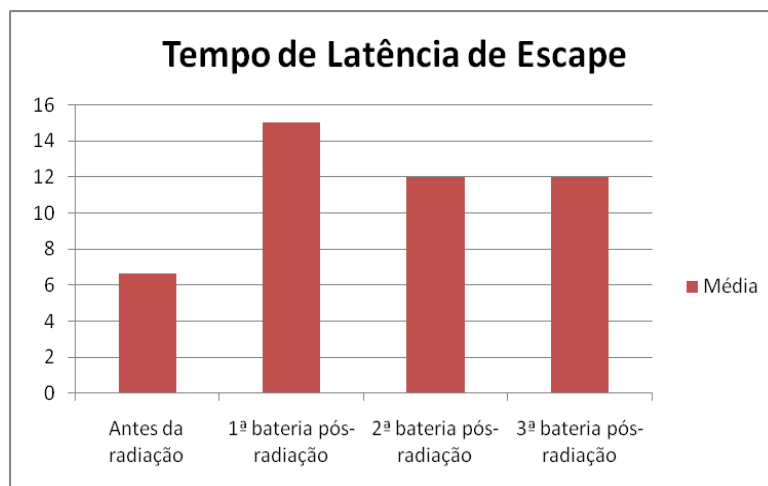


Gráfico 12: Médias da variável Tempo de Latência de Escape, antes e após a exposição dos ratos à radiação. (Fonte: MARINHO, A.M.N, et al).

Na variável do Tempo de Latência de Escape, a esfericidade foi violada, portanto, os graus de liberdade foram corrigidos usando as estimativas de esfericidade de Greenhouse e Geiser ( $\epsilon=0,545$ ). Os resultados mostraram que não existe diferença entre as medidas  $F(1,635)=216,5$ ,  $p=0,297$ , verificando-se que não houve relação entre alteração comportamental dos ratos e a exposição a radiação de acordo com a variável em questão.

## DISCUSSÃO

O uso de modelos animais em pesquisas científicas nos últimos anos têm trazido progressos para avaliação da fisiopatologia das doenças, bem como avaliação de recursos diagnósticos e terapêuticos. Entretanto, no campo da ciência do comportamento, apesar do uso dos animais ter ganhado notoriedade, um obstáculo para o uso desses modelos é o escasso conhecimento que se tem sobre a origem e mecanismos neurais subjacentes aos transtornos mentais, tendo as pesquisas tentado mimetizar nos ratos os sinais de transtornos psiquiátricos utilizando, por exemplo, protocolos de estresse, para a partir deles avaliar a remissão desses sinais com intervenções psicofarmacológicas (KAPCZINSKI, 2011).

Entendemos que protocolos que envolvem privação de água e comida, isolamento, contenção com hipotermia e exposição a choques e luzes estroboscópicas, muito provavelmente podem afetar os parâmetros comportamentais segundo efeitos secundários no organismo, não atribuíveis necessariamente a um transtorno mental prévio. Nota-se, portanto, que nesses casos ocorre uma inversão da ordem natural, procurando-se tratar o sinal e não a causa básica do transtorno. Assim, apesar de haver uma validade de face (mimetização dos sintomas) e validade preditiva (reversão dos sinais clínicos com intervenção psicofarmacológica) nos modelos experimentais que utilizam ratos segundo esses protocolos, há dificuldade na validação do construto, isto é, na reprodução dos aspectos fisiopatológicos envolvidos nas alterações comportamentais que caracterizariam o transtorno.

Uma outra dificuldade reside no fato de não ser possível que um modelo animal reproduza fielmente um transtorno psiquiátrico, uma vez que muitos sinais são inespecíficos, e nos seres humanos assumem variações imprevisíveis relacionadas a maior complexidade do Sistema Nervoso Central, envolvendo subjetivação dos sintomas e diferentes representações psicológicas dos sintomas, sem falar na necessidade de avaliar o contexto e os determinantes sociais do processo saúde-doença.

Entretanto, apesar das diferenças, ratos e homens são mamíferos com certo parentesco evolutivo e compartilham as mesmas necessidades básicas de perpetuação da espécie (BUENO, 2013). Existem outras vantagens na



utilização dos ratos, incluindo fácil manejo e observação, ciclos vitais curtos, permitem a uniformização parental e ambiental e permite que se trabalhe com número grande de indivíduos de modo a estabelecer uma significância ao trabalho científico (PINTO, 2013).

Em nosso trabalho, fez parte do protocolo de experimento minimizar a exposição a fatores de estresse não relacionados aos testes propriamente ditos. Outrossim, os ratos tinham espaço para circulação e ciclos claro/escuro simulando dia/noite, a temperatura ambiental era controlada e os ratos tinham livre acesso à alimentação padronizada e hidratação. Foram utilizados ratos adultos jovens entre 8 e 10 semanas de vida (adultos jovens), evitando retirar ratos no período pós-natal recente, uma vez que está comprovado que nesses casos a privação materna está associada a menor estímulo sensorial-somático e nutricional, que levaria a alterações comportamentais na vida adulta (KAPCZINSKI, 2011).

Nesse sentido, o objetivo era eliminar possíveis agentes interferentes na avaliação dos parâmetros comportamentais, mantendo a exposição a radiação como única hipótese diante de alguma possível alteração encontrada na análise da variância em medidas repetidas (ANOVA). Esses valores seriam submetidos a hipótese da esfericidade através do Teste de Mauchly, sendo consideradas aceitáveis evidências com  $p < 0,05$  (Gráficos 4, 8, 9, 10 e 11). Eventuais violações a graus de liberdade foram corrigidas adequadamente usando as estimativas de esfericidade de Greenhouse/Geiser. O Teste de Machly é considerado teste-padrão para avaliar a esfericidade em vários programas estatísticos, por isso a realização dos testes sob essa suposição em nosso trabalho facilita eventuais comparações dos resultados do nosso trabalho com os da literatura científica disponível para consulta, discussão essa que levaremos em conta a partir de agora.

Existem poucos trabalhos científicos reprodutíveis que trabalham com avaliação da interação entre campo eletromagnético não-ionizante com radiofrequência de modulação pulsada semelhante às emitidas por celulares (entre 800-900MHz e 1.800-2.000MHz) e os sistemas biológicos (DIAS & SIQUEIRA, 2002). Em nossa pesquisa, a fonte irradiadora emite ondas na frequência de 850MHz, que está enquadrada dentro do espectro emitido por

aparelhos celulares. Essa adequação foi necessária para dar embasamento ao estudo.

Embora o padrão irradiativo emitido localmente sobre a cabeça dos roedores simulando a situação de campo próximo de um aparelho celular seja a mais efetiva para avaliar os efeitos térmicos, em nossa pesquisa foi realizada irradiação de corpo inteiro simulando estações de rádio-base (ERB), uma vez que a Taxa Específica de Absorção (SAR) comprovadamente capaz de causar efeitos térmicos é de 4W/Kg por 30 minutos (DIAS & SIQUEIRA, 2002), sendo a SAR estimada em nossa pesquisa da ordem de 0,6W/Kg, imprópria para avaliar efeitos térmicos. Também existem alterações comportamentais com SAR a nível de 4W/Kg por 30 minutos, sendo caracterizada como uma tendência ao retardo cronológico na execução de habilidades condicionadas mais complexas. Nesse caso, fica difícil determinar se a disfunção executiva foi devido ou não aos efeitos térmicos desse nível de SAR. Por tudo isso, o escopo da nossa pesquisa foi avaliar apenas possíveis efeitos comportamentais da exposição na faixa não-térmica. Vale salientar que a SAR não pode ser medida diretamente no roedor, sendo utilizadas simulações computacionais para aferições em campo eletromagnético padrão e a absorção apresenta variações conforme a natureza do material e suas propriedades elétricas.

Dessa feita, avaliamos efeitos não térmicos do tipo neurocomportamentais, também chamados neuroefeitos, que não ocorrem mediante fenômeno de troca de calor (energia térmica) e sim da interação direta do campo eletromagnético com moléculas, células, tecidos e órgãos do sistema nervoso do animal. Esses efeitos não são ainda bem compreendidos. Entre os efeitos controvertidos de estudos anteriores realizados com humanos voluntários estão alterações na atividade elétrica cerebral, registrada por meio de eletroencefalograma (EEG) e distúrbios leves do sono. Esses achados não foram ainda reproduzidos por outros pesquisadores independentes. Em relação a ratos, existem evidências que a exposição a radiação leva maior tempo para a realização de tarefas condicionadas através de treinamento e sinais vegetativos como redução da alimentação e bebida (DIAS & SIQUEIRA, 2002; FOSTER, 2000; FILHO, 2002; GHEYI et. al., 2000), bem como alterações do

neurodesenvolvimento e comportamento em ratos que sofreram exposição a radiofrequência intra-útero (ALDAD et. al., 2012).

Conforme descrito anteriormente, em nossa pesquisa foram realizados 4 baterias de testes comportamentais em 6 ratos, a primeira antes da exposição à radiação (tempo 0), e após 10 dias exclusivos de exposição à radiação, foram realizados os testes comportamentais de controle (tempo 1), com duas baterias de teste posteriores (tempo 1, 2 e 3) intervaladas de 20 dias sem intervenção alguma. Todos os testes foram baseados no modelo incondicionado que se baseia no conflito inato de duas características instintivas dos roedores: repulsa por espaços abertos/iluminados e tendência a explorar novos ambientes (KAPCZINSKI, 2011).

O Teste do Campo Aberto (TCA) avalia o número de retângulos percorridos, tempo gasto no círculo central, número de *rearings* e número de bolos fecais eliminados durante o teste (nBF). Comparado ao controle, não houveram diferenças estatísticas significativas nos parâmetros, exceto um aumento no nBF eliminado após a segunda bateria de exposição a radiação. Não encontramos referências na literatura científica acerca da realização do TCA em situações semelhantes a nossa, entretanto, em um estudo indiano recentemente (julho de 2013) publicado no periódico *Neurological Sciences*, foi detectado esse mesmo aumento no nBF a ratos expostos a radiação de 900MHz por 28 dias, mas esse aumento do nBF aconteceu no teste do Labirinto em Cruz Elevado (LCE) (NAYARANAN et al, 2013). A diferença significativa no número de bolos fecais eliminados pelos ratos no tempo 0 em relação ao tempo 1 (gráfico 4), em ratos submetidos a mesmas condições de alimentação e atividade, fala a favor de alterações do sistema nervoso autônomo simpático e parassimpático, uma vez que apesar de atuarem diferentemente no tônus e cinética do trato gastrointestinal, ambos ocasionam relaxamento dos esfíncteres com conseqüente escape fecal.

Em relação ao LCE, avaliamos o tempo transcorrido nos braços abertos e nos fechados, o número total de entradas nos braços abertos e nos fechados (nBF). O teste *posthoc* de Bonferroni identificou diferença estatisticamente significativa ( $p=0,021$ ) no número de entradas nos braços fechados (gráfico 8), sendo o tempo total maior após a segunda bateria de exposição (tempo 2) quando comparado com a terceira bateria de exposição (tempo 3).

Interpretando esse achado, concluímos que apesar do tempo gasto nos braços ser igual antes e após a exposição a radiofrequência, os ratos tiveram um limiar menor para a tomada de decisão de voltar ao braço fechado, tomado incondicionalmente como o braço seguro (escondido da luz), daí esse aumento significativo na freqüentação desses braços. Considerando que a ansiedade representa uma emoção adaptada de origem nas reações primitivas de defesa dos animais em situação de ameaça, o comportamento defensivo de voltar mais vezes ao braço fechado fala a favor de um componente ansiogênico causado pela exposição a radiação. O estudo de Nayaranan et al (2013) apresentou resultados diferentes do nosso, mas de certa forma complementares: o grupo experimental apresentou menor porcentagem de entradas, menor distância percorrida e menor tempo transcorrido nos braços abertos. Eles concluíram então que a radiofrequência afetava emocionalmente os ratos, mas sem afetar sua locomoção.

Em relação ao Teste do Nado Forçado (TNF), avaliamos o tempo gasto nadando (tN), tempo gasto debatendo-se (tD) e o tempo gasto boiando (tB), sendo encontradas alterações estatisticamente significantes: aumento do tN e diminuição tB após a primeira bateria de radiação e diminuição do tempo debatendo-se após a segunda bateria de radiação. Naturalmente, num primeiro momento é esperado do animal a tentativa de fuga, correspondendo ao período que o rato se debate e nada através da água procurando a saída. As tentativas de fuga tendem a decair quando o rato percebe que não tem escapatória. Então dá-se início a uma fase de desespero, no qual diante da ansiedade gerada pela situação o rato paralisa, ficando imóvel, exceto pela mínima movimentação necessária para manter o nariz fora da água.

Apesar de ser um teste clássico para esses modelos animais, consideramos a interpretação do TNF difícil, uma vez que não fica claro até que ponto a imobilidade é decorrente da ansiedade ou até que ponto é decorrente da exaustão secundária a tentativas consecutivas, a fim de conservar energias para sobreviver. Além disso, nesse experimento os achados não foram uniformes, isto é, se em t1 os ratos nadaram mais e boiaram menos tempo, significaria menos desespero/ansiedade, o que foi incompatível com nossa interpretação dos achados do TCA e do LCE. Não encontramos estudos na literatura que utilizassem o TNF no contexto de avaliar

o comportamento dos ratos em relação a exposição, esse teste é classicamente utilizado para testar fármacos antidepressivos, que tendem a reduzir o tempo de imobilidade dos ratos no nado forçado (KAPCZINSKI, 2011).

No teste do Labirinto de Morris (LM) de nossa pesquisa, procuramos avaliar o grau de aprendizagem e memória dos ratos em situações de estresse, antes e depois da exposição à radiofrequência. Entretanto, não foi evidenciada alteração estatisticamente relevante no tempo de escape do labirinto pelos ratos (gráfico 12). Não encontramos desenho de estudo semelhante ao nosso que utilizasse o LM para avaliar exposição a radiação eletromagnética, que permitisse comparações. Entretanto, nossos achados falam a favor de não haver interferência da radiação na frequência de 850MHz sobre aprendizagem, retenção e evocação da memória em ratos adultos jovens. Vale salientar que o mesmo não vale para ratos recém-nascidos cujas genitoras foram submetidas a radiação entre 800-1900MHz na gestação, uma vez que existe um estudo que identificou prejuízos não só na memória emocional como no neurodesenvolvimento desses ratos que absorveram radiação intra-útero (NAYARANAN et. al, 2013). Assim, parece haver tendência a distúrbio comportamental na vida adulta apenas se a exposição a radiação tiver sido em radiofrequências significativamente maiores e de forma precoce. Pode haver relação, nesse caso, com alterações neuroquímicas no período de desenvolvimento do sistema nervoso, com repercussões posteriores ao rato.

Sugerimos, por fim, correlacionar os achados laboratoriais desse estudo com outros envolvendo uma amostra maior de ratos e com utilização de uma fonte de radiação que opere com modulação da frequência, e não com uma portadora contínua, uma vez que alguns pesquisadores acreditam que esta variação seria especificamente a causa de alguns bioefeitos (DIAS & SIQUEIRA, 2002).

## **CONCLUSÕES**

Os resultados da nossa pesquisa mostraram que a emissão de radiação eletromagnética em uma frequência de 850 MHz, duas horas por dia, com intervalo de 12h entre o início de cada emissão, durante 10 dias foi capaz de causar alterações neurocomportamentais nos ratos, a saber: maior relaxamento esfinteriano com conseqüente maior escape fecal. Atribui-se essa alteração a uma maior ativação do sistema nervoso autônomo secundário a ansiogênese. Esta também explicaria a significativa maior quantidade de entradas no braço fechado no Teste do Labirinto em Cruz Elevado, interpretado como comportamento defensivo com conseqüente diminuição para o limiar de tomada de decisão em freqüentar os braços fechados. Não encontramos evidência de déficit de aprendizagem e memória nos ratos em situações de estresse após a exposição à radiofrequência.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Revisada e atualizada conforme ABNT/NBR 14.724 de abril de 2011

1. ABOUL EZZ, H.S. et al. **The effect of pulsed electromagnetic radiation from mobile phone on the levels of monoamine neurotransmitters in four different areas of rat brain.** *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.*, [S.l.], v. 17, n. 13, pp. 1782-1788, jul 2013.
2. AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES. **Resolução nº 303.** Brasília, 2002. Disponível em <<http://legislacao.anatel.gov.br/resolucoes/17-2002/128-resolucao-303>>. Acesso 10 set. 2013.
3. \_\_\_\_\_. **Diretrizes para limitação da exposição a campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos variáveis no tempo (até 300 GHz).** Brasília, 1999. Disponível em <[http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=12999&assuntoPublicacao=Diretrizes%20para%20Limita%E7%E3o%20da%20Exposi%E7%E3o%20a%20Campos%20El%E9tricos,%20Magn%E9ticos%20e%20Eletromagn%E9ticos%20Vari%E1veis%20no%20Tempo%20%20%20&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=biblioteca/publicacao/diretriz\\_radiacao.pdf](http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=12999&assuntoPublicacao=Diretrizes%20para%20Limita%E7%E3o%20da%20Exposi%E7%E3o%20a%20Campos%20El%E9tricos,%20Magn%E9ticos%20e%20Eletromagn%E9ticos%20Vari%E1veis%20no%20Tempo%20%20%20&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=biblioteca/publicacao/diretriz_radiacao.pdf)>. Acesso 10 set. 2013.
4. ALDAD, T.S. et al. **Fetal radiofrequency radiation exposure from 800-1900MHz-rated cellular telephones affects neurodevelopment and behavior in mice.** *Scientific Reports*, New York, v. 2, n. 1, p. 312., 2012.
5. ANSELMO, C. W. S. F. et al. **Possíveis efeitos adversos dos campos eletromagnéticos (50/60 Hz) em humanos e em animais.** *Ciênc. saúde coletiva* [online], v. 10, n. 1, pp. 71-82, 2005.
6. BALBANI, A. P. S.; MONTOVANI, J. C. **Telefones celulares: influência nos sistemas auditivo e vestibular.** *Rev. Bras. Otorrinolaringol.* [online], v. 74, n. 1, pp. 125-131, 2008.

7. BORTKIEWICZ, A. et al. **Changes in tympanic temperature during the exposure to electromagnetic fields emitted by mobile phone.** *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*, [S.l.], v. 25, n. 2, pp. 145-150, jun 2012.
8. BOUJI, M. et al. **Effects of 900 MHz radiofrequency on corticosterone, emotional memory and neuroinflammation in middle-aged rats.** *Exp Gerontol.*, [S.l.], v. 47, n. 6, pp. 444-451, jun 2012.
9. BUENO, D. **Estudo com ratos ajuda a entender respostas instintivas do cérebro humano.** Disponível em: <<http://www5.usp.br/12063/estudo-com-ratos-ajuda-a-entender-respostas-instintivas-do-cerebro-humano/>>. Acesso em: 18 de setembro 2013.
10. CALABRÒ, E. et al. **50 Hz Electromagnetic Field Produced Changes in FTIR Spectroscopy Associated with Mitochondrial Transmembrane Potential Reduction in Neuronal-Like SH-SY5Y Cells.** *Oxid. Med. Cell Longev.* [online], v. 1, n. 1, jul 2013.
11. DAMATTA, R.A. **Modelos animais na pesquisa biomédica.** Porto Alegre: Scientia Medica, 2010. V. 20.
12. DIAS, M.H.C.; SIQUEIRA, G.L. **Considerações sobre os efeitos à saúde humana da irradiação emitida por estações de rádio-base de sistemas celulares.** Rio de Janeiro: Telecomunicações, jun 2002. V. 5.
13. FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto.** Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos\\_sm.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf)>. Acesso 10 set. 2013.
14. FILHO, J.M.M.H. **Análise de fatores de riscos e efeitos devidos às instalações de ERB para comunicações celulares.** 2002. 184f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Disponível na internet: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/82848/188740.pdf?sequence=1>>. Acesso 10 set. 2013.



15. FREI, P. et al. **Use of mobile phones and risk of brain tumours: update of Danish cohort study.** *BMJ.*, [S.l.], v. 19, n. 343, out 2011.
16. FOSTER, K.R. **Are mobile phones safe?.** *IEEE Spectrum: Electronic Journal of the Institute of Electronics Engineers and Electricians.* New York, v. 37, n. 8, p. 23-28, 2000.
17. GHEYI, M. **Efeitos Biológicos e Comportamentais da Radiação de Microondas em Rattus Novergicus.** Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.
18. GHEYI, M. et al. **Efeitos da radiação de 2,45GHz em ratos de laboratório.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 17. Rio de Janeiro, 2000. Anais v.1, p. 354-357.
19. INSTITUTE OF ELECTRONICS ENGINEERS AND ELECTRICIANS. **"Recommended Practice for the Measurement of Potentially Hazardous Electromagnetic Fields-RF and Microwave"**. New York, 1992.
20. INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. **Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz).** *Health Phys* [online], v. 74, n. 4, pp. 494-522, apr. 1998. Review. Erratum in: *Health Phys* [online], v. 75, n. 4, p. 442, oct. 1998.
21. HARDELL, L.; CARLBERG, M.; HANSSON, M.K. **Use of mobile phones and cordless phones is associated with increased risk for glioma and acoustic neuroma.** *Pathophysiology* [online], v. 20, n. 2, pp. 85-110, apr. 2013.
22. HOGG, S. **A review of the validity and variability of the elevated plus-maze as an animal model of anxiety.** *Pharmacol. Biochem. Behav.* [online], v. 54, n. 1, p. 21-30, may 1996.
23. JAMES, W. **Machly test.** Disponível em: <[http://www.wjh.harvard.edu/~moulton/mauchly\\_test.pdf](http://www.wjh.harvard.edu/~moulton/mauchly_test.pdf)>. Acesso em: 18 de setembro de 2013.
24. KAPCZINSKI, F. [Org.]. **Bases biológicas dos transtornos psiquiátricos: uma abordagem translacional.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

25. KHIRAZOVA, E.E. et al. **Effects of GSM-Frequency Electromagnetic Radiation on Some Physiological and Biochemical Parameters in Rats.** *Bull. Exp. Biol. Med.* [online], v. 153, n. 6., pp. 816-819, oct. 2012.
26. LAMPARELLI, C. C.; FILHO, A. A.; HERNANDEZ, J. G. **Radiações de microondas e radiofrequência: efeitos biológicos.** São Paulo: Ambiente, 1988. Vol. 2.
27. LISMAN, J.E.; GRACE, A.A. **The hippocampal-VTA loop: controlling the entry of information into long-term memory.** *Neuron* [online], v. 46, n. 1, pp. 703-713, 2005.
28. LIU, Y.X. et al. **Exposure to 1950-MHz TD-SCDMA electromagnetic fields affects the apoptosis of astrocytes via caspase-3-dependent pathway.** *PLoS One.* [online], v. 7, n. 8, 2012.
29. LOUGHRAN, S.P. et al. **No increased sensitivity in brain activity of adolescents exposed to mobile phone-like emissions.** *Clin. Neurophysiol.*[online], v. 124, n. 7, pp. 1303-1308, jul. 2013.
30. MCENTEE, W.J.; CROOK, T.H. **Serotonin, memory and the aging brain.** *Psychopharmacology* [online], v. 103, n.1, pp. 143-149, apr. 2013.
31. MOHLER, E. et al. **Exposure to radiofrequency electromagnetic fields and sleep quality: a prospective cohort study.** *PLoS One* [online], v. 7, n.5, 2012.
32. MOULDER, J.E. et al. **Mobile phones, mobile phone base stations and cancer: a review.** *Int. J. Radiat. Biol.* [online], v. 81, pp. 189-203, 2005.
33. NARAYANAN, S.N. et al. **Analysis of emotionality and locomotion in radio-frequency electromagnetic radiation exposed rats.** *Neurol. Sci.* [online], v. 34, n. 7, pp. 1117-1124, jul. 2013
34. NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações.** São José dos Campos: Editora Edgar Blücher Ltda, 1989. 308p.
35. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Campos eletromagnéticos e saúde pública: Telefones celulares.** Fact sheet nº 193, 2011.  
Disponível em <

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/en/index.html>>. Acesso em: 10 set. 2013.

36. \_\_\_\_\_. **Campos eletromagnéticos e saúde pública: Estações radiobase e tecnologias sem fio.** Fact sheet nº304, 2006. Disponível em <[http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=122019&assuntoPublicacao=Fact%20Sheet%20n%BA%20304%20-%20OMS&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=radiofrequencia/fact\\_sheet.pdf](http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=122019&assuntoPublicacao=Fact%20Sheet%20n%BA%20304%20-%20OMS&caminhoRel=null&filtro=1&documentoPath=radiofrequencia/fact_sheet.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2013.
37. \_\_\_\_\_. **Campos eletromagnéticos e saúde pública: Hipersensibilidade eletromagnética.** Fact sheet nº 296, 2005. Disponível em <<http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs296/en/index.html>>. Acesso em: 17 set. 2013.
38. PINTO, C.E.C.; ROCHA, C. **O animal como modelo experimental.** Disponível em: [www.uff.br/animaislab/ap1.doc](http://www.uff.br/animaislab/ap1.doc). Acesso em: 18 de setembro de 2013.
39. STEWART, W. **Mobiles Phones and Health.** Disponível em <[www.iegmp.org.uk/iegmp.txt](http://www.iegmp.org.uk/iegmp.txt)>. Acesso em: 18 de setembro de 2013.
40. TRAJANO, L. **Efeito Joule.** Disponível em <[http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia2000/turmaA/grupo6/efeito\\_joule.htm](http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia2000/turmaA/grupo6/efeito_joule.htm)>. Acesso em: 17 set. 2013.
41. VIJAYALAXMI, P.T.J. **Genetic damage in human cells xposed to non-ionizing radiofrequency fields:** a meta-analysis of the data from 88 publications (1990-2011). *Mutat. Res.* [online], v. 749, n. 2, pp. 1-16, dec. 2012.