

# Efeitos Biológicos e Comportamentais da Radiação de Microondas em *Rattus norvegicus*

Mohit Gheyi

Dissertação de Mestrado submetida à Coordenação dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba - Campus II como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre no domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Informação

Marcelo Sampaio de Alencar, Ph.D.  
Orientador

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Mohit Gheyi, Julho 2000



G419e Gheyi, Mohit  
Efeitos biológicos e comportamentais da radiação de microondas em *Rattus norvegicus* / Mohit Gheyi. - Campina Grande, 2000.  
111 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Microondas - Efeitos Biológicos 2. Comunicações Móveis 3. Ondas Eletromagnéticas 4. *Rattus Norvegicus* 5. Dissertação - Engenharia Elétrica I. Alencar, Marcelo Sampaio de II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB)

CDU 621.37:537.531(043)

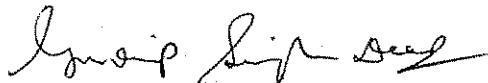
Efeitos Biológicos e Comportamentais da Radiação  
de Microondas em *Rattus norvegicus*

Mohit Gheyi

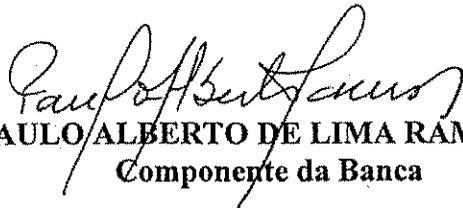
Dissertação Aprovada em 19.07.2000



**PROF. MARCELO SAMPAIO DE ALENCAR, Ph.D., UFPB**  
Orientador



**PROF. GURDIP SINGH DEEP, Ph.D., UFPB**  
Componente da Banca



**PROF. PAULO ALBERTO DE LIMA RAMOS, Dr., UFPB**  
Componente da Banca



**PROF. JOSÉ CARLOS RAMOS TEJO, UFPB**  
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB  
Julho - 2000

## Dedicatória

Esta dissertação é dedicada aos meus pais Hans e Kanta, pelo amor, carinho e incentivo recebido em todos os momentos.

## Agradecimentos

- A Deus, por tudo;
- Aos meus pais, Hans e Kanta, pelo amor, incentivo e compreensão;
- Ao meu irmão Rohit, que sempre me incentivou;
- Ao meu amigo Schubert, pelo apoio recebido em todos os momentos;
- Aos meus amigos Aditya, Justino e Eurico pelo incentivo recebido até hoje;
- Ao professor Marcelo Sampaio de Alencar, pela orientação, incentivo e principalmente pela grande amizade;
- A Ronaldo, pelo desenvolvimento do gerador;
- Aos professores, Joabson, Alfrêdo e Jefferson, pelos incentivos e amizade;
- A José Marcelo e às professoras Shakuntla e Pachu pelos ensinamentos;
- Às professoras Rosalina, Cláudia e Salete, pela realização dos exames;
- Aos meus colegas de pós-graduação Gustavo, Waslon, Edmar, Madeiro, Lidiano, Juracy e demais, uma lista de pessoas que não caberia aqui;
- A Walter, pelo auxílio na editoração final deste trabalho;
- Aos demais professores do DEE-UFPB;
- A todos os funcionários, em especial a Paulino, pela amizade e colaboração recebida até hoje;
- Ao CCT e CCBS da UFPB, UEPB e CEFET-PB pelo apoio;
- Ao CNPq, órgão financiador deste trabalho.

## Resumo

Neste trabalho, apresenta-se uma análise preliminar dos efeitos biológicos e comportamentais observados em cobaias da espécie *Rattus norvegicus* (ratos de laboratório), quando submetidas à radiação de microondas.

Para realização deste projeto foi necessário o desenvolvimento de um gerador de microondas operando na frequência de 2,45 GHz, irradiando uma densidade de potência de  $1,6 \text{ mW/cm}^2$  (nível máximo de segurança adotado pelas normas internacionais para seres humanos submetidos inconscientemente à radiação de 2,45 GHz), durante 1 hora diariamente.

Ao longo do trabalho foram realizadas diversas experiências, dentre as quais pode-se citar: monitoração do consumo de água e ração, pesagem das cobaias, esfregaço vaginal, exames hematológicos e anátomo-patológicos, contagem do número de filhotes gerados pelas cobaias durante três gerações e estudos comportamentais.

## Abstract

This work presents a preliminary analysis of the effects of radiation, in the microwave range, on laboratory rats of the species *Rattus norvegicus*.

The experiments were carried out for the 2.45 GHz frequency, using a power density of  $1.6 \text{ mW/cm}^2$  (which represents the maximum security level adopted by international regulatory bodies, for human beings submitted to radiation for that frequency), applied for a period of one hour, every day.

During the development of the project several experiments were performed, among them one can cite: monitoring water and food consumption, weighing of the guinea pigs, hematocrit, anatomo-pathologic exams, observation of alterations on the estral cycle of females, behavioral effects and effects on the number of offspring produced.

# Lista de Símbolos e Abreviaturas

*FCC – Federal Communications Commission*

*DoD – Department of Defense*

*PCS – Personal Communications Service*

*ANSI – American National Standards Institute*

*IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers*

*ERP – Effective Radiated Power*

*NCRP – National Council on Radiation Protection and Measurements*

*IRPA – International Radiation Protection Association*

*SAR – Specific Absorption Rate*

*OMS – Organização Mundial de Saúde*

*AMPS – American Mobile Phone System*

*DNA – Ácido desoxiribonucleico*

*RNA – Ácido ribonucleico*

*SNC – Sistema Nervoso Central*

*EEG – Eletroencefalograma*

*pps – pulsos por segundo*

*RF – Radiofrequência*

*RBC – Células vermelhas do sangue*

*HB – Hemoglobina*

*HCT – Hematócrito*

*VCM – Volume Corpuscular Médio*

*HCM – Hemoglobina Corpuscular Média*

*CHCM – Concentração da Hemoglobina Corpuscular Média*

*WBC* – Células brancas do sangue

*SEG* – Neutrófilos segmentados

*LYMPH* – Linfócitos

*MONO* – Monócitos

*EOS* – Eosinófilos

*BASO* – Basófilos

# Lista de Figuras

3.1	SAR média do homem e do rato. . . . .	20
4.1	Aparelho reprodutor do macho. . . . .	41
4.2	Aparelho reprodutor da fêmea. . . . .	42
4.3	Esfregação vaginal. . . . .	50
4.4	Ciclo estral. . . . .	51
4.5	Hematócrito. . . . .	52
4.6	Laparotomia exploradora. . . . .	53
4.7	Craniectomia. . . . .	54
5.1	Microscopia dos ovários: (a) controle e (b) experimental. . . . .	67
5.2	Microscopia dos testículos: (a) controle e (b) experimental. . . . .	68
5.3	Segunda etapa da modelagem do grupo de controle. . . . .	69
5.4	Segunda etapa da modelagem do grupo experimental. . . . .	70
5.5	Saciação do grupo de controle. . . . .	70
5.6	Saciação do grupo experimental. . . . .	71
5.7	Extinção do grupo de controle. . . . .	73
5.8	Extinção do grupo experimental. . . . .	73
A.1	Vista do oscilador magnetron. . . . .	81
A.2	Características do magnetron: (a) Indução crítica e (b) Parábola de Hull. . . . .	83
A.3	Fonte genérica. . . . .	83
A.4	Tipos de retificadores: (a) meia-onda e (b) onda completa. . . . .	84

A.5	Tipos de filtros: (a) filtro capacitivo, (b) forma de onda para um retificador de meia-onda e (c) forma de onda para um retificador de onda completa. . . . .	85
A.6	Dobradores de tensão: (a) meia-onda e (b) onda completa. . . . .	86
A.7	Circuito elétrico. . . . .	88
A.8	Comportamento no domínio da frequência. . . . .	88
A.9	Tipos de antena corneta com geometria retangular. . . . .	90
A.10	Diagrama de irradiação da corneta. . . . .	91
C.1	Anestesia. . . . .	96
C.2	Corte. . . . .	97
C.3	Retirada do sangue. . . . .	97
C.4	Análise no laboratório. . . . .	98
D.1	Estágio ótimo para cirurgia. . . . .	99
D.2	Início da laparotomia exploradora. . . . .	100
D.3	Órgãos abdominais. . . . .	101
D.4	Órgãos retirados. . . . .	101
D.5	Desidratação. . . . .	102
D.6	Estufa. . . . .	103
D.7	Inclusão em parafina. . . . .	104
D.8	Micrótomo. . . . .	104
D.9	Corantes. . . . .	105
D.10	Análise das lâminas no microscópio. . . . .	105
D.11	Análise das lâminas no monitor. . . . .	106

## Lista de Tabelas

5.1	Consumo de água e ração. . . . .	61
5.2	Pesagem das cobaias. . . . .	61
5.3	Número de filhotes gerados pela 1ª geração. . . . .	62
5.4	Número de filhotes gerados pela 2ª geração. . . . .	62
5.5	Número de filhotes gerados pela 3ª geração. . . . .	63
5.6	Ciclo estral. . . . .	64
5.7	Exame Hematológico. . . . .	65
5.8	Número de reforços para a experiência de intervalo variável. . . . .	71
5.9	Número de reforços para a experiência de generalização. . . . .	72
B.1	Série Vermelha. . . . .	93
B.2	Série Branca. . . . .	94

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Histórico dos Efeitos Biológicos das Ondas Eletromagnéticas</b>	<b>3</b>
2.1	Introdução . . . . .	3
2.2	Desenvolvimento de Normas de Exposição à Radiofrequência . . . . .	6
2.3	A Questão do Câncer . . . . .	8
2.4	Conclusão . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Principais Efeitos Biológicos das Ondas Eletromagnéticas</b>	<b>16</b>
3.1	Introdução . . . . .	16
3.2	Efeitos Térmicos . . . . .	18
3.3	Efeitos Não-Térmicos . . . . .	22
3.4	Efeitos Bioquímicos . . . . .	24
3.5	Efeitos na Reprodução, Crescimento e Desenvolvimento . . . . .	25
3.6	Efeitos no Sistema Nervoso . . . . .	27
3.6.1	Mudanças no Eletroencefalograma . . . . .	28
3.6.2	Histologia Patológica . . . . .	29
3.6.3	Efeitos na Barreira Sangüínea do Cérebro . . . . .	30
3.7	Efeitos Comportamentais . . . . .	31
3.8	Efeitos Hematológicos . . . . .	31
3.9	Efeitos Oculares . . . . .	34
3.10	Conclusão . . . . .	36

<b>4</b>	<b>Descrição do Experimento</b>	<b>37</b>
4.1	Introdução . . . . .	37
4.2	As Cobaias . . . . .	38
4.2.1	Características Biológicas e Reprodutivas . . . . .	39
4.2.2	Nutrição . . . . .	47
4.3	As Experiências . . . . .	48
4.3.1	Consumo de Água, Ração e Pesagem . . . . .	49
4.3.2	Reprodução em Ratos sob Efeitos das Ondas Eletromagnéticas . . . . .	49
4.3.3	Esfregaço Vaginal . . . . .	50
4.3.4	Exames Hematológicos . . . . .	51
4.3.5	Exames Anátomo-patológicos . . . . .	53
4.3.6	Estudos Comportamentais . . . . .	54
4.4	Conclusão . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>60</b>
5.1	Introdução . . . . .	60
5.2	Consumo de Água, Ração e Pesagem . . . . .	60
5.3	Reprodução em Cobaias sob Efeitos das Ondas Eletromagnéticas . . . . .	61
5.4	Esfregaço Vaginal . . . . .	63
5.5	Exames Hematológicos . . . . .	65
5.6	Exames Anátomo-patológicos . . . . .	66
5.7	Estudos Comportamentais . . . . .	68
5.8	Conclusão . . . . .	74
<b>6</b>	<b>Conclusões e Perspectivas</b>	<b>75</b>
6.1	Introdução . . . . .	75
6.2	Conclusões . . . . .	75
6.3	Perspectivas . . . . .	78
<b>A</b>	<b>Gerador de Potência de Microondas</b>	<b>80</b>
A.1	Oscilador Magnetron . . . . .	81
A.2	Fonte de Potência para Alimentação do Magnetron . . . . .	83

A.3 Teoria Básica de Antenas . . . . .	87
A.3.1 Conceitos Básicos . . . . .	87
A.3.2 Antenas com Abertura Retangular . . . . .	90
<b>B Hemograma</b>	<b>92</b>
<b>C Exames Hematológicos</b>	<b>96</b>
<b>D Exames Anátomo-patológicos</b>	<b>99</b>

# Capítulo 1

## Introdução

O aumento do número de dispositivos eletromagnéticos na sociedade tem causado preocupação sobre os possíveis efeitos biológicos da radiação eletromagnética. Essa preocupação tem provocado uma elevação no número de pesquisas sobre este tema, principalmente, no que diz respeito ao entendimento em relação à interação das ondas eletromagnéticas com os seres humanos [1, 2]. Tal conhecimento é de vital importância para o estabelecimento de normas de segurança para exposição à radiação, determinação definitiva dos níveis de potência perigosos e o entendimento físico dos efeitos que são mencionados na literatura.

Neste trabalho, a quantidade de energia absorvida por seres vivos é um elemento essencial no estudo de possíveis efeitos provenientes das ondas eletromagnéticas. Assim, as cobaias são irradiadas e qualquer efeito observado é extrapolado por meio de cálculo para aqueles que seriam esperados no homem, visto que este não pode ser irradiado para observação de tais efeitos.

Este texto encontra-se organizado da seguinte forma: No Capítulo 2, é apresentado um breve histórico dos estudos realizados para avaliar os efeitos biológicos provocados pelas ondas eletromagnéticas, desde o surgimento da primeira máquina elétrica, na metade do século XVII, até os dias atuais, com o telefone móvel celular, sendo utilizado de forma indiscriminada.

O Capítulo 3 mostra que os efeitos biológicos provenientes das ondas eletromagnéticas são divididos em dois grupos: efeitos térmicos e efeitos não-térmicos. A partir daí, uma série de outros efeitos são apresentados (bioquímicos, comportamentais, hematológicos, oculares), com os respectivos resultados, frequências utilizadas e níveis de potência associados.

O Capítulo 4 apresenta as características principais das cobaias utilizadas no experimento, da espécie *Rattus norvegicus*, também conhecidas como ratos de laboratório. São apresentados detalhes destes animais, como por exemplo, suas características biológicas e reprodutivas. Além das cobaias, o capítulo detalha as experiências realizadas: monitoração do consumo de água, ração e pesagem das cobaias, reprodução com cobaias sob efeito das ondas eletromagnéticas, esfregaço vaginal, exames hematológicos, exames anatomo-patológicos e estudos comportamentais.

Os resultados obtidos nas experiências mencionadas anteriormente são apresentados no Capítulo 5. Por fim, as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros são descritas no Capítulo 6.

## Capítulo 2

# Histórico dos Efeitos Biológicos das Ondas Eletromagnéticas

### 2.1 Introdução

William Gilbert, médico da rainha da Inglaterra Elizabeth I, parece ter sido o primeiro a estudar os efeitos biológicos das ondas eletromagnéticas no século XVI, mas foi com o surgimento da primeira máquina elétrica, na metade do século XVII, e com o desenvolvimento da tecnologia elétrica que o interesse de médicos e cientistas no fenômeno elétrico e nos seus efeitos biológicos aumentou. Algumas experiências importantes foram realizadas no século XVII como, por exemplo, a realizada pelo médico Gottlieb Krueger, que fez alguns testes nele mesmo e em alguns voluntários e observou um aumento na taxa de pulsação durante a fase de eletrificação. Um outro médico que fez experiências importantes foi Jean Jallabert. Ele conseguiu tratar um acidentado que teve seu braço paralisado através de estímulos regulares de eletricidade, conseguindo recuperar os movimentos do braço depois de vários meses de tratamento [3].

No início do século XVIII, sapos dissecados eram usados com frequência para mostrar os efeitos da “eletricidade estática”, como é conhecida atualmente. Foi investigando esse efeito, que o médico Luigi Galvani fez uma descoberta muito importante para sua época: dois metais diferentes quando encostados no músculo de um sapo poderiam

fazer o mesmo contrair. Esta descoberta levaria ao descobrimento do conceito de corrente elétrica [3].

Galvani acreditava que dois metais diferentes quando encostados no músculo do sapo de alguma forma, perturbavam o equilíbrio elétrico, dando origem a uma forma de eletricidade até então desconhecida. O físico, Alessandro Volta, inicialmente aceitou a teoria de Galvani da “Eletricidade Animal”. Contudo, experimentos posteriores fizeram com que ele questionasse a teoria de Galvani. Por meio do desenvolvimento da primeira bateria, a pilha elétrica, Volta tinha condições de mostrar que a nova forma de eletricidade poderia ser gerada independente de animais e que era proveniente de propriedades dos metais. Essa eletricidade foi inicialmente chamada de “Corrente de Galvani”, em homenagem ao seu descobridor [3].

No final do século XVIII, a eletricidade já era utilizada para tratamento de paralisias provenientes de acidentes, reumatismo e tétano. Mas, foi no século XIX que se viram rápidos desenvolvimentos na tecnologia elétrica e na medicina. Com a utilização das propriedades da eletricidade e do magnetismo, a atenção passou das aplicações da eletricidade estática na medicina para a corrente de Galvani. Em 1810, Volta publicou seus artigos sobre a pilha elétrica e apenas dois anos depois alguns médicos já estavam utilizando a corrente de Galvani para estimular a união de ossos fraturados. Em 1850, cirurgiões já utilizavam regularmente a corrente de Galvani para aquecer vários instrumentos. Além disso, a utilização da eletricidade em aplicações terapêuticas foi motivada pelos desenvolvimentos teóricos do eletromagnetismo de Faraday, Ampère, Gauss e Maxwell, além do desenvolvimento de fontes de corrente alternada. Os destaques dessas investigações foram Arsene d’Arsonval e Nikola Tesla [3].

D’Arsonval estudou os efeitos fisiológicos das correntes alternadas, campos elétricos e magnéticos variantes no tempo e eventualmente campos de alta frequência, incluindo efeitos como: estimulação de músculos, variação na pulsação, estimulações nervosas e sua variação em função da frequência do estímulo aplicado. Tesla investigou os efeitos fisiológicos da corrente alternada e de campos variantes no tempo. Ele observou que

campos elétricos poderiam matar o bacilo da tuberculose, fazendo a notícia ganhar grande destaque na imprensa [3].

Em 1899, os efeitos térmicos dos campos variantes no tempo e das correntes de alta frequência em materiais biológicos foram reconhecidos e foi provado por fisiologistas que estes efeitos surgiam de simples perdas resistivas. Em 1900, Karl Franz Nagelschmidt começou a investigar esses efeitos térmicos e desenvolveu uma teoria que afirmava que o aquecimento surgia da oscilação molecular induzida pelas correntes de alta frequência [3].

Antonin Gosset recebeu o crédito de ter sido o primeiro a explorar os efeitos biológicos dos campos de radiofrequência. Em 1924, ele e seus ajudantes usaram ondas curtas para destruir tumores de uma planta, sem nenhum prejuízo à mesma. Já em 1926, Joseph Williams Schereschewsky começou a estudar esses efeitos em animais e conseguiu matar moscas com o seu equipamento de ondas curtas [3].

Entre os anos 30 e 40, foram feitos estudos dielétricos em tecidos e outros materiais foram submetidos à faixa de ondas curtas. Nesse período, vários cientistas tentaram elucidar o mecanismo de ação da radiação de ondas curtas em tecidos [4]. Anteriormente, d'Arsonval tinha demonstrado que campos de alta frequência na região de ondas longas eram benéficos para o tratamento de algumas formas de reumatismo e artrites. As ondas curtas pareciam ser ainda mais eficientes, levando alguns cientistas a acreditarem que este fato era decorrente da maior "habilidade de penetração" das ondas curtas. Já outros cientistas pensavam que o aquecimento dos tecidos era dependente da frequência e que a frequência certa deveria ser ajustada para aquele determinado tecido. Evidentemente, muitas perguntas sobre a forma de interação da radiação não-ionizante com os tecidos ficaram sem resposta [3].

Experimentos anteriores indicavam que a energia de radiofrequência em 2450 MHz era absorvida pela água cerca de 7000 vezes mais que a de 27 MHz, frequência geralmente utilizada para diatermia de ondas curtas. Como resultado, a FCC (*Federal*

*Communications Commission*), em 1946, atribuiu a frequência de 2450 MHz para uso na medicina, baseado no seu assumido valor terapêutico. Infelizmente, esses estudos preliminares não levaram em conta alguns fatores, como por exemplo, a geometria do corpo, a profundidade de penetração desta energia no tecido, que são fatores bem mais importantes que os coeficientes de absorção isolados. Essa decisão da FCC conduziu à presente utilização de 2450 MHz por grande parte dos modernos equipamentos de diatermia, fornos de microondas domésticos e unidades de processamento de alimentos. Durante esse período, foram feitas as primeiras tentativas para definição de um padrão de exposição aceitável [3].

Durante a primeira metade do século XX, a radiofrequência ganhou grande aplicação na indústria, ciência, medicina, comunicações e na defesa nacional. Os efeitos térmicos da energia da radiofrequência foram utilizados com sucesso no tratamento do câncer, processamento de alimentos e em aplicações na indústria, como por exemplo, na produção de madeira compensada. Todavia, fontes mais poderosas de radiofrequência foram desenvolvidas e os riscos à saúde associados a estas fontes ficavam cada vez mais evidentes. Surgia, assim, a necessidade do desenvolvimento de um padrão de segurança apropriado [3].

## **2.2 Desenvolvimento de Normas de Exposição à Radiofrequência**

Desde as investigações iniciais dos efeitos biológicos da eletricidade, dos campos variantes no tempo e da radiação de radiofrequência, médicos e cientistas estavam preocupados com os perigos à saúde provocados por estas radiações e começaram a investigar os modos de interação da energia de radiofrequência com os sistemas biológicos [3, 4].

Em 1930, na Marinha americana, animais de laboratório foram submetidos a uma corrente de alta frequência para induzir altas temperaturas no corpo. Posteriormente,

alguns voluntários humanos foram submetidos à radiação de radiofrequência dentro de condições controladas. Os estudos da Marinha concluíram que todos os sintomas apresentados pelos voluntários humanos eram semelhantes aos da febre. Todos eles se recuperaram sem nenhum sinal de efeitos não-térmicos. Investigadores militares recomendavam que equipamentos de alta frequência deveriam ser utilizados com muito cuidado e a exposição desnecessária deveria ser evitada. Infelizmente, a Marinha não desenvolveu nenhum padrão de segurança naquela época [3].

Em 1948, pesquisadores da Clínica Mayo e da Universidade de Iowa relataram que a catarata poderia ser provocada em animais de laboratório através da exposição à radiofrequência. Um grupo de pesquisadores da Universidade de Iowa também observou degeneração testicular em alguns animais de laboratório.

A Guerra Fria motivou o desenvolvimento de redes de radares, que levantou a questão dos possíveis riscos da exposição à energia de radiofrequência proveniente de seus transmissores. Em 1953, a Marinha americana e a Força Aérea realizaram algumas reuniões com o intuito de solucionar essa questão [3].

Em 1954, o DoD (Departamento de Defesa dos Estados Unidos) iniciou um programa de 13 milhões de dólares com o objetivo de financiar estudos sobre os efeitos biológicos da radiação de radiofrequência. O DoD também patrocinou universidades e laboratórios governamentais nos Estados Unidos [3].

Os resultados desses estudos foram apresentados em uma série de simpósios, realizados entre 1957 e 1960. A maioria dos estudos mostrava que os efeitos eram de origem térmica. Baseado em cálculos de engenheiros e biofísicos, Herman Schwan sugeriu, em 1953, que  $10 \text{ mW/cm}^2$  seria um limite de exposição seguro.

Em 1966, o primeiro padrão estabeleceu o valor de  $10 \text{ mW/cm}^2$  como limite, sendo prevista a revisão do mesmo a cada cinco anos. Esse padrão recebeu o nome de ANSI C95.1-1966. O valor foi mantido mesmo depois de estudos feitos na antiga União

Soviética e em alguns países orientais mostrarem efeitos no sistema nervoso central com valores de exposição bem abaixo do proposto. Esses estudos não foram levados em consideração por causa de erros metodológicos e uma análise estatística limitada [3].

Em 1966, foi iniciada uma grande polêmica por causa de uma notícia surgida na imprensa, que afirmava que alguns televisores da *General Electric* estavam emitindo radiação X e que vários fornos de microondas estavam excedendo o limite estabelecido de 10 mW/cm<sup>2</sup>. Depois desses episódios, o governo impôs restrições à fabricação e à venda de produtos que emitissem radiação e novos limites foram estabelecidos. Por exemplo, para os fornos de microondas novos o limite passou a ser de 1 mW/cm<sup>2</sup> e de 5 mW/cm<sup>2</sup> para os antigos, medidos a uma distância de 5 cm dos mesmos, que é a distância mínima que normalmente o olho humano está do forno [3].

No início dos anos 70, os efeitos biológicos da radiação de radiofrequência, emitida por radares, equipamentos de telecomunicações, fornos de microondas e outras fontes já tinham sido estudados e estudos teóricos e experimentais feitos nos Estados Unidos e nos países do Ocidente aprovavam os limites estabelecidos nestes países. Estudos feitos na antiga União Soviética e nos países do Oriente apontavam para riscos da radiação de radiofrequência, mas estes estudos não foram levados a sério pela comunidade científica do Ocidente por causa de inúmeras deficiências técnicas. No início dos anos 70, os cientistas chegaram a conclusão que o primeiro efeito produzido pela exposição excessiva à radiação, era o efeito de natureza térmica. Os efeitos foram bem caracterizados e proteções eficientes foram desenvolvidas. Depois a atenção dos cientistas mudou da radiação de radiofrequência para campos de baixa frequência e de efeitos térmicos para os não-térmicos [3].

## 2.3 A Questão do Câncer

Durante os últimos 20 anos, os campos de alta frequência e seus efeitos biológicos têm sido largamente estudados. Interações interessantes de sistemas biológicos com cam-

pos elétricos e magnéticos têm sido publicados. Contudo, nenhum efeito cancerígeno deste campo foi demonstrado. Assim como os primeiros estudos dos efeitos biológicos, envolvendo radiações de radiofrequência feitas nos últimos 40 anos, nenhuma medida de exposição observada pode ser associada aos campos de baixa frequência [3].

A mais recente preocupação do público diz respeito aos efeitos à saúde causados pelos telefones celulares. Desde o início do serviço em 1983, a indústria da telefonia celular tem sido um dos segmentos que mais cresce no mundo. Nos Estados Unidos, por exemplo, o número de assinantes móveis passou de 100.000, no final de 1984, para mais de 2 milhões, no final de 1991. No final dos anos 90, existiam mais de 100 milhões de assinantes móveis nesse país.

Nos dias de hoje, a utilização do aparelho de telefone celular deixou de ser supérflua, passando a ser uma verdadeira necessidade, com a utilização desse meio de comunicação durante uma grande parte do tempo. No entanto, pouco se sabe dos riscos que cercam esse tipo de equipamento. Como já foi mencionado, há algumas décadas, iniciou-se o estudo sobre os efeitos das ondas eletromagnéticas em seres vivos, mas a celeuma ganhou repercussão universal, no início dos anos 90, nos Estados Unidos, quando um processo movido contra uma operadora e fabricante de equipamento celular levantou a questão do câncer no cérebro devido ao uso prolongado do aparelho [3]. De lá para cá, outros efeitos passaram a ser relatados na imprensa, a polêmica tem se prolongado e o interesse sobre a matéria tem aumentado, tanto por parte da população em geral, quanto da comunidade científica.

A explosão das comunicações sem fio vem não só mudando a paisagem urbana, com o aparecimento de torres e antenas, como também afetando o comportamento do ser humano, que agora passa a “falar sozinho”, com um aparelho colado ao ouvido, nas ruas, nos carros e nos restaurantes. Com a introdução de outros serviços móveis, como PCS (*Personal Communications Service*), prevêem-se, para o ano 2000, mais de 250 milhões de usuários *wireless* e 400 mil estações rádio base espalhadas pelo globo [3]. Juntem-se a isto as comunicações móveis via satélite, os *wireless local loop*, os sistemas

de telefones sem fio, as redes sem fio de computadores, os sistemas *paging* e tantas outras aplicações *wireless*, cada qual com sua faixa de operação e respectivos níveis de potência e está constituído o maior laboratório de exposição a ondas eletromagnéticas de todos os tempos.

Os efeitos de que se ouve falar popularmente são vários. Destacam-se dentre eles dores de cabeça, tonturas, catarata, esterilidade temporária em homens, desordem no sangue, problemas cardiovasculares, perda de memória, danos ao sistema nervoso central, aumento do *stress*, diminuição da eficiência do sistema imunológico, interferência em aparelhos eletrônicos como balanças, marca-passos e equipamentos biomédicos e a desmagnetização de cartões eletrônicos. Fala-se ainda sobre um aumento de temperatura da face exposta ao aparelho portátil, de queimaduras devido ao contato com antenas desencapadas, de perturbação do sono e de outros efeitos biológicos para culminar com o câncer.

Os equipamentos sem fio atualmente em uso podem-se enquadrar em classes de maior ou menor risco. O telefone sem fio doméstico, por exemplo, pode ser considerado como pertencente à classe de menor risco, talvez até de risco inexistente, devido à baixa potência de operação (da ordem de algumas unidades de miliwatts, 5 - 10 mW). O telefone veicular também se enquadra na mesma classe, pois, apesar de operar a uma potência maior (algumas unidades de watts, 1 - 3 W), a antena se encontra fora do veículo. As estações rádio base também pertencem a essa classe, muito embora sua potência de operação seja bastante considerável. O fator atenuante, nesse caso, é a distância que o usuário se encontra da antena, já que a potência decai com a distância  $d$  na forma  $d^\alpha$ , em que  $\alpha$  é um fator de atenuação pertencendo ao intervalo aproximado  $2 \leq \alpha \leq 4$ .

Normas para limitar a exposição têm sido publicadas pelo ANSI (*American National Standards Institute*), pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e outras organizações nacionais e internacionais [5, 6]. Essas normas foram desenvolvidas para proteger os trabalhadores e a população em geral da exposição perigosa a cam-

pos eletromagnéticos de radiofrequência. Baseado no conhecimento atual, a exposição prolongada em níveis iguais ou inferiores aos recomendados pelas normas é considerada segura para exposição humana. Medições perto de estações rádio base típicas têm mostrado que os níveis de exposição normalmente encontrados pelo público em geral estão bem abaixo dos limites recomendados pelas normas de segurança nacionais e internacionais [6, 7, 8, 9].

Para continuar atendendo à demanda por canais de rádio disponíveis e para assegurar a qualidade do serviço, existe uma necessidade contínua de células adicionais em muitas áreas metropolitanas e nos seus subúrbios. A instalação das antenas nas estações rádio base freqüentemente ocasiona preocupações sobre a segurança e o impacto ambiental. Além das questões freqüentes sobre o impacto visual das torres, muitas comunidades têm se preocupado com a exposição do público a campos eletromagnéticos transmitidos por esse tipo de equipamento, principalmente, as pessoas que vivem ou trabalham nas vizinhanças destas antenas [8, 9, 10].

As antenas são geralmente localizadas em lugares altos, variando de 30 a 75 metros. Em alguns casos, é mais conveniente localizar as antenas em cima ou ao lado de outras estruturas já existentes, como tanques de água ou edifícios. A altura da antena é muito importante, pois deve ser alta o bastante para prover cobertura por toda a célula e baixa o bastante para evitar interferências nas células afastadas.

A FCC (*Federal Communications Commission*) autoriza até duas companhias de telefones celulares em cada área de serviço. Porém, a FCC permite uma potência irradiada efetiva (ERP - *Effective Radiated Power*) de até 500 W por canal (dependendo da área geográfica e da altura da torre). A maioria dos sítios de células, em áreas urbanas e suburbanas, opera com ERPs de 100 W ou menos por canal. Em grandes cidades, as células são menores e a ERP é geralmente de 10 W por canal. Os transmissores associados com "micro-células" geralmente localizados em edifícios, estações de trem, operam com ERPs de 1 W. A medida que o sistema se expande e as células são subdivididas, a potência do transmissor é reduzida para prevenir interferências nas

células afastadas. Como nas outras antenas usadas para telecomunicações a energia do sítio de células de uma antena é direcionada para o horizonte num feixe extremamente estreito no plano vertical.

Medições feitas sobre sítios de células típicas das antenas mostram que as densidades de potência no chão estão bem abaixo dos limites recomendados para a população em geral pelas organizações reconhecidas, como o ANSI, o IEEE, o NCRP (*National Council on Radiation Protection and Measurements*) e a IRPA (*International Radiation Protection Association*). Estes limites variam de 2,75 a 2,97 mW/cm<sup>2</sup> para exposição ocupacional e de 0,41 a 0,45 mW/cm<sup>2</sup> para exposição da população em geral para frequências de celular de 825 a 890 MHz [7].

Os níveis de exposição máxima encontrados perto de torres com sítios de células de antenas típicas são, de fato, menores que os limites de segurança recomendados pelas normas internacionais. Esses níveis de exposição máxima ocorrem somente a distâncias limitadas perto da base da antena. Por exemplo, dados submetidos a FCC mostram que a densidade de potência máxima medida no chão de uma torre de 45 metros é de 0,00002 mW/cm<sup>2</sup> por canal de rádio, correspondendo, aproximadamente, a 0,002 mW/cm<sup>2</sup> para 96 canais, com uma ERP de 100 W por canal e com o sistema cheio (todos os canais sendo utilizados) [7]. O máximo foi encontrado em distâncias entre 18-25 metros da base da torre [7]. Medições mostram que a densidade de potência a distâncias maiores que 60 metros das antenas direcionais e omni-direcionais mais utilizadas é menor que 0,010 mW/cm<sup>2</sup> [7].

Em virtude da atenuação dos prédios, para uma mesma distância, os níveis de densidade de potência dentro de edifícios próximos a sítios de células de antenas será de 10 a 100 vezes menor que fora (dependendo da construção). Assim, os níveis máximos dentro de edifícios localizados próximos da base de torres de sítios de células de antenas típicas de 45 metros estão entre 0,00002 e 0,0002 mW/cm<sup>2</sup> [7]. Medições feitas diretamente no raio de iluminação de uma antena omni-direcional montada no teto com 16 canais de rádio indicou que a densidade de potência foi menor que 1 mW/cm<sup>2</sup> a uma

distância de 3 metros da antena e menor que  $0,010 \text{ mW/cm}^2$  acima dos 50 metros de distância [7]. Assim, em determinadas áreas no teto, dependendo da proximidade da antena, os níveis de exposição podem ser maiores que os permitidos pelas normas. O acesso a essas áreas deve ser restrito. Medições também mostram que nos cômodos logo abaixo, os níveis são considerados menores que no teto, dependendo da construção. Para construção típica (madeira ou bloco de cimento), a atenuação é de aproximadamente 10 vezes [7]. A densidade de potência atrás da antena direcional é de cem a mil vezes menor que na frente e, conseqüentemente, os níveis são desprezíveis em quartos diretamente atrás de paredes onde as antenas são montadas, no lado dos edifícios [7].

Ademais, a exposição do público perto de estações rádio base não é muito diferente da exposição aos campos eletromagnéticos das estações de rádio e televisão presentes em todas as comunidades modernas. Resta, finalmente, o portátil celular. É exatamente sobre ele que se trava a maior celeuma.

Os manuais de utilização do aparelho celular portátil não fazem muitas referências ao fato desses aparelhos trabalharem bem próximos à faixa de microondas. Por motivos óbvios, alguns manuais aconselham o usuário a manter a antena do aparelho a uma distância maior que 30 cm de qualquer parte do corpo, como se isto fosse possível. Na prática, a distância entre a antena do aparelho e a cabeça não ultrapassa os 5 cm.

O aparelho celular portátil dos sistemas analógicos opera a uma potência máxima, nada desprezível, de 600 miliwatts e é quase sempre usado a alguns milímetros da cabeça. A essa distância, correspondendo à situação de campo próximo, a solução das equações para se determinar o comportamento do campo eletromagnético não parece óbvia. Além disso, há dificuldades de ordem prática para se proceder a experimentos que espelhem a situação mais próxima daquela vivida pelo usuário e que levem a resultados confiáveis.

É quase impossível afirmar que esta ou aquela pessoa irá desenvolver algum tipo de doença, quando exposta a uma determinada dose de radiação. Pessoas com fatores

genéticos desfavoráveis certamente desenvolverão alguma moléstia antes que outras. Organizações internacionais que estudam os limites de radiação aceitáveis para uma “pessoa normal” têm nos últimos anos reduzido os valores tidos como “aceitáveis”.

A produção, comercialização e a operação dos serviços de comunicações móveis tornaram-se segmentos rentáveis da humanidade. As previsões mais otimistas sobre o número de usuários tiveram que ser continuamente corrigidas para valores significativamente mais elevados e os preços dos equipamentos para os consumidores continuam caindo bem mais rápido que o esperado. Isto resultou numa crescente popularidade de uma tecnologia cuja segurança para o usuário tem sido posta em questão, especialmente, tendo em vista os relativamente elevados campos eletromagnéticos emitidos pelos aparelhos portáteis, com antenas tipo monopolo convencional extremamente próximas à cabeça dos usuários.

Algumas publicações têm mostrado que os telefones celulares portáteis, na pior situação (por exemplo, para operação com a antena tipo monopolo irradiando muito próximo da cabeça do usuário), não respeitam normas estabelecidas nos Estados Unidos e na Europa [11, 12]. Por outro lado, essas normas estão continuamente sendo revistas, sempre para limites mais baixos, e a própria FCC, dos EUA, em 1996, divulgou uma atualização de sua recomendação de 1993, com limites de exposição mais restritivas que os anteriores, o que também é uma tendência para as normas européias [3].

Uma das razões das contínuas alterações nas normas é a significativa e perigosa defasagem entre a rapidez do desenvolvimento e da popularização dos celulares e a natural exigência de tempo para maturação confiável das pesquisas (especialmente nas áreas das ciências médicas) e para a divulgação de seus resultados [11]. Neste sentido, a telefonia celular é um caso típico na qual a tecnologia cresceu muito rapidamente e as conseqüências biológicas para os usuários só estão sendo melhor conhecidas ao mesmo tempo, e muitas vezes após, a sua enorme e arriscada utilização.

## 2.4 Conclusão

Neste capítulo, foi apresentado um breve histórico dos estudos realizados para avaliar os efeitos biológicos provocados pelas ondas eletromagnéticas, desde o surgimento da primeira máquina elétrica, na metade do século XVII, até os dias atuais, com o telefone móvel celular sendo utilizado de forma indiscriminada.

No próximo capítulo, será apresentada uma análise do conjunto de efeitos biológicos provocados pelas ondas eletromagnéticas em cobaias de várias espécies. Também serão apresentados os respectivos níveis de potência e as frequências utilizadas.

## Capítulo 3

# Principais Efeitos Biológicos das Ondas Eletromagnéticas

### 3.1 Introdução

Os telefones celulares, como outros aparelhos domésticos que emitem campos eletromagnéticos, têm se tornado assunto de um debate duvidoso sobre os efeitos biológicos dessa radiação. Hipóteses científicas, publicadas precipitadamente e não aprovadas, tinham no passado se baseado em especulações emocionais e na ansiedade pública [3]. Por essa razão, a questão dos telefones celulares causarem ou não efeitos à saúde deve ser tema de um debate baseado em pesquisas científicas.

As primeiras reportagens dos possíveis perigos que os campos eletromagnéticos poderiam causar surgiram no início dos anos 80 [3]. Reportagens iniciais focalizaram os campos de baixa frequência nas casas e em baixo das linhas de potência de alta tensão, enquanto estudos epidemiológicos exigiam a observação de correlações estatísticas [3].

Os telefones celulares expõem os usuários a campos eletromagnéticos. Para evitar o risco de danos físicos, limites de exposição nacionais e internacionais têm sido diminuídos [3, 11, 12]. Todos esses limites são baseados na prevenção de efeitos térmicos dos campos eletromagnéticos de alta frequência, com a taxa de absorção específica

SAR (*Specific Absorption Rate*) sendo tirada como o valor base. A SAR é a potência absorvida pelo tecido em W/kg do peso do corpo. Testes têm mostrado que para uma SAR de 4 W/kg, a temperatura do tecido aumenta de 1°C depois de aproximadamente 20 minutos [13]. Esse tipo de efeito térmico é compensado pelo processo de regulação térmica do próprio corpo, sem nenhum prejuízo à saúde. Isto ocorre da mesma forma quando se pratica atividades esportivas, quando a taxa metabólica básica sobe de 1,2 W/kg para valores algumas vezes maiores que este valor [13].

Apesar desses valores não colocarem em risco à saúde dos seres humanos, os limites recomendados pela IRPA (*International Radiation Protection Association*) e outros padrões internacionais estão abaixo desse nível. O estudo de várias recomendações internacionais mostra que os limites de exposição são uniformes no mundo inteiro [13].

Resultados experimentais recentes têm sido publicados indicando que campos eletromagnéticos podem ter outros efeitos além dos térmicos [3, 11, 12, 13, 14]. Contudo, freqüentemente não é feita qualquer distinção entre efeito e efeito perigoso, por exemplo, luz, calor, ruído, pressão atmosférica e muitos outros fenômenos também provocam efeitos mensuráveis no organismo humano sem necessariamente serem perigosos.

Tem sido mostrado que os perigos à saúde proveniente dos efeitos térmicos das ondas eletromagnéticas produzidas pelos telefones celulares, ou seja, da transferência de energia para o corpo, podem ser eliminados caso os limites de exposição estejam sendo obedecidos [13]. Contudo, artigos de jornais diariamente levantam a questão de que existem problemas de saúde que não são impedidos pelos limites de exposição, porque esses são ajustados a um valor muito alto ou porque todos os níveis de intensidade são fundamentalmente perigosos.

Vários estudos dos efeitos dos campos eletromagnéticos em sistemas biológicos (moléculas, células, organismos, cobaias, seres humanos) têm sido realizados. Esses efeitos, no sistema nervoso, no metabolismo do sistema cardiovascular, no sistema imunológico e em fatores hereditários já foram estudados, mas a grande maioria dos

resultados é contraditória [3, 11, 13, 14, 15]. Entretanto, foi provado que de fato existem efeitos biológicos abaixo dos valores limites, é incerto se essas observações implicam em algum significado para a saúde humana. Como já foi exposto pela Organização Mundial de Saúde (OMS), nenhum dos testes realizados em cobaias e no número limitado de observações em seres humanos indicou que a expectativa de vida é influenciada pelos campos eletromagnéticos produzidos pelos telefones celulares [13]. Assim, basicamente pode-se dividir os efeitos biológicos das ondas eletromagnéticas em dois tipos: efeitos térmicos e efeitos não-térmicos, que serão considerados a seguir.

## 3.2 Efeitos Térmicos

O efeito biológico mais conhecido dos campos eletromagnéticos, e mais fácil de ser entendido, é o efeito térmico. Os efeitos térmicos são aqueles causados por um aquecimento direto dos tecidos biológicos como resultado da absorção da energia eletromagnética num meio dissipativo, por exemplo, nos meios dielétricos dissipativos, nos quais a permissividade (ou constante dielétrica) apresenta uma parte real maior que zero. Ao contrário das radiações não-ionizantes em comprimentos de onda menores (infravermelho, por exemplo), as radiações em microondas e em RF não são absorvidas apenas pela pele, mas, dependendo da frequência, também por camadas mais profundas de tecidos [11]. Uma vez que os sensores de temperatura do corpo estão localizados somente na pele, efeitos prejudiciais aos tecidos podem ocorrer devido a aquecimentos excessivos em regiões mais profundas, sem serem percebidos pelas pessoas.

Então, genericamente, todos os efeitos que podem ser devidos a um aumento de temperatura nos tecidos são chamados efeitos térmicos. Esses efeitos térmicos têm sido estudados há muitas décadas e os resultados da absorção dos campos eletromagnéticos por diferentes tipos de tecidos são relativamente bem conhecidos, existindo mesmo normas internacionais aceitas que estabelecem limites de exposição em função da frequência de operação, do tempo de exposição e do tipo de usuário [11, 12, 16]. Os limites de exposição podem ser expressos em densidades de potência incidente (em  $\text{mW}/\text{cm}^2$ , por exemplo). Por outro lado, um parâmetro muito utilizado é a SAR, que

é definida como a “derivada no tempo do aumento de energia  $dW$  absorvida ou dissipada num elemento de massa  $dm$  contida num elemento de volume  $dV$ ”, cuja massa específica é “ $\rho$ ”, e que, analiticamente, pode ser expressa por

$$\text{SAR} = \frac{d}{dt} \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} \frac{dW}{\rho dV} \quad (\text{mW/g}). \quad (3.1)$$

Daí, é possível, em outras palavras, dizer que a SAR quantifica a potência absorvida por unidade de massa.

A Figura 3.1 apresenta curvas da SAR em função da frequência para um homem de estatura mediana e para um rato de tamanho médio [2]. Percebe-se que a SAR média para seres humanos é uma ordem de grandeza inferior que a SAR para os ratos, ou seja, nos homens, efeitos biológicos semelhantes só poderão ser observados para valores de densidade de potência maiores. Uma outra diferença importante está relacionada a SAR local. No homem, o aquecimento tende a ser mais superficial que no rato, pois o tamanho do homem é maior que o comprimento de onda, já no rato eles são da mesma ordem de grandeza.

As curvas da Figura 3.1 possibilitam uma extrapolação por analogia de resultados experimentais obtidos com ratos para resultados que seriam esperados em seres humanos. Por exemplo, suponha que um efeito biológico, tipo uma mudança química do sangue, foi observada em ratos de tamanho médio submetidos a uma densidade de potência de  $1,6 \text{ mW/cm}^2$ , na frequência de  $2,45 \text{ GHz}$ . A densidade de potência que produziria a mesma SAR em seres humanos de estatura mediana e nos ratos pode ser calculada e será mostrada a seguir.

Para a SAR local ser equivalente, as razões entre os comprimentos de onda e as maiores dimensões de ambos os seres irradiados devem ser aproximadamente iguais. Assim,

$$\frac{\lambda_r}{l_r} = \frac{\lambda_m}{l_m} \quad (3.2)$$

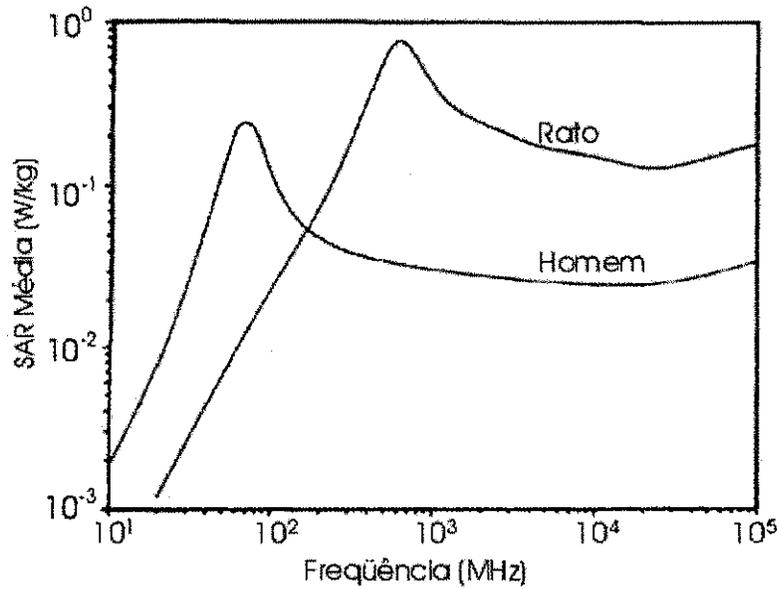


Figura 3.1: SAR média do homem e do rato para 1 mW/cm<sup>2</sup>.

$\lambda_r$  e  $\lambda_m$  são os comprimentos de onda para a irradiação do rato e do homem, respectivamente, e  $l_r$  e  $l_m$  são as maiores dimensões do rato e do homem, respectivamente. Para  $l_r = 0,2$  m,  $l_m = 1,75$  m e  $\lambda_r = 0,12$  m ( $f = 2,45$  GHz), tem-se  $\lambda_m = 1,05$  m, que corresponde a uma frequência de aproximadamente 286 MHz.

Utilizam-se as curvas da Figura 3.1 para calcular a densidade de potência em 286 MHz que produziria em homens uma SAR igual a que ocorreu nos ratos em 2,45 GHz. Em 2,45 GHz, a SAR média para o rato é de 0,22 W/kg para 1 mW/cm<sup>2</sup>, conseqüentemente, de 0,35 W/kg para 1,6 mW/cm<sup>2</sup>.

Em 286 MHz, a SAR média para o homem é de aproximadamente 0,04 W/kg para 1 mW/cm<sup>2</sup>. Assim, seria necessária uma densidade de potência de 8,8 mW/cm<sup>2</sup> para produzir 0,35 W/kg no homem. Conseqüentemente, se a mudança na química do sangue está relacionada diretamente a SAR, uma mudança semelhante no homem poderá ocorrer em 286 MHz com uma densidade de potência de 8,8 mW/cm<sup>2</sup>. Efeitos semelhantes na química do sangue no homem provavelmente não aconteceriam em se-

res humanos submetidos à radiação em 2,45 GHz com densidades de potência de 1,6 mW/cm<sup>2</sup>, já que a SAR seria muito menor no homem que no rato.

Para exposição do corpo inteiro, por exemplo, pode-se considerar a SAR média, que será então a relação entre a potência total absorvida pelo corpo e sua massa. Entretanto, para aquecimentos localizados, como os produzidos pelos telefones celulares emitindo potência muito próximos da cabeça do usuário, deve ser usada a SAR local, que é definida como a potência absorvida em mW por um grama de tecido.

Uma norma largamente utilizada foi elaborada pelo IEEE, denominada IEEE C-95.1-1991, que, em 1992, foi adotada pelo ANSI, e, em 1993, foi recomendada pela FCC dos EUA [11, 16]. Essa norma foi resultado de oito anos de estudos realizados por 125 engenheiros, médicos, bioquímicos e biofísicos e estabelece limites para dois tipos de ambientes: (a) os “controlados”, nos quais o indivíduo tem conhecimento dos níveis de exposição (técnicos de laboratórios usando equipamentos especiais, por exemplo) e (b) os ambientes “não-controlados”, nos quais as pessoas não têm conhecimento de exposição (usualmente envolvendo o público em geral; este é o caso dos aparelhos como os telefones celulares portáteis e os fornos de microondas domésticos).

Na norma ANSI/IEEE C-95.1, o limite para ambientes não-controlados foi estabelecido como cinco vezes menor que o limite em ambientes controlados. Em termos de densidade de potência incidente (mW/cm<sup>2</sup>, por exemplo), o limite de exposição para o corpo inteiro em ambientes não-controlados é de 0,57 mW/cm<sup>2</sup> para uma frequência de operação de 840 MHz, frequência tipicamente utilizada em telefonia analógica convencional no país.

Em taxa de absorção específica (SAR), a norma ANSI/IEEE C-95.1, para o público em geral, limita em 0,08 mW/g para a SAR média no corpo inteiro da pessoa e em 1,6 mW/g para o valor máximo da SAR entregue a qualquer 1 grama de tecido, num período de 30 minutos ou mais. Já a norma europeia CELNEC CLC/TC211-B estabelece para o público em geral o limite de 2 mW/g para o valor máximo da SAR, avaliado

num volume equivalente a 10 gramas de tecido num período de 6 minutos [11, 16, 17, 18].

Anteriormente, a FCC não exigia dos seus fabricantes resultados de testes para verificação de respeito às normas ANSI/IEEE C-95.1, de novos equipamentos que transmitissem menos que 0,74 W (considerados “*low power*”, ou seja, de baixa potência), que é o caso dos aparelhos celulares portáteis com modulação analógica convencional (sistema AMPS), emitindo no máximo 600 mW. Isto foi corrigido em 1996, quando a FCC determinou que também esses aparelhos não deveriam ser excluídos do respeito àquelas normas, uma vez que para a antena a uma distância menor que 2,5 cm, os níveis de SAR absorvidos na cabeça do usuário excedem limites estabelecidos por aquelas normas [7, 11, 19, 20].

### 3.3 Efeitos Não-Térmicos

Os efeitos não-térmicos são, por exemplo, efeitos bioquímicos ou eletrofísicos causados diretamente pelos campos eletromagnéticos induzidos e não indiretamente por um aumento localizado ou distribuído de temperatura. Alguns efeitos não-térmicos relatados na literatura incluem efeitos nos sistemas nervoso, cardiovascular e imunológico, bem como, no metabolismo e em fatores hereditários [7, 11, 13, 14, 16]. Entretanto, nessas áreas, os resultados ainda são polêmicos, não existindo conclusões definitivas, o que poderá ainda demorar muitos anos. Alguns resultados são mesmo conflitantes, especialmente, devido às técnicas experimentais não muito confiáveis. Por exemplo, os métodos utilizados para caracterizar os sintomas em estudos epidemiológicos; dosimetria em RF e microondas, especialmente, em campo próximo e a presença de influências estranhas não consideradas na interpretação dos resultados.

Efeitos que foram claramente demonstrados incluem a alteração no fluxo de íons através das membranas das células (afetando particularmente as propriedades eletrofisiológicas das células nervosas), alteração na mobilidade dos íons de cálcio (particularmente nos tecidos do cérebro), alterações na síntese de DNA e na transcrição de RNA e efeitos na resposta de células normais a moléculas sinalizantes (incluindo hormônios,

neurotransmissores e fatores de crescimento). Alterações no fluxo de cálcio em células, na barreira entre o sangue e o cérebro (*"blood brain barrier"*, que protege o cérebro de certas toxinas) e no desenvolvimento de tumores cerebrais também foram relatados [3, 7, 11].

Entre outras, uma incerteza importante que está para ser confirmada é se esses efeitos não-térmicos podem ou não ocorrer em taxas de absorção específicas bem abaixo daquelas observadas para os efeitos térmicos. Efeitos no sistema imunológico foram constatados em cobaias quando a SAR era maior que 0,4 mW/g, as células nervosas eram influenciadas quando os valores de SAR eram superiores a 2 mW/g e exposição a SAR entre 2 e 3 mW/g promoveu a ocorrência de câncer ou carcinomas em ratos. Além disso, alterações no sistema endócrino e na química sanguínea foram relatados quando a SAR é maior que 1 mW/g e alterações nos sistemas hematológicos e imunológicos ocorrem quando a SAR é igual ou maior que 0,5 mW/g, para exposições prolongadas. Alguns autores resumem os dados experimentais em cobaias, sugerindo que os efeitos aparecem em SAR médias entre 1 e 4 mW/g, e isto tem sido um critério nas normas mais recentes [12].

Reverendo a literatura, observa-se que à medida que as pesquisas avançam e novos resultados aparecem, as normas são atualizadas e novos limites mais restritivos são sugeridos [7]. Entre as muitas dúvidas que ainda estão por ser esclarecidas, é possível ressaltar, por exemplo, como o campo eletromagnético atua em determinadas estruturas, como: (a) nos cromossomos ou nas moléculas de DNA que constituem os genes, e (b) na alteração da mobilidade dos íons, particularmente, em tecidos do cérebro e nas propriedades eletrofísicas das células nervosas.

Nas seções seguintes, serão apresentados os principais efeitos decorrentes da exposição às microondas e os resultados obtidos por vários grupos de pesquisa ao redor do mundo.

### 3.4 Efeitos Bioquímicos

Alterações bioquímicas têm sido relatadas como resultado da energia de radiofrequência. Esses efeitos aparentam ser reversíveis, mas ainda não existem normas bem definidas sobre a resposta à radiofrequência e tampouco se as mudanças apresentadas são efeitos diretos ou indiretos da exposição [4].

Efeitos em mitocôndrias isoladas de animais expostos às microondas têm sido relatados, mas ainda não foi observado qualquer efeito nas mitocôndrias de ratos expostos *in vitro* a valores de SAR entre 1 e 4 mW/g, com uma densidade de potência máxima de 2 mW/cm<sup>2</sup>, na frequência de 2,4 GHz. Também não foi observada qualquer alteração em um determinado número de enzimas e proteínas irradiadas [4].

Dumansky observou que uma exposição com densidades de potência entre 0,025 e 1 mW/cm<sup>2</sup>, nas frequências de 2,45 ou 10 GHz, apresentou uma diminuição significativa na atividade proteolítica da membrana mucosa de pequenos intestinos de animais experimentais [4].

Fulk e Finsh examinaram ratos expostos às ondas pulsadas na frequência de 2,86 GHz, com densidades de potência de 5, 10, 20, 50 e 100 mW/cm<sup>2</sup>, por um período de 15 minutos. Foram observadas mudanças significativas nos níveis de albumina e fósforo apenas para densidades de potência que causavam um aumento considerável na temperatura do corpo (> 50 mW/cm<sup>2</sup>). Os níveis de glicose do sangue não apresentaram alteração em nenhum dos níveis de exposição utilizados [21].

Wangemann e Cleary examinaram o efeito de microondas em coelhos. Eles escolheram a frequência de 2,45 GHz e utilizaram os seguintes valores de densidade de potência: 5, 10 e 25 mW/cm<sup>2</sup>, por um período de 2 horas. Foram observadas mudanças significativas nos níveis de albumina e ácido úrico. Os autores também realizaram o mesmo experimento com ondas pulsadas e efeitos semelhantes foram observados [21].

Mitchell expôs ratos a uma densidade de potência de  $10 \text{ mW/cm}^2$ , na frequência de 2,45 GHz, por um período de 7 horas. Os animais foram submetidos a exames bioquímicos e de comportamento logo após a exposição. Esse estudo foi feito em conjunto pela antiga União Soviética e pelos Estados Unidos. O grupo americano observou que os níveis de  $\text{Na}^+$  e de  $\text{K}^+$  estavam mais baixos no grupo submetido a radiação, quando comparados ao grupo de controle. Já o grupo da antiga União Soviética não observou qualquer alteração [4].

### 3.5 Efeitos na Reprodução, Crescimento e Desenvolvimento

O efeito de microondas nos testículos tem sido bastante estudado. A exposição da área escrotal às altas densidades de potência ( $> 50 \text{ mW/cm}^2$ ) provoca vários níveis de danos aos testículos, como, por exemplo: edemas, aumento e atrofia em ratos e coelhos expostos às seguintes frequências: 2,45, 3 e 10 GHz [4].

Sensores de temperatura foram colocados nos testículos de um grupo de ratos e a temperatura dos mesmos era relacionada aos valores de SAR. Essas medições indicaram a existência de dois limiares de temperatura: o primeiro era de  $39^\circ\text{C}$  para depleção de espermátócitos e o segundo, de  $41^\circ\text{C}$  para a morte de 50% das células depois de 6 dias de exposição à radiofrequência ou aquecimento direto. Os valores correspondentes de SAR para os valores limiares de temperatura mencionados eram 20 e 30  $\text{mW/g}$ , respectivamente [4].

Lebovitz e Johnson expuseram ratos durante 8 horas a uma frequência de 1,3 GHz, a uma SAR de corpo inteiro de aproximadamente  $9 \text{ mW/g}$ . Essa exposição produziu uma elevação de  $4,5^\circ\text{C}$  na temperatura retal. Depois de algum tempo, foram realizados exames histológicos e medições diárias da produção de esperma. Foi comprovado que estava tudo normal, sugerindo que o nível agudo de hipertermia não foi suficiente para produzir alterações de quaisquer medições da função testicular [4].

Existem estudos em que alguns parâmetros de pós-natal foram examinados em animais submetidos às microondas. Johnson observou alterações de comportamento em ratos expostos a uma densidade de potência de  $5 \text{ mW/cm}^2$ , na frequência de 0,918 GHz, por um período de 20 horas, durante os 19 dias de gestação. Já Jensch não conseguiu observar qualquer tipo de mudança comportamental em ratos submetidos a uma densidade de potência de  $10 \text{ mW/cm}^2$ , com uma frequência de 0,915 GHz [4].

Chernovetz submeteu ratos a uma exposição de 10 minutos, na frequência de 2,45 GHz, com uma SAR de  $38 \text{ mW/g}$  e também não observou qualquer alteração funcional pós-natal [4].

Nos Estados Unidos, foi realizado um estudo com ratas prenhas. Nesse estudo, as ratas foram submetidas a uma densidade de potência de  $30 \text{ mW/cm}^2$ , na frequência de 2,45 GHz, por um período de 8 horas diárias, durante os dias 1-6 ou 6-15 de gestação. Os resultados obtidos neste experimento mostraram que a radiação de microondas aumentou a mortalidade de embriões durante os primeiros estágios da gestação (dias 1-6) [22].

Existem alguns artigos que sugerem que combinações de frequência, duração e densidade de potência produzem efeitos no desenvolvimento embrionário e no crescimento pós-parto. Alterações no desenvolvimento de insetos e ratos já foram relatados [4].

Van Ummersen observou a inibição de crescimento e desenvolvimento em embriões de pintos quando submetidos a uma frequência de 2,45 GHz, com densidades de potência, variando entre  $20$  e  $40 \text{ mW/cm}^2$ , por um período de 4,5 minutos a 5 horas. Como em todos os embriões que apresentaram efeitos, havia um aumento de temperatura, as alterações observadas foram atribuídas ao aquecimento [4].

Lin estudou o efeito das microondas em ratos expostos a uma frequência de 0,048 GHz. Nesse estudo, os animais foram expostos a uma densidade de potência de  $0,5 \text{ mW/cm}^2$ , durante uma hora por dia, 5 dias por semana. O experimento teve início

entre o quarto e o sétimo dia pós-parto e durou 10 semanas. Os elementos formados no sangue não foram afetados pela exposição. A média de peso do grupo irradiado e do grupo de controle estava praticamente igual. Diferenças de fertilidade entre os dois grupos também não foram observadas [4].

Um estudo realizado por Baranski e Czernski concluiu que nenhum efeito sério pode ser esperado para densidades de potência menores que  $10 \text{ mW/cm}^2$ . Eles perceberam que os defeitos, quando observados, eram resultado de hipertermia. Existem inúmeros artigos acerca de anormalidades decorrentes de hipertermia de  $2,5$  a  $5^\circ\text{C}$  acima da temperatura normal das espécies de animais prenhas expostas [4].

Estudos mostram que a alta temperatura do corpo das fêmeas está associada aos defeitos de nascimento. Parece que existe um limiar de temperatura para indução de defeitos de nascimento. Estes defeitos aparecem quando a temperatura colônica materna chega a  $41$  ou  $42^\circ\text{C}$  [4].

A maioria dos estudos envolvendo exposições no período pré-natal não apresentam efeitos no crescimento e desenvolvimento. Temperaturas nos testículos superiores a  $45^\circ\text{C}$  induzidas de qualquer forma causam esterilidade permanente. Mudanças na eficiência reprodutiva não foram relacionados diretamente à exposição de radio-freqüência [4].

### **3.6 Efeitos no Sistema Nervoso**

Mudanças transitórias na função do Sistema Nervoso Central (SNC) após a exposição às microondas têm sido relatadas. Alguns artigos descrevem a natureza térmica da absorção da energia de microondas, outros sugerem efeitos não-térmicos nos níveis molecular e celular.

Yakovleva observou que exposições simples e repetidas com ratos expostos às microondas, com densidades de potência, variando entre  $5$  e  $15 \text{ mW/cm}^2$ , provocavam

um enfraquecimento no “processo de excitação” e uma diminuição na “mobilidade funcional” das células do córtex cerebral [4].

### 3.6.1 Mudanças no Eletroencefalograma

Vários autores relatam que a exposição às microondas produz alterações no eletroencefalograma (EEG). Chizhenkova expôs ratos sem anestesia a uma densidade de potência de  $40 \text{ mW/cm}^2$ , na frequência de 2,4 GHz, por aproximadamente 1 minuto. Ele observou um aumento no número de ondas lentas no EEG e uma mudança na frequência de descarga dos neurônios no córtex visual [4].

Baldwin realizou experimentos com cabeças de macacos em uma cavidade ressonante, utilizando a faixa de frequência entre 0,225 e 0,4 GHz. Ele observou um aumento no número dos parâmetros do EEG acompanhados por sinais de agitação e sonolência [4].

Num estudo realizado em conjunto pelos Estados Unidos e a antiga União Soviética, ratos foram expostos por um período de 7 horas, a uma frequência de 2,45 GHz, recebendo uma densidade de potência de  $10 \text{ mW/cm}^2$ . Observando os resultados dos dois grupos, percebem-se efeitos significativos na análise espectral de potência do EEG [4].

Baranski e Edelwejn relataram que coelhos expostos a uma frequência de 10 GHz (pulsada), com uma densidade de potência de  $4 \text{ mW/cm}^2$  não apresentaram qualquer alteração no EEG. Mas, a exposição, na frequência de 3 GHz, com densidade de potência de  $7 \text{ mW/cm}^2$ , por um período de 7 horas diárias, durante 60 dias, produziu mudanças funcionais e morfológicas. Alterações nos reflexos também foram observadas em ratos expostos a uma frequência de 0,07 GHz, com um campo elétrico de 150 V/m, por um período de 1 hora diária, durante 4 meses [4].

A revisão da literatura dos efeitos no EEG deve ser realizada com muito cuidado, pois existem certas deficiências na metodologia e interpretação. O uso de eletrodos metálicos, implantados no cérebro, faz com que vários estudos utilizando EEG sejam

questionados. Johnson e Guy observaram que a utilização de elementos metálicos perturbam o campo e produzem uma absorção de energia na vizinhança dos eletrodos [4].

### 3.6.2 Histologia Patológica

De acordo com alguns autores, mudanças celulares têm sido encontradas no sistema nervoso de alguns animais pequenos depois da exposição a uma densidade de potência de  $10 \text{ mW/cm}^2$  [4].

Tolgskaya e Gordon investigaram a influência das ondas contínuas e pulsadas para as frequências de 3 e 10 GHz na morfologia do tecido nervoso de ratos e coelhos. Com a exposição em 3 GHz ( $110$  e  $40 \text{ mW/cm}^2$ ), vários sintomas de superaquecimento foram observados, geralmente, conduzindo à morte. Foram observadas várias desordens vasculares, como edemas, hemorragias no cérebro e em outros órgãos internos [4].

Albert e DeSantis observaram alterações morfológicas nos cérebros de *hamsters* chineses, quando submetidos a densidades de potência de  $25$  e  $50 \text{ mW/cm}^2$ , na frequência de  $2,45 \text{ GHz}$ . A exposição variava de  $30$  minutos a  $14$  horas por dia, durante  $22$  dias [4].

Em um outro estudo, Albert utilizou macacas grávidas e as submeteu a uma densidade de potência de  $10 \text{ mW/cm}^2$ , por um período de  $3$  horas diárias, na frequência de  $2,45 \text{ GHz}$ , com início no primeiro trimestre de gestação. Ao final do período de radiação, sete animais de controle e sete do grupo exposto foram sacrificados e tiveram seus cerebelos examinados. Não foi observada qualquer diferença significativa nos parâmetros examinados entre os dois grupos [4].

Vários fatores foram sugeridos por Albert para explicar essa discrepância entre os resultados obtidos com macacos e os com ratos. Entre os fatores citados por Albert, tem-se: as diferenças da configuração geométrica da cabeça, métodos de exposição, duração das exposições diárias, variações dos períodos de gestação das diferentes espécies [4].

### 3.6.3 Efeitos na Barreira Sangüínea do Cérebro

A existência de uma barreira sangüínea na maioria das regiões do cérebro já foi estabelecida experimentalmente, embora sua morfologia seja baseada em conjecturas. Essa barreira normalmente promove a resistência do movimento de substâncias com alto peso molecular para dentro do fluido extracelular cerebral, através das veias sangüíneas. Esta barreira tem por finalidade proteger o cérebro da invasão de várias substâncias tóxicas. Vários autores já relataram que a radiofrequência pode aumentar a permeabilidade da barreira sangüínea do cérebro para determinadas substâncias com alto peso molecular, como serão descritos a seguir. Entretanto, outros autores não conseguiram confirmar esses efeitos [4].

Sutton utilizou a frequência de 2,45 GHz para provocar hipertermia nos cérebros de ratos. Ele estudou a integridade da barreira sangüínea do cérebro depois que o cérebro foi aquecido a temperaturas de 40, 42 e 45°C. A integridade da barreira foi rompida depois do aquecimento por 45 minutos a 40°C. Os animais que tiveram o cérebro aquecido a 45°C sobreviveram apenas entre 8 e 15 minutos [4].

Em um outro estudo, Albert expôs 52 animais (34 *hamsters* e 18 ratos) a uma frequência de 2,86 GHz, durante 2 horas, com uma densidade de potência de 10 mW/cm<sup>2</sup>. Alguns desses animais foram mortos e foi observado que um aumento da permeabilidade da barreira sangüínea do cérebro, em decorrência da radiofrequência, em níveis insuficientes para desnaturar o tecido cerebral, é um efeito reversível [4].

Além dos estudos apresentados anteriormente, existem muitos outros. Mas é importante perceber que os métodos utilizados para investigar a permeabilidade da barreira sangüínea do cérebro ainda são incertos. Mudanças de permeabilidade nos vasos sangüíneos do cérebro podem ocorrer sob várias condições. A maioria das técnicas usadas para medir a permeabilidade da barreira não fazem qualquer distinção entre os efeitos de mudança no espaço vascular, alterações na circulação do sangue e permeabilidade da membrana [4].

### 3.7 Efeitos Comportamentais

Estudos têm sido realizados com intuito de observar os efeitos da radiação no desempenho de ratos na realização de determinadas tarefas preestabelecidas [4, 23, 24, 25]. Todos os estudos indicaram que a exposição altera o desempenho desses animais e que existe um valor limite para a densidade de potência que ativa tal alteração. Dependendo da duração e de outros fatores de exposição, o valor limite de densidade de potência capaz de afetar o comportamento de cobaias varia entre 5 e 50 mW/cm<sup>2</sup> [4].

Lin realizou experimentos com ratos na frequência de 0,918 GHz, com densidades de potência de 10, 20 e 40 mW/cm<sup>2</sup>, durante 30 minutos. Nenhum efeito foi observado para os dois níveis mais baixos, mas para a densidade de potência de 40 mW/cm<sup>2</sup>, foi observada uma diminuição no desempenho após 5 minutos de exposição [4].

Mitchell, em seu experimento expôs ratos a uma densidade de potência de 10 mW/cm<sup>2</sup>, durante 7 horas, na frequência de 2,45 GHz e realizou uma série de testes comportamentais. Os ratos expostos às microondas apresentaram uma diminuição na atividade locomotora e na resposta a estímulos acústicos [4].

Efeitos comportamentais podem estar relacionados às alterações térmicas do corpo. O aquecimento pode provocar um efeito de enfraquecimento generalizado ou uma diminuição da motivação por alimento, já que foi provado que ratos mantidos em ambientes quentes comem menos [4].

### 3.8 Efeitos Hematológicos

Nas duas últimas décadas, os efeitos hematológicos provenientes da exposição às microondas têm sido relatados em inúmeros estudos. Esses efeitos têm sido inconsistentes e contraditórios. Grande parte dessa confusão deve-se principalmente à utilização de diversas espécies animais e pela grande quantidade de métodos de exposição existentes. Diversos estudos anteriores utilizaram densidades de potência que resultaram em

efeitos térmicos. Geralmente, esses estudos não incluíam medições de densidade de potência adequadas, não utilizavam grupos de controle e apenas alguns estudos mais recentes incluíram medições da energia absorvida [4].

Um estudo para observar as respostas hematológicas de ratos expostos às microondas foi realizado por Ragan. Nesse experimento, Ragan utilizou a frequência de 2,88 GHz, com pulsos de 2,3  $\mu$ s, com uma taxa de repetição de 100 pps (pulsos por segundo). Os animais foram colocados em um câmara anecóica e expostos de 3 a 7,5 horas diárias, 5 dias por semana, submetidos a uma densidade de potência de 10 mW/cm<sup>2</sup>. Para as condições mencionadas acima nenhum efeito significativo foi observado nas inúmeras variáveis hematológicas analisadas [4].

Smialowicz foi outro pesquisador que realizou experimentos com ratos. Nesse caso, foi utilizada a frequência de 2,45 GHz, com densidades de potência de 5, 15 e 30 mW/cm<sup>2</sup>. Os ratos foram expostos por 30 minutos, diariamente, durante 22 dias consecutivos. Smialowicz também não observou qualquer diferença nas variáveis analisadas entre o grupo submetido à radiação e o grupo de controle. As variáveis analisadas por Smialowicz foram o número de células brancas e vermelhas do sangue, as concentrações de hemoglobina, neutrófilos e linfócitos [4].

Além dos ratos, outras espécies animais também têm sido estudadas com o intuito de observar os efeitos hematológicos decorrentes da exposição às microondas. Baranski, por exemplo, realizou um estudo com coelhos e porcos submetidos a uma frequência de 3 GHz, utilizando microondas pulsadas, com uma densidade de potência de 3,5 mW/cm<sup>2</sup>, durante 3 horas diárias, por aproximadamente 3 meses, e observou um aumento significativo na concentração de linfócitos [4].

Switzer e Mitchell realizaram experimentos com ratos expostos às microondas na frequência de 2,45 GHz, com uma densidade de potência de 5 mW/cm<sup>2</sup>. Os animais eram expostos por um período de 5 horas diárias, durante aproximadamente 550 horas. Os pesquisadores observaram um aumento significativo no número de células verme-

lhas do sangue e um pequeno aumento no número de células brancas do sangue quando comparadas ao grupo de controle [4].

Galvin realizou um estudo com ratos machos submetidos a uma frequência de 2,45 GHz, por um período de 8 horas diárias, com densidades de potência de 0, 2 e 10 mW/cm<sup>2</sup>. O objetivo desse experimento era observar possíveis alterações hematológicas. Ao final do experimento, Galvin concluiu que uma exposição de 8 horas diárias com os níveis de potência mencionados acima não provocou qualquer efeito nos parâmetros hematológicos examinados (hemoglobina, hematócrito, número de células brancas e vermelhas do sangue) [4].

Kitsovskaya realizou experimentos com ratos submetidos a uma frequência de 3 GHz, com densidades de potência de 10, 40 e 100 mW/cm<sup>2</sup>. Os resultados obtidos por Kitsovckaya foram divididos de acordo com a densidade de potência utilizada. Para o grupo submetido a uma densidade de potência de 10 mW/cm<sup>2</sup>, por aproximadamente 60 minutos diários, durante 216 dias, não foi observado qualquer tipo de alterações hematológicas. Já para os grupos de 40 e 100 mW/cm<sup>2</sup> alterações hematológicas foram observadas [4].

Hyde e Friedman realizaram dois experimentos com ratas fêmeas. No primeiro, foi utilizada a frequência de 3 GHz, com uma densidade de potência de 20 mW/cm<sup>2</sup>. No segundo, eles utilizaram a frequência de 10 GHz e os seguintes valores de densidades de potência: 17, 40 e 60 mW/cm<sup>2</sup>. Nos dois experimentos, os ratos foram expostos diariamente por um período de aproximadamente 15 minutos, durante 3, 7 ou 20 dias e não foi observada qualquer alteração significativa no número de leucócitos nem na concentração de hemoglobina [4].

A diferença dos efeitos hematológicos observados entre os diversos experimentos citados deve-se principalmente à diferença de frequência utilizada, ao tipo de onda (contínua ou pulsada) e à duração da exposição.

### 3.9 Efeitos Oculares

Durante os últimos 30 anos, inúmeros estudos têm sido realizados em animais e voluntários humanos com intuito de observar a relação entre a exposição às microondas e o desenvolvimento da catarata. A densidade de potência de  $150 \text{ mW/cm}^2$ , durante uma hora ou mais, parece ser o valor mínimo necessário para o surgimento da catarata. Esse valor limite foi obtido por uma série de cientistas, utilizando várias técnicas para a frequência de 2,45 GHz. Para outras espécies animais como, por exemplo, os cães, o valor mínimo necessário para o surgimento da catarata é ainda maior [4].

Alguns estudos mostram que é necessária uma temperatura intra-ocular de, pelo menos,  $43^\circ\text{C}$  para induzir a catarata, entretanto, algumas exceções podem ser encontradas na literatura. Outros estudos realizados com coelhos expostos a uma frequência de 0,918 GHz, com densidades de potência, variando entre 0,117 e  $466 \text{ mW/cm}^2$ , não apresentaram qualquer evidência de catarata. Assim, concluiu-se que o limite para observação de tal anomalia para a frequência de 0,918 GHz é maior que para a frequência de 2,45 GHz [4].

Em um outro estudo, coelhos foram submetidos a uma densidade de potência de  $100 \text{ mW/cm}^2$ , na frequência de 3 GHz, por um período de aproximadamente 30 minutos. Foram realizados exames diários durante 14 dias, exames semanais durante um mês e exames mensais por um período de 1 ano e não foi observada qualquer alteração ocular. Para densidades de potência de 300, 400 ou  $500 \text{ mW/cm}^2$  durante 15 minutos foram observadas mudanças oculares agudas, principalmente, na íris. A diminuição na concentração de ácido ascórbico nas lentes é citada como a primeira indicação bioquímica da formação de opacidade [4].

Foi realizado um estudo para observar os efeitos das microondas pulsadas nos olhos de macacos. Nesse experimento, foi utilizada a frequência de 2,45 GHz ( $10 \mu\text{s}$ , 100 pps), com uma densidade de potência de  $10 \text{ mW/cm}^2$ , durante três dias consecutivos, por um período de 4 horas diárias. Foram observados danos no endotélio da córnea e um

aumento na permeabilidade vascular da íris que persistiram por mais de 72 horas, após a exposição. Outros estudos mostraram que o valor limite para causar algum dano, utilizando ondas pulsadas é bem menor que para ondas contínuas [4].

Na literatura, observa-se que não existe qualquer experimento que tenha conseguido produzir catarata em modelos animais, utilizando densidades de potência menores que  $100 \text{ mW/cm}^2$ , mesmo com exposições repetitivas. Esses valores estão bem acima da maioria dos padrões de segurança utilizados [4].

No geral, os resultados obtidos com estudos animais indicam que a catarata é essencialmente um efeito térmico. O caso de potências com valores de pico muito altos, com taxas de repetição baixas podem ser consideradas uma exceção.

Depois de 30 anos de estudo sobre os efeitos das microondas nas lentes oculares, chegou-se às seguintes conclusões:

- O efeito térmico, a partir de campos de microondas de alta intensidade, pode produzir a catarata em coelhos, se a temperatura intra-ocular for maior que  $43^\circ\text{C}$ ;
- O limite para exposição de microondas é entre  $100$  e  $150 \text{ mW/cm}^2$ , aplicada durante aproximadamente 80 minutos;
- Não parece existir um efeito cumulativo da exposição às microondas, a menos que cada exposição seja suficiente para produzir algum nível de dano irreparável às lentes.

Está claramente estabelecido que a opacidade das lentes oculares pode ser produzida em coelhos por meio da exposição às microondas. É muito difícil extrapolar os resultados obtidos para o homem, porque as condições, a duração e a intensidade das exposições são geralmente bem diferentes.

### 3.10 Conclusão

Neste capítulo, foi mostrado que os efeitos biológicos provenientes das ondas eletromagnéticas são divididos em dois grupos: efeitos térmicos e efeitos não-térmicos. A partir daí, uma série de outros efeitos foram apresentados (bioquímicos, comportamentais, hematológicos, oculares), com os respectivos resultados, frequências utilizadas e níveis de potência associados.

No próximo capítulo, será feita uma descrição geral do experimento desenvolvido, dando uma atenção especial às cobaias (características biológicas e reprodutivas) e aos exames realizados (consumo de água e ração, pesagem, esfregaço vaginal, exames hematológicos, exames anátomo-patológicos e estudos comportamentais).

## Capítulo 4

# Descrição do Experimento

### 4.1 Introdução

Na literatura, não existem dados conclusivos sobre os problemas que o telefone celular móvel pode causar às pessoas e, por questões éticas, não é possível realizar experiências dessa natureza em seres humanos. Assim, o trabalho aqui proposto tem como meta observar e analisar os efeitos ocorridos num determinado grupo de cobaias da espécie *Rattus norvegicus* (ratos de laboratório), quando submetidas à radiação, e compará-los com os resultados obtidos em um outro grupo de cobaias que não sofreram os efeitos da radiação de microondas. Este segundo grupo de cobaias foi chamado de grupo de controle.

Para a realização desse experimento, foi desenvolvido um gerador de microondas, que opera na frequência de 2,45 GHz, descrito no Apêndice A. Esta é a frequência de máxima absorção ou de ressonância para as cobaias. No caso do homem, por exemplo, ela situa-se entre 70-80 MHz [12]. O valor 2,45 GHz não foi escolhido apenas por ser a frequência de máxima absorção ou ressonância, mas porque essa frequência se aproxima da que será utilizada pelos sistemas de terceira geração, pelos sistemas de comunicações pessoais (PCS) e principalmente porque pode ser gerada com um Magnetron comercial.

Durante o experimento, o gerador de microondas foi ajustado com o auxílio do

medidor de potência EMR-300 da Wandel & Goltermann para que as cobaias fossem submetidas a uma densidade de potência de  $1,6 \text{ mW/cm}^2$ , por um período de 1 hora diária. O valor de densidade de potência escolhido é o nível máximo de segurança adotado para seres humanos submetidos inconscientemente à radiação de 2,45 GHz [5].

Assim, a realização deste trabalho contribuiu para o entendimento próprio sobre o assunto, podendo trazer um maior esclarecimento à mídia, aos usuários e à população em geral, sobre os possíveis riscos do telefone móvel celular.

## 4.2 As Cobaias

As cobaias utilizadas nesse experimento são da espécie *Rattus norvegicus*, também chamadas de ratos de laboratório. Os atuais ratos de laboratório não se assemelham em nada aos extremamente agressivos ratos de esgoto. Obviamente, nenhuma espécie nova foi criada, porém, as alterações induzidas nos animais de laboratório ao longo do tempo, foram tão radicais a ponto de poder se considerar que, atualmente, as únicas semelhanças entre um rato de laboratório e um rato de esgoto são o número de cromossomos e o nome científico. As alterações induzidas nesses animais estão baseadas num complexo trabalho de acasalamento direcionado, eliminando filhotes com características indesejáveis [26].

Esse experimento teve início com 20 cobaias, sendo 16 fêmeas e 4 machos. As cobaias foram divididas em dois grupos: o primeiro grupo sofrendo o efeito da irradiação e o segundo que não sofria os efeitos da radiação de microondas. O segundo grupo foi chamado de grupo de controle. As dez cobaias de cada grupo foram distribuídas em três gaiolas da seguinte forma: em uma gaiola, ficavam os dois machos e nas outras duas gaiolas, as oito fêmeas eram distribuídas quatro a quatro. O grupo de controle serviu como base para observação dos possíveis efeitos causados pelas ondas eletromagnéticas emitidas pelo gerador de microondas.

### 4.2.1 Características Biológicas e Reprodutivas

O corpo de todos os organismos superiores é composto de muitos bilhões de células microscópicas. Cada uma dessas células contém em seu núcleo um número variável de estruturas denominadas cromossomos e cada um dos cromossomos é formado por um grande número de partículas chamadas genes, que funcionam como as unidades hereditárias do organismo. No sentido mais amplo, as células dos organismos superiores, aqui exemplificados pelos animais mamíferos, são divididas em dois grandes grupos:

- Células somáticas que ocorrem em todo o corpo dos animais e que apresentam as mais variadas funções;
- Células germinativas que ocorrem exclusivamente em órgãos sexuais denominados gônadas, quais sejam, os testículos nos machos e os ovários nas fêmeas.

É no processo de divisão das células germinativas que se formam estruturas denominadas gametas que são responsáveis pela transmissão dos genes de uma geração para outra, ou seja, dos pais para filhos. Dessa forma, nos testículos, são formados os gametas masculinos denominados espermatozóides, enquanto que, nos ovários, são formados os gametas femininos denominados óvulos.

O processo pelo qual ocorre a fusão do espermatozóide com o óvulo no interior do corpo feminino para formação de um embrião cujo desenvolvimento irá originar um novo indivíduo é chamado de fecundação.

#### Sistemas Reprodutivos Masculino e Feminino

Nos machos, o sistema reprodutivo é formado por um par de testículos, glândulas sexuais acessórias e um conjunto de ductos sexuais, através dos quais os espermatozóides e o fluido seminal são eliminados no momento da ejaculação. Esse sistema será descrito a seguir de forma bem resumida.

#### a) Testículos

Os testículos são os órgãos sexuais primários dos machos. Em todos os mamíferos, com exceção de alguns como a baleia, o elefante, o rinoceronte e a foca, os testículos se localizam externamente ao corpo em uma bolsa, denominada bolsa escrotal. Essa localização é importante para que ocorra o processo de termorregulação testicular que é fundamental para a viabilização dos espermatozóides. Nas aves e nas espécies mencionadas acima, os testículos se localizam no interior da cavidade abdominal, adjacentes aos rins.

#### b) Glândulas Sexuais Acessórias

As glândulas sexuais acessórias, de maneira geral, estão representadas por uma próstata, duas vesículas seminais e, eventualmente, por mais duas glândulas denominadas bulbo-uretrais. Todas essas glândulas fazem parte do sistema reprodutivo masculino, tendo a função primordial de produzirem substâncias líquidas que compõem o líquido ou fluido seminal, servindo de meio para a sobrevivência dos espermatozóides ejaculados.

#### c) Ductos Sexuais

Os ductos sexuais são constituídos pelos epidídimos e pelos canais deferentes. Cada animal macho apresenta um epidídimo e um canal deferente para cada testículo. Os epidídimos situam-se no interior da bolsa escrotal ao lado de cada testículo e são divididos em três partes distintas: cabeça, corpo e cauda. É nos epidídimos que ocorre o armazenamento e a maturação dos espermatozóides. Os canais deferentes ligam cada epidídimo ao início da uretra peniana e constituem o caminho pelo qual os espermatozóides atingem o exterior do organismo masculino.

Nas fêmeas, o sistema reprodutivo é formado por um par de ovários e um conjunto de ductos sexuais nos quais ocorre o transporte dos ovos, o desenvolvimento dos embriões em caso de fertilização e a saída dos fetos por ocasião do parto. Esse sistema será descrito a seguir de forma bem resumida.

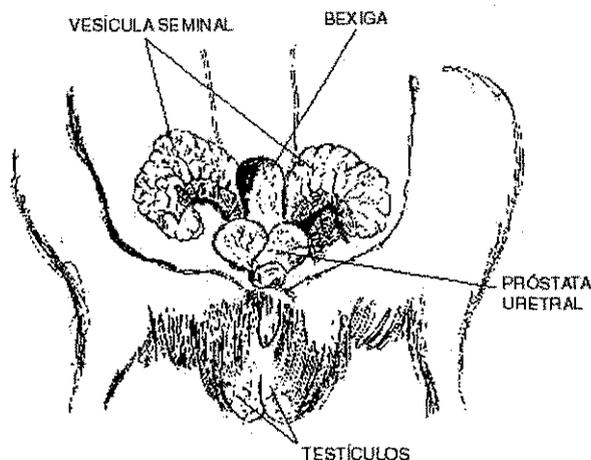


Figura 4.1: Aparelho reprodutor do macho.

a) Ovários

Os ovários são os órgãos sexuais primários das fêmeas e são homólogos em função aos testículos dos machos. Os ovários situam-se no interior da cavidade abdominal apresentando uma simetria bilateral no que diz respeito às suas localizações.

b) Ductos Sexuais

Nas fêmeas, os ductos sexuais são constituídos pelos oviductos ou trompas de Falópio, cornos uterinos, corpo uterino e vagina. Os oócitos ou folículos liberados são captados por estruturas denominadas infundíbulos e levados aos oviductos que se comunicam com os cornos uterinos. Todas essas estruturas existem aos pares, ou seja, uma para cada ovário. Dessa forma, a captação dos folículos liberados por cada ovário se faz de maneira independente, mesmo que concomitantemente. Os dois cornos uterinos, direito e esquerdo, convergem para um único corpo do útero, que por sua vez, comunica-se com o exterior através do canal vaginal. Delimitando o canal vaginal do corpo do útero, existe uma estrutura denominada cérvix que funciona como uma barreira à passagem de agentes contaminantes para o interior uterino. Em ocasiões determinadas pelo cio ou pelo parto, o cérvix se relaxa, permitindo a passagem dos espermatozóides ou fetos, respectivamente.

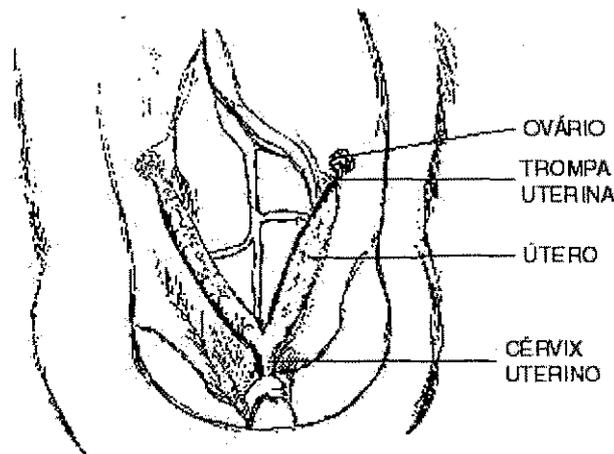


Figura 4.2: Aparelho reprodutor da fêmea.

### Fisiologia da Reprodução

Os órgãos primários da reprodução, testículos nos machos e ovários nas fêmeas, que já se encontram completamente formados ao nascimento, não são funcionais do ponto de vista reprodutivo até o início de uma época bem definida e chamada puberdade. Só, a partir dessa época, é que os animais estão aptos a se reproduzir e a concorrer para a perpetuação de suas espécies. A idade na qual os animais atingem a puberdade varia nas espécies e dentro de cada uma varia ainda em função de modificações ou fatores ambientais exemplificados pela nutrição, temperatura, umidade, fotoperiodicidade, convivência comum entre machos e fêmeas.

Todo processo reprodutivo que se inicia por ocasião da puberdade, tanto nos machos como nas fêmeas, é controlado por substâncias denominadas hormônios que circulam pelas vias sanguíneas dos animais. Assim, em estruturas glandulares cerebrais denominadas hipotálamo e hipófise, existe a produção de hormônios que controlam a produção de outros hormônios pelas gônadas masculinas ou femininas. Dessa forma, em uma seqüência cíclica de eventos, os hormônios hipotalâmicos controlam a síntese e liberação de hormônios hipofisários, que por sua vez controlam a formação e maturação dos gametas, além de controlarem a síntese e liberação dos hormônios gonadais.

Tais hormônios gonadais, além de serem responsáveis pelas modificações dos órgãos genitais femininos no curso do ciclo estral, atuam mantendo a gestação e inibindo ou estimulando a formação dos hormônios hipotalâmicos.

### Ciclo Estral

Enquanto, nos machos, os testículos produzem alguns milhões de espermatozóides diariamente, nas fêmeas, os ovários apresentam a produção de alguns óvulos por vez, de acordo com um ritmo funcional definido do sistema reprodutivo feminino chamado de ciclo estral.

Mesmo que cada espécie tenha suas próprias peculiaridades com respeito ao ciclo estral, todas coincidem nos aspectos básicos. Assim, esse ciclo nas fêmeas dos mamíferos divide-se em quatro fases ou períodos: proestro, estro, metaestro e diestro.

- Proestro: É a fase na qual ocorre o amadurecimento de um ou mais folículos, dependendo da espécie;
- Estro: É a fase na qual a fêmea apresenta o desejo sexual e está apta ao acasalamento. É nesta fase que ocorre o fenômeno da ovulação;
- Metaestro: É a fase que corresponde a formação de uma ou mais estruturas denominadas corpos lúteos na superfície do ovário, exatamente nos pontos onde ocorreram as ovulações. Os corpos lúteos têm a função de produzir um hormônio denominado progesterona que impede a maturação de novos folículos e permite a manutenção de gestação;
- Diestro: É a fase que corresponde à atuação da progesterona no sentido de impedir o amadurecimento dos novos folículos.

A duração do ciclo estral de cada espécie depende fundamentalmente do tempo necessário para regressão de corpo lúteo e cessação da ação da progesterona. De maneira geral, a duração do ciclo é de alguns dias em algumas espécies, podendo ser de até 6

meses em outras.

Existe ainda uma outra fase, que não faz parte do ciclo estral propriamente dito, na qual o ovário se encontra inativo do ponto de vista de amadurecimento folicular. É a fase denominada de anestro e que pode ser verificada, por exemplo, durante o período de gestação das fêmeas ou após o encerramento da vida reprodutiva das mesmas.

### **Cópula e Fertilização**

A cópula é o processo que inclui a penetração do pênis no interior da vagina com a conseqüente ejaculação e deposição dos espermatozóides no organismo feminino. A cópula só ocorre durante a fase do ciclo estral chamada de estro ou cio que, como já foi visto, é o período no qual a fêmea está receptiva ao macho.

Em seqüência à cópula, ocorre a migração dos espermatozóides pelo interior do sistema genital feminino. Do total dos espermatozóides que são ejaculados apenas algumas centenas de milhões conseguem atingir as trompas de Falópio para encontrarem os óvulos e apenas um consegue penetrar em cada óvulo para promover a união do material genético masculino com o feminino para formação de um ovo ou zigoto. Todos os demais espermatozóides ejaculados são destruídos e eliminados do sistema genital feminino.

O número de zigotos que se forma é uma função do número de óvulos liberados pelas fêmeas a cada estro. Assim, existem espécies que normalmente ovulam apenas um óvulo por ciclo como é o caso da vaca e da égua. Tais espécies são chamadas de uníparas. Por outro lado, existem espécies que ovulam de dois até mais de vinte óvulos, como as ratas e camundongos. Tais espécies são chamadas de múltiparas.

### **Gestação e Parto**

Uma vez originados, os ovos ou zigotos migram das trompas de Falópio para os cornos uterinos, onde, já na forma de embriões, se fixam na sua parede através de um proces-

so chamado nidadação e vão, paulatinamente, se desenvolvendo até a formação de fetos completos. Para que tal desenvolvimento ocorra, é necessário o surgimento de uma estrutura conhecida como placenta, que tem por função realizar um estreito contato de natureza vascular para permitir a passagem de elementos nutritivos da mãe para os fetos. No final de algum tempo, que é variável de espécie para espécie, tem-se a expulsão dos fetos do interior do útero materno através do mecanismo conhecido como parto.

O período compreendido entre a fertilização dos óvulos pelos espermatozóides até o momento do parto é chamado de período de gestação e é variável. Por exemplo, na *hamster*, este período é de 16 dias.

### **Lactação**

Ao nascimento, o tamanho da ninhada dos animais de laboratório varia de acordo com a espécie, dependendo basicamente de fatores maternos representados pelo número de óvulos liberados por estro, mortalidade embrionária pré e pós-implantação e capacidade uterina de levar a termo o desenvolvimento dos embriões viáveis.

Ao nascerem, os filhotes de todos os animais mamíferos, incluindo-se os de laboratório, dependem dos cuidados e da capacidade de aleitamento materno para sobreviverem até a fase de desmame.

Na fase final da gestação, as células que constituem a mama começam a produzir substâncias gordurosas e protéicas que se acumulam formando um material líquido denominado colostro que continua sendo produzido durante um período pequeno após o parto. Além de apresentar-se como substância nutritiva, o colostro é importante pois é rico em anticorpos que são fundamentais na ação de proteção dos filhotes contra um grande número de doenças. Uma vez cessada a produção de colostro, a glândula mamaria inicia a secreção de leite propriamente dito. Da mesma maneira que o sistema reprodutivo como um todo, a glândula mamaria depende da ação de hormônios para seu pleno funcionamento. Assim, desde o momento do parto até a fase de desmame, a

glândula mamaria sofre a ação de um hormônio produzido pela hipófise, a prolactina, que tem por função principal a estimulação da produção de leite.

Ao desmame, com a cessação da sucção mamaria executada pelos filhotes ocorre a diminuição da síntese de prolactina e, conseqüentemente, tem-se o término do período de lactação, que é extremamente variável entre os animais.

### **Características Biológicas Ideais para o *Rattus norvegicus***

#### **a) Macho**

- Acasalamento: 8 - 10 semanas
- Peso adulto: 350 - 500 gramas
- Final de reprodução: 10 - 12 meses

#### **b) Fêmea**

- Acasalamento: 8 - 10 semanas
- Peso adulto: 250 - 350 gramas
- Final da reprodução: 10 - 12 meses
- Ciclo estral: 4 - 5 dias
- Duração do estro: 10 - 20 horas
- Mecanismo de ovulação: espontâneo
- Período de gestação: 20 - 22 dias
- Tamanho da ninhada ao nascimento: 5 - 15 animais
- Peso médio ao nascimento: 5 - 6 gramas
- Período de aleitamento: 21 dias

- Peso médio à desmama: 40 - 50 gramas
- Retorno ao estro: pós-parto

### **Comportamento Reprodutivo**

Nos machos, observa-se uma distância maior entre a abertura genital e o ânus do que nas fêmeas. Os testículos podem ser visualizados através da parede abdominal ao nascimento.

É interessante assinalar que fêmeas de ratos mantidas em grupos homossexuais entram em anestro ou repouso sexual. Pela introdução de um macho ou colocadas em caixas com seu cheiro, em cerca de 48-72 horas, retornam ao ciclo estral. Este fato é importante quando se pretende a sincronização deaios para fins de acasalamento e ocorrência de partos simultâneos. É conhecido como Efeito Whitten.

Por outro lado, fêmeas em início de gestação, expostas ao contato físico ou ao cheiro de machos de lotes diferentes, abortam ou produzem absorção embrionária. Esta ocorrência é denominada Efeito Bruce.

Quando mais de uma fêmea prenha é mantida numa mesma caixa, há mistura de ninhadas, sem qualquer atitude de rejeição pelas mães lactantes.

Por ocasião dos partos, obtêm-se ninhadas de 8-13 filhotes por fêmea, às vezes 16-18, procurando-se manter em grupo de 8 lactentes, a fim de se dispor de prole homogênea em desenvolvimento. A gestação evolui, em média, em 21 dias e o desmame se dá aos 21 dias de idade dos filhotes.

### **4.2.2 Nutrição**

A nutrição adequada é um dos fatores mais importantes para o animal de laboratório, porque lhe dá condições de atingir seu potencial genético, de crescimento, reprodução,

longevidade e resposta a estímulos.

As necessidades energéticas de um animal dependem de seu momento fisiológico, de sua atividade física e da temperatura ambiente. Gestação, lactação e crescimento também aumentam estas necessidades.

### **Dieta Utilizada no Laboratório**

- Composição Básica do Produto: milho, farelo de trigo, farelo de soja, farinha de carne, farelo de arroz cru, carbonato de cálcio, fósforo bicálcico, sal e pré-mix.
- Eventuais Substitutivos: farelo de mandioca, farelo de arroz solvente, feno de alfafa, gordura vegetal, farinha de peixe, farinha de sangue, farinha de ossos, quirera de arroz, farelo de glúten de milho.

### **Hidratação**

Água é um dos mais importantes componentes do organismo e a sua ausência é incompatível com a vida. É imprescindível que os animais de laboratório tenham livre acesso à água. As necessidades básicas de água variam em função da dieta, fatores biológicos, ambientes e espécies animais.

### **Média de Consumo por Rato**

- 20 - 45 ml de H<sub>2</sub>O ingerida diariamente
- 12 - 15 g de ração consumida diariamente
- 11 - 13 dias: início de ingestão de ração pelos filhotes

## **4.3 As Experiências**

Durante esse trabalho, foi realizada uma série de experiências com intuito de observar efeitos biológicos e comportamentais provocados pela radiação de microondas nos ratos

de laboratório. As experiências realizadas durante esse período serão apresentadas nessa seção, já os resultados obtidos serão apresentados no próximo capítulo.

#### **4.3.1 Consumo de Água, Ração e Pesagem**

Ao longo de todo experimento, simultaneamente às demais experiências, foi realizada a monitoração do consumo de água e ração ingeridas pelas cobaias do grupo de controle e experimental e a avaliação do peso dos dois grupos.

#### **4.3.2 Reprodução em Ratos sob Efeitos das Ondas Eletromagnéticas**

No primeiro experimento, 16 cobaias fêmeas foram isoladas de qualquer presença de animais machos para que entrassem em anestro. Feito isso, foram realizados exames de lâminas do esfregaço vaginal após decorridos 10 dias do isolamento para comprovação de ausência de ciclo estral.

A finalidade do isolamento é que quando os machos fossem colocados na gaiola as fêmeas reiniciassem o ciclo estral ao mesmo tempo e possivelmente tornassem prenhas ao mesmo tempo.

Durante todo o experimento, as cobaias sofreram radiação do gerador de microondas por um período de 1h/dia.

Também foram monitorados o peso do animal, a ingestão de alimentos e o consumo de água. Próximo ao nascimento das proles, todos os machos foram retirados e sacrificados para análise do hematócito e de possíveis alterações em órgãos.

Todas as fêmeas foram despresadas e também foram sujeitas a teste de hematócito e laparotomia exploradora para observação dos órgãos internos.

### 4.3.3 Esfregaço Vaginal

Fez-se esfregaço vaginal nas cobaias diariamente durante 5 dias, após os 10 dias de isolamento, ou seja, décimo dia de experimento para comprovação de anestro.

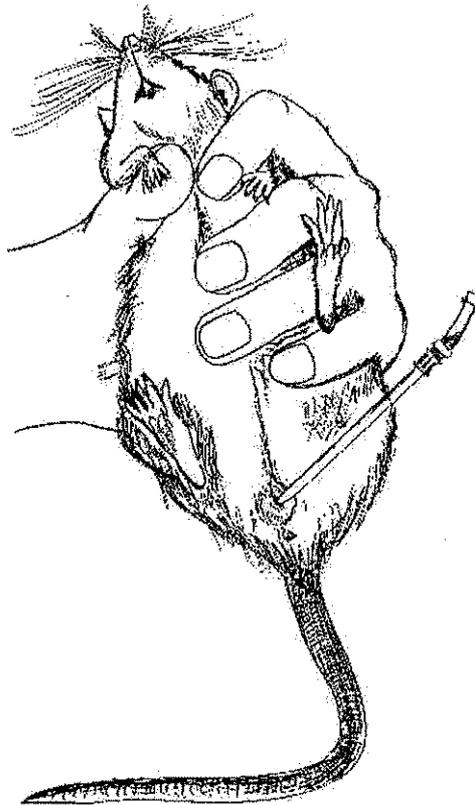


Figura 4.3: Esfregaço vaginal.

Procedimentos:

- Utilizou-se uma haste metálica de calibre adequado que foi lavada 3 a 4 vezes em água destilada;
- A cobaia foi segurada, seguindo a ilustração para esfregaço vaginal;
- Introduziu-se cerca de 0.5cm da ponta da haste na vagina da cobaia, colhendo assim o fluido vaginal;

- Estendeu-se o material obtido numa lâmina bem limpa, isenta de gordura;
- Examinou-se no microscópio com aumento médio;
- Identificou-se as fases do ciclo de acordo com as figuras apresentadas na Figura 4.4.

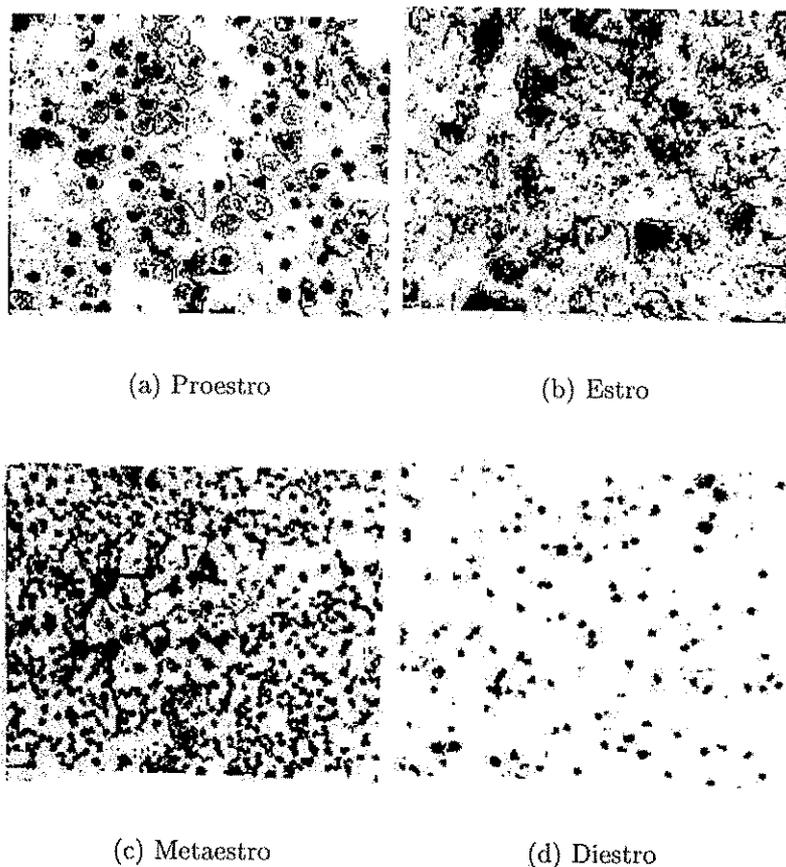


Figura 4.4: Ciclo estral.

#### 4.3.4 Exames Hematológicos

A quantidade de hemácias existente no sangue é um indicador de grande importância na avaliação clínica dos indivíduos. A sua expressão mais simples é o hematócrito.

O hematócrito representa o percentual ocupado pelas hemácias no sangue. O volume de hemácias no sangue tem relação direta com a quantidade de hemoglobina. O hematócrito é, portanto, um indicador indireto da capacidade do sangue transportar oxigênio aos tecidos.

Quando se coloca uma quantidade de sangue em um tubo de vidro e centrifuga-se o mesmo, por 3 minutos, as células se depositam, de acordo com a sua densidade. As hemácias se depositam no fundo do tubo, em virtude de sua maior densidade. Sobre estas, deposita-se uma finíssima camada de glóbulos brancos e plaquetas e, na parte superior, fica o plasma.

No sangue normal, a coluna de hemácias ocupa 40 a 42% da altura total da coluna de sangue. Nas anemias, a altura da coluna das hemácias será menor e, na policitemia, aquela altura será maior.

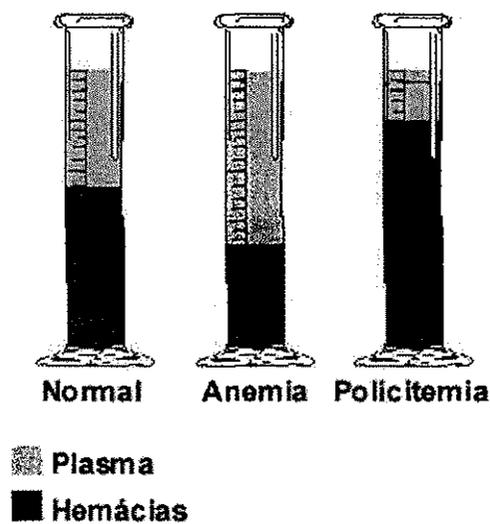


Figura 4.5: Hematócrito.

### 4.3.5 Exames Anátomo-patológicos

Para esta experiência, as cobaias foram submetidas à inalação do anestésico até o estágio ótimo para o início da cirurgia, e, a partir daí, foi feita uma incisão na parede abdominal (laparotomia exploradora), no crânio (craniectomia), com a conseqüente retirada dos fígados, baços, rins, ovários, cérebros e, nos machos, foi feita a abertura da bolsa escrotal (orquiectomia) para retirada dos testículos. Duas das incisões mencionadas anteriormente podem ser observadas nas Figuras 4.6 e 4.7.

O objetivo principal dessa experiência é observar alterações na forma e no tamanho dos órgãos das cobaias, além de outras características macroscópicas e microscópicas.

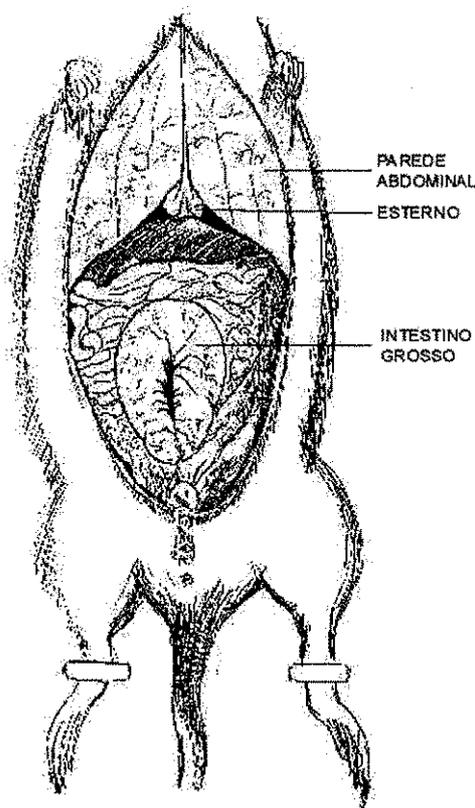


Figura 4.6: Laparotomia exploradora.

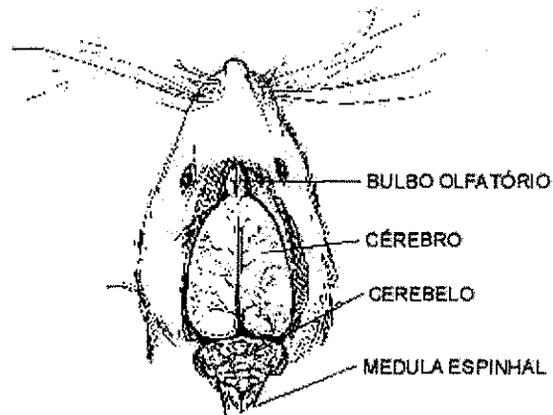


Figura 4.7: Craniectomia.

#### 4.3.6 Estudos Comportamentais

O objetivo desta experiência é observar alterações comportamentais em cobaias submetidas à radiação de microondas. Para isso, foi utilizada uma gaiola de Skinner [27, 28], que será descrita posteriormente. A seguir, serão apresentados alguns conceitos básicos de condicionamento operante, que é o processo compreendido como sendo o eliciamento de um comportamento alvo mediante a utilização de reforço-estímulo capaz de aumentar a frequência deste comportamento. O processo é dividido em etapas:

- **Nível operante:** Exercício de observação do comportamento da cobaia antes do início do condicionamento propriamente dito;
- **Treino ao bebedouro:** Exercício cujo objetivo é fazer com que a cobaia associe o estímulo sonoro emitido pelo mecanismo do bebedouro ao ato de beber água;
- **Modelagem:** Refere-se às ações do experimentador destinadas a fazer com que a cobaia atinja o comportamento terminal (pressão sobre a barra);
- **Saciação:** Tem como finalidade observar a quantidade de gotas necessárias para saciar a cobaia;

- Intervalo variável: Exercício que tem como finalidade não criar uma noção de tempo fixo para que a cobaia espere o reforço;
- Discriminação: Tem como finalidade fazer com que a cobaia associe a luz ao ato de beber água;
- Generalização: Tem como finalidade observar que um estímulo específico pode adquirir um forte poder de controle sobre uma determinada resposta, quando esta for reforçada em sua presença;
- Extinção: Exercício correspondente à suspensão do estímulo reforçador, com a finalidade de comprovar que na ausência do reforço ocorre um decréscimo na frequência do comportamento terminal.

Para a realização desses estudos comportamentais, foram utilizadas gaiolas experimentais, que seguem os princípios básicos de um aparelho analógico desenvolvido por Skinner, chamado de câmara experimental. A parte onde a cobaia permanece durante o experimento tem uma porta de plástico transparente colocada na parte frontal do aparelho, sem qualquer tipo de trava para mantê-la fechada, com um dispositivo que a impede de se deslocar. Há uma bandeja colocada na parte inferior para recolher detritos. Existe uma barra no interior que, com uma leve pressão, produz um “clic”. O bebedouro está posicionado abaixo da barra que, quando pressionada, fornece uma gota de água.

Foram utilizadas 10 cobaias (5 do grupo de controle e 5 do grupo experimental), do sexo masculino, adultas, ingênuas (não condicionadas), com peso entre 250 e 280 gramas, que tiveram uma privação de água por um período de 36 horas. Foram realizadas as seguintes etapas:

### **Nível Operante**

No condicionamento operante, o reforçamento aumenta a probabilidade de ocorrência de uma resposta já existente no repertório natural de um organismo. A frequência com que esta resposta surge, antes de um processo qualquer de condicionamento, é

conhecido como nível operante [27, 28].

Assim, para esse caso específico, uma vez dentro da gaiola, a cobaia foi observada durante 5 minutos, registrando-se os comportamentos mais freqüentes (pré-teste), depois disso esses comportamentos foram registrados durante 30 minutos.

### **Treino ao Bebedouro**

Grande parte de trabalhos em laboratório tem como finalidade mostrar um princípio básico do comportamento que pode ser sintetizado da seguinte forma: “respostas que são seguidas por reforço aumentam de freqüência”. Este exercício tem como finalidade:

- Fazer com que a cobaia se aproxime do bebedouro quando ouvir o ruído do funcionamento deste;
- Eliminar certos defeitos emocionais que o som do bebedouro possa produzir;
- Associar o som do bebedouro ao ato de beber.

Para o caso específico, coloca-se a cobaia dentro da gaiola e espera-se que ela encontre uma gota de água previamente ofertada, concedendo-lhe mais 5 gotas consecutivas. Numa segunda etapa, a cobaia recebe um total de 20 gotas não-consecutivas, ministradas mediante um afastamento mínimo entre a cobaia e o bebedouro.

### **Modelagem**

Aplicando a técnica de aproximações sucessivas, o experimentador vai modelar o comportamento de pressionar a barra. É importante observar que para o estímulo reforçador adquirir a eficácia máxima, este deve ser apresentado imediatamente depois que o comportamento desejado tenha ocorrido. Um atraso, de poucos segundos, será suficiente para reduzir a eficácia do reforço.

A resposta a ser modelada será a posição da cobaia na gaiola em relação à barra. O desempenho final desejado é fazer com que a cobaia pressione a barra e obtenha água

sem que o experimentador precise interferir. A escolha dos comportamentos a serem reforçados e os critérios de mudança da resposta escolhida dependerão do experimentador.

Concluída esta fase o bebedouro deve ser posicionado na posição automático e deve-se deixar a cobaia na gaiola até que a mesma pressione a barra 100 vezes.

### **Saciação**

Esta experiência é uma continuação da anterior (Modelagem), ou seja, a cobaia deve ser colocada na gaiola, deixando-a responder, até ficar saciada (10 minutos sem pressionar a barra). O objetivo principal desta experiência é saber qual o número médio de reforços necessários para saciar a cobaia.

### **Intervalo Variável**

O intervalo variável é um esquema de reforçamento intermitente, no qual o reforço é liberado após intervalos de tempos preestabelecidos. Para este caso específico, foram utilizados 20, 40, 10 e 50 segundos e, ao final de cada intervalo, foi feito o registro de quantas vezes a cobaia pressionou a barra. Esse procedimento foi realizado 25 vezes.

### **Discriminação**

Nesta experiência, observa-se a influência da luz sobre a emissão de um comportamento. Reforçando uma resposta numa determinada situação, é mais provável que ela seja emitida com maior frequência numa situação igual ou quase igual. Este controle que a situação ou alguns estímulos da situação adquirem sobre a emissão de respostas é denominado controle discriminativo.

Pode-se dizer que uma resposta adquire estabilidade, e será emitida com mais frequência, numa situação estimuladora na qual o reforço segue o comportamento. Por outro lado, esta mesma resposta não será frequente numa situação em que o reforço não acompanha sua emissão. Em outras palavras, pode-se dizer que a cobaia estabeleceu

a discriminação quando uma certa resposta é emitida com uma alta frequência sob as condições de  $S^D$  (com luz) e com uma baixa frequência (talvez zero) sob as condições de  $S^A$  (sem luz).

### **Generalização**

Um estímulo específico pode adquirir um forte poder de controle sobre uma determinada resposta quando esta for reforçada em sua presença, como pôde ser verificado na experiência anterior. Na presença do estímulo luminoso, a resposta de pressionar a barra foi reforçada, enquanto na ausência nenhum reforço ocorreu. Estabeleceu-se, deste modo, uma discriminação. A cobaia passa a emitir diferentes respostas em cada uma das situações.

Será mostrado que o poder de controle de um estímulo discriminativo não é rigorosamente específico. Estímulos de propriedades físicas semelhantes ao  $S^D$  adquirem, sem condicionamento prévio, algum poder de controle. Assim, por exemplo, quando um som de determinada frequência adquire poder discriminativo sobre um determinado comportamento, outros sons de maior ou menor frequência igualmente controlam esse comportamento com maior ou menor eficiência, dependendo do quanto se afastam, em frequência, do  $S^D$  inicialmente estabelecido. Nesse caso propriamente dito, o  $S^D$  que já está bem estabelecido, é a luz de intensidade intermediária.

### **Extinção**

Esta experiência tem como objetivo observar o efeito produzido sobre a frequência do comportamento, quando suspende-se a condição experimental usada para promover o aumento do aparecimento do comportamento e para mantê-lo, ou seja, saber o que ocorre com a frequência da resposta de pressionar a barra, quando deixa-se de apresentar o reforço logo depois da resposta. A extinção estará completa quando a cobaia permanecer 10 minutos sem pressionar a barra.

## 4.4 Conclusão

Neste capítulo, foi mostrado que as cobaias utilizadas no experimento são da espécie *Rattus norvegicus*, também conhecidas como ratos de laboratório. A partir daí, foram apresentados detalhes destes animais como, por exemplo, suas características biológicas e reprodutivas. Além das cobaias, o capítulo apresentou as experiências realizadas: monitoração do consumo de água, ração e pesagem das cobaias, reprodução com cobaias sob efeito das ondas eletromagnéticas, esfregaço vaginal, exames hematológicos, exames anátomo-patológicos e estudos comportamentais.

No próximo capítulo, será feita uma análise detalhada de todos os exames realizados neste capítulo e a partir daí os resultados obtidos serão apresentados.

# Capítulo 5

## Resultados

### 5.1 Introdução

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos nas experiências realizadas em cobaias submetidas à radiação de microondas. Estas experiências foram descritas no capítulo anterior.

### 5.2 Consumo de Água, Ração e Pesagem

Ao longo de todo experimento (aproximadamente 9 meses), em paralelo às demais experiências, foi realizada a monitoração do consumo de água e ração ingeridas pelas cobaias do grupo de controle e do grupo experimental e a avaliação do peso dos dois grupos. Como o número de cobaias variava ao longo do tempo, foi feita uma média do número de cobaias por dia e a partir daí foi feito o cálculo do consumo diário de água e ração de cada cobaia. Esses resultados são apresentados na Tabela 5.1.

Com os dados apresentados na Tabela 5.1, pode-se observar um aumento no consumo de água de cerca de 7,64% e uma diminuição no consumo de ração de cerca 3,24% para o grupo experimental quando comparados ao grupo de controle. O aumento no consumo de água por parte do grupo experimental era uma coisa esperada, visto que a radiação produzida pelo gerador de microondas provoca aquecimento nas cobaias.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
Média de Cobaias	20,25	20,21
Ração (g)	11,75	11,37
Água (ml)	30,58	32,91

Tabela 5.1: Consumo de água e ração.

Os resultados da pesagem das cobaias estão apresentados na Tabela 5.2.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
Número de Cobaias	41	41
Peso Total (kg)	9,07	8,62
Peso Médio (g)	221,22	210,36

Tabela 5.2: Pesagem das cobaias.

Com os dados apresentados na Tabela 5.2, pode-se observar que o peso médio das cobaias do grupo de controle é cerca 4,91% maior que o peso médio das cobaias do grupo experimental, confirmando os dados apresentados na Tabela 5.1.

### 5.3 Reprodução em Cobaias sob Efeitos das Ondas Eletromagnéticas

Como já foi mencionado, no Capítulo 4, este experimento teve início com 20 cobaias, sendo 16 fêmeas e 4 machos. Estas cobaias foram divididas em dois grupos de dez (8 fêmeas e 2 machos), ou seja, dez cobaias no grupo de controle e dez cobaias no grupo experimental. As vinte cobaias iniciais foram chamadas de cobaias da 1ª geração.

Essa experiência teve como objetivo contar o número de filhotes gerados pelas cobaias durante três gerações, ou seja, observar os efeitos na reprodução das cobaias submetidas à radiação de microondas, considerando que existem dados na literatura mostrando uma relação direta entre os níveis de densidade de potência utilizados e a

taxa de mortalidade de filhotes no período de gestação [4, 22, 23, 29, 30, 31].

Como o número de cobaias utilizadas em cada geração foi pequeno do ponto de vista estatístico, utilizou-se a Distribuição de  $t$  de Student [32, 33], com um nível de confiança de 90%. A seguir, serão apresentados os resultados obtidos nesta experiência.

Inicialmente, foi feita a contagem dos filhotes gerados pelas cobaias da 1ª geração. Esses dados são apresentados na Tabela 5.3.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
Número de fêmeas	8	8
Número de filhotes	85	89
Média de filhotes	10,62	11,12
Intervalo de Confiança	[8,91;12,34]	[9,15;13,10]

Tabela 5.3: Número de filhotes gerados pela 1ª geração.

Pelos dados apresentados na Tabela 5.3, observa-se que a quantidade de filhotes gerados pelo grupo experimental foi cerca de 4,7% maior que a quantidade de filhotes gerados pelo grupo de controle.

Os resultados obtidos para a 2ª geração foram de grande importância, tendo em vista que esta geração sofreu os efeitos da radiação de microondas, desde o período embrionário. Os resultados obtidos para essa experiência estão apresentados na Tabela 5.4.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
Número de fêmeas	19	18
Número de filhotes	181	131
Média de filhotes	9,68	7,28
Intervalo de Confiança	[9,13;10,23]	[6,29;8,27]

Tabela 5.4: Número de filhotes gerados pela 2ª geração.

Pela Tabela 5.4, pode-se observar uma diminuição significativa, de cerca de 24,8%, no número de filhotes gerados pelas cobaias do grupo experimental, quando comparadas ao grupo de controle e uma diminuição de cerca de 34,56%, quando comparada com a quantidade de cobaias geradas pela 1ª geração do grupo experimental. Esse efeito aumentou o interesse pelos resultados dos exames anátomo-patológicos dos ovários e testículos.

Os resultados obtidos para a 3ª geração estão apresentados na Tabela 5.5.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
Número de fêmeas	27	15
Número de filhotes	262	114
Média de filhotes	9,7	7,6
Intervalo de Confiança	[8,97;10,43]	[6,51;8,69]

Tabela 5.5: Número de filhotes gerados pela 3ª geração.

Pelos dados apresentados na Tabela 5.5, observa-se que, a diminuição na fertilidade, observada nas cobaias da 2ª geração também foi observada nesta geração. Nesta geração a diminuição foi de 21,65%. Os resultados desta geração serviram para confirmar os efeitos provocados pela radiação de microondas na fertilidade das cobaias.

## 5.4 Esfregaço Vaginal

Para essa experiência, foram seguidos os procedimentos apresentados no Capítulo 4. Foram utilizadas 16 cobaias (8 de cada grupo), que durante 5 dias consecutivos foram submetidas ao esfregaço vaginal. Os resultados das lâminas podem ser observados na Tabela 5.6.

Assim, a equipe médica, depois de analisar os resultados apresentados, fez um laudo, afirmando que nas amostras de secreção vaginal colhidas foram encontradas células superficiais, células intermediárias e infiltrado leucocitário, com padrões patognomônicos

Cobaias	1 <sup>o</sup> Dia	2 <sup>o</sup> Dia	3 <sup>o</sup> Dia	4 <sup>o</sup> Dia	5 <sup>o</sup> Dia
Controle 1	Proestro	Estro	Metaestro	Proestro	Estro
Controle 2	?	?	Proestro	Metaestro	?
Controle 3	Diestro	?	Proestro	Estro	Metaestro
Controle 4	Proestro	Proestro	Estro	Metaestro	Proestro
Controle 5	?	Estro	Metaestro	?	Diestro
Controle 6	Estro	Estro	Metaestro	Proestro	Estro
Controle 7	Proestro	?	?	?	Metaestro
Controle 8	?	Proestro	Proestro	?	?
Experimental 1	Diestro	Metaestro	Proestro	Estro	Metaestro
Experimental 2	?	Proestro	Estro	Metaestro	Metaestro
Experimental 3	Proestro	Estro	Metaestro	?	Proestro
Experimental 4	Proestro	Estro	Metaestro	Diestro	Proestro
Experimental 5	Metaestro	Diestro	Proestro	Estro	Metaestro
Experimental 6	?	Proestro	?	Diestro	Proestro
Experimental 7	Metaestro	Diestro	Proestro	Estro	Metaestro
Experimental 8	Estro	Metaestro	Diestro	Proestro	Proestro

Tabela 5.6: Ciclo estral (As lacunas preenchidas pela (?) foram lâminas que não se coraram bem e, conseqüentemente, as fases do ciclo estral não puderam ser identificadas).

compatíveis com cada fase do ciclo estral, perfazendo o aspecto hormonal de normalidades, não revelando atipias ou qualquer tipo de diferença entre os dois grupos nessa experiência.

## 5.5 Exames Hematológicos

Como foi mencionado no capítulo anterior, esta experiência teve como objetivo analisar o sangue das cobaias dos dois grupos e comparar os resultados obtidos com os valores nominais encontrados na literatura. No Apêndice B, são apresentados os valores nominais dos elementos morfológicos do sangue para o homem e diversos animais, inclusive o rato. Os resultados obtidos nessa experiência estão apresentados na Tabela 5.7.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
RBC ( $\times 10^6$ )	6,76	6,63
HB (gm/dl)	13,78	15,01
HCT (%)	41,15	43,47
VCM ( $\mu^3$ )	62,30	65,93
HCM ( $\mu\mu\text{g}$ )	20,97	22,87
CHCM (%)	33,61	34,53
WBC ( $\times 10^3$ )	10,56	13,38
SEG (%)	24,85	25,03
N. BAST (%)	0	0,07
LYMPH (%)	69,15	68,49
MONO (%)	4,90	5,64
EOS (%)	0,90	0,79
BASO (%)	0	0

Tabela 5.7: Exame Hematológico.

Comparando os resultados da Tabela 5.7 com os valores nominais apresentados nas Tabelas B.1 e B.2, percebe-se que, a radiação de microondas não provocou alteração nos elementos morfológicos do sangue das cobaias do grupo experimental.

## 5.6 Exames Anátomo-patológicos

Como foi mencionado no capítulo anterior, esta experiência teve como objetivo observar alterações na forma e no tamanho dos órgãos das cobaias, além de outras características macroscópicas e microscópicas.

Após a retirada dos órgãos, os mesmos foram enviados ao laboratório de Patologia e este forneceu os seguintes resultados:

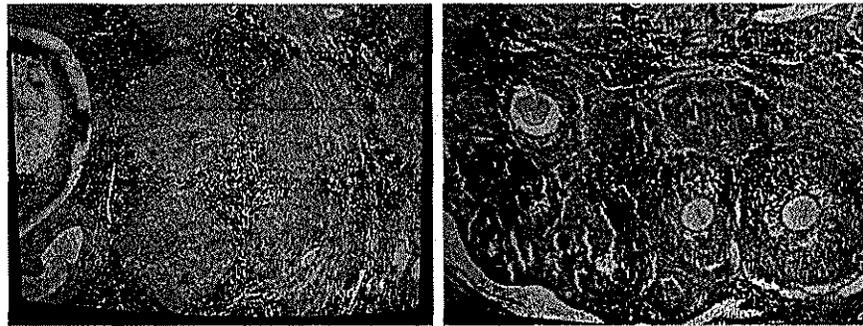
- Ovários

Foram examinados 10 ovários de cobaias do grupo de controle e 6 ovários de cobaias do grupo experimental.

Na macroscopia, foi observado que os ovários dos dois grupos tinham, em média, o mesmo tamanho (0,3 x 0,2 x 0,3 cm) e ambos apresentavam aspecto bocelado. A única diferença observada foi que o grupo experimental, além de apresentar aspecto bocelado, estava parcialmente recoberto por tecido adiposo.

Na microscopia, surgiram as primeiras diferenças. Para o grupo de controle, foi observado que os aspectos histológicos estavam compatíveis com o ciclo reprodutivo das cobaias. Foram observados vários folículos em diversas etapas de maturação, ao lado de corpos lúteos em involução. Já para o grupo experimental, foi observada a presença de estruturas de folículos em várias etapas de maturação, diminuição do número de corpos lúteos, além de raros cistos foliculares. As características mencionadas anteriormente podem ser observadas na Figura 5.1.

Os dados são pouco significativos para qualquer afirmação de possíveis anormalidades. Podendo, entretanto, esta discreta diminuição do número de corpos lúteos estar relacionada com a diminuição da capacidade de ovulação.



(a)

(b)

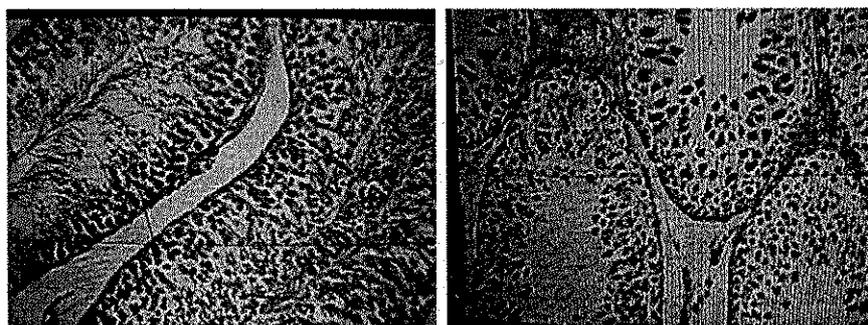
Figura 5.1: Microscopia dos ovários: (a) controle e (b) experimental.

- Testículos

Foram examinados 12 testículos de cobaias do grupo de controle e 27 testículos de cobaias do grupo experimental.

Na macroscopia, foi observado que os testículos dos dois grupos tinham, em média, o mesmo tamanho (1,1 x 0,45 x 0,4 cm) e ambos, após cortes longitudinais, apresentavam superfície compacta brancacenta.

Na microscopia, mais uma vez, surgiram as diferenças. Para o grupo de controle, foi observado em todas as lâminas aspecto histológico preservado, com espermatogênese e espermiogênese preservadas. Já para o grupo experimental, em todas as lâminas examinadas, foram observados túbulos seminíferos exibindo basicamente três tipos de células da linhagem germinativa: espermatogônias, espermátócitos de primeira ordem e espermátócitos de segunda ordem. Alguns poucos túbulos exibiram raras células da linhagem germinativa de tipo espermátide. As características mencionadas anteriormente podem ser observadas na Figura 5.2. Este quadro histológico caracteriza uma interrupção na maturação das células germinativas, o que leva a crer que existe uma correlação entre este resultado e o decréscimo na fertilidade verificada anteriormente.



(a)

(b)

Figura 5.2: Microscopia dos testículos: (a) controle e (b) experimental.

## 5.7 Estudos Comportamentais

Para as experiências de nível operante e de treino ao bebedouro, as cobaias dos dois grupos não apresentaram qualquer tipo de diferença e todas conseguiram passar para a etapa seguinte, a modelagem.

Como já foi mencionado anteriormente, a experiência de modelagem foi dividida em duas etapas: a primeira teve como objetivo fazer com que a cobaia pressionasse a barra e obtivesse água sem a interferência do experimentador e a segunda tinha como objetivo observar quanto tempo a cobaia levava para pressionar a barra 100 vezes.

As primeiras diferenças entre os dois grupos começaram a surgir na primeira etapa da modelagem. Do grupo de controle, todas as cinco cobaias obtiveram água sem a ajuda do experimentador na primeira tentativa. Já para o grupo experimental, houve uma diferença significativa, apenas três das cinco cobaias conseguiram beber água sem a ajuda do experimentador, sendo que uma delas na oitava tentativa. As duas cobaias restantes não conseguiram beber água mesmo depois de dez tentativas (cada tentativa foi feita num dia diferente).

Para a segunda etapa da modelagem, o grupo de controle levou, em média, apro-

ximadamente 9 minutos contra cerca de 12 minutos do grupo experimental para pressionar a barra 100 vezes. Pelos valores mencionados anteriormente, percebe-se que o grupo de controle foi 33,3% mais rápido que o grupo experimental. As curvas da experiência de modelagem estão apresentadas nas Figuras 5.3 e 5.4.

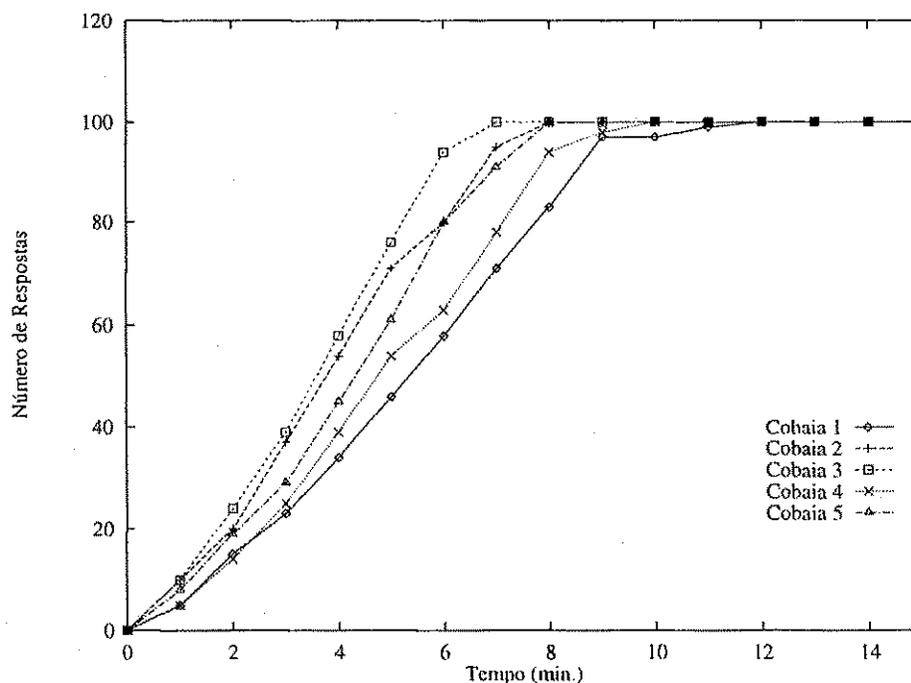


Figura 5.3: Segunda etapa da modelagem do grupo de controle.

A experiência de saciação tinha como objetivo determinar o número médio de reforços (gotas de água) para saciar a cobaia. Os resultados obtidos para os dois grupos podem ser observados nas Figuras 5.5 e 5.6.

A partir das curvas das Figuras 5.5 e 5.6, encontra-se o valor médio de reforços necessários para saciar a cobaia. Para o grupo de controle, o valor encontrado foi de aproximadamente 359 gotas e para o grupo experimental este valor foi de aproximadamente 312 gotas.

A Tabela 5.8 apresenta o valor médio de reforços obtidos por cobaia para a experiência de intervalo variável para intervalos preestabelecidos (20, 40, 10 e 50 segundos).

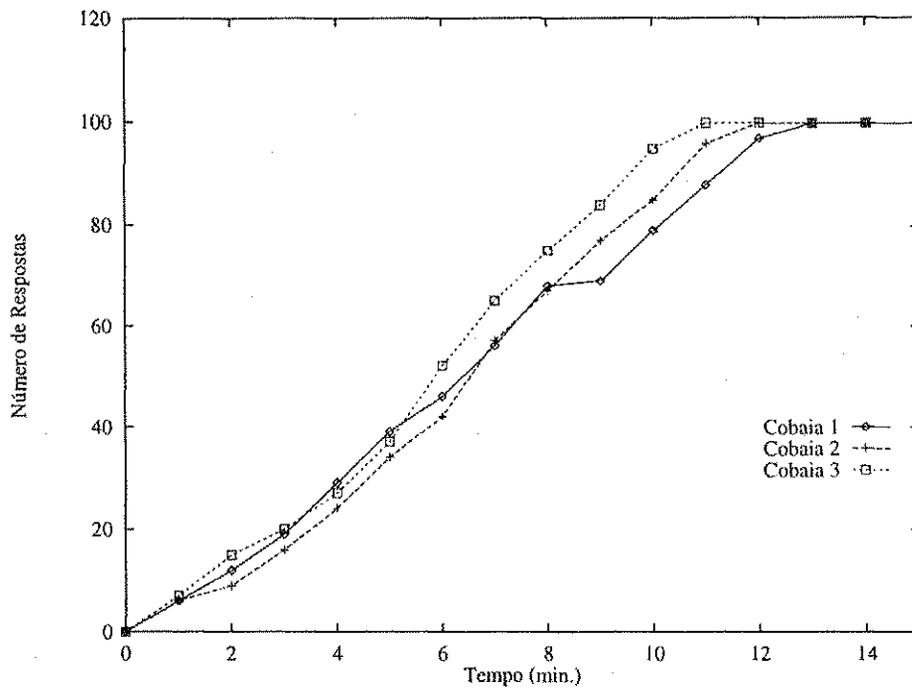


Figura 5.4: Segunda etapa da modelagem do grupo experimental.

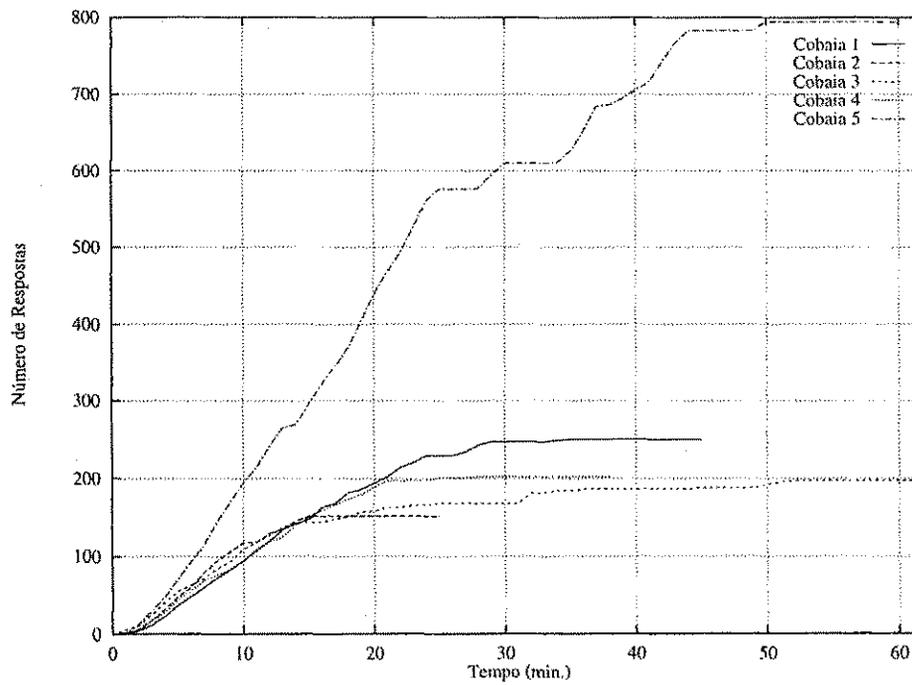


Figura 5.5: Saciação do grupo de controle.

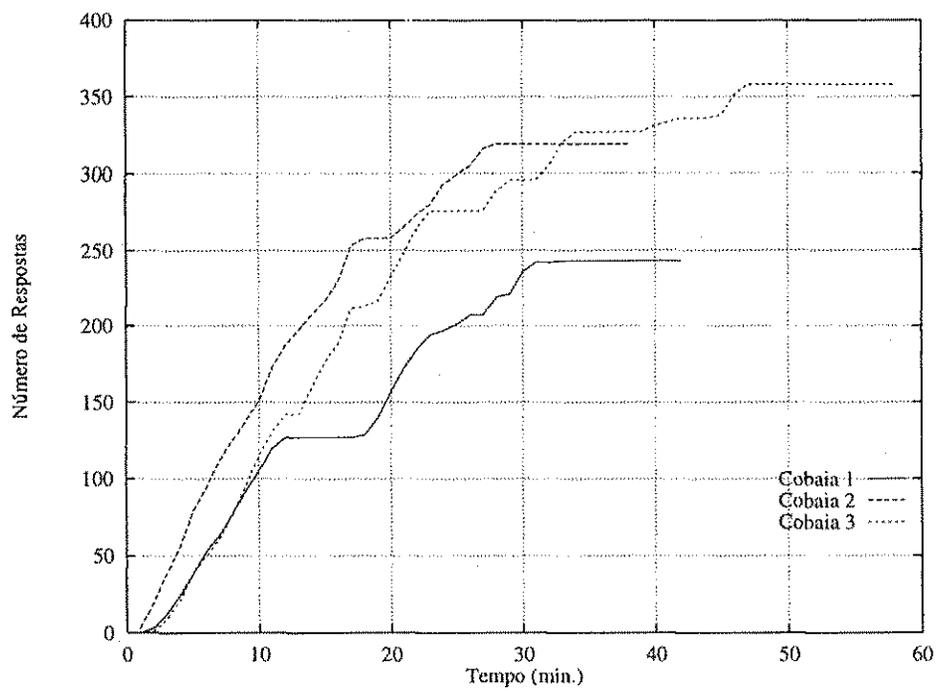


Figura 5.6: Saciação do grupo experimental.

Grupo de Controle	Grupo Experimental
11,71	11,56
11,14	10,13
11,05	10,42
12,42	-
15,19	-

Tabela 5.8: Número de reforços para a experiência de intervalo variável.

A partir dos dados da tabela 5.8, chega-se à conclusão que o grupo de controle teve uma média de 12,3 reforços. Enquanto que o grupo experimental foi um pouco mais lento, com uma média de 10,7 reforços.

Para a experiência de discriminação, os resultados entre os dois grupos foram muito semelhantes. As cobaias dos dois grupos não conseguiram estabelecer a discriminação, ou seja, os números de respostas para o caso com luz e para o caso sem luz foram muito próximos. Os resultados para os diferentes níveis de intensidade de luz na experiência de generalização estão apresentados na Tabela 5.9.

	Grupo de Controle	Grupo Experimental
S <sup>Δ</sup> (sem luz)	10,7	9,0
S <sup>1</sup> (nível 1)	12,0	13,0
S <sup>2</sup> (nível 2)	14,0	14,8
S <sup>3</sup> (nível 3)	15,7	15,8
S <sup>4</sup> (nível 4)	14,7	14,2
S <sup>5</sup> (nível 5)	20,3	19,4

Tabela 5.9: Número de reforços para a experiência de generalização.

Pelos valores apresentados na Tabela 5.9, percebe-se que as cobaias dos dois grupos obtiveram os resultados esperados, pois à medida que a intensidade de luz foi aumentada, o número de reforços também aumentou.

Para a experiência de extinção, observou-se que o grupo de controle atingiu o objetivo (permanecer sem pressionar a barra por 10 minutos consecutivos) em cerca de 81,9 minutos e o grupo experimental levou aproximadamente 93,6 minutos. As curvas para esta experiência estão apresentadas nas Figuras 5.7 e 5.8.

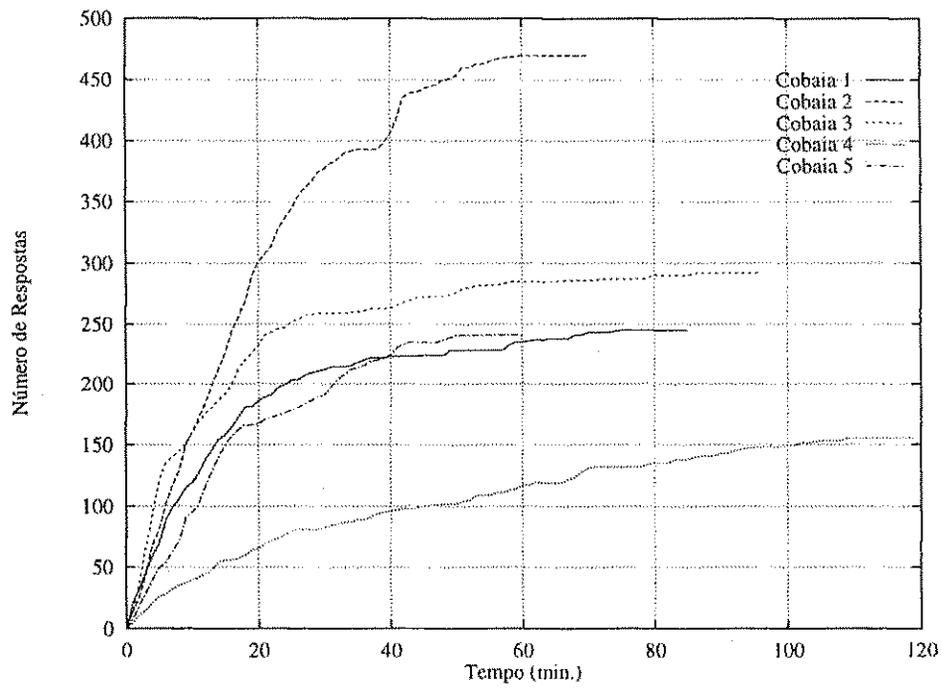


Figura 5.7: Extinção do grupo de controle.

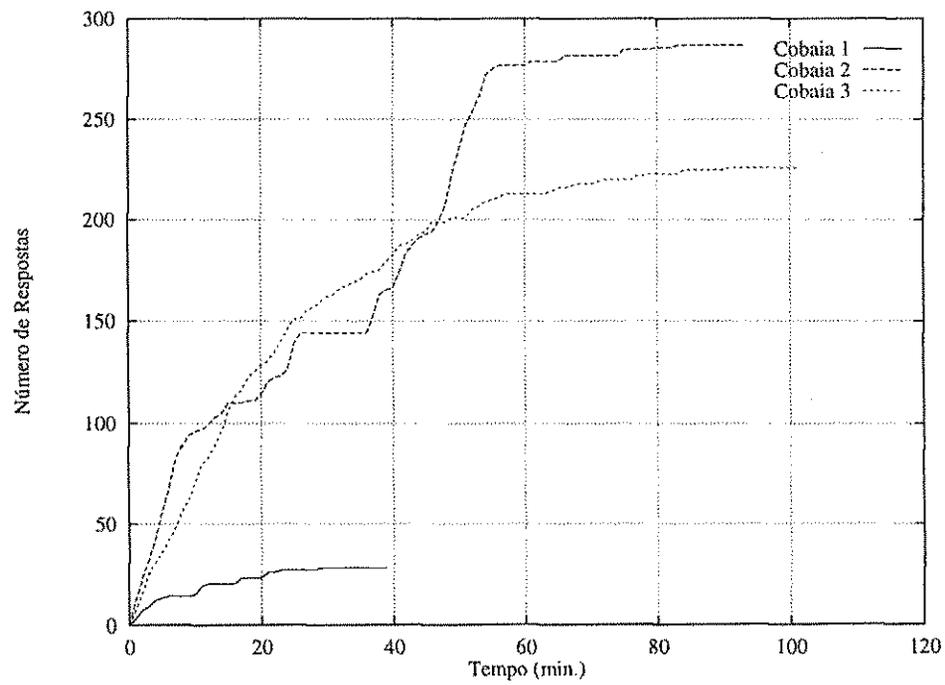


Figura 5.8: Extinção do grupo experimental.

## 5.8 Conclusão

Neste capítulo, foi apresentada uma análise detalhada dos resultados obtidos em todas as experiências realizadas ao longo do experimento. Dentre estes resultados, é possível citar: o aumento no consumo de água por parte das cobaias do grupo experimental, diminuição do número de filhotes gerados pelas cobaias submetidas à radiação, alterações microscópicas nos ovários e testículos das cobaias do grupo experimental, dificuldades de aprendizagem das cobaias submetidas à radiação de microondas.

No próximo capítulo, serão apresentadas as conclusões e perspectivas para trabalhos futuros.

# Capítulo 6

## Conclusões e Perspectivas

### 6.1 Introdução

Neste capítulo, serão apresentadas as conclusões tiradas ao longo do experimento e, em seguida, como continuação das atividades de pesquisa, uma série de sugestões para futuros trabalhos também serão apresentadas.

### 6.2 Conclusões

Neste trabalho, foram observados os possíveis efeitos biológicos e comportamentais provocados pelas ondas eletromagnéticas em cobaias. As cobaias foram submetidas à radiação de microondas na frequência de 2,45 GHz, com uma densidade de potência de  $1,6 \text{ mW/cm}^2$ , durante uma hora diariamente. O valor 2,45 GHz foi escolhido por uma série de razões, dentre as quais pode-se citar: por ser a frequência de máxima absorção ou ressonância para as cobaias, por se aproximar da frequência que será utilizada pelos sistemas de terceira geração, pelos sistemas de comunicações pessoais (PCS) e principalmente por ser gerada por um Magnetron comercial.

As cobaias utilizadas nesse experimento foram da espécie *Rattus norvegicus*, também chamadas de ratos de laboratório. Os atuais ratos de laboratório não se assemelham em nada aos extremamente agressivos ratos de esgoto. Obviamente, nenhuma espécie

nova foi criada, porém, as alterações induzidas nos animais de laboratório ao longo do tempo foram tão radicais a ponto de poder considerar que, atualmente, as únicas semelhanças entre um rato de laboratório e um rato de esgoto são o número de cromossomos e o nome científico. As alterações induzidas nesses animais estão baseadas num complexo trabalho de acasalamento direcionado, eliminando filhotes com características indesejáveis.

Ao longo do experimento foi realizada uma série de exames, dentre os quais pode-se citar: monitoração do consumo de água e ração, pesagem das cobaias, esfregaço vaginal, exames hematológicos e anátomo-patológicos, contagem do número de filhotes gerados pelas cobaias, durante três gerações e estudos comportamentais.

As experiências mencionadas acima foram realizadas porque é inviável a realização de pesquisas desta natureza com seres humanos. Assim, utilizaram-se cobaias com intuito de fazer uma extrapolação por analogia de resultados experimentais obtidos nestes animais para resultados que seriam esperados em seres humanos.

Como já era de se esperar, ao longo do experimento, algumas experiências realizadas apresentaram diferenças significativas entre o grupo de controle e o grupo experimental, enquanto que outras não apresentaram qualquer tipo de diferença entre os dois grupos. Dentre as experiências que não apresentaram diferenças significativas entre os dois grupos, é possível citar: monitoração do consumo de ração, pesagem das cobaias, esfregaço vaginal e análise dos elementos morfológicos do sangue.

Dentre os resultados mais significantivos observados, é possível citar: aumento no consumo de água por parte do grupo experimental, diminuição no número de filhotes gerados pelas cobaias submetidas à radiação de microondas, alterações microscópicas nos ovários e testículos das cobaias do grupo experimental e dificuldades de aprendizagem do grupo submetido à radiação de microondas. Os resultados mencionados anteriormente serão detalhados a seguir.

O aumento observado no consumo de água de cerca de 7,64% por parte do grupo experimental, quando comparado ao grupo de controle já era esperado, visto que a radiação de microondas provoca aquecimento nas cobaias.

A diminuição de cerca de 24,8% do número de filhotes gerados pelas cobaias do grupo experimental, quando comparadas ao grupo de controle, foi bastante significativa, tendo, como conseqüência imediata o aumento do interesse pelos resultados dos exames anátomo-patológicos dos ovários e testículos.

Nos exames anátomo-patológicos, foi observada uma diminuição do número de corpos lúteos dos ovários e uma interrupção na maturação das células germinativas dos testículos. As características mencionadas anteriormente levam a crer que existe uma correlação entre estes resultados e o decréscimo na fertilidade verificada anteriormente.

Nas experiências de estudos comportamentais, foi mostrado que todas as cobaias do grupo de controle realizaram as tarefas preestabelecidas. Já para o grupo experimental, houve uma diferença significativa, apenas três das cinco cobaias conseguiram realizar as atividades preestabelecidas, sendo que uma delas, na oitava tentativa. As duas cobaias restantes não conseguiram realizar as tarefas mesmo depois de dez tentativas (cada tentativa foi feita num dia diferente). Estes resultados levam a crer que, de certa forma, a radiação de microondas afetou a aprendizagem das cobaias do grupo experimental.

Por meio de extrapolação por analogia dos resultados experimentais obtidos, pode-se afirmar que, provavelmente, efeitos semelhantes aos obtidos com as cobaias não seriam observados em seres humanos submetidos às mesmas condições de exposição, visto que, para a frequência de 2,45 GHz, a SAR média para o homem é cerca de 10 vezes menor do que para a cobaia. Conclui-se daí que, um aumento de temperatura, observado numa cobaia exposta a uma dada densidade de potência em 2,45 GHz, só poderia ocorrer em seres humanos sujeitos a níveis de densidade de potência muito mais altos. Este fato, aparentemente óbvio nem sempre foi considerado no passado, antes da

introdução sistemática do conceito de SAR, o que levou a erros, ao se querer estender, a seres humanos, resultados experimentais baseados em valores de densidade de potência.

Levando em conta o que foi discutido, pode-se afirmar que, efeitos semelhantes aos observados nas cobaias, submetidas a uma densidade de potência de  $1,6 \text{ mW/cm}^2$ , para uma frequência de 2,45 GHz, só poderiam ser observados em seres humanos expostos a esta frequência para valores de densidade de potência superiores a  $13 \text{ mW/cm}^2$  ou para densidades de potência superiores a  $8,8 \text{ mW/cm}^2$  para uma frequência de 286 MHz.

Na seção seguinte, serão apresentadas algumas sugestões para continuação deste trabalho.

### 6.3 Perspectivas

Como já foi mencionado anteriormente, este trabalho apresenta dados preliminares sobre os efeitos da radiação de microondas em *Rattus norvegicus* (ratos de laboratório). Assim, como continuação das atividades de pesquisa realizadas podem ser citadas as seguintes sugestões:

- Estudo da relação entre demência e radiofrequência (RF)

Os estudos comportamentais mostraram que, de certa forma, a radiação de microondas afetou a aprendizagem das cobaias do grupo experimental. Estes estudos precisam ser realizados de forma mais profunda e com uma quantidade maior de cobaias, para obtenção de resultados definitivos.

- Automatização do experimento

Como a experiência realizada apresenta dados preliminares, ela precisa ter continuidade utilizando uma quantidade maior de cobaias, visto que só assim resultados definitivos poderão ser obtidos. Por isso, torna-se necessária a automatização do experimento, com o intuito de otimizar o tempo gasto para realização de determinados estudos (principalmente os estudos comportamentais) e obter resultados de forma mais rápida e confiável.

- Desenvolvimento de uma câmara anecóica

Os objetivos principais do desenvolvimento de uma câmara anecóica são a obtenção de uma distribuição mais uniforme da densidade de potência, emitida pelo gerador de microondas nas cobaias do grupo experimental, e a proteção dos operadores do gerador e das pessoas que freqüentam o laboratório onde as experiências estão sendo realizadas.

- Pesquisa da provável causa da infertilidade das cobaias

Foi observado que existe uma forte correlação entre a diminuição significativa do número de filhotes gerados pelas cobaias submetidas à radiação de microondas e os resultados obtidos nos exames anátomo-patológicos dos ovários e testículos. Entretanto, ainda está em aberto se a causa desta patologia foi térmica ou bioquímica. Novos experimentos devem ser realizados para investigar a origem da patologia.

- Experiência com animais de maior porte

A utilização de animais de maior porte como, por exemplo, o macaco, tem algumas vantagens, dentre as quais, pode-se citar: a aproximação entre os valores de SAR do homem e destes animais, dimensões equivalentes às do homem, aparelhos e ciclos reprodutivos aproximados aos humanos, além do comportamento compatível com a maior complexidade dos testes.

## Apêndice A

# Gerador de Potência de Microondas

As fontes de potência de microondas são dispositivos que convertem a tensão da rede elétrica em sinais de potência com frequências elevadas (na faixa de microondas). Uma fonte típica consiste, basicamente, de um gerador de microondas, uma fonte de alimentação DC para o gerador, um sistema de controle e alguns dispositivos adequados à monitoração da operação do gerador.

Utilizam-se principalmente geradores a estado sólido e a válvula. Os geradores de estado sólido, embora tenham maior estabilidade em frequência, possuem potência de saída limitada (cerca de 15 watts em 2450 MHz ou mesmo 100 watts em 910 MHz), o que restringe seu uso em aplicações de baixas potências [34]. Quando se deseja potências elevadas, utilizam-se as válvulas, que são classificadas em dois tipos: as de campos cruzados e as de feixe linear.

A escolha do 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 a um maior custo e complexidade para usos em alguns processos, embora permitam obter elevadas potências de saída e estabilidade de frequência, tornam-se economicamente inviáveis.

## A.1 Oscilador Magnetron

O magnetron consiste, basicamente, de um anodo circular seccionado em células radiais, cada uma das quais constituindo uma cavidade ressonante, como pode ser observado na Figura A.1. Um catodo cilíndrico é disposto coaxialmente ao anodo.

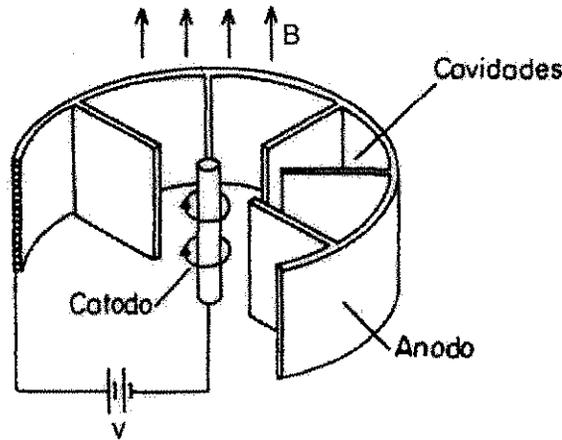


Figura A.1: Vista do oscilador magnetron.

Um campo magnético estático,  $B$ , é aplicado axialmente e direcionado ao espaço existente entre o catodo e o anodo (espaço de interação) por meio de peças polares situadas nas extremidades do anodo, cuja finalidade é a de uniformizar o campo naquela região.

Os elétrons, emitidos pelo catodo aquecido, sofrem influência do campo magnético axial no espaço de interação, passando a descrever uma trajetória espiralada em direção ao anodo. As equações que descrevem a trajetória de um elétron, sob a ação de um campo estático cruzado, num magnetron plano, são dadas por [34]

$$x = x_0 + \frac{E}{B}t - \frac{mE}{eB^2} \text{sen } w_c t, \quad (\text{A.1})$$

$$y = -\frac{mE}{eB^2} (1 - \cos w_c t), \quad (\text{A.2})$$

$$z = z_0, \quad (\text{A.3})$$

em que o catodo coincide com o plano  $y = 0$  e  $w_c$  representa a frequência angular de ciclotron.

O campo elétrico radial depende da tensão de anodo aplicada ( $V_a$ ), sendo dado por [34]

$$E_r = \frac{V_a}{r \ln \frac{D}{d}} \quad (\text{V/cm}). \quad (\text{A.4})$$

Uma análise das Equações (A.1) e (A.2) revela que a mesma é uma ciclóide, na forma paramétrica, visto que as equações de uma ciclóide são [34]

$$x = v_c t - r \sin \varphi \quad e \quad y = R - r \cos \varphi. \quad (\text{A.5})$$

Comparando as Equações (A.1), (A.2) e (A.5), conclui-se que

$$v_c = \frac{E}{B} \quad e \quad R = \frac{mE}{eB^2}, \quad (\text{A.6})$$

em que  $v_c$  e  $R$  representam, respectivamente, a velocidade de deslocamento do centro do círculo e o raio de trajetória do elétron. A frequência angular de cicloton  $w_c$  define o movimento do elétron no giro, de raio  $R$ , durante movimento no espaço de interação.

Aumentando-se o valor da indução magnética  $B$  e mantendo constante a tensão de anodo  $V_a$ , faz-se diminuir o raio de trajetória, como mostra a Equação (A.5). No extremo, quando  $B = 0$ , o raio de curvatura torna-se infinito e a trajetória passa a ser radial. Para o valor particular  $R = d/2$ , em que  $d$  é a distância entre o anodo e o catodo, os elétrons tangenciam a superfície do anodo no pico da curva cicloidial. Para valores de  $B$ , acima de um certo limiar, os elétrons começam a realizar múltiplas oscilações e retornam ao catodo, provocando uma queda brusca na corrente de anodo, como ilustra a Figura (A.2a). A este valor limiar dá-se o nome de indução crítica  $B_c$ .

O valor  $B_c$  pode ser calculado através da Equação (A.6), para as seguintes condições de contorno:  $B = B_c$ ,  $d = 2R$ ,  $E = V_a/d$ , resultando em

$$B_c = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2mV_a}{e}}. \quad (\text{A.7})$$

A Equação (A.7) mostra que existe um valor mínimo de tensão de anodo  $V_a$ , para  $B$  constante, abaixo da qual a corrente de anodo cai rapidamente. Os valores de  $V_a$  e  $B$  são relacionados através do diagrama de Hull, mostrado na Figura (A.2b).

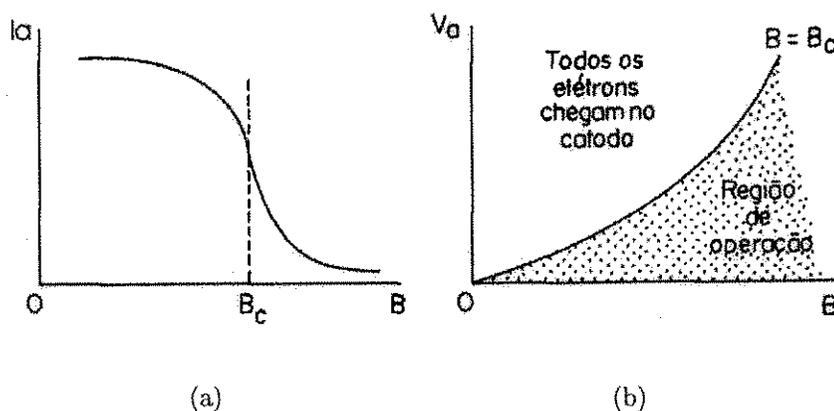


Figura A.2: Características do magnetron: (a) Indução crítica e (b) Parábola de Hull.

A parábola mostrada no diagrama de Hull representa o limite das duas zonas, com e sem corrente de anodo. Na região acima da parábola, praticamente todos os elétrons chegam ao catodo e, portanto, nenhuma energia é convertida em energia de microondas.

## A.2 Fonte de Potência para Alimentação do Magnetron

Uma fonte de potência de microondas converte a potência da rede AC (60 Hz) em potência de microondas. A Figura A.3 apresenta em forma de diagrama de blocos uma fonte de microondas genérica.

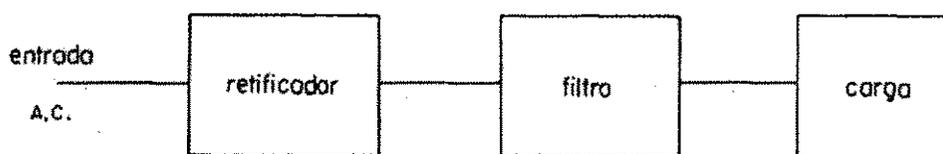


Figura A.3: Fonte genérica.

O estágio retificador é usado para converter o sinal da rede, que possui valor médio zero, num sinal com valor médio diferente de zero. Os circuitos retificadores podem ser de meia-onda ou de onda completa, como apresenta a Figura A.4.

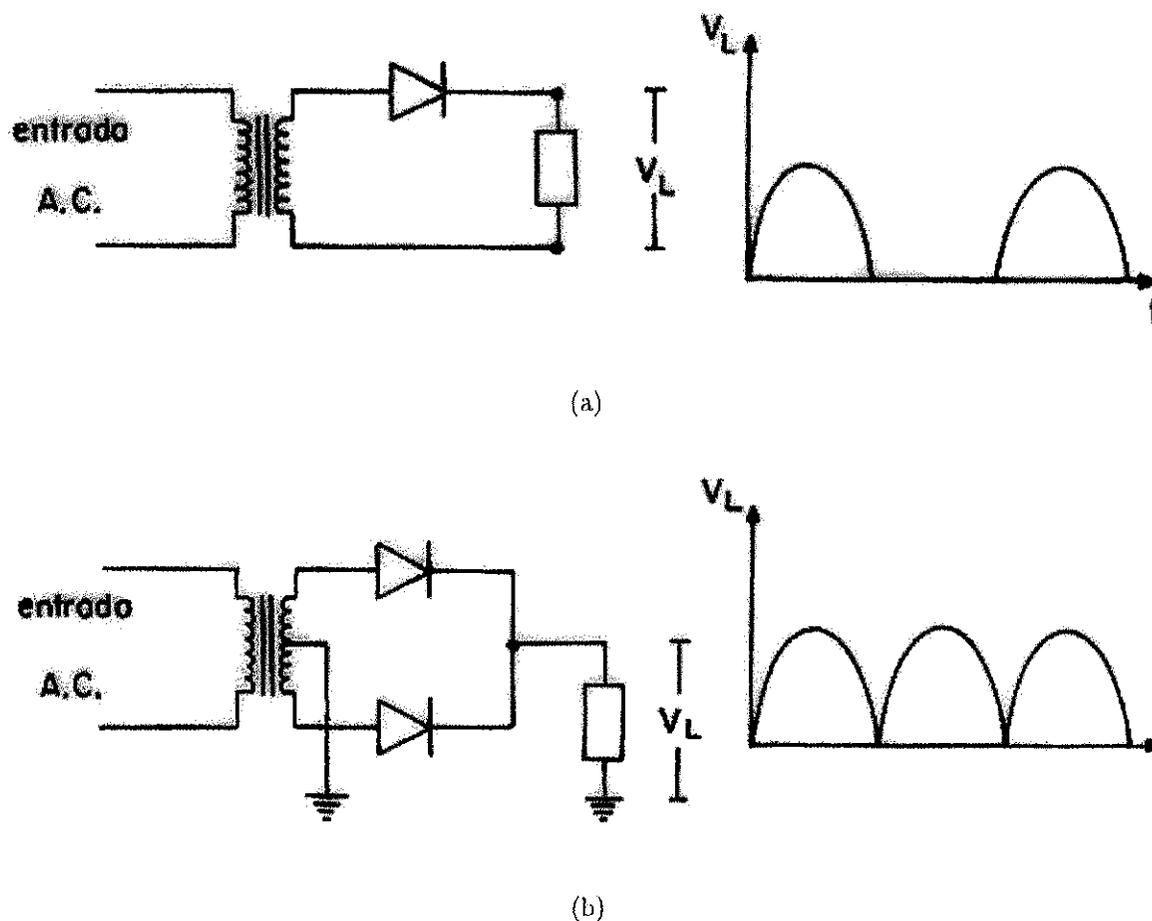
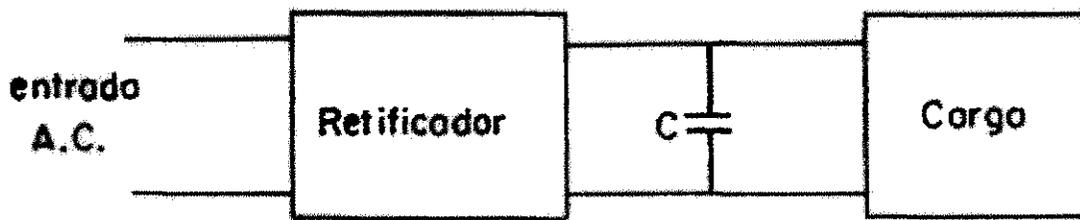
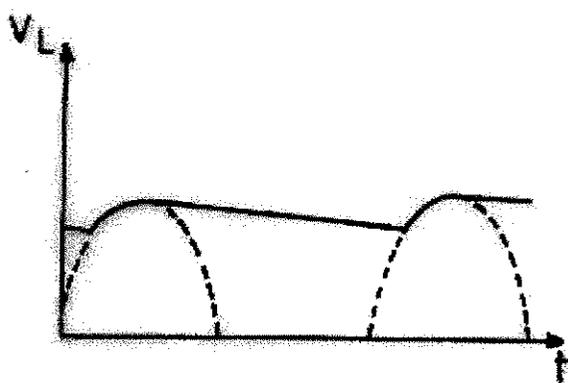


Figura A.4: Tipos de retificadores: (a) meia-onda e (b) onda completa.

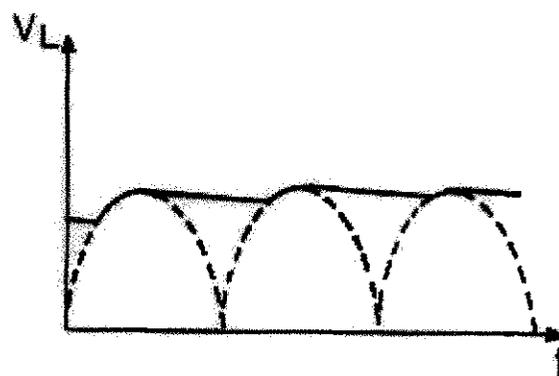
Observa-se que os sinais produzidos pelos circuitos da figura anterior não são puramente DC, possuindo uma forte componente AC e um valor médio diferente de zero. Como, para a alimentação do magnetron, deseja-se um sinal DC mais puro, faz-se uma filtragem no sinal do retificador, com o intuito de eliminar a componente AC. Essa filtragem é obtida com um capacitor colocado após o retificador, como sugere a Figura A.5.



(a)



(b)



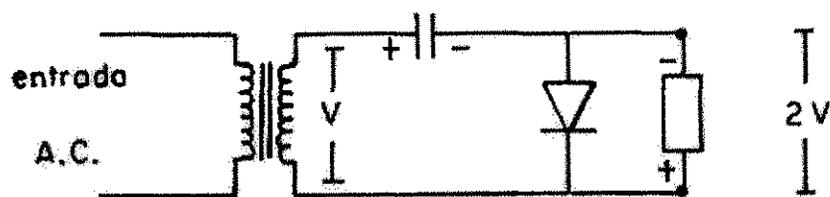
(c)

Figura A.5: Tipos de filtros: (a) filtro capacitivo, (b) forma de onda para um retificador de meia-onda e (c) forma de onda para um retificador de onda completa.

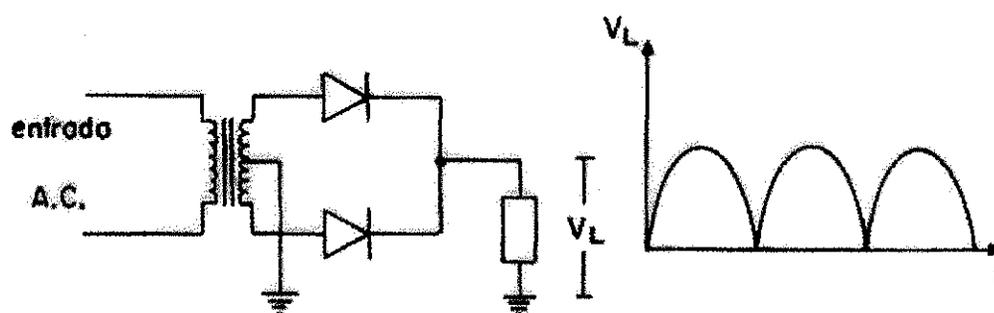
A variação da tensão em torno do valor médio, após a filtragem, é denominada *ripple*. O *ripple* do sinal pode ser reduzido aumentando-se o valor do capacitor, porém o aumento demasiado deste valor altera a corrente de pico que passa no diodo retificado, podendo danificá-lo.

Magnetrons com campo magnético fixo geralmente utilizam circuitos dobradores de tensão, como os apresentados na Figura A.6. Para esses circuitos, é possível obter tensões maiores que as retificadas, permitindo manter-se uma baixa tensão de pico no

transformador.



(a)



(b)

Figura A.6: Dobradores de tensão: (a) meia-onda e (b) onda completa.

Os circuitos mais largamente utilizados em fontes magnetrons CW são os de meia-onda. Os dobradores de tensão de onda completa apresentam uma tendência a variar a condição inicial de oscilação do magnetron.

A variação da potência de saída, em magnetrons de ímãs permanentes, pode ser obtida a partir da variação da tensão de anodo, respeitando os limites máximos e mínimos impostos pelo diagrama de Hull e Hartree [34]. Normalmente, utiliza-se um sistema de controle de fase da tensão na entrada, à base de *triacs*, como ilustrado na Figura A.7. O sistema de controle de fase deve ser dimensionado respeitando-se a potência máxima requerida pelo magnetron.

Para emitir elétrons, o catodo deve ser aquecido usando-se uma fonte auxiliar (filamento), levando o mesmo a atingir sua temperatura de operação antes de aplicar a tensão anodo-catodo. Durante sua operação, alguns elétrons não atingem o anodo e retornam ao catodo. Esse efeito, conhecido como bombardeamento reverso, aumenta a temperatura do catodo (pela dissipação da energia dos elétrons em calor), contribuindo para uma diminuição da eficiência do magnetron. Para evitar esse efeito, principalmente quando são utilizadas altas potências, a potência da fonte auxiliar é reduzida linearmente com o aumento da corrente de anodo.

A maior parte dos equipamentos de potência de microondas utiliza um transformador único para alimentação do filamento (aproximadamente 3,15 V) e para a tensão anodo-catodo. Para o sistema com controle contínuo da potência com *dímer*, tal alimentação não pode ser utilizada, devido à influência da variação de tensão na entrada do transformador sobre a tensão do filamento, o que causa pouco aquecimento no catodo e, conseqüentemente, um corte na corrente de anodo [34].

Depois deste breve resumo sobre a fonte de potência para alimentação de magnetron, pode-se apresentar o circuito utilizado nesse experimento propriamente dito e o comportamento no domínio da frequência, medido no Laboratório de Comunicações (LABCOM) com o analisador de espectro 8594E da HP. Os tópicos mencionados anteriormente podem ser observados nas Figuras A.7 e A.8, respectivamente.

## A.3 Teoria Básica de Antenas

Nesta seção, serão apresentados os conceitos básicos da Teoria de Antenas, será mostrado o tipo de antena utilizado nesse experimento e o seu respectivo diagrama de irradiação. Uma análise mais rigorosa pode ser obtida em [35, 36].

### A.3.1 Conceitos Básicos

1. Uma fonte isotrópica é uma fonte que irradia energia em todas as direções.

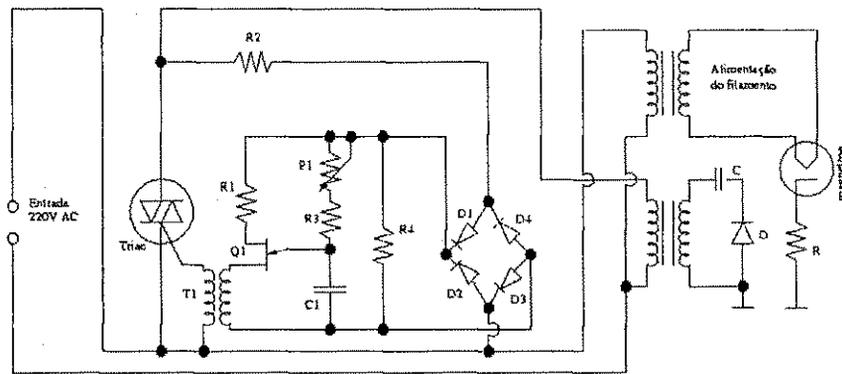


Figura A.7: Circuito elétrico.

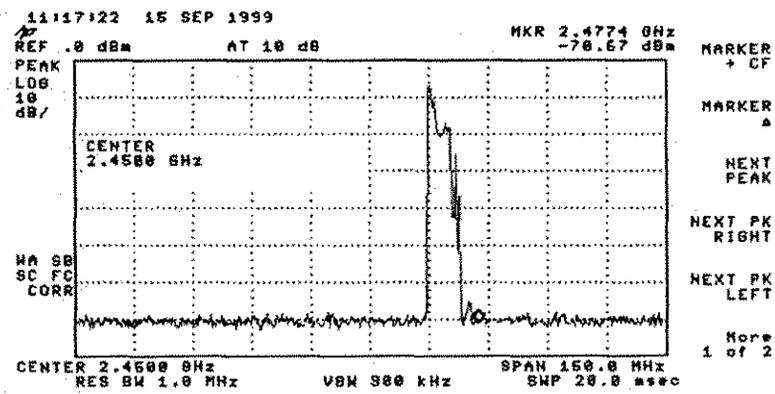


Figura A.8: Comportamento no domínio da frequência.

2. O vetor *Pointing*  $\mathbf{P}$  ou densidade de potência é o fluxo de potência eletromagnética por unidade de área (watts/m<sup>2</sup>).

3. A potência irradiada cruzando a superfície  $S$  é definida como

$$W = \int \int \mathbf{P} \cdot d\mathbf{s} = \int \int P ds, \quad (\text{A.8})$$

sendo  $P$  a componente radial de  $\mathbf{P}$  e  $ds$  uma área infinitesimal em  $S$ . Uma fonte isotrópica irradia uniformemente através de uma superfície esférica. Conseqüentemente,  $W = P \cdot 4\pi d^2$ , sendo  $d$  o raio da esfera.

4. A fórmula de transmissão no espaço-livre, é obtida a partir da definição precedente. Num meio sem perdas, a densidade de potência recebida, a uma distância  $d$ , é

$$P = \frac{W}{4\pi d^2}. \quad (\text{A.9})$$

5. O padrão de irradiação é a distribuição geográfica da potência irradiada pela fonte. É usualmente apresentada em planos de azimute (horizontal) e de elevação (vertical). O padrão de irradiação de uma fonte isotrópica é um círculo em ambos os planos. Contudo, uma antena real irá iluminar uma região mais intensamente que outra. O correspondente padrão de irradiação irá apresentar um lóbulo principal e lóbulos laterais.

6. A diretividade ( $D$ ) é razão entre a intensidade de irradiação máxima ( $U_M$ ) da antena em consideração e a intensidade de irradiação de uma antena isotrópica ( $U_0$ ) irradiando a mesma potência

$$D = \frac{U_M}{U_0}. \quad (\text{A.10})$$

7. O ganho ( $G$ ) fornece a medida de eficiência da antena. É expresso em relação a uma fonte de referência. Usualmente, em relação a antena isotrópica, de modo que

$$G \triangleq \frac{\text{Intensidade de irradiação máxima}}{\text{Intensidade de irradiação de uma fonte isotrópica}}. \quad (\text{A.11})$$

### A.3.2 Antenas com Abertura Retangular

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 1 GHz. 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.

Os três tipos básicos de antenas tipo corneta que utilizam geometria retangular são apresentados na Figura A.9.

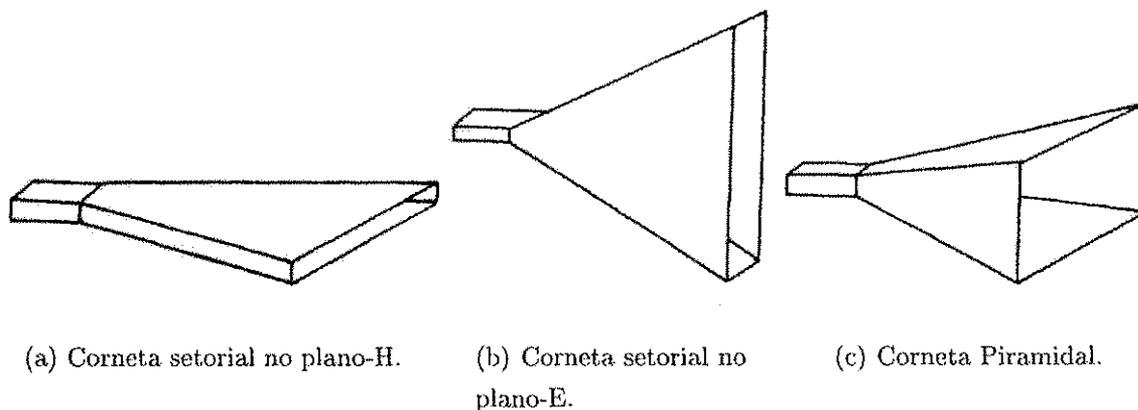


Figura A.9: Tipos de antena corneta com geometria retangular.

Nesse experimento, foi utilizada a corneta piramidal, que é o tipo de antena retangular mais utilizada. O diagrama de irradiação da antena retangular tipo corneta utilizada nesse experimento está apresentado na Figura A.10. As medições foram realizadas no Laboratório de Comunicações (LABCOM) com um medidor de potência EMR-300 da Wandel & Goltermann, para uma distância de 30 cm.

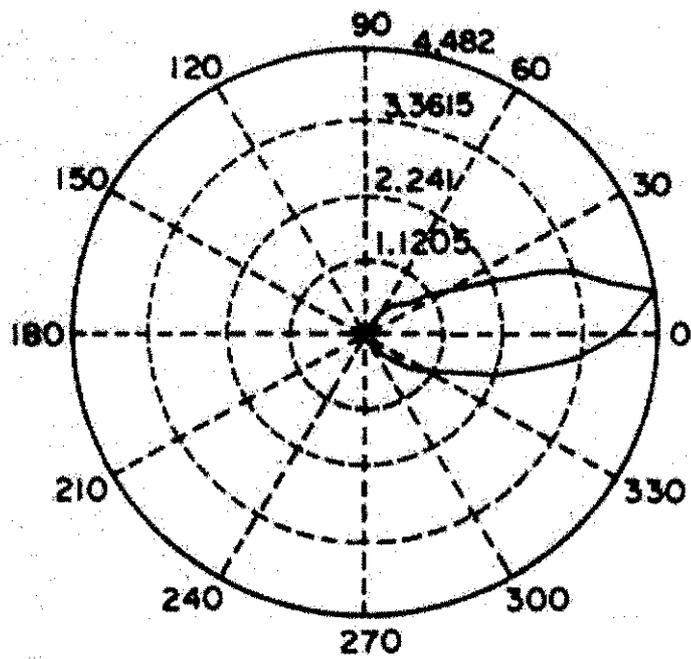


Figura A.10: Diagrama de irradiação da corneta.

## Apêndice B

# Hemograma

O hemograma estuda o quadro hemático em conjunto, tendo em vista as variações quantitativas e qualitativas que podem sofrer os elementos morfológicos do sangue. Normalmente, esses elementos mantêm-se em equilíbrio mais ou menos constante, desviando-se do normal devido a alterações regenerativas ou degenerativas [37, 38].

O hemograma revela-se de grande valor, não só pela análise morfológica das hemácias, como também por permitir a classificação das anemias de acordo com os índices hematimétricos. A análise morfológica pode sugerir patologias específicas, orientando, conseqüentemente, investigação etiológica, prevenção de policromasia e granulações basofílicas e sinais de anemias hemalíticas.

As hemácias, em estudo, que ocorrem em um certo número de circunstâncias, podem sugerir doenças hepáticas, talassemias e hemoglobinopatias.

O hemograma reflete a reação do organismo contra processos mórbidos, geralmente, de modo inespecífico. Para uma correta clínica do hemograma, deve-se conhecer os valores hematimétricos normais e os seus desvios fisiológicos e individuais, além da função dos elementos figurados do sangue periférico [37, 38].

A seguir, serão apresentados os valores nominais dos elementos morfológicos do

sangue do homem e de diversos animais, inclusive do rato.

		RBC( $\times 10^6$ )	HB(gm/dl)	HCT(%)	VCM( $\mu^3$ )	HCM( $\mu\mu\text{g}$ )	CHCM(%)
Homem	Faixa	4,1 - 6,2	12 - 18	37 - 51	80 - 97	26 - 32	30 - 35
	Média	5,1	15	45,5	88,5	29	32,5
Gato	Faixa	5,0 - 10	8 - 15	24 - 45	39 - 55	13 - 17	30 - 36
	Média	7,5	11,5	34,5	47	17	33
Gado	Faixa	5,0 - 10	8 - 15	24 - 45	40 - 60	11 - 17	30 - 36
	Média	7,5	11,5	35	50	14	33
Galinha	Faixa	1,6 - 4,5	8 - 12	28 - 36	120 - 135	32 - 42	25 - 32
	Média	3	10	32	127,5	37	28,5
Cabra	Faixa	8,0 - 18	8 - 14	19 - 38	15 - 30	10 - 22	35 - 42
	Média	13	11	29	22,5	16	38,5
Cavalo	Faixa	6,5 - 12	11 - 19	35 - 52	34 - 58	10 - 18	31 - 37
	Média	9	15	42	46	14	34
Macaco	Faixa	4,8 - 6	8 - 15	30 - 44	50 - 90	12 - 13	30 - 36
	Média	5,6	11,5	37	70	12,5	33
Rato	Faixa	7,0 - 10	11 - 17	35 - 51	57 - 65	15 - 22	30 - 35
	Média	8,5	14,4	43	61	18,5	32,5

Tabela B.1: Série Vermelha.

		WBC(x10 <sup>3</sup> )	SEG(%)	LYMPH(%)	MONO(%)	EOS(%)	BASO(%)
Homem	Faixa	5 - 10	58 - 66	21 - 30	4 - 8	0,5 - 4	0 - 1,5
	Média	7,5	62	26	6	2	0,7
Gato	Faixa	5 - 19	35 - 75	20 - 55	1 - 4	2 - 12	RAROS
	Média	12	55	28	3	7	
Gado	Faixa	4 - 12	15 - 45	45 - 75	2 - 7	2 - 20	0 - 2
	Média	8	30	60	4	11	1
Galinha	Faixa	4 - 45	2 - 28	32 - 65	5 - 17	0 - 2	2 - 4
	Média	24,5	15	49	11	1	3
Cabra	Faixa	4 - 13	30 - 48	50 - 70	0 - 4	1 - 8	0 - 1
	Média	8,5	39	60	2	5	0,5
Cavalo	Faixa	5,5 - 12	30 - 65	25 - 70	0,5 - 7	0 - 11	0 - 3
	Média	9	47,5	48	4	6	1,5
Macaco	Faixa	9 - 21	19 - 52	43 - 77	0,4 - 1	0,3 - 5	0 - 0,4
	Média	15	35,5	60	0,7	2,6	0,2
Porco	Faixa	11 - 22	24 - 47	39 - 62	2 - 10	0,5 - 11	0 - 2
	Média	16,5	35,5	51	6	6	1
Rato	Faixa	6,4 - 26	12 - 46	63 - 83	1 - 7	0 - 3,5	0 - 1
	Média	16,3	29	68	4	2	0,5

Tabela B.2: Série Branca.

em que:

- RBC - Células vermelhas do sangue;
- HB - Hemoglobina;
- HCT - Hematócrito;
- VCM - Volume corpuscular médio;
- HCM - Hemoglobina corpuscular média;
- CHCM - Concentração da Hemoglobina corpuscular média;
- WBC - Células brancas do sangue;
- SEG - Neutrófilos segmentados;
- LYMPH - Linfócitos;
- MONO - Monócitos;
- EOS - Eosinófilos;
- BASO - Basófilos.

## Apêndice C

### Exames Hematológicos

A seguir, serão apresentadas algumas fotos que ilustram essa experiência. Inicialmente, a cobaia foi submetida à anestesia por meio da inalação de éter, como pode ser observado na Figura C.1. Depois de anestesiada, foi feito um corte na sua cauda para retirar o sangue. Esses procedimentos são apresentados nas Figuras C.2 e C.3. Terminada a coleta, o sangue foi levado ao laboratório, como pode ser observado na Figura C.4.

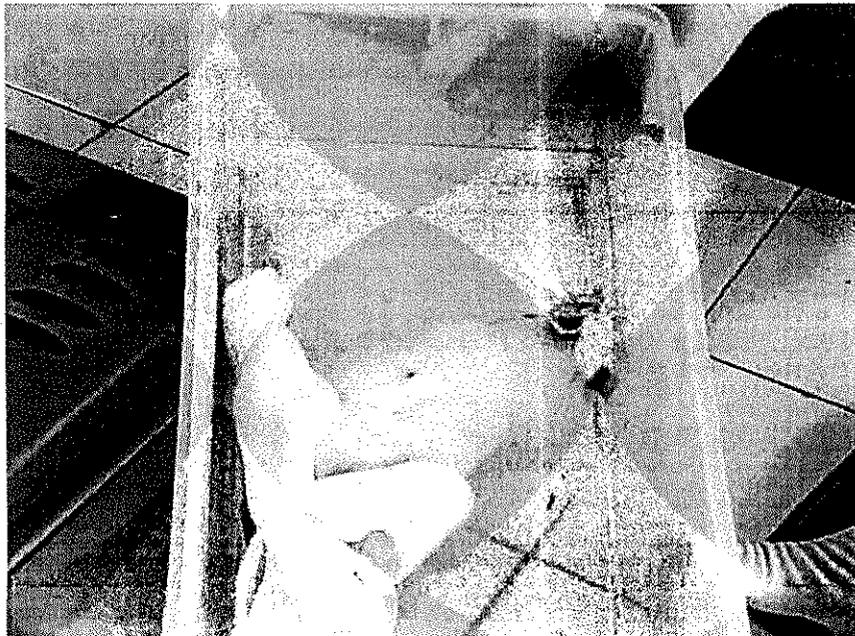


Figura C.1: Anestesia.

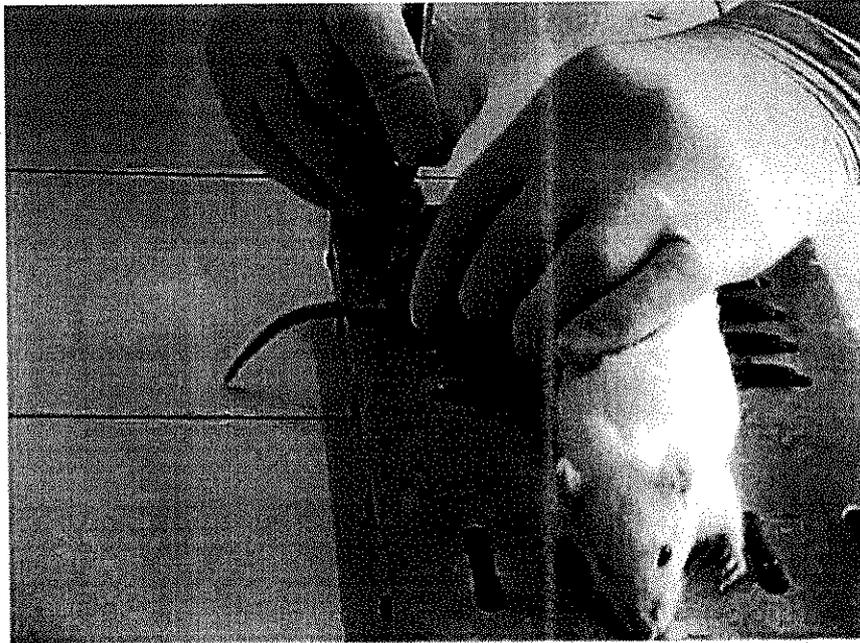


Figura C.2: Corte.

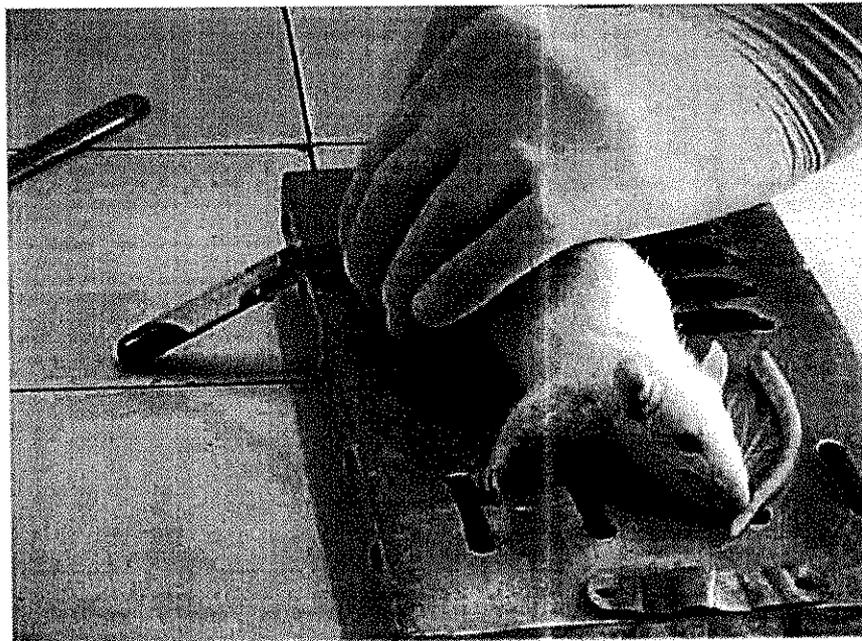


Figura C.3: Retirada do sangue.

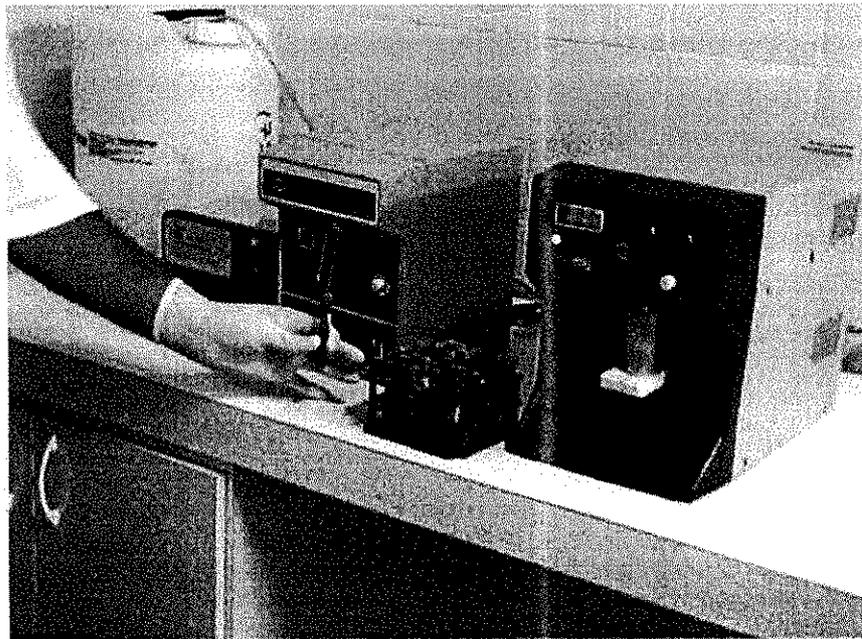


Figura C.4: Análise no laboratório.

## Apêndice D

### Exames Anátomo-patológicos

A seguir, serão apresentadas algumas fotos que ilustram a experiência de exames anátomo-patológicos. Inicialmente, a cobaia foi submetida à anestesia por meio da inalação de éter. Depois de anestesiada, a cobaia encontra-se no estágio ótimo para cirurgia como pode ser observado na Figura D.1.

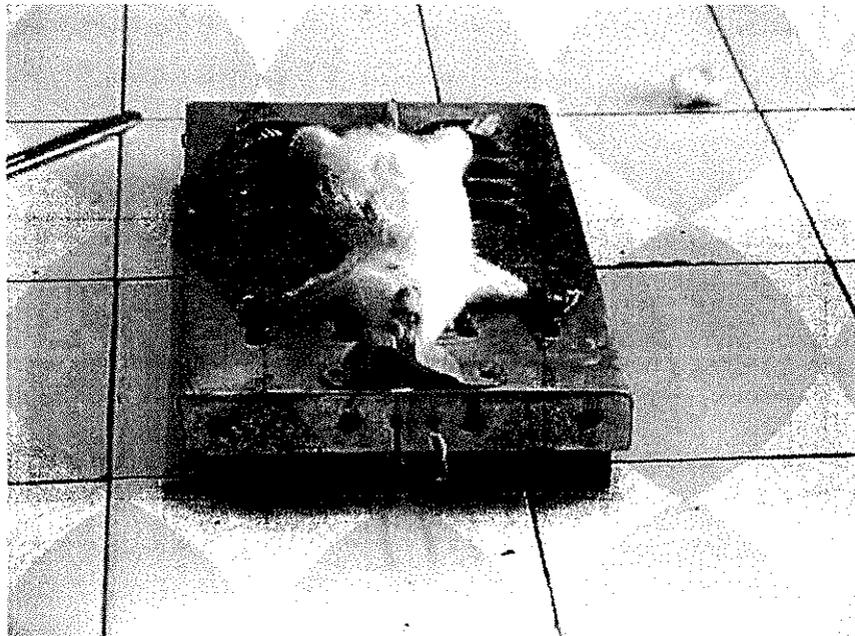


Figura D.1: Estágio ótimo para cirurgia.

A partir daí, inicia-se a laparotomia exploradora, com a conseqüente retirada dos órgãos. Esses procedimentos podem ser observados nas Figuras D.2, D.3 e D.4.



Figura D.2: Início da laparotomia exploradora.

Depois de retirados, os órgãos foram enviados ao Departamento de Patologia para estudo anátomo-patológico. Esses estudos foram iniciados com a desidratação desses órgãos. Esse procedimento foi realizado no equipamento apresentado na Figura D.5. Depois de desidratados, os órgãos passaram pela estufa apresentada na Figura D.6.

Depois de saírem da estufa, os órgãos foram incluídos em parafina e em seguida sofreram cortes em fatias de aproximadamente 3 mm de espessura. Os procedimentos mencionados acima podem ser vistos nas Figuras D.7 e D.8.

Terminado o corte dos órgãos, as suas finas camadas foram coladas nas lâminas e estas passaram pelo processo de coloração (Hematoxilina-Eosina), como pode ser observado na Figura D.9. A partir daí, a análise microscópica teve início, como pode ser observado nas Figuras D.10 e D.11.

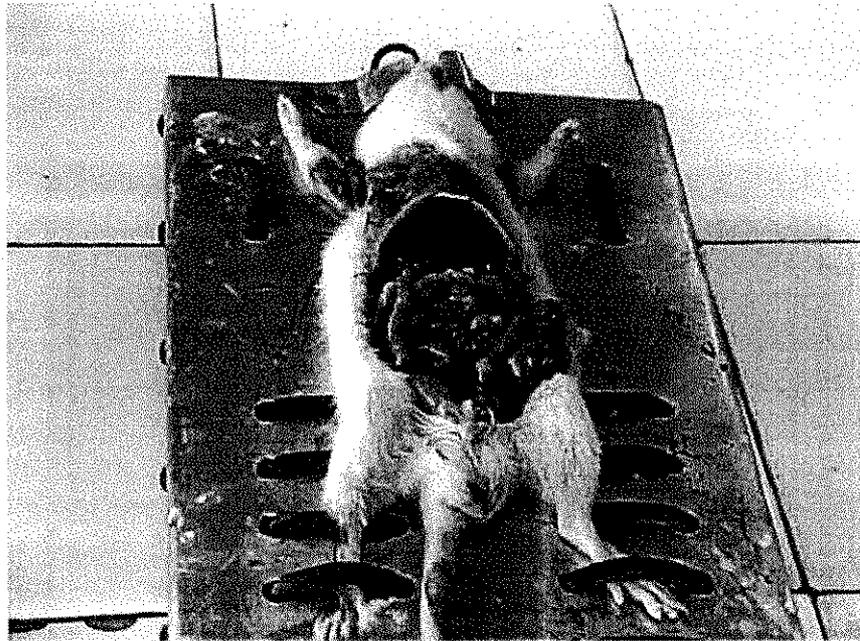


Figura D.3: Órgãos abdominais.

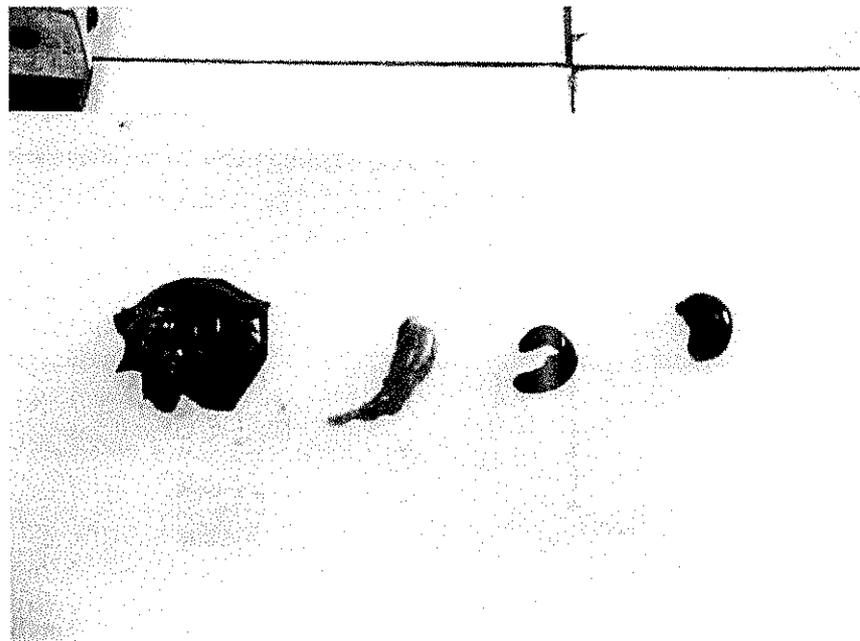


Figura D.4: Órgãos retirados.

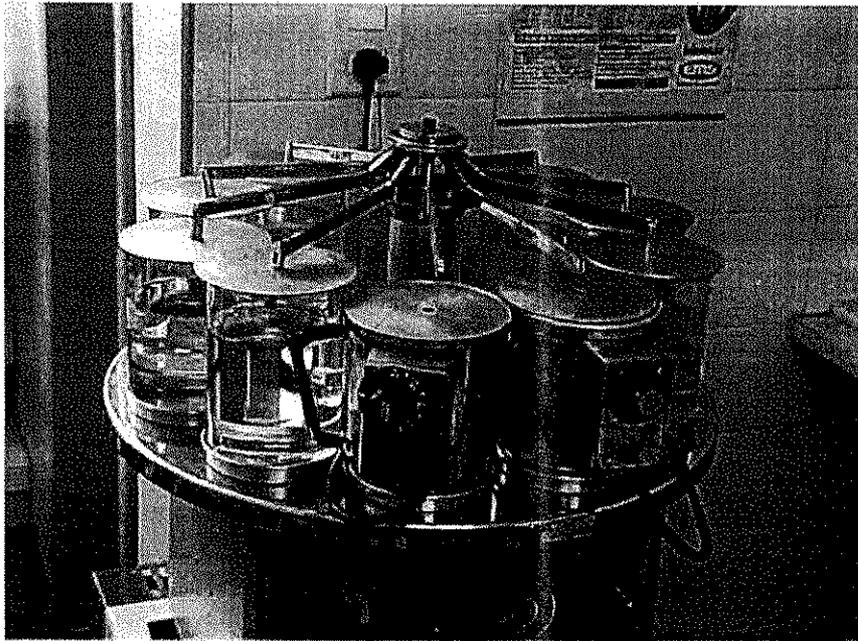


Figura D.5: Desidratação.



Figura D.6: Estufa.



Figura D.7: Inclusão em parafina.

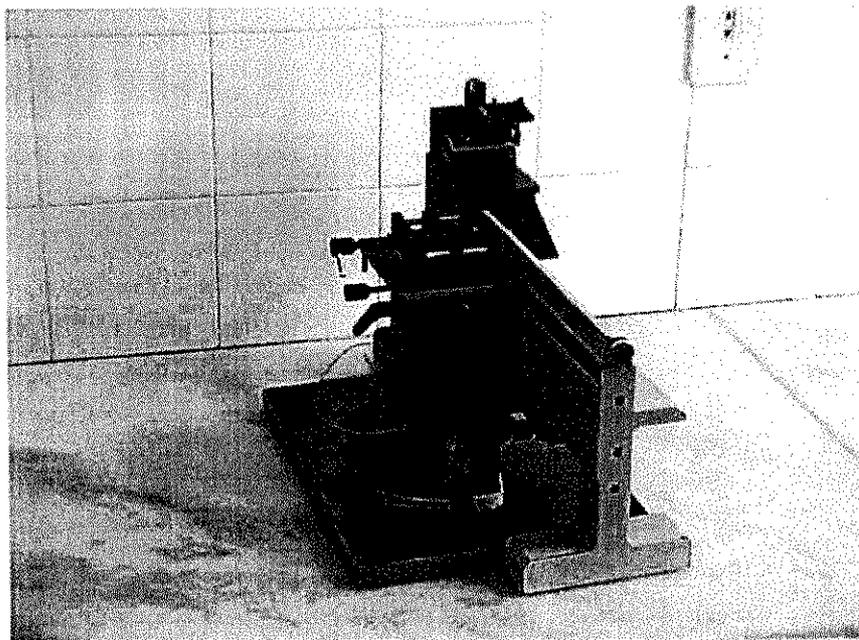


Figura D.8: Micrótomo.

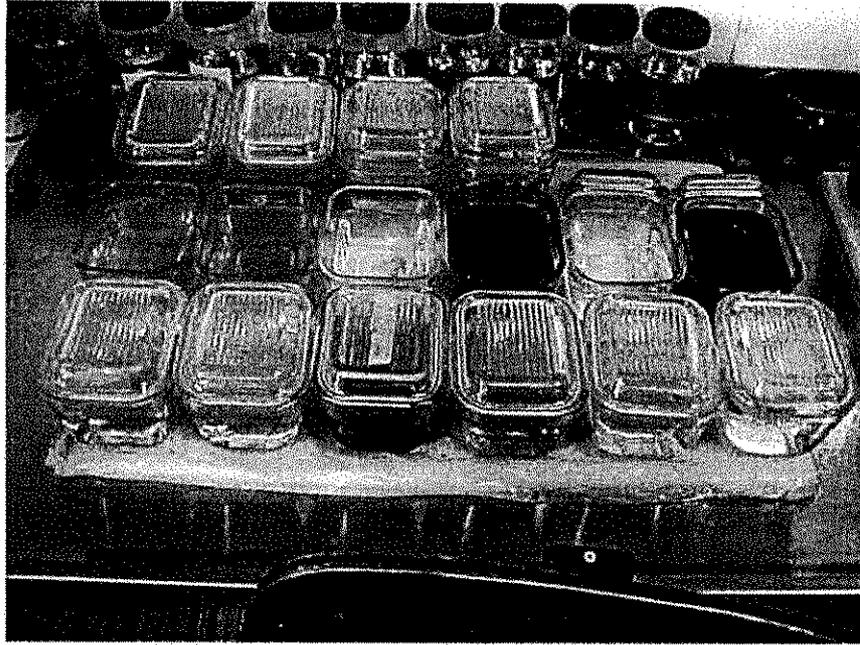


Figura D.9: Corantes.

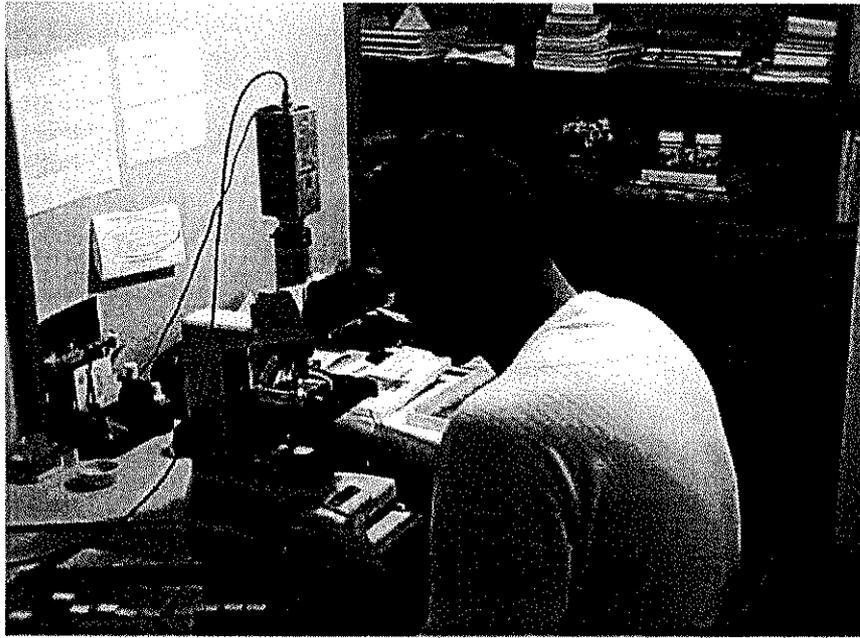


Figura D.10: Análise das lâminas no microscópio.

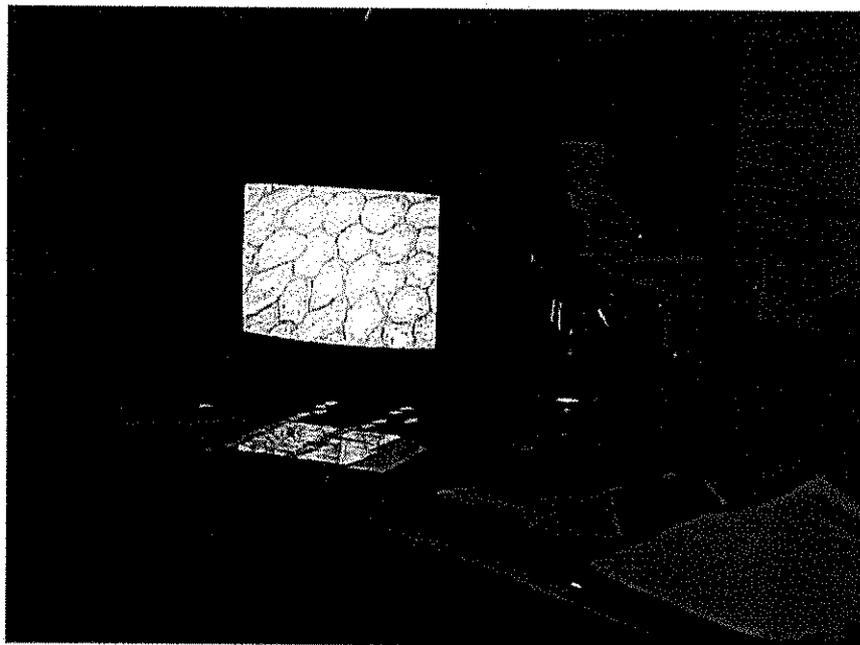


Figura D.11: Análise das lâminas no monitor.

# Bibliografia

- [1] O. P. Gandhi. "State of Knowledge for Electromagnetics Absorbed Dose in Man and Animals". *IEEE Proceedings*, 68:24-32, 1980.
- [2] C. H. Durney. "Electromagnetic Dosimetry for Models of Humans and Animals: A Review of Theoretical and Numerical Techniques". *IEEE Proceedings*, 68:33-40, January 1980.
- [3] S. P. A. Bren. "Historical Introduction to EMF Health Effects". *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, pages 24-30, July/August 1996.
- [4] C. Polk and B. Postow. "*Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Fields*". CRC Press, 1996.
- [5] ANSI/IEEE C95.1. "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to RF Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz". *Institute of Electrical and Electronic Engineers*, pages 1-76, 1992.
- [6] ANATEL. "Diretrizes Para Limitação da Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos Variáveis no Tempo (até 300 GHz)". Parecer técnico, Agência Nacional de Telecomunicações, 1999.
- [7] S. P. A. Bren. "Reviewing the RF Safety Issue in Cellular Telephones". *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, pages 109-115, May/June 1996.
- [8] M. S. Alencar, R. M. Valle e J. E. P. Farias. "Consultoria prestada acerca do Processo 003641/96 - Luiz Inacio Araújo Filho, movido contra a Telecomunicações da Paraíba S.A., como membro de Comissão designada em função da Portaria

012/96 do DEE/CCT/UFPB, para proceder estudo técnico e emitir parecer quanto à instalação de estação radiobase no bairro de Bodocongó, em Campina Grande, Paraíba”. Parecer técnico, Universidade Federal da Paraíba, 1996.

- [9] M. S. Alencar. “Estudo técnico, contendo parecer, sobre possíveis efeitos biológicos causados pelo sistema móvel da TIM Ceará sobre a população de Fortaleza”. Parecer técnico, Universidade Federal da Paraíba, 1999.
- [10] M. S. Alencar, R. M. Valle e J. E. P. Farias. “Consultoria prestada a Companhia de Trens Urbanos (CBTU), como Presidente de Comissão designada em função da Portaria 017/97 do DEE/CCT/UFPB, para proceder estudo técnico e emitir parecer quanto à instalação de repetidoras e de estações de retransmissão de rádio na cobertura do Edifício Sede do INSS, em João Pessoa, Paraíba”. Parecer técnico, Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- [11] A. A. Salles. “Efeitos Biológicos dos Telefones Celulares Portáteis”. *Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações*, 11:71–80, Dezembro 1996.
- [12] J. T. Senise. “Normas de Segurança para Exposição a Campos de Radiofrequências e Microondas”. *Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações*, 11:81–88, Dezembro 1996.
- [13] H. Gottlober and K. Henrichs . “Can Mobile Phones Affect Your Health?”. *Telcom Report International*, 18:26–29, 1995.
- [14] A. V. Vorst. “1990-1995 Advances in Investigating the Interaction of Microwave Fields with the Nervous System”. *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, 44:1898–1909, October 1996.
- [15] B. R. Goldberg. “Literature Resources for Understanding Biological Effects of EM Fields”. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, pages 96–101, August 1996.
- [16] M. Fischetti. “Historical Introduction to EMF Health Effects”. *IEEE Spectrum*, pages 43–47, June 1993.

- [17] M. Burkhardt, B. Kühn and N. Kuster. "The Dependence of EM Energy Absorption Upon Human Head Modeling at 900 MHz". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 44:1865–1873, October 1996.
- [18] G. Lazzi and M. C. Furse. "Electromagnetic Absorption in the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900 MHz". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 44:1884–1897, October 1996.
- [19] A. M. Jensen. "EM Interaction of Handset Antennas and a Human in Personal Communications". *IEEE Proceedings*, 83:7–17, January 1995.
- [20] S. Watanabe, M. Taki, T. Nojima and O. Fujiwara. "Characteristics of the SAR Distributions in a Head Exposed to Electromagnetic Fields Radiated by a Hand-Held Portable Radio". *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 44:1874–1883, October 1996.
- [21] J. M. Galvin, J. M. Ortner and D. I. McRee. "Studies on *in Vivo* Exposure of Rats to 2450-MHz Microwave Radiation - III. Biochemical and Hematologic Effects". *Radiation Research*, 90:558–563, 1982.
- [22] S. P. Nawrot, D. I. McRee and J. M. Galvin. "Teratogenic, Biochemical, and Histological Studies with Mice Prenatally Exposed to 2.45-GHz Microwave Radiation". *Radiation Research*, 102:35–45, 1985.
- [23] M. Gheyi, M. S. Alencar, S. L. C. Rodrigues e R. R. Wanderley. "Efeitos da Radiação de 2,45 GHz em Ratos de Laboratório". *Artigo aceito para publicação nos anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, 2000.
- [24] M. Gheyi, M. S. Alencar, J. M. P. Moreira, S. Nain, M. J. Pachu e G. Glionna. "Alterações Comportamentais Observadas em Ratos de Laboratório Submetidos à Radiação de Microondas". *Artigo aceito para publicação nos anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*, 2000.

- [25] J. C. Lin. "Effects of Microwave and Mobile-Telephone Exposure on Memory Processes". *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol.42:118–120, June 2000.
- [26] S. L. C. Rodrigues e M. S. Alencar. "Efeitos da Radiação Eletromagnética Proveniente da Telefonia Celular em Ratos de Laboratório". Relatório de iniciação científica, Universidade Federal da Paraíba, 2000.
- [27] M. A. A. Guidi. "*Exercícios de Laboratório em Psicologia*". Martins Fontes, 1979.
- [28] P. I. C. Gomide e L. N. Dobrianskyj. "*Análise Experimental do Comportamento*". Editora UFPR, 1995.
- [29] N. Kuster, Q. Balzano and J. C. Lin. "*Mobile Communications Safety*". Chapman & Hall, 1997.
- [30] R. M. Lebovitz and L. Johnson. "Testicular Function of Rats Following Exposure to Microwave Radiation". *Bioelectromagnetics*, 4:107–114, 1983.
- [31] M. Gheyi, M. S. Alencar, R. A. Alves, S. L. C. Rodrigues e R. R. Wanderley. "Efeitos Biológicos da Radiação de Microondas em *Rattus norvegicus*". *IX Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica*, pages 39–41, 2000.
- [32] F. Madeiro e B. G. Aguiar Neto. "Análise da Correlação entre Medidas Objetivas e Subjetivas em Quantização Vetorial de Imagens". Relatório técnico, Universidade Federal da Paraíba, 1988.
- [33] Paul L. Meyer. "*PROBABILIDADE Aplicações à Estatística*". Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1983.
- [34] J. N. Carvalho. "Desenvolvimento de um Protótipo de Sistemas de Hipertermia por Microondas". Dissertação de mestrado, Universidade Federal da Paraíba, 1996.
- [35] W. L. Stutzman and G. A. Thile. "*Antenna Theory and Design*". John Wiley, 1998.

- [36] W. T. A. Lopes e M. S. Alencar. "Determinação da Intensidade de Campo Distante para Comunicações Móveis". Relatório técnico, Universidade Federal da Paraíba, Março 2000.
- [37] P. V. Farreras e C. Rozman. "*Medicina Interna*". Guanabara Koogan, 1985.
- [38] M. A. Saraiva e H. M. P. Baracuh. "HEMATOLOGIA - Guia de Introdução ao Estudo". Apostila, Universidade Federal da Paraíba, 1997.