

**DESENVOLVIMENTO DA CADEIRA DE BÁRÁNY  
ELETRICAMENTE CONTROLADA COMO SIMULADOR  
DE DESORIENTAÇÃO ESPACIAL**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À  
PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE  
MESTRE EM ENGENHARIA**

**LUIZ ALBERTO PIEDADE**

Porto Alegre, dezembro de 2001

DESENVOLVIMENTO DA CADEIRA DE BÁRÁNY ELETRICAMENTE  
CONTROLADA COMO SIMULADOR DE DESORIENTAÇÃO ESPACIAL

Candidato: Luiz Alberto Piedade

Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de mestre em engenharia e aprovada em sua forma final pelo programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

---

Prof. Fausto Líbano. Ph. D.

Coord, do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Elétrica

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Thais Russomano, Ph.D - Presidente

---

Prof. Dr. João Carlos Pinheiro Beck, Ph. D.

---

Prof. Dr. Dario Francisco G. de Azevedo, Ph. D.

---

Prof. Dr. Sady Selaimen da Costa

## Lista de Figuras

1.1	Cadeira de Bárány .....	2
1.2	Sistema de desorientação SDS .....	6
1.3	Vista esquemática do SDS .....	7
1.4.A	Localização do labirinto no osso temporal .....	10
1.4.B	Labirinto ósseo ressecado .....	11
1.5	Labirinto ósseo e membranoso em conjunto.....	11
1.6	Canais semicirculares, utrículo, sáculo e cóclea .....	12
1.7	Mácula do Sáculo e do Utrículo .....	13
1.8	Célula ciliar .....	14
1.9	Crista ampular .....	16
1.10	Cúpula defletida .....	17
1.11	Nervo vestibulococlear .....	18
1.12	Entrada do nervo na medula .....	19
1.13	Floculus-nodular .....	20
2.1	Sistemática de erros .....	26
2.2	Ilusão vestibular .....	28
2.3	Planos espaciais .....	29
2.4.A B	Início e duração da manobra .....	30
2.4.C	Nivelamento do avião .....	31
2.4.D	Desorientação Espacial .....	31
2.5.A	A aeronave do caso acima relatado .....	35
2.5.B	o painel da aeronave .....	35
3.1.A	Vista em perspectiva da CBEC .....	37
3.1.B	Vista frontal da CBEC .....	37
3.2	Elementos de rotação .....	39
3.3	Elementos da transmissão .....	42
3.4	Diagrama esquemático do circuito .....	45
3.5	Vista frontal do equipamento .....	47
3.6	Vista posterior do gabinete .....	48
3.7	Protótipo final montado .....	51

3.8	Gráfico da velocidade máxima em cada intervalo de tempo.	54
3.9	Gráfico da Tabela 3.2 .....	57
4.1	Cadeira de Bárány em teste .....	62
4.2	Gráfico da Tabela 4.2 .....	64
6.1	CBEC com suportes laterais para cabeça .....	75

### **Lista de Tabelas**

2.1	Experiência de vôo com desorientação espacial .....	23
-----	---	----

2.2	Porcentagem de pilotos que tiveram experiência de desorientação .....	24
3.1	Velocidade máxima em cada intervalo de tempo .....	53
3.2	Dados dos testes .....	56
4.1	Resumo dos testes de avaliação do funcionamento da Cadeira de Bárány Eletricamente Controlada .....	62
4.2	Resultado dos dados obtidos durante os testes com os alunos da Faculdade de Ciências Aeronáuticas/PUCRS .....	63

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço à minha esposa, Dra. Ana Luisa Bueno Piedade e à minha filha Alessandra.*

*Ao Professor João Carlos Pinheiro Beck e ao Técnico Vanderlei Ochôa, do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC/RS, ao IPCT e ao Eng. Denis Barbieri. Agradeço também à minha orientadora, Professora Dra. Thaís Russomano.*

## SUMÁRIO

Lista de figuras .....	III
Lista de tabelas .....	V
Agradecimentos .....	VI
Resumo .....	VII
Abstract .....	VIII

## Capítulo I -

1.1 - Introdução .....	1
1.1.1 - Identificação do problema .....	3
1.1.2 - Justificativa .....	5
1.1.3 - Uso da Cadeira de Bárány como simulador de desorientação espacial .....	5
1.2 - Revisão sobre a fisiologia do Aparelho Vestibular.....	9
1.2.1 - O Aparelho Vestibular .....	9
1.2.2 - O centro de percepção da aceleração linear .....	13
1.2.3 - O centro de detecção da aceleração rotacional .....	15
1.2.4 - Processamento das informações.....	17

## Capítulo II -

### Acidentes aeronáuticos .....

2.1 - Acidentes aéreos causados por desorientação do sistema vestibular .....	21
2.2 - Como a desorientação vestibular causa acidentes..	27
2.3 - Ilusão por Aceleração Linear .....	27

2.4	-	Ilusão por Aceleração Rotacional	
.....			29

Capítulo III - O Protótipo

3.1	-	Considerações iniciais	36
3.2	-	Materiais e Métodos	36
3.2.1.	-	A cadeira	36
3.2.2.	-	Sistema de Rotação	38
3.2.3.	-	Os elementos dos conjuntos Sistema	
		Motor e Sistema de rotação	38
3.2.3.1.	-	Sistema Motor	38
3.2.3.2.	-	Transmissão do movimento	41
3.2.3.2.a	-	Coroa Motora	42
3.2.3.2.b	-	Coroa Movidada	43
3.2.3.2.c	-	Corrente de Rolos	43
3.2.3.3.	-	Variador de velocidade angular	43
3.2.3.3.1.	-	Funcionamento do Circuito	44
3.2.3.3.2.	-	Componentes Utilizados no	
		Circuito	46
3.2.3.3.3.	-	Montagem do Variador de velocidade angular	46
3.2.3.3.4.	-	Parte frontal do painel	47
3.2.3.3.5.	-	Parte posterior do painel	48
3.2.3.3.6.	-	Tacômetro	49
3.3.	-	Segurança	49
3.3.1	-	Segurança mecânica	49
3.3.2	-	Segurança elétrica	50
3.4.	-	O protótipo montado	50
3.5.	-	Avaliação das condições de funcionamento da CBEC	



3.5.1. - Considerações iniciais .....	52
3.5.2. - Determinação da máxima velocidade de rotação da CBEC .....	52
3.5.3. - Verificação dos parâmetros requeridos para o teste .....	55
Capítulo IV - <u>Testes Para Avaliação Do Funcionamento da</u> <u>CBEC</u>	
<u>Quanto à Desorientação do Sistema Vestibular .....</u>	<u>59</u>
4.1. - Avaliação em pilotos privados - Faculdade de Ciências Aeronáuticas/PUCRS .....	59
4.2. - Teste de Avaliação .....	59
4.2.1. - Teste 1 .....	60
4.2.2. - Teste 2 .....	61
4.2.3. - Teste 3 .....	61
4.3. - Resultado dos testes de avaliação da CBEC ...	63
4.3.1. - Sensação de desorientação espacial ...	65
4.3.2. - Incapacidade de determinar o momento de parada da CBEC ..	65
4.3.3. - Ocorrência de náusea .....	65
4.3.4. - Desorientação após 3 minutos do término do teste .....	66
4.3.5. - Severa desorientação após o teste 3 .....	66
4.3.6. - Perda severa do equilíbrio após o teste com levantamento rápido da cabeça .....	66
4.3.7. - Orientou-se através do ruído do motor .....	67
4.3.8. - Orientou-se através da vibração do sistema .....	67

4.3.9. - Orientou-se pela perturbação dinâmica.....	67
Capítulo V - <u>Limitações e sugestões</u> .....	68
5.1. - Limitações .....	68
5.1.1. - O Motor .....	69
5.1.2. - Transmissão de movimento .....	69
5.1.3. - Base da CBEC .....	69
5.1.4. - Contador do número de rotações por minuto .....	70
5.1.5. - Ruído do motor e transmissão de movimento .....	70
5.2. - Sugestões .....	71
5.2.1. - Giro para ambos os lados .....	71
5.2.2. - Motor .....	71
5.2.3. - Transmissão de movimento .....	72
5.2.4. - Base da CBEC .....	72
5.2.5. - Contador de RPM .....	72
Capítulo VI - <u>Conclusões</u> .....	74
6.1. - Conclusões .....	74
ANEXOS .....	76
Anexo 1 - Biografia de Bárány.....	77
Anexo 2 - Consentimento Informado.....	80
Anexo 3 - Manual de referência da Siemens TCA785.....	81
BIBLIOGRAFIA .....	97

## **Resumo**

Esta dissertação descreve a concepção, o projeto e a construção de uma cadeira de Bárány que tem seu giro eletricamente controlado. O dispositivo é usado como simulador de desorientação espacial, causada por estimulação do sistema vestibular. Sua aplicação engloba a área acadêmica, através do treinamento de pilotos em faculdades de ciências aeronáuticas e aeroclubes, e a área científica, através da realização de projetos de pesquisa que estudem o sistema vestibular no ambiente aéreo e espacial.

A dissertação inclui uma revisão da anatomia e da fisiologia do sistema vestibular humano, o que é utilizada como base para o entendimento dos aspectos biológicos encontrados no processo de desorientação do sistema vestibular presentes no meio aeroespacial. Os tipos mais freqüentes de desorientação espacial são descritos e exemplos de acidentes aéreos são comentados.

Todas as fases de desenvolvimento da cadeira de Bárány eletricamente controlada são descritos. A construção do protótipo é feita de maneira detalhada, com fotografias ilustrando seus componentes, suas especificações e a maneira de montagem. Também são, aqui, incluídos testes realizados para estudar seu funcionamento mecânico e elétrico e a avaliação de

seu uso como simulador de desorientação espacial em 40 pilotos privados.

## **Abstract**

This dissertation describes the conception, the project and the construction of a Bárány's chair which is electrically controlled. This type of chair is used as to simulate spatial disorientation secondary to the stimulation of the vestibular system. The electrically controlled Bárány's chair can be used for academic and research purposes. In the academic area, it can help pilots to understand spatial disorientation and is used in training centers for pilots. The Bárány's chair is also used as a tool for scientific studies that evaluate the physiology of the vestibular system in the aerospace environment.

This dissertation includes a review of the anatomy and the physiology of the vestibular system, which is essential to understand biological aspects encountered during spatial disorientation. The most frequent types of spatial disorientation that occur during flight are described and examples of airplane accidents are discussed. Space motion sickness, a common type of spatial disorientation that affects astronauts in the first 3 days of a space mission, is also explained.

Every step of the development of the Bárány's chair electrically controlled are described. The construction of the prototype is carefully explained, including its components, specifications and the assembly way. Pictures illustrates the chair and its constituents. Engineering tests to study its performance are presented in order to describe its mechanical and electric operation. An evaluation of its use as space disorientation device was performed among 40 private pilots.

# **Capítulo 1**

## **INTRODUÇÃO**

### **1.1. Introdução**

Desde o início da aviação, estudos têm sido realizados para entender as limitações do funcionamento do sistema vestibular humano durante o voo. Na publicação inglesa, *Medical Problems of Flying (Problemas Médicos do Voo)*, de 1920, o pesquisador Head já se preocupava em estudar o equilíbrio e a orientação corporal no meio aeronáutico.

Ilusões causadas pelo sistema vestibular têm gerado inúmeros acidentes aeronáuticos (Clark, 1971; Clark & Graybiel, 1955; Clark et al., 1953; Kirkham et al., 1978; Tredici, 1980).

A desorientação espacial tem sido um fenômeno constante na rotina dos pilotos (Benson, 1974; Benson & Burchard, 1975). Aulas com demonstrações práticas ministradas nos cursos de aviação tentam dar aos alunos a oportunidade de experienciar a desorientação espacial. Para conseguir simular ilusões ocasionadas pelo sistema vestibular, em muitas academias, instrutores de voo usam o dispositivo chamado "Cadeira de Bárány" (Figura 1.1).

Este dispositivo consiste em uma cadeira montada em uma plataforma com um eixo rotatório, que permite rotacioná-la de forma que o piloto é sentado e girado suavemente. Quando o movimento é cessado, o piloto experimenta a desorientação espacial, gerando uma incapacidade momentânea de identificar o momento do repouso relativo da cadeira.

Isto se dá devido à sensação de que a cadeira ainda está em movimento. O fenômeno tem seu princípio biológico explicado, a seguir, no Item 1.2.

A Figura abaixo, mostra a cadeira de Bárány existente no Laboratório de Microgravidade da PUCRS.



**Figura. 1.1** Cadeira de Bárány  
Laboratório de Microgravidade da PUCRS

#### **1.1.1.1. Identificação do problema**

A maior limitação das cadeiras rotatórias convencionais é o fato de elas serem acionadas manualmente e assim não se consegue atingir uma aceleração angular próxima de zero na velocidade angular de interesse, isto dificulta muito a avaliação e a estimulação do sistema vestibular, pois o indivíduo se utiliza desta falha para se orientar e identificar o real movimento da cadeira.

A hipótese desta pesquisa é a de que uma cadeira acionada por um motor elétrico, com rotação controlada, proporcionará uma aceleração gradativa e suave no início do movimento, atingindo uma velocidade angular constante no patamar (entre 15 RPM e 20 RPM) de interesse do experimento. A desaceleração da cadeira deverá ser de forma gradativa ou se realizar uma parada brusca do movimento da mesma.

Essa dissertação de mestrado descreve o desenvolvimento de um dispositivo, inédito em nosso meio acadêmico, que serve como dispositivo de desorientação espacial, denominada de "Cadeira de Bárány Eletricamente Controlada", abreviada para CBEC.



Objetivos:

Partindo-se da hipótese de que uma cadeira eletricamente controlada seja eficaz como dispositivo de desorientação do Sistema Vestibular, o objetivo deste trabalho é

- (1) Construir uma CBEC descrevendo todas as suas fases
- (2) Testar sua efetividade, *in vitro* e *in vivo*
- (3) Efetuar o treinamento de pilotos e estudantes de aeroclubes e faculdades de ciências aeronáuticas quanto à desorientação espacial;
- (4) A realização de pesquisas relativas ao funcionamento do sistema vestibular, visando uma maior compreensão da desorientação espacial, uma freqüente causa de acidentes aeronáuticos. Prevenção e tratamento da cinetose espacial (Lawther & Griffin, 1987), patologia que acomete 70% dos astronautas nas primeiras 72 h de uma missão espacial (Reason, 1970; Reason 1978; Reschke et al., 1984).

A CBEC incluirá algumas inovações em relação à Cadeira de Bárány convencional, as quais são

- (1) atingir uma velocidade angular aproximadamente constante;
- (2) obter uma rotação praticamente constante acionada por motor elétrico;
- (3) Desenvolver um sistema basculante de apoio para cabeça;
- (4) Adaptar cinto de segurança; Possuir controle remoto da rotação, com cabo .

### **1.1.2. Justificativa**

A cadeira de Bárány é um instrumento imprescindível para realizar-se o treinamento de pilotos quanto à desorientação espacial, a qual é experimentada em vôos comerciais, privados e militares.

A CBEC é uma ferramenta de trabalho e pesquisa otimizada, pelo uso de um motor que propicia um controle preciso e suave da aceleração da cadeira e, por conseqüência, estimulação controlada do sistema vestibular.

Em termos de pesquisas passíveis de serem desenvolvidas com o uso da CBEC, as possibilidades são imensas, dependendo unicamente da imaginação.

### **1.1.3 O uso da Cadeira de Bárány como simulador de desorientação espacial**

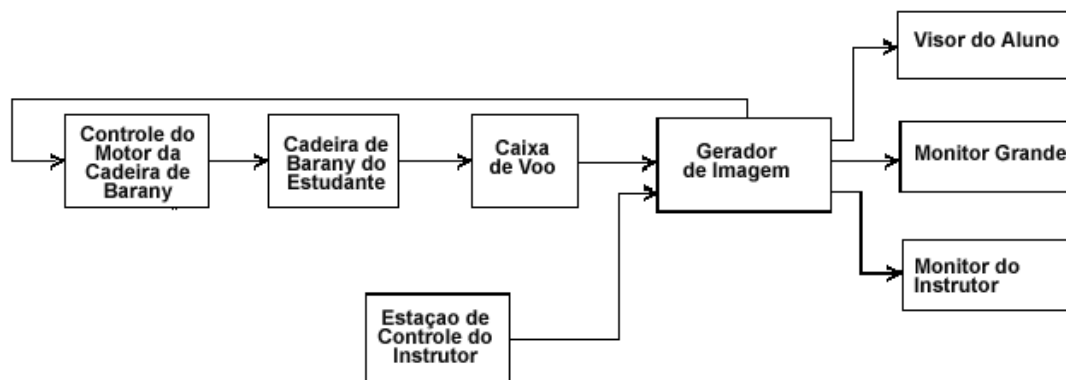
A Cadeira de Bárány vem sendo utilizada desde o início do século passado como instrumento de treinamento para pilotos. O primeiro registro oficial do uso desta cadeira rotatória foi pelo seu próprio inventor, Robert Bárány, na universidade de Uppsala, Suécia, com o objetivo de pesquisar os mecanismos de ação do sistema vestibular.

Com o passar do tempo, várias instituições iniciaram a utilização da Cadeira de Bárány como instrumento de treinamento para pilotos, em vários locais do mundo. Abaixo, são descritos dois exemplos, dentre vários encontrados na literatura (Dobie, 1971; Gillingham, 1974; Giles & Lochride, 1985).

Exemplo 1: A RTI (*Research Triangle Institute*), localizada na Carolina do Norte, EUA, possui em linha, atualmente, o estado da arte em simulador de desorientação espacial, o qual utiliza a Cadeira de Bárány motorizada.

O SDS (*Spatial Disorientation Simulator - Simulador da Desorientação Espacial*) consiste em uma integração de um banco de dados sobre o funcionamento dos instrumentos de aviões e um banco de dados referentes ao ambiente externo como paisagens. Interações entre o piloto e o simulador ocorrem através de um sistema denominado "caixa de vôo", o qual simula os controles do avião. A vista externa é projetada em um display montado no capacete do piloto. O sistema é gerenciado por uma estação de trabalho gráfica da *Silicon Graphics*. O instrutor monitora e interage com o piloto através de um monitor de vídeo e teclado. Uma Cadeira de Bárány motorizada é acionada pelo instrutor, com o objetivo de desorientar o sistema vestibular do piloto.

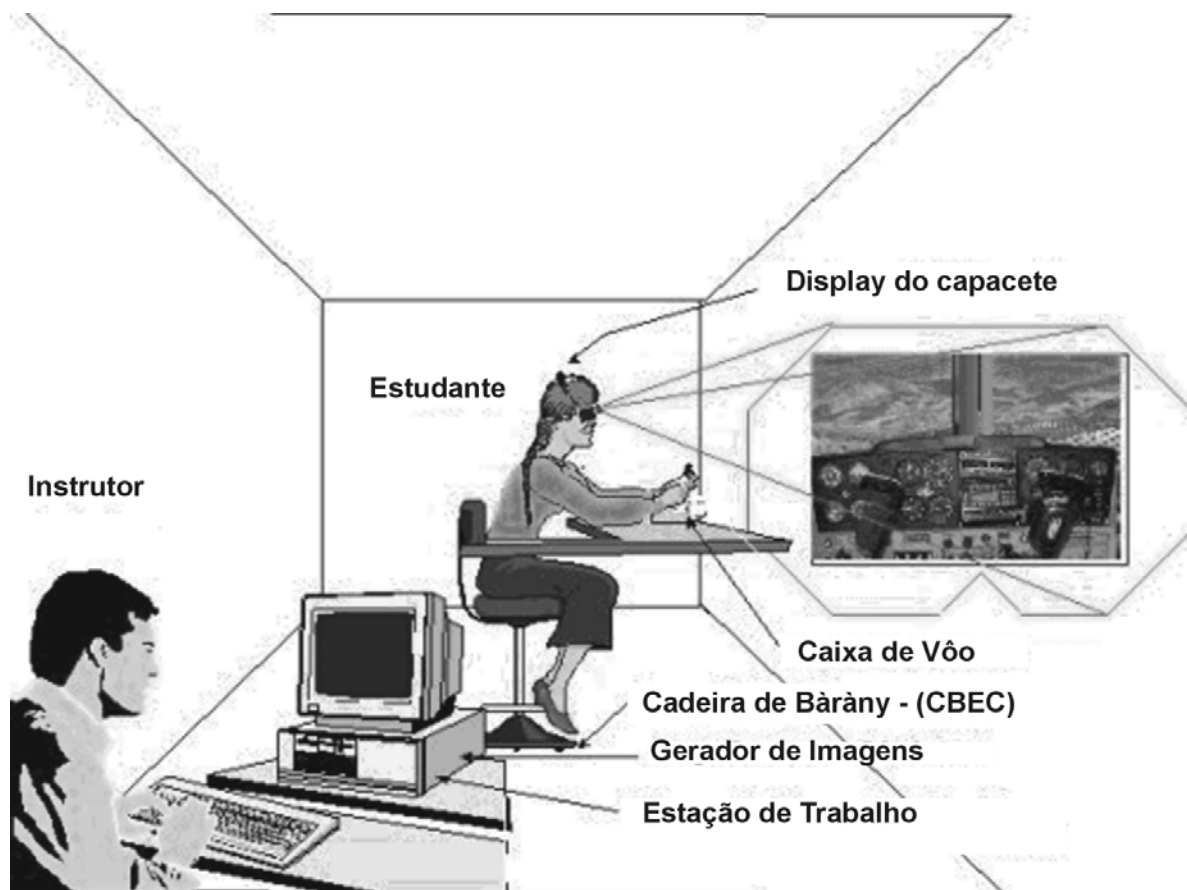
Um diagrama de blocos do equipamento é mostrado na Figura 1.2.



**Figura 1.2** Sistema de desorientação SDS (RTI International Technology, 2001)

Com este simulador, o instrutor pode controlar o giro da Cadeira de Bárány, bem como as imagens no monitor do aluno. A qualquer momento pode ser introduzido um ou mais elementos de desorientação para o aluno. A imagem do monitor também pode ser controlada, alterando ou a visão dos instrumentos do avião ou a visão externa (pista do aeroporto, ambiente de vôo).

A Figura 1.3 representa, de forma esquemática, o Simulador de Desorientação Espacial - SDS - RTI International Technology.



**Figura 1.3** Vista esquemática do SDS (RTI International Technology, 2001)

Exemplo 2: A empresa *Wyle Research Special Tests Services Laboratories* (Houston, Texas, EUA), em sua Divisão de Sistemas de Treinamento Aeromédico, vem, desde 1976, desenvolvendo sistemas dedicados ao treinamento de pilotos, visando o aumento da segurança de vôo. Com este propósito, a empresa desenvolveu o modelo "2400 Vertifuge". Este equipamento consiste em um "cockpit" (cabine do piloto) com graus de liberdade de giro, inclinação, movimentos planetários, todos controlados por computador (Antuñano & Brown, 2000).

A Cadeira de Bárány e suas formas mais aperfeiçoadas não têm sido utilizadas apenas para demonstração e para o treinamento de pilotos quanto a desorientação espacial. Pesquisas relativas ao funcionamento do sistema vestibular na aviação comercial e militar também utilizam a Cadeira de Bárány como uma ferramenta de estudo (Martin & Melvill, 1965).

O ser humano, graças a conquista espacial, vive e trabalha na microgravidade, o ambiente espacial. A cinetose espacial, também conhecida como doença da locomoção espacial, vem sendo um problema para a adaptação do ser humano ao ambiente onde a força gravitacional chega, praticamente, a zero. Cerca de 50% dos cosmonautas do programa espacial russo apresentam sintomas desta patologia (Gorgiladze & Bryanov, 1989). No início do programa espacial norte-americano, durante os programas Mercúrio e Gemini, a sintomatologia da cinetose espacial era muito baixa, aumentando, grandemente, no projeto Apollo e Skylab, quando foram reportados sintomas da cinetose espacial em 35% e 60% dos astronautas, respectivamente (Homick, 1985). Atualmente, a incidência de cinetose espacial no programa

do ônibus espacial, Space Shuttle, atinge 67% (Davis et al., 1988).

Agências espaciais no mundo inteiro têm se dedicado ao estudo desta patologia para permitir uma mais rápida e melhor adaptação do ser humano à microgravidade. A Cadeira de Bárány serve, então, para testar medicamentos anti-cinetose espacial e para estudar o funcionamento do sistema vestibular (Benson 1984; Bles & Oosterveld, 1984; Borison, 1985; Brand & Perry, 1966).

Teorias têm sido propostas para explicar a cinetose espacial tais como:

a teoria do deslocamento de fluidos corporais dos membros inferiores para os membros superiores (Barret & Lokhandwala; Parker et al., 1983)

a teoria do conflito sensório (Reason & Brand, 1975).

Estas teorias não serão analisadas neste trabalho.

## **1.2 Revisão Sobre a Fisiologia do Aparelho Vestibular**

### **1.2.1. O Aparelho Vestibular**

Existem basicamente dois tipos de equilíbrio:

1) O **equilíbrio estático**, que se refere à orientação do corpo em relação ao chão (gravidade), sendo responsável pela percepção da aceleração linear (Benson et al., 1975; Clark & Graybiel, 1949; Ormsby & Young, 1976);

2) O **equilíbrio dinâmico**, responsável por manter a posição do corpo em resposta a movimentos de aceleração rotacional (acelerações angular e radial), sendo este o foco de interesse desta dissertação (Benson, 1987; Clark, 1970).

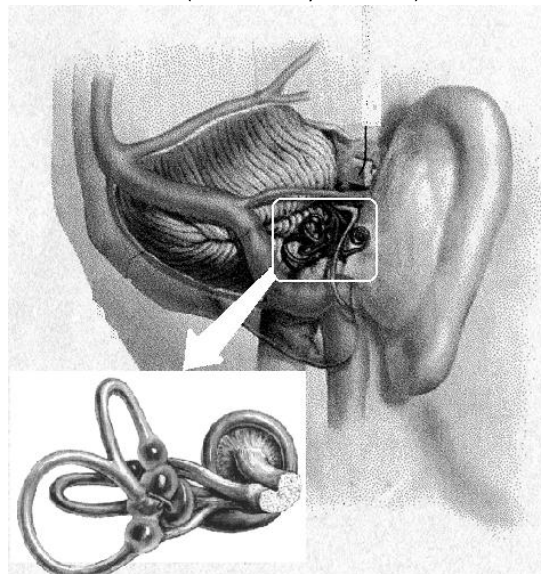
O aparelho vestibular é um órgão que detecta as sensações de equilíbrio estático e dinâmico (Lindeman, 1969; Young, 1984).

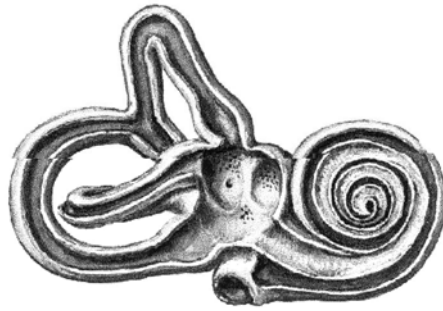
Este aparelho compõe-se de órgãos sensoriais assim divididos (Guedry, 1974):

- (1) O utrículo e o sáculo, responsáveis pela percepção da aceleração linear;
- (2) Os canais semicirculares, em número de 3, responsáveis pela percepção das acelerações radial e angular.

O aparelho vestibular é formado por um sistema de tubos ósseos e câmaras localizados na porção petrosa do osso temporal, parte da orelha interna, conhecida como labirinto membranoso. Sua localização é mostrada na Figura 1.4.A e seu aspecto individualizado mostrado na Figura 1.4.B.

**Figura 1.4.A.** Localização do labirinto no osso temporal (Netter, 1998)

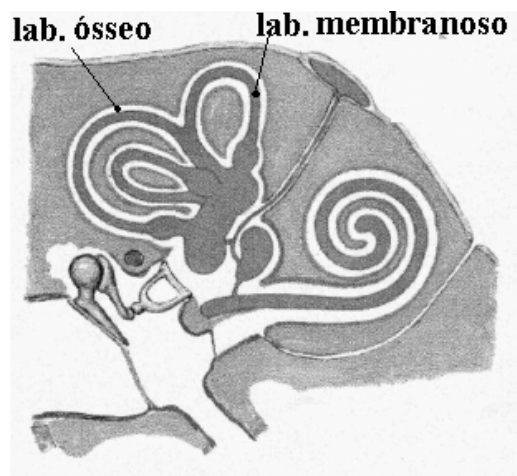




**Figura 1.4.B.** Labirinto ósseo ressecado  
(Netter, 1998)

No labirinto ósseo, há um sistema de tubos ósseos externos, que tem por finalidade a proteção dos órgãos ali localizados. Internamente a estes, entre as câmaras membranosas, está situado o labirinto membranoso, que é a porção funcional do labirinto.

O conjunto do labirinto ósseo e membranoso é ilustrado na Figura 1.5.

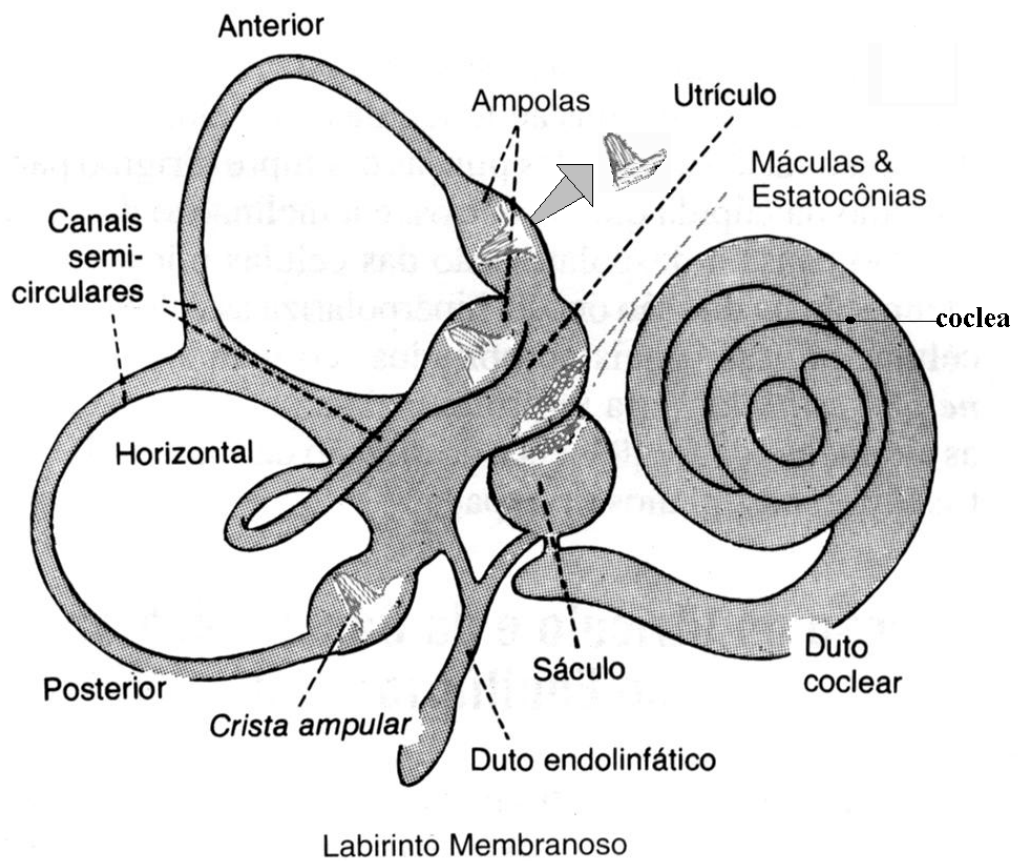


**Fig. 1.5.** Labirinto ósseo e membranoso em conjunto  
(Netter, 1998)

A cóclea, também localizada na orelha interna, é a principal área sensorial da audição, não sendo muito usada para o equilíbrio, que está a cargo dos três canais semicirculares, do utrículo e do sáculo, como mencionado anteriormente.



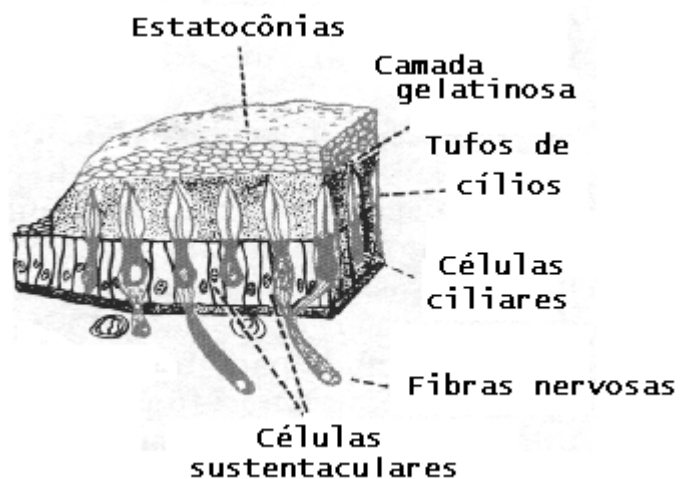
A Figura 1.6 ilustra o sistema vestibular e o sistema coclear.



**Figura 1.6.** Canais semicirculares, utrículo, sáculo e cóclea (Guyton/Hall, 1998)

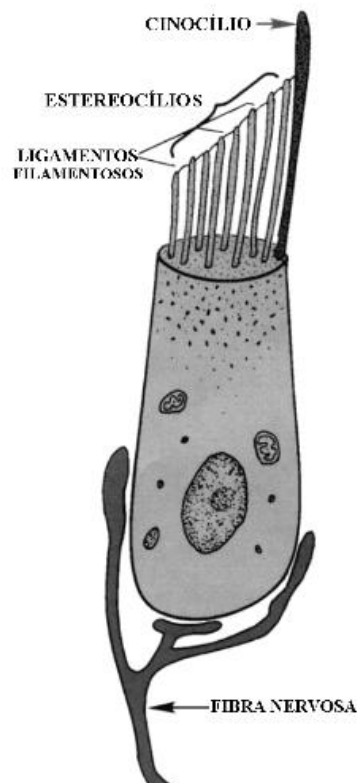
### 1.2.2. O centro de percepção da aceleração linear

Os órgãos de percepção do equilíbrio estático são o utrículo e o sáculo, que se localizam na orelha interna, próximo aos canais semicirculares, como indicados na Figura 1.8. Tanto o sáculo quanto o utrículo possuem máculas, as quais são as áreas sensoriais destes órgãos (Parker, 1980). Elas funcionam como um transdutor mecânico/elétrico, medem cerca de 2mm de diâmetro e são cobertas por uma camada gelatinosa, na qual estão inclusos pequenos cristais de carbonato de cálcio, chamados estatocônias ou otolitos (Figura 1.7).



**Figura 1.7.** Mácula do Sáculo e do Utrículo (Guyton/Hall,1998)

Na mácula, há células ciliares, que fazem sinapse com terminações nervosas do nervo vestibular. Cada célula pilosa tem 50 a 70 pequenos cílios, chamados esterocílios, um cílio maior ou cinocílio, que está sempre localizado em uma das extremidades. Os esterocílios tornam-se, progressivamente, mais curtos em relação ao lado oposto da célula. Todos estes cílios são ligados entre si, através de um ligamento filamentososo que os obriga a se movimentarem juntos, conforme pode ser observado na Figura 1.8.



**Figura 1.8.** Célula ciliar  
(Netter Hall, 1998)

O movimento dos cílios abre e fecha centenas de canais em cada membrana ciliar, gerando condução de íons positivos (potencial de ação). A despolarização dá-se em um sentido do movimento dos cílios e a hiperpolarização, no sentido

inverso. Em cada mácula há várias células ciliares, orientadas em diferentes direções, de modo que algumas delas são estimuladas quando a cabeça se inclina para a frente, outras para o lado e assim por diante. Quando a cabeça se move linearmente em qualquer direção, a mácula se move junto, mas os otolitos, devido à sua inércia, tendem a permanecer parados. Esta distorção de posição dos esterocílios gera, então, o potencial de ação, transmitindo impulsos ao nervo vestibular, como ilustrado na Figura 1.7. Este sistema, contudo, possibilita a percepção apenas das fases finais e iniciais da aceleração linear.

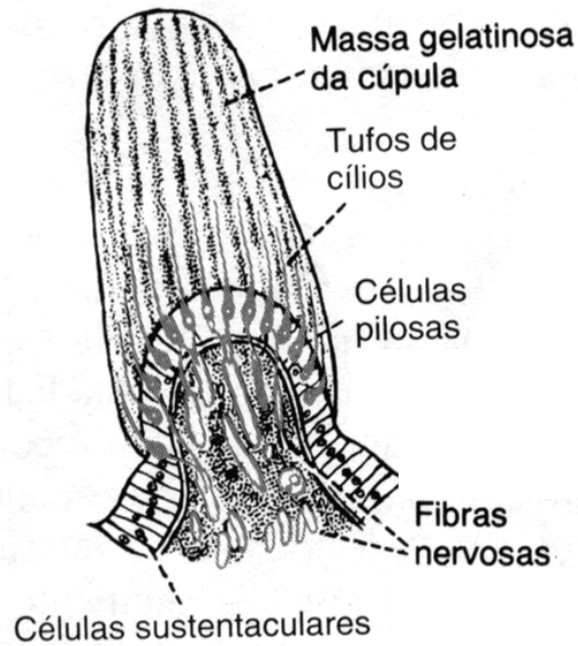
### **1.2.3. O centro de detecção da aceleração rotacional**

A porção do aparelho vestibular responsável pela percepção do equilíbrio rotacional são os canais semicirculares, da orelha interna, situados próximos ao utrículo e ao sáculo (Parker, 1980).

Os canais semicirculares são divididos em: anterior, posterior e lateral, sendo dispostos em ângulos retos entre si, representando os três planos do espaço.

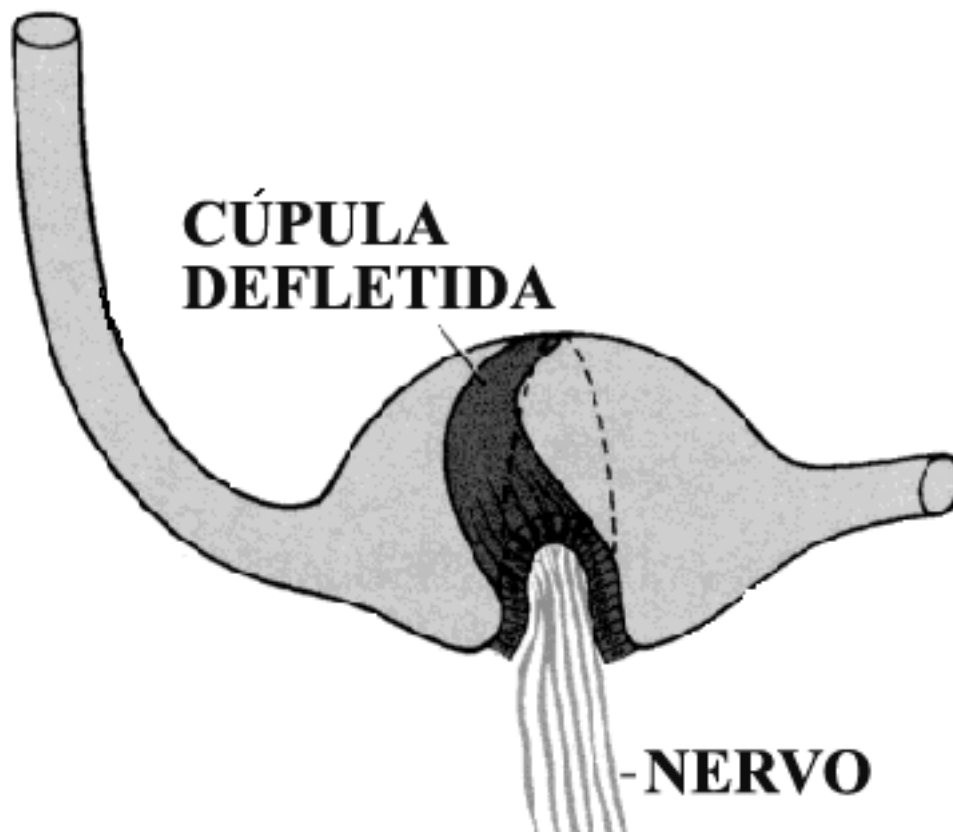
Cada canal semicircular tem uma dilatação em uma de suas extremidades, chamada de ampola, onde estão localizados o seu transdutor mecânico/elétrico, a crista ampular (Figura 1.9).

Cada crista ampular contém células ciliares (como a mácula) e na crista há uma massa gelatinosa chamada cúpula, recoberta com células pilosas.



**Figura 1.9** Crista ampular  
(Guyton/Hall, 1998)

Banhando a crista ampular, existe a endolinfa (líquido que preenche os canais semicirculares, na sua porção membranosa). O fluxo da endolinfa na ampola um dos canais semicirculares excita os transdutores, gerando, então, o potencial de ação. Com o movimento de rotação da cabeça, a inércia do líquido faz com que este tenda a permanecer em repouso, o que causa deflexão na cúpula, conforme é demonstrado na figura 1.10.

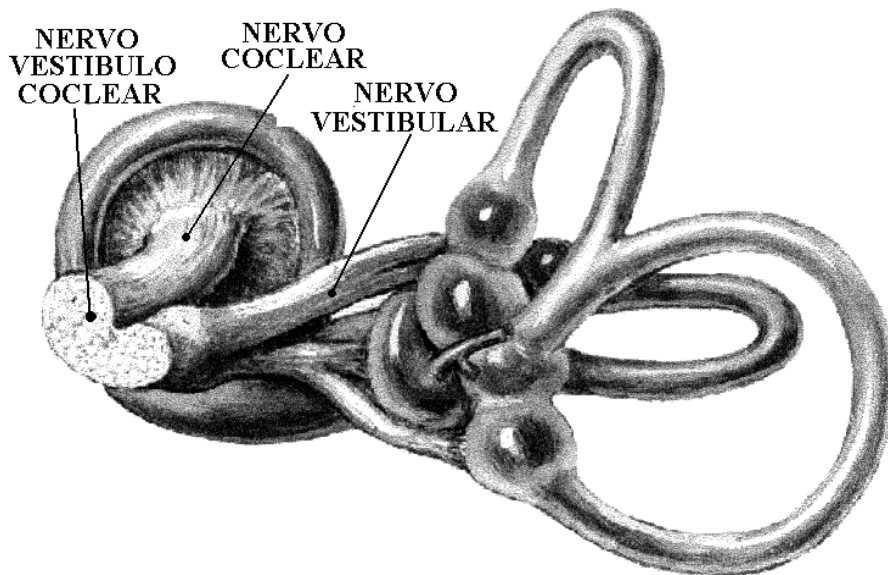


**Figura 1.10** Cúpula defletida  
(Guyton/Hall, 1998)

Logo após cessar o movimento rotacional, a endolinfa, por inércia, tende a continuar girando por um tempo, dando a falsa impressão de que o movimento continua.

#### **1.2.4. Processamento das informações**

As fibras nervosas do sistema vestibular juntam-se com fibras do sistema auditivo (Guyton, 1998) e formam o nervo vestibulococlear, o 8º par craniano (Figura 1.11).



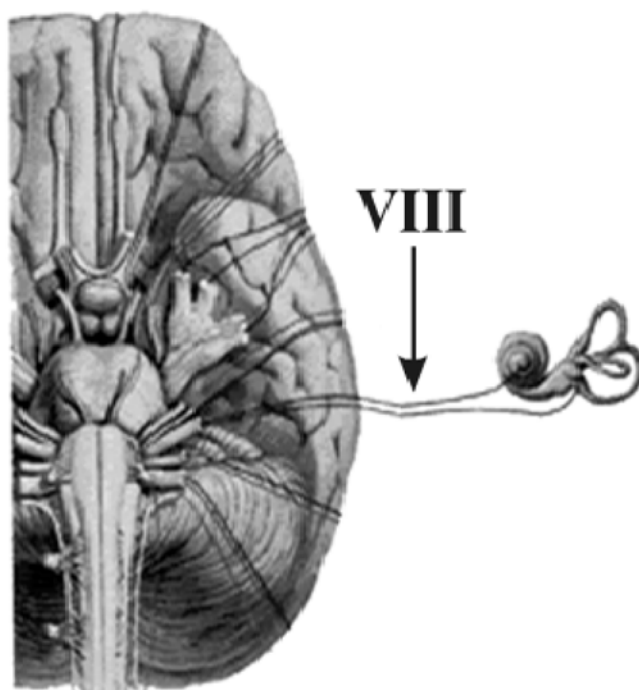
**Figura 1.11** Nervo vestibulococlear  
(Netter, 1995)

O nervo entra no bulbo, parte do Sistema Nervoso Central - SNC -, e tem sua terminação principal no núcleo vestibular, que atua integrando os centros de processamento das informações vestibulares.

A saída efetora, que tem seu potencial de ação (despolarização) no sentido do SNC para a periferia do corpo humano (Figura 1.12) atua em dois alvos:

- 1- Centros motores espinhais, que ativam uma série de neurônios motores, distendendo os músculos e aumentando seu tônus, uma resposta essencial para o controle postural;
- 2- centros superiores motores do cérebro, que regulam os movimentos da cabeça.

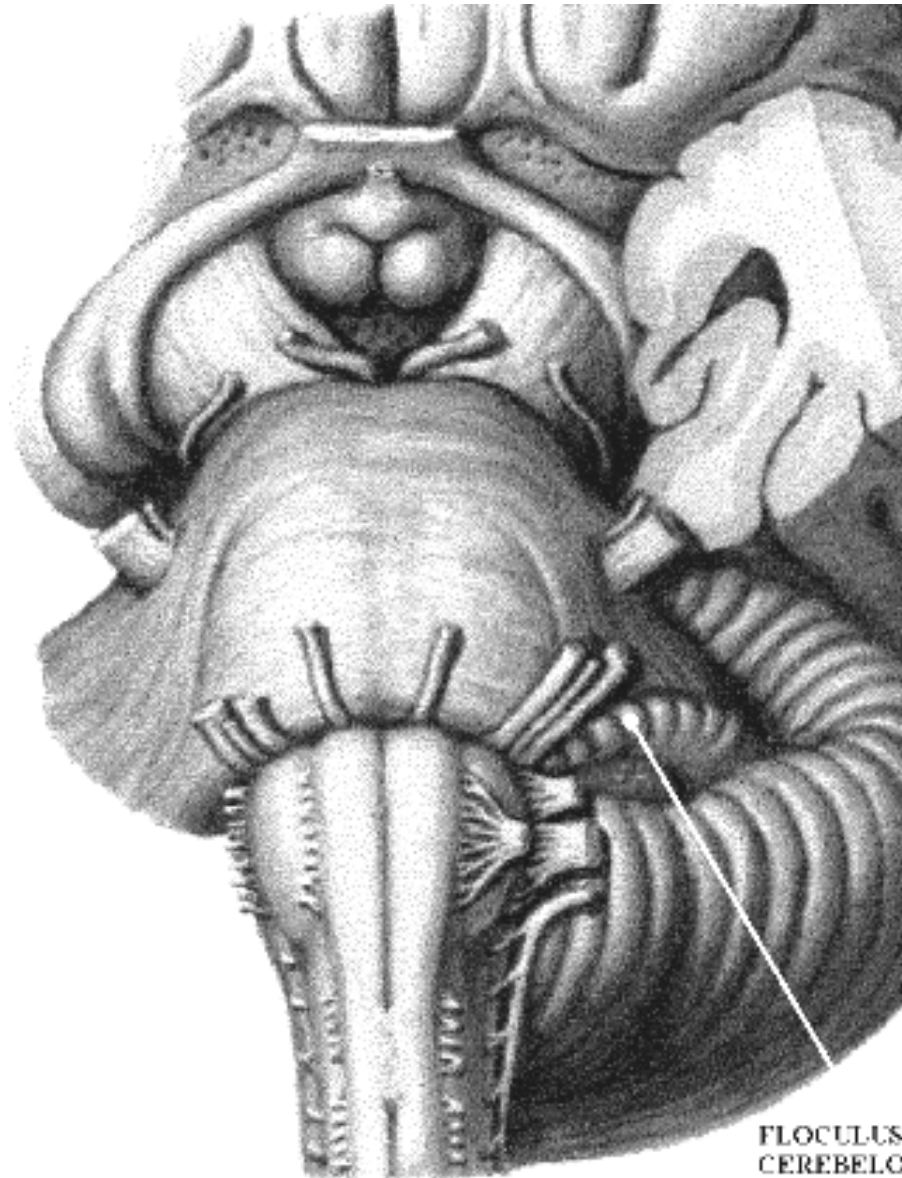
A Figura 1.12 mostra a entrada do nervo Vestíbulo Coclear, no bulbo.



**Figura 1.12.** Entrada do nervo no bulbo  
(Netter, 1998)



O núcleo vestibular é ligado reciprocamente ao flocculus-nodular (Figura 1.13), que executa os comandos motores apropriados para manter o equilíbrio (Guyton, 1998).



**Figura 1.13** Flocculus-nodular  
(Netter, 1998)

# CAPÍTULO 2

## Acidentes Aeronáuticos

### 2.1 Acidentes aéreos causados por desorientação do sistema vestibular

Os acidentes aeronáuticos, algumas vezes, são ocasionados pela desorientação espacial durante o voo.

A desorientação espacial ocorre devido ao fato do ser humano ter seus órgãos sensitivos controladores do equilíbrio adaptados para a vida na superfície da Terra, sob às condições impostas pela gravidade terrestre (aceleração da força gravitacional terrestre  $(g) = 9.81 \text{ m/s/s}$ ). O ser humano não foi feito para voar (A. J. Benson, 2000).

O termo "vertigem", comumente utilizado como sinônimo de desorientação espacial, deve ser aplicado com cuidado especial, pois pode ser entendido de várias formas entre leigos (Tormes/Guedry, 1975), entretanto vertigem é uma ilusão cuja a sensação é reportada como se o ambiente sofresse rotação repentina.

Nesta dissertação, no entanto, o termo vertigem interessa da maneira que pilotos o interpretam.

- Piloto: Sentimento experimentado quando sofre desorientação do sistema vestibular.

Acidentes aéreos foram investigados entre 300 pilotos da Real Força Aérea Naval Britânica, com os seguintes resultados (Clark, 1971):

- 2% negam ter sofrido desorientação;

- 68% experimentaram mais de 10 tipos diferentes de desorientações espaciais ao longo da carreira;
- 61% sofreu uma ou mais desorientações espaciais classificadas como severas;
- 21% dos casos, piloto e co-piloto sofreram desorientação espacial.

A Tabela 2.1. descreve experiências de desorientações espaciais, baseadas em um questionários feito com pilotos (Clark,1971).

**Tabela 2.1.** Experiência de voo com desorientação espacial, baseada em questionários realizados com 137 pilotos em 1956 e 321 pilotos em 1970 (Clark, 1971).

Incidente	Pilotos que reportaram incidente (%)	
	1970	1956
Sensação que uma das asas está mais baixa enquanto as asas estão niveladas.	60	67
No nivelamento após curva inclinada tende a inclinar na direção oposta.	45	67
Sente que está nivelado quando está fazendo uma curva.	39	66
Confusão no cruzamento de informações entre instrumentos e informação visual.	34	31
Ao recobrar de uma curva acentuada, sente giro em direção oposta.	29	55
Sentimento de isolamento e separação da terra quando em alta altitude (fenômeno "break-off").	23	33
Em uma noite escura, um ponto iluminado abaixo parece estar se movendo erraticamente.	21	23
Na tentativa de atingir o alvo, falha na checagem do altímetro e chega muito perto do solo.	12	12

A Tabela 2.2. resume, através da análise de questionários, a experiência de desorientações espaciais sofridas por 104 pilotos norte-americanos (Guedry, 1975), 182 pilotos da Força Aérea Real Britânica da RN1 (Steele-Perkins & Evans, 1978) e 300 pilotos da RN2 (Tormes & Guedry, 1975).

**Tabela 2.2.** Percentagem de pilotos que tiveram experiência de desorientação, baseado na análise de questionários

Classificação		USN	RN1	RN2
1	Sensação de que não está nivelado após fazer uma curva.	91	96	94
2	Erro na interpretação da posição relativa ou movimento da nave durante aproximação noturna.	58	73	74
3	Erro na interpretação do horizonte verdadeiro durante manobra dentro de nuvem.	47	46	45
4	Erro de interpretação da altitude logo após a decolagem da nave.	21	34	38
5	Erro de interpretação do horizonte verdadeiro devido a observação das luzes de terra.	33	28	15
6	Sensação de estar suspenso no espaço.	*	19	16
7	Sensação de instabilidade, como se a aeronave estivesse equilibrando-se no fio de uma faca.	*	*	18

USN - 104 pilotos da Marinha Norte Americana (Thormes & Guedry, 1975)

RN1 - 182 pilotos da Marinha Real Britânica (Steele Perkins & Evans, 1978)

RN2 - 300 pilotos da Marinha Real Britânica (Steele Perkins & Evans, 1978)

As desorientações espaciais, também referidas como vertigem e percepções ilusórias, podem ser classificadas em dois tipos, como indicado abaixo:

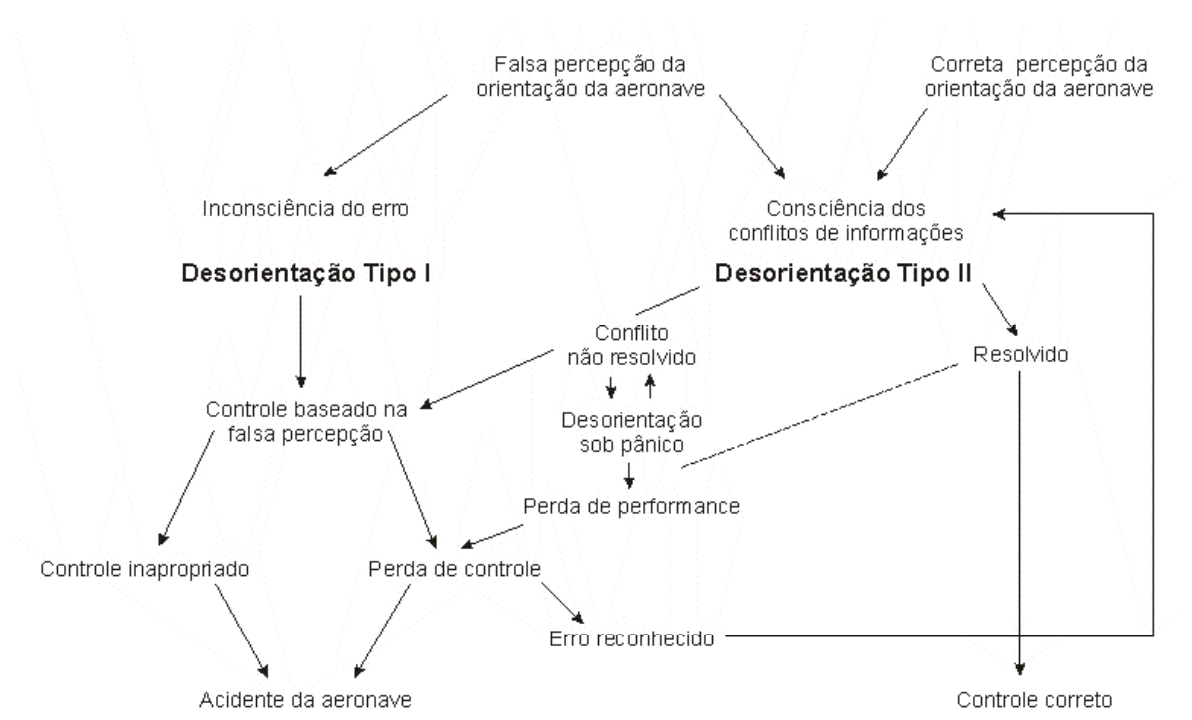
#### **Tipo I**

Quando o piloto não identifica que sua percepção em relação a aeronave está incorreta.

#### **Tipo II**

A mais comum forma de desorientação. Neste caso, o piloto experimenta um conflito entre o que ele sente que está acontecendo com a aeronave e a correta orientação indicada pelos instrumentos de bordo. O tipo mais perigoso para a segurança de vôo é o tipo I, pois quando o piloto percebe a situação não tem mais altura ou tempo para corrigir o erro. Somente uma pequena fração do tipo II leva ao acidente.

A Figura 2.1 demonstra a sistemática dos erros Tipos I e II.



**Figura 2.1** Sistemática de erros  
(Nehrenz, 1995)

**2.2. Como a desorientação vestibular causa acidentes**

A desorientação do sistema vestibular pode ser linear, rotacional e os dois meios combinados. Diversos acidentes foram relatados em virtude da desorientação do sistema vestibular (Kraus, 1959; Leibowitz & Dighans, 1980; O'Connor, 1967).

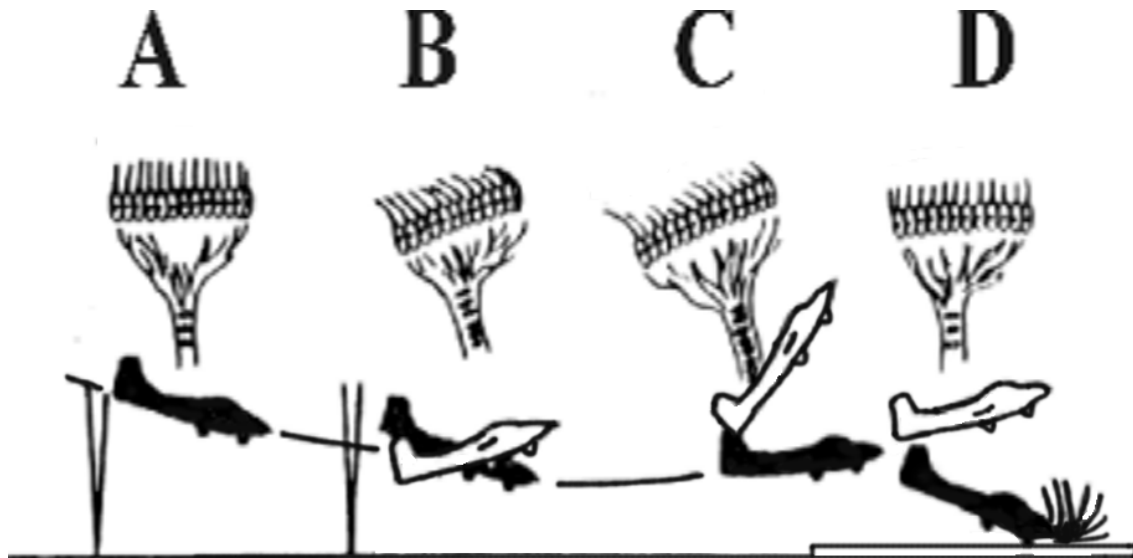
A seguir, são descritos estes mecanismos de desorientação espacial e apresentado um exemplo de acidente aéreo, relatado na literatura.

### **2.3. Ilusão por Aceleração Linear**

Um exemplo típico de uma ilusão de aceleração linear do sistema vestibular em aviação é a manobra de pouso e decolagem, conhecida com "touch and go", comum durante o treinamento de pilotos. A manobra consiste em o piloto vir em aproximação de aterrissagem, tocar o solo e arremeter o avião decolando novamente a aeronave. Quando o piloto arremete a aeronave e faz o "nariz do avião" levantar, por falsa informação (ilusão) do sistema vestibular, ele sente, erroneamente, que levantou demais o "nariz do avião". Ao imaginar que deve corrigir o aparente erro, o piloto tenta nivelar o avião em relação ao horizonte. A correção, no entanto, é excessiva, ocasionando o choque do avião contra o solo.

Na Figura 2.2, o avião preto representa a situação verdadeira e o branco a ilusão espacial sentida pelo piloto.





**Figura 2.2** Ilusão vestibular  
(Adaptado de Nehrenz, 1995)

#### **Fase "A"**

A aeronave vem em aproximação. Notar que as células ciliares encontram-se com os cílios em posição ortostática.

#### **Fase "B"**

Quando o piloto abaixa rapidamente o "nariz do avião" para tocar a pista, os cílios da célula pilosa, por inércia das estatocônias, começam a ser fletidos para trás.

#### **Fase "C"**

Com a falsa a sensação de que o avião (avião branco) foi cabrado<sup>1</sup> (*pitch up*) demais, o piloto baixa o "nariz do avião" para tentar corrigir a falsa sensação.

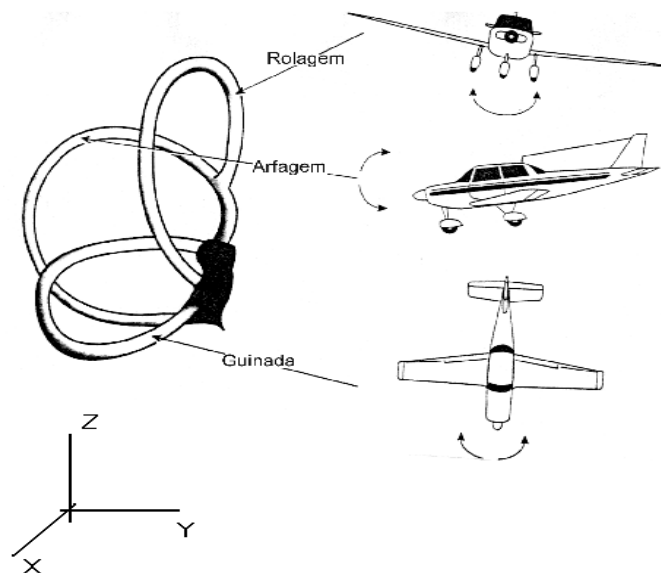
<sup>1</sup> Arfado, colocar a proa em razão de subida ou descida .

## Fase "D"

Nesta etapa, as células ciliares se estabilizaram, por inércia, e o piloto assume que o avião está nivelado. Na realidade, entretanto, o nariz da aeronave está inclinado para baixo (*pitch down*), provocando o acidente ao chocá-lo contra o solo.

### 2.4. Ilusão por aceleração rotacional

A figura 2.3, mostra uma analogia dos canais semicirculares com os 3 planos espaciais cartesianos e os

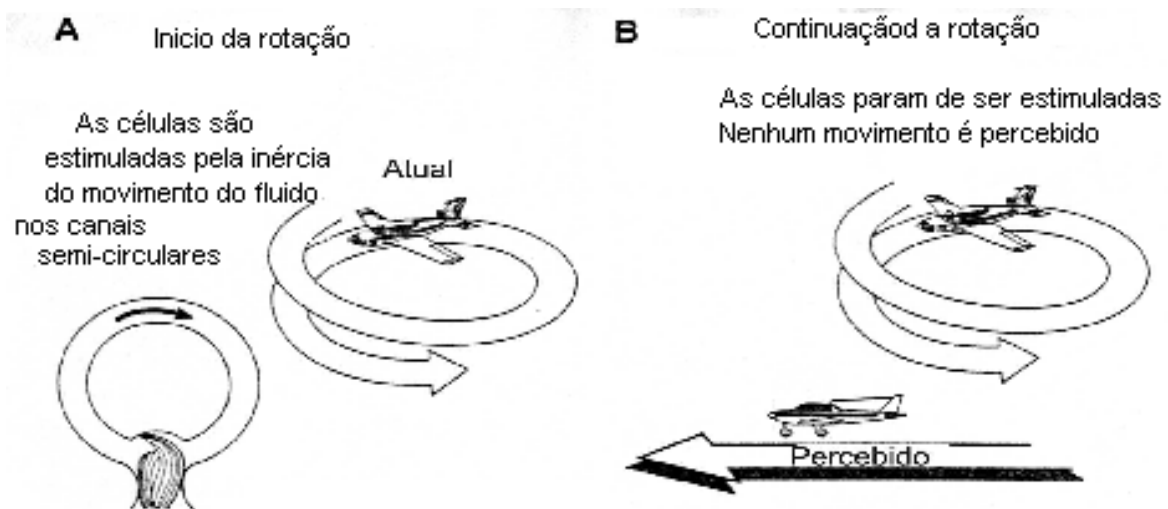


movimentos da aeronave.

**Figura 2.3** Planos espaciais  
(Nehrenz, 1995)

Uma outra ilusão comum do sistema vestibular (*Graveyard Spin*), associada à aceleração rotacional, ocorre quando o piloto faz um parafuso em uma direção de giro e os canais semicirculares giram rapidamente na direção do parafuso. Quando o piloto sai da manobra, por inércia, a endolinfa, que continua a girar fletindo a crista ampular (transdutor), dá a falsa impressão de que o indivíduo está girando em direção oposta (sensação de que o piloto corrigiu demais o giro). Neste momento, o piloto volta a girar na direção original, sem sair do parafuso, ocasionando o acidente.

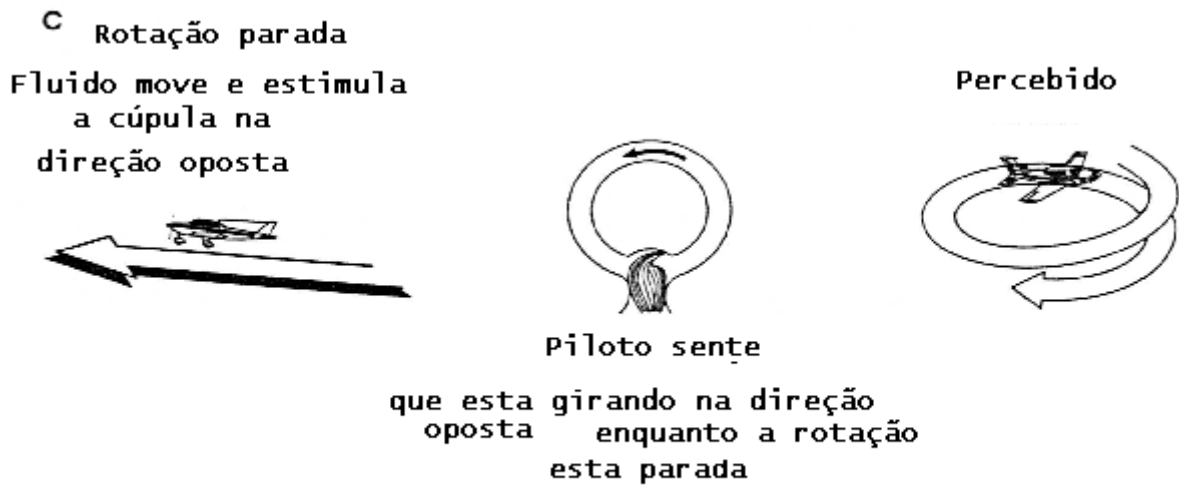
As Figuras 2.4 A, B, C e D ilustram este tipo de desorientação espacial.



**Figuras 2.4 A e B.** Início e duração da manobra (Nehrenz, 1995)

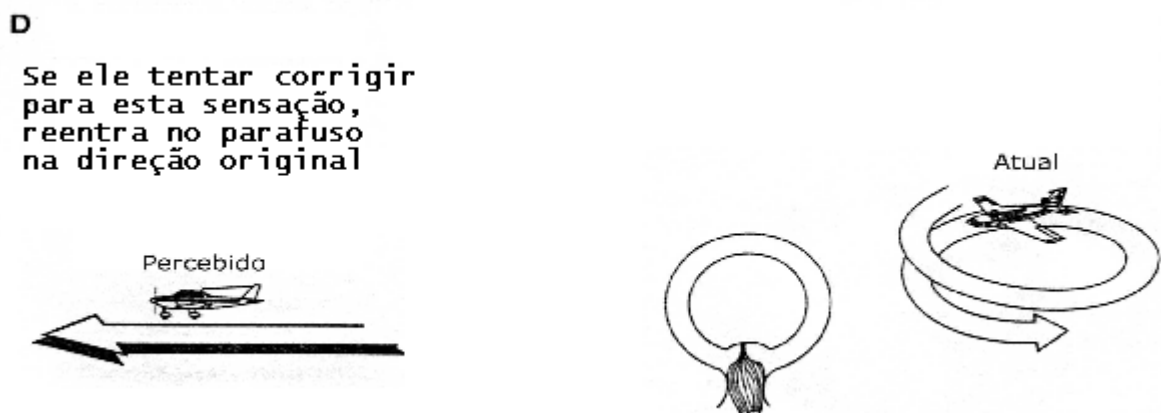
**A:** A cúpula é estimulada pela inércia da endolinfa;

**B:** Aceleração nula, movimento não é percebido.



**Figura 2.4.C** Nivelamento do avião  
(Nehrenz, 1995)

**C:** Piloto, ao nivelar o avião, percebe, pela inércia da endolinfa, um sentido de giro oposto ao da manobra. A sensação é de que o giro erroneamente.



**Figura 2.4.D** Desorientação Espacial  
(Nehrenz, 1995)

**D:** Piloto corrige a falsa percepção, entrando novamente em parafuso, na direção original.

Também é um fator de risco conhecido, o piloto levantar ou baixar subitamente a cabeça para realizar determinada tarefa dentro da cabina. Quando o piloto

retorna a cabeça para a posição inicial, a inércia da endolinfa, que continua a girar, fletindo a crista ampular, dá a falsa impressão de que a aeronave está girando na direção oposta. O piloto tenta corrigir o falso giro, perdendo o controle.

A desorientação espacial, obviamente, não se restringe a interação ambiente, homem e avião. Helicópteros também são alvo de estudos, pois podem ocasionar os mesmos tipos de desorientação espacial descritas para os aviões (Steele-Perkins & Evans, 1978; Tormes & Guedry, 1975).

A seguir, é transcrita a experiência de um piloto que sofreu a desorientação do sistema vestibular durante um vôo de helicóptero (Figuras 2.6 A e B).

## **Sozinho no Escuro<sup>2</sup>**

"Isso aconteceu na costa leste, em um lugar remoto de Province, Rhode Island (EUA). Estava trabalhando em um contrato com um desses enormes navios de pesquisa, não lembro o nome. O contrato era para dar apoio às suas operações. Eu tinha um 206B que ficava a disposição deles. Certa vez, no meio da noite, por volta das 2 horas, fui acordado pelo chefe de operações do contratante.

- Eu tenho uma missão para o helicóptero.

- É sério?

- Sim! Uma missão de vida ou morte!

- Realmente?

- Realmente! (era um caso de mutilação. Um trabalhador havia perdido alguns dedos de uma das mãos).

Levantei e em dez minutos, estava em vôo. Era uma noite escura. Nenhum horizonte ao longe. O navio estava a, aproximadamente, 35 milhas da costa. Quando estava mais ou menos na metade do caminho, comecei a ter alguns problemas com a iluminação do painel. De repente, todas as luzes do painel se apagaram. O indicador de altitude tinha alguma iluminação, por isto ainda podia vê-lo. Decidi verificar o painel superior de switches e disjuntores. No 206B isso requer que se gire a cabeça para a esquerda, inclinado-a para trás. Sem iluminação, eu não podia ler nada. Estava olhando para cima, para o painel, por somente alguns segundos. Quando trouxe minha cabeça de volta para a posição normal, senti uma grande sensação de vertigem. Tive uma irresistível sensação de que a aeronave estava rolando e girando para a direita.

---

<sup>2</sup> (Weller, J. Sozinho no Escuro. In *The Flight*, 25, 32-34, Ed. Bloch, Rio de Janeiro, 2000)

*Era impressionante quão forte era esta sensação. Mal pude resistir ao impulso de fazer um "comendo para a esquerda" com o cíclico para contrariar a contínua e irresistível impressão de estar em uma rolagem para a direita. Estava fazendo comandos esporádicos com o cíclico em resposta a esta sensação de vertigem. Repetidamente, tinha que dizer a mim mesmo que, se eu quisesse sobreviver, teria de manter o controle da minha aeronave. Mesmo com a pane na iluminação, podia ver o suficiente do indicador de altitude para saber a altitude em que eu estava. Convenci a mim mesmo a confiar nos instrumentos e "travá-lo" para manter as asas e o nariz nivelados. Foi impressionante quanto tempo durou essa vertigem. Mesmo manter a altitude da aeronave, continuei a experimentar a sensação de que estava em uma rolagem significativa. Depois de um tempo, a sensação se foi e eu fui capaz de completar a missão. Isso aconteceu há 20 anos, mas posso me lembrar claramente o quão forte era a sensação, o tempo que ela durou e como foi difícil resistir ao impulso de atuar incorretamente em resposta a essa falsa sensação de vertigem. Também me lembro de uma rápida demonstração na escola de aviação. Nela, o instrutor nos fazia baixar a cabeça enquanto ele colocava a aeronave em uma atitude anormal e, depois, tínhamos que recuperar a atitude normal utilizando os instrumentos. De certo modo eu pensava que isso seria como a vertigem. Acredite-me, ela não é assim. Minha experiência foi extremamente forte e demorada."*



**Figura 2.5.A.** A aeronave do caso acima relatado



**Figura 2.5.B.** o painel da aeronave.



# CAPÍTULO 3

## O Protótipo

### 3.1 Considerações iniciais

Devemos considerar o fato de que a Cadeira de Bárány Eletricamente Controlada (CBEC) foi construída sem alocação de verba específica. Para os componentes da cadeira foram aproveitadas diversas peças e dispositivos coletados na própria Universidade (a maioria delas) sendo algumas (de menor preço) compradas no mercado local. Desta forma, foi necessária uma grande dose de criatividade e adequações.

### 3.2 Materiais e Métodos

#### 3.2.1 A cadeira

Para confeccionar a CBEC, foi usada a estrutura de uma antiga cadeira odontológica, que possui um eixo giratório em uma base robusta na qual foram adaptados os componentes do sistema motor, com o objetivo de gerar o movimento da cadeira. Internamente, no eixo central, adaptou-se um rolamento de encosto para diminuir o atrito e, conseqüentemente, reduzir o esforço do motor.

A região superior do eixo possui uma chapa soldada de topo, que é aparafusada ao assento da CBEC. A extremidade inferior do eixo é rotulada através de rolamento engastado dentro da base da CBEC. O rolamento permite o livre giro do eixo e, conseqüentemente, da cadeira.

O apoio para cabeça é confeccionado em tubo galvanizado pintado, possuindo um anteparo semi-elíptico emborrachado em sua extremidade distal.

Um apoio para os pés foi introduzido, tendo por objetivo evitar que as pernas afetem o balanceamento dinâmico da cadeira, fazendo-a girar excentricamente. O encosto, assento e base foram utilizados praticamente sem alterações da cadeira odontológica original. Nas figuras 3.1 A e B, são mostradas duas vistas da CBEC.



**Figura 3.1.A** Vista em perspectiva da CBEC  
(Laboratório de Microgravidade/PUCRS)

**Figura 3.1.B.**  
Vista frontal da CBEC  
(Laboratório de  
Microgravidade/PUCRS)

### **3.2.2. Sistema de Rotação**

O sistema de rotação da CBEC, em realidade, foi a parte do projeto mais elaborada.

Colocou-se a parte motora solidária ao eixo da cadeira, ficando a parte movida engastada à base, através de uma coroa dentada.

É importante ressaltar que, por restrições orçamentárias do projeto, alguns dos componentes utilizados não constituem a solução ideal para os problemas encontrados durante a construção da CBEC.

### **3.2.3. Os elementos dos conjuntos Sistema Motor e Sistema de Rotação**

Os elementos dos conjuntos de Sistema Motor e Sistema de Rotação serão analisados em dois grupos, a saber:

#### **3.2.3.1. Sistema Motor**

Com a finalidade de fazer a cadeira rotacionar, foi acoplado um motor à base da cadeira, este motor tem seu giro transmitido através de corrente e coroas dentadas (ver figura 3.2).



**Figura 3.2.** Elementos de rotação  
(Laboratório de Microgravidade PUCRS)

1. Motor e 2. Redutor

O motor disponível foi um motor de corrente contínua, e rotação dentro de uma faixa que pode ser aproveitada.

Os apoios são em mancais de rolamento de esferas, sendo a extremidade do eixo usada para transmitir o movimento direto ao redutor.

Características do motor:

- Tensão: 220 V
- Corrente: 0,9 A
- Rotação: 1600 RPM

Um sistema de redutor mecânico é usado com o intuito de elevar o torque do motor e diminuir a velocidade de rotação. A elevação de torque é atingida às custas de perda da velocidade final. Redutores separados tendem a ser muito pesados (Alfonso Martiglioni, 1968) e de tamanho grande, o que dificultaria o acionamento da CBEC. A forma encontrada para solucionar este problema foi o uso de um motor-redutor que, por ser mais compacto, diminui consideravelmente o tamanho do conjunto, pois forma uma única peça. A Figura 3.4 mostra um redutor para ser acoplado ao motor.

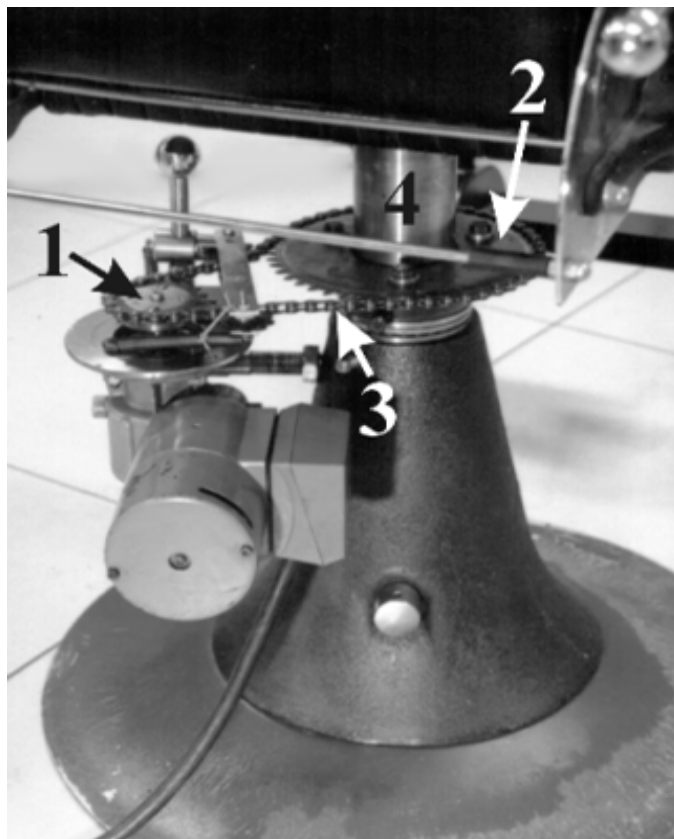
O eixo do redutor é construído em aço SAE 1045 solidário ao trem de engrenagens movidas do redutor, formando um conjunto compacto, o que proporciona menor espaço para o acoplamento da transmissão. O comprimento curto do eixo, característico de um motor-redutor, favorece a resistência à flexão.

Os mancais do eixo do redutor são em número de 2, com rolamentos de rolo. A escolha do rolamento de rolo deve-se à solicitação do eixo à flexão, o que causa uma carga radial excessiva, danificando a pista de um rolamento comum de esferas. O rolamento é do tipo blindado com lubrificação permanente, evitando, assim, contaminação do lubrificante e, também, manutenções periódicas.

### 3.2.3.2 Transmissão do movimento

A transmissão do movimento da parte motora até a parte movida é feita através de uma corrente de rolos e duas rodas dentadas de números de dentes diferentes, com a finalidade de compor uma redução. Como foi mencionado, esta forma de transmissão de movimentos, onde é usada uma corrente de rolos na horizontal, não é a melhor solução, visto que a transmissão de movimento por correntes de rolos é usada unicamente na vertical, pois a correia tende a fletir (por ação da gravidade) e escapar da engrenagem movida. Para minimizar o efeito da flexão foram usados dois esticadores, que mantêm a correia no lugar, evitando sua flexão por gravidade.

Os elementos usados na transmissão são descritos individualmente, e mostrados na Figura 3.3. Mais adiante, serão todos citados e explicados uma a um.



**Figura 3.3.** Elementos da transmissão (Laboratório de Microgravidade/PUCRS)

1. Coroa motora
2. Coroa movida
3. Corrente de rolos
4. Eixo da cadeira

#### **3.2.3.2.a Coroa Motora**

A coroa motora possui 18 dentes, característicos para engrenamento com corrente de rolos. A fixação da mesma é feita através de 4 parafusos na flange do redutor, sendo solidárias ao eixo do redutor, recebendo a rotação em priz direta deste.

#### **3.2.3.2.b Coroa Movida**

A coroa movida possui 36 dentes, característicos para engrenamento com corrente de rolos. Sua fixação é feita através de 3 pontos de solda à eletrodo revestido, solidária ao eixo da cadeira. O eixo da cadeira gira livre em relação à base, sofrendo o momento torçor direto do motor.

### **3.2.3.2.c Corrente de Rolos**

Correntes de rolos são elementos de transmissão, geralmente usadas para transmitir momentos torçores altos a baixas velocidades e quando não se admite escorregamento. O ponto mais fraco das correntes são os elos na região dos furos. O modelo de corrente usado, aqui, é a "corrente de elos planos". Neste caso, este elemento está superdimensionado, não havendo problemas de quebra. A transmissão por corrente de rolos não é a melhor solução, foi somente usada em função de disponibilidade das peças.

### **3.2.3.3 Variador de Velocidade Angular**

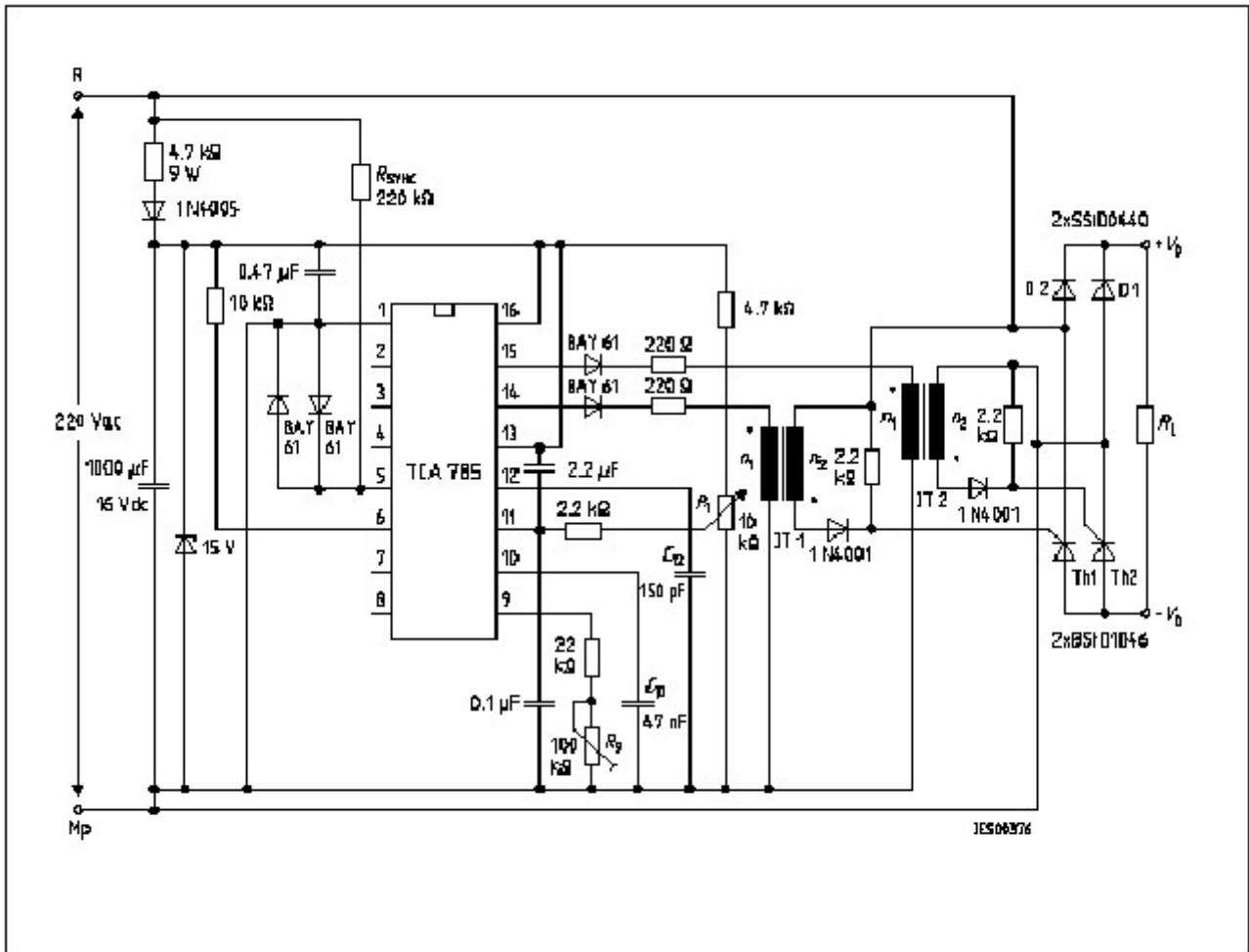
O controle de velocidade angular do motor é baseado em um circuito eletrônico com uma entrada de 220 Vcc e uma saída ajustável de 200 Vca. Desta forma, controlando-se a tensão de saída para o motor pode-se controlar a velocidade de rotação do mesmo. A variação de velocidade é feita através de um potenciômetro.

#### **3.2.3.3.1 Funcionamento do Circuito**

O circuito ora apresentado baseia-se no princípio de rotação de fase controlado pelo integrado Tca785. O sinal aplicados nas bobinas do motor tem a sua fase variada entre



0° e 180°, ocasionando assim o controle efetivo da rotação do mesmo. Devido ao fato da saída do integrado apresentar corrente máxima de controle de 250mA, foi necessário o uso de uma interface de potência, a saber, dois Triacs com capacidade de corrente de 25A, mais que suficiente para aplicação desejada. O isolamento entre o circuito de controle e o de potência é conseguido com o uso de transformadores de pulso toroidais. A rotação desejada é conseguida através da variação de ajuste no potenciômetro. Na Figura 3.4 pode ser visto o diagrama esquemático do circuito. O diagrama do circuito foi copiado do manual do CI TCA785 que encontra-se nos anexos.



**Figura 3.4** Diagrama Esquemático do Circuito  
 (Manual de referência da Siemens, 2001)

### 3.2.3.3.2 Componentes Utilizados no Circuito

Os componentes utilizados neste circuito são todos de fácil aquisição e comuns no mercado. Atenção mais especial deve ser dada ao CI TCA 785 da Siemens (ver anexo 1). Este circuito integrado utiliza o sistema de rotação de fase para o controle de rotação do motor.

#### **3.2.3.3.3 Montagem do Variador de velocidade angular**

A montagem do circuito iniciou da soldagem dos componentes na placa de fenolite e posterior fixação desta placa em um gabinete. Devido à existência de componentes fixados no lado inferior da placa e, para proporcionar uma ventilação adequada, foi feita a montagem com o uso de espaçadores, colocados entre a placa e o gabinete. O tipo de gabinete escolhido é uma versão, já existente no mercado, destinada à montagem de pequenos circuitos. O nome comercial (que é uma marca, em realidade) é denominado "Caixa Patola". Esta caixa é feita em material plástico e é bipartida, com painéis anterior e posterior removíveis, o que significa uma boa solução para montagem, devido à facilidade de se fazer furação para colocar conectores de entrada, saída, fusíveis, lâmpadas, potenciômetro, chaves, entre outros elementos.

#### **3.2.3.3.4 Parte frontal do painel**

Na parte frontal do painel, encontram-se os controles principais do equipamento e as luzes indicativas.

Na Figura 3.5, abaixo, é mostrada a vista frontal do equipamento, desenvolvido com a finalidade de variar a velocidade angular.

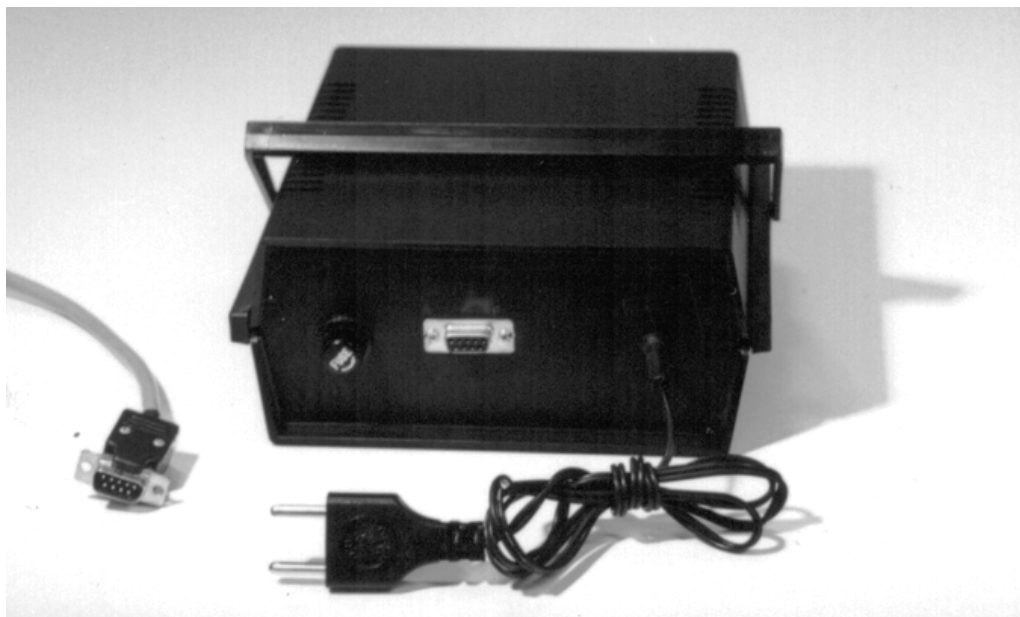


**Figura 3.5** Vista frontal do equipamento (Laboratório de Microgravidade/PUCRS)

### 3.2.3.3.5 Parte posterior do painel

Na parte posterior do painel, encontram-se os cabos de ligação e o dispositivo de proteção.

A Figura 3.6 mostra a face posterior do gabinete.



**Figura 3.6** Vista posterior do gabinete.  
(Laboratório de Microgravidade/PUCRS)

#### 3.2.3.3.6 Tacômetro

Como uma alternativa de baixo custo, foi usado um "micro switch" que fica em contato com os dentes da corôa movida. Ao passar do dente da coroa, há o chaveamento do switch, gerando um pulso que é lido por um contador. Para obter-se o número de rotações por minuto (RPM), temos que dividir o número de rotações registradas no contador pelo número de dentes da polia movida, no intervalo de um minuto.

### 3.3 Segurança

Como medida de segurança foram adotadas algumas soluções conforme segue

#### 3.3.1 Segurança Mecânica

Para evitar queda do indivíduo da cadeira foi adotado um cinto de segurança do tipo usado por passageiros em aviões comerciais. Este cinto é solidário à cadeira através de parafusos especiais. O cinto de segurança é ajustável e posicionado sobre a região abdominal do indivíduo.

#### 3.3.2 Segurança Elétrica

Para evitar o risco de choque elétrico do indivíduo foi usado um transformador isolador entra a rede elétrica e o motor.

Ainda, foi feita uma ligação o aterramento através do terceiro pino do rabicho

#### **3.4. O protótipo montado**

Após todas as parte integradas, o protótipo final toma forma. Alguns ajustes nos sistema de transmissão permitem que o equipamento funcione dentro do esperado. A Figura 3.7 mostra a versão final da CBEC.



**Figura 3.7** Protótipo final montado  
(Laboratório de Microgravidade/PUCRS)



### **3.5 Avaliação das condições de funcionamento da CBEC**

#### **3.5.1 Considerações iniciais**

- A máxima carga dinâmica para qual a CBEC é testada será de 80 kg.
- teste se desenvolve na velocidade de 15 RPM durante um intervalo de tempo de 3 a 4 minutos.
- Para simular a carga acidental, foi utilizado uma caixa com peças metálicas posicionada no assento da CBEC,

#### **3.5.2. Determinação da máxima velocidade de rotação da CBEC**

Foram analisadas 20 amostras para chegar ao valor da velocidade rotacional máxima da CBEC.

O intervalo de tempo foi definido como 10 minutos, sendo mais que o dobro do tempo utilizado para o teste com alunos.

Entre uma medida e a subsequente foi adotado um intervalo de 20 minutos para o esfriamento do motor.

O valor da carga dinâmica é a máxima nominal de 80 kg.

Os resultados obtidos são tabulados na Tabela 3.1 e mostrados no gráfico da Figura 3.8.

<b>Medida</b>	<b>RPM</b>
1	28
2	28
3	27
4	27
5	27
6	28
7	27
8	27
9	27
10	27
11	27
12	27
13	27
14	27
15	27
16	27
17	27
18	26
19	26
20	26
<b>Média</b>	<b>27</b>

**Tabela 3.1.** Velocidade máxima em cada intervalo de tempo.

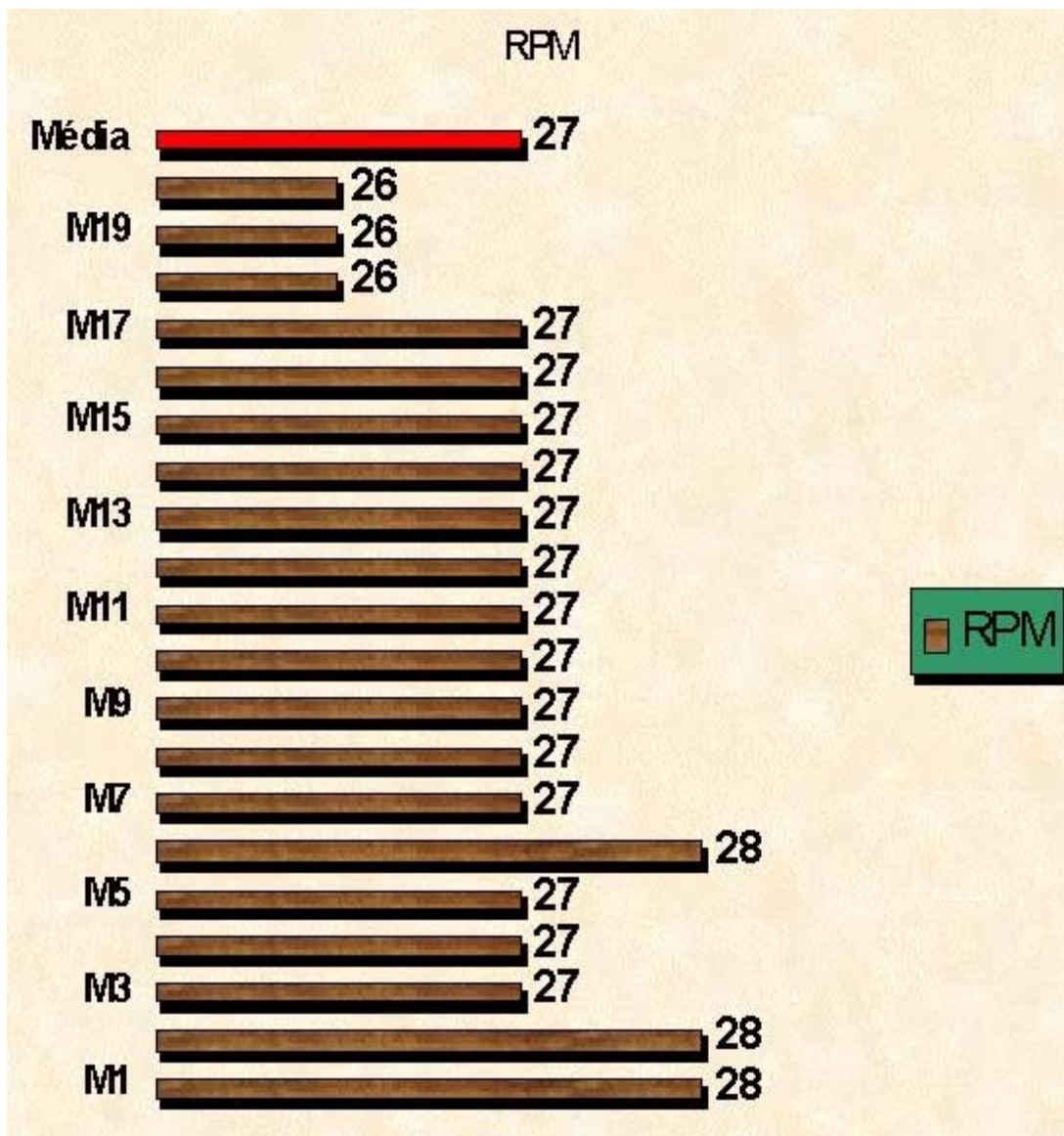


Figura 3.8 Gráfico da velocidade máxima em cada intervalo de tempo.

Analisando-se a tabela 3.1 e o gráfico da figura 3.8, é verificado que a rotação média máxima da CBEC foi de 27 RPM o que satisfaz plenamente o desejado, tendo em vista que o teste se desenvolve na velocidade de 15 RPM durante um intervalo de tempo de 3 a 4 minutos, com uma carga acidental máxima de 80 kg.

### **3.5.3. verificação dos Parâmetros requeridos para o teste**

Os parâmetros requeridos são listados abaixo, sendo estabelecida uma tolerância de 20% (sobre a média aritmética das medidas), já que o corpo humano não detecta as variações de forma quantitativa e sim qualitativa.

- a) Manter velocidade de rotação na faixa de 15 RPM, durante o intervalo do teste (3 a 4 minutos);
  
- b) Aceleração angular tendendo a zero, no patamar de 15 RPM;

Os requisitos de velocidade angular constante de 15 RPM e de manutenção da rotação, podem ser analisados juntos, já que são fatores interdependentes. Analisaremos a carga acidental máxima nominal de 80 kg. Foram feitos 10 testes, afim de fazer a média aritmética dos resultados finais, que serão tabulados na Tabela 3.2 e mostrados no gráfico da Figura 3.9.

**Carga accidental 80 kg**

Instante	Intervalo Tempo [s]	Res 1	Res 2	Res 3	Res 4	Res 5	Res 6	Res 7	Res 8	Res 9	Res 10
		RPM	RPM	RPM	RPM	RPM	RPM	RPM	RPM	RPM	RPM
T1	0 - 30	20	22	22	22	20	22	20	22	20	22
T2	30 - 60	22	20	22	22	22	20	20	20	22	22
T3	60 - 90	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
T4	90 - 120	20	22	20	22	20	20	20	22	20	22
T5	120 - 150	20	22	20	22	20	20	19	22	20	19
T6	150 - 180	20	22	22	20	20	22	20	22	20	22
T7	180 - 210	20	20	22	19	20	20	19	20	20	20
T8	210 - 240	22	20	22	19	22	20	22	20	20	21
T9	240 - 270	20	18	20	18	20	19	20	18	20	18
T10	270 - 300	20	18	19	20	20	18	20	19	20	20
T11	300 - 330	22	18	19	18	22	20	20	18	20	18
T12	330 - 360	19	20	19	18	19	20	19	22	19	20
T13	360 - 390	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18
T14	390 - 420	19	22	19	22	19	18	19	22	21	22
T15	420 - 450	20	20	20	20	20	20	19	20	20	20
T16	450 - 480	19	20	19	20	19	20	19	18	21	20
T17	480 - 510	19	20	19	20	19	20	19	18	19	20
T18	510 - 540	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
T19	540 - 570	19	22	19	18	19	18	19	20	20	20
T20	570 - 600	19	18	19	18	19	18	19	18	20	20
<b>Média</b>	<b>Aritmética</b>	20	20,2	20,1	19,9	20	19,75	19,65	20,05	20,1	20,2

**Tabela 3.2** Dados dos testes.

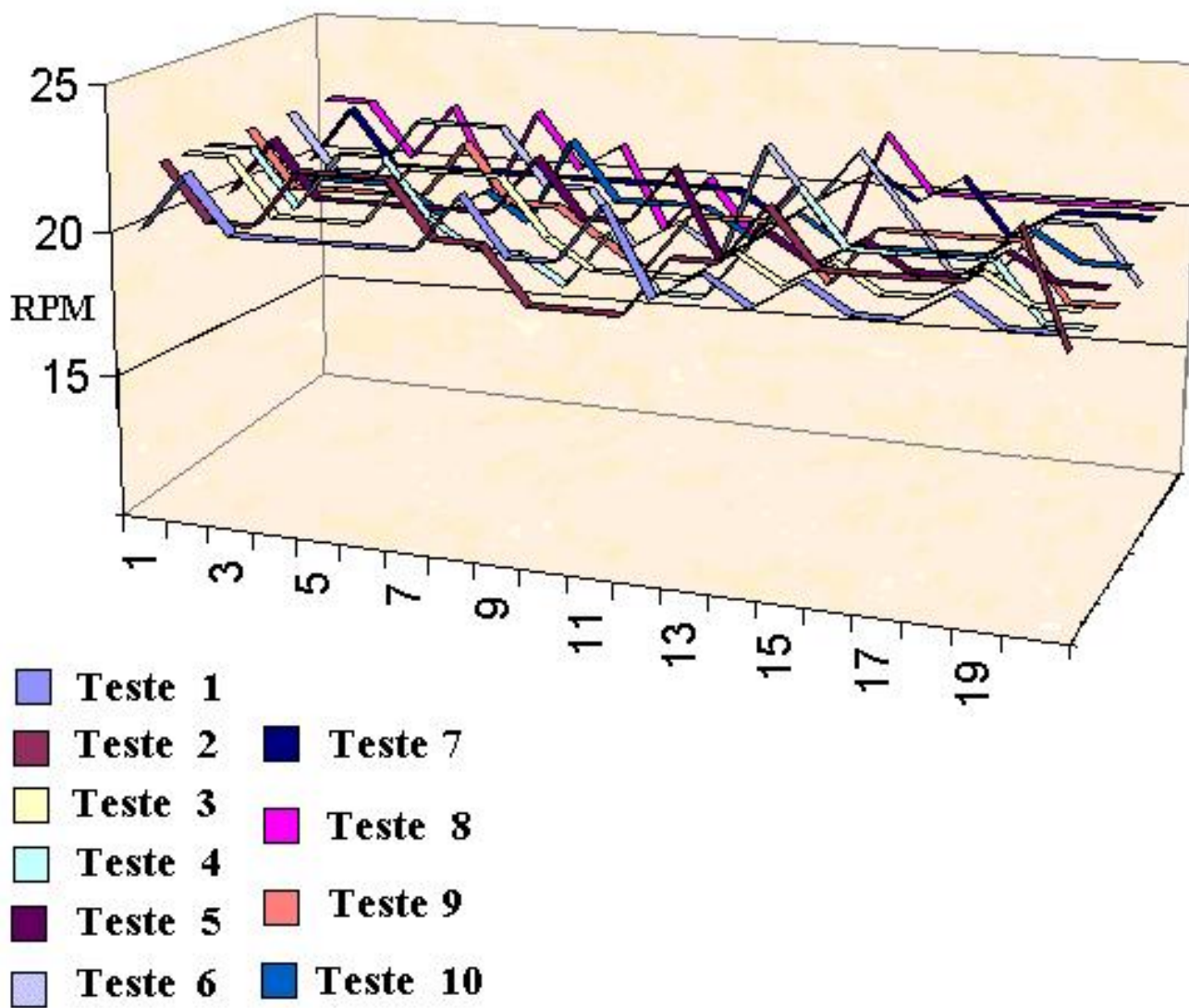


Figura 3.9 Gráfico da Tabela 3.2

Analisando-se a Tabela 3.2, é verificado que a maior média é de 20,2 RPM e a menor média de 19,7 RPM, portanto, adotando-se a critério de uma tolerância de 20%, chega-se a conclusão de que os resultados atingidos estão plenamente satisfatórios. Os resultados também podem ser analisados visualmente no gráfico da Figura 3.9.

## **CAPÍTULO 4**

### **TESTES PARA AVALIAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA CBEC**

## QUANTO À DESORIENTAÇÃO DO SISTEMA VESTIBULAR

### **4.1 Avaliação em pilotos privados - Faculdade de Ciências Aeronáuticas/PUCRS**

A CBEC foi usada na Faculdade de Ciências Aeronáuticas/PUCRS com o objetivo de demonstrar aos alunos da disciplina de Medicina Aeroespacial desta Faculdade a desorientação espacial causada pelo estímulo do sistema vestibular. A aula prática sobre desorientação espacial ocorreu durante o primeiro semestre de 2001 no Laboratório da Faculdade de Ciências Aeronáuticas, prédio 10, PUCRS. O termo de compromisso utilizado encontra-se nos anexos.

Os alunos, todos pilotos privados, foram acompanhados com o objetivo de medir a efetividade do protótipo da cadeira de Bárány eletricamente controlada em relação a desorientação do sistema vestibular.

### **4.2. Teste de Avaliação**

Primeiramente, foi elaborado um teste com as instruções a serem seguidas durante a aula prática, afim de manter-se uma coerência na obtenção dos dados, o qual é apresentado a seguir. O consentimento informado encontra-se na unidade dos anexos.

Os testes de avaliação da CBEC estão resumidos abaixo. Antes, porém, de começar-se a avaliação, o indivíduo é orientado. O aluno senta-se na cadeira, o cinto de segurança é colocado e ajustado, e é combinado um "código" para a comunicação entre o aluno em teste e o controlador das rotações da CBEC.



O código consiste no seguinte: o indivíduo a ser testado deverá ficar com os polegares para cima, quando a cadeira está parada. Ao iniciar-se o movimento da CBEC, os polegares devem ser inclinados, para a direita ou para a esquerda, indicando o sentido do giro, horário ou anti-horário, respectivamente.

#### **4.2.1. Teste 1**

Neste teste procede-se da seguinte maneira:

o indivíduo fecha os olhos e a CBEC é acionada, através do controle remoto. O número de rotações por minuto, previamente definido, é atingido. Mantém-se, então, uma velocidade constante decorrente da necessidade da aceleração ser próxima de zero. O aluno, devido a ilusão do sistema vestibular, "percebe", erroneamente, que a cadeira está parada, colocando os polegares para cima, quando, em realidade, a CBEC continua girando no sentido original. Ao abrir os olhos, o aluno entende que sua percepção não está correta e sente-se desorientado.

#### **4.2.2. Teste 2**

O segundo teste inicia-se como o Teste 1: o indivíduo senta-se na cadeira e fecha os olhos, o cinto é posicionado e a CBEC é acionada. No Teste 2, porém, o movimento rotatório da CBEC é cessado subitamente. O indivíduo, novamente, por ilusão vestibular, "percebe" que está girando para o lado oposto e inclina os polegares no sentido contrario ao do movimento original da CBEC. Pede-se

para o aluno abrir os olhos e ele se desorienta ao ver que sua percepção está errada.

#### 4.2.3. Teste 3

No teste 3, o indivíduo é orientado a olhar para um ponto indicado à suas costas, tendo, portanto, que girar a cabeça, no exato instante no qual o movimento da CBEC é cessado. Assim, no início do Teste 3, com o cinto de segurança afivelado e ajustado e de olhos fechados, o aluno repousa a cabeça sobre um apoio posicionado na parte anterior da CBEC. A CBEC é acionada atingindo o patamar de rotações desejada. A rotação é bruscamente cessada e o aluno recebe a ordem para olhar o ponto previamente indicado. Isto causa uma violenta desorientação espacial, a qual pode levar o indivíduo a cair a CBEC, caso o cinto de segurança não esteja posicionado de forma correta. Esta desorientação violenta é causada devido à estimulação dos 3 canais semicirculares da orelha interna, responsáveis pelo equilíbrio rotacional.

**Tabela 4.1.** Resumo dos testes de avaliação do funcionamento da Cadeira de Bárány Eletricamente Controlada

Movimento da cadeira	Sensação	Velocidade	Aceleração	Posição dos Polegares
Girando	Parada	Constante	Zero	Para Cima
Parada Brusca	Giro para o lado oposto	Zero	Zero	Sentido oposto ao giro original
Parada (levantamento da cabeça)	Desorientação violenta	Zero	Zero	—

Uma foto da cadeira de Bárány, e do aluno em posição repouso, é vista na Figura 4.1.



**Figura 4.1** Cadeira de Bárány em teste

#### **4.3. Resultado dos testes de avaliação da CBEC**

Foram analisados os dados de 40 alunos e tabulados na Tabela 4.2. e visualizados no gráfico da Figura 4.2.

**Tabela 4.2.** Resultado dos dados obtidos durante os testes com os alunos da Faculdade de Ciências Aeronáuticas/PUCRS ( $\eta=40$ )

Evento observado	(%)	N.º Absol.
Sensação de desorientação espacial	100	40
Incapacidade de detectar o momento que cessa o movimento da CBEC	100	40
Apresentou náusea	7,5	3
Desorientação após 3 minutos do término do teste	45	18
Severa desorientação após teste 3	95	38
Severa perda de equilíbrio após teste com rápido levantamento da cabeça	57,5	23
Orientou-se através do ruído do motor	10	4
Orientou-se através da vibração do sistema	12,5	5
Orientou-se pelo fato da aceleração inicial sofrer solavancos	5	2

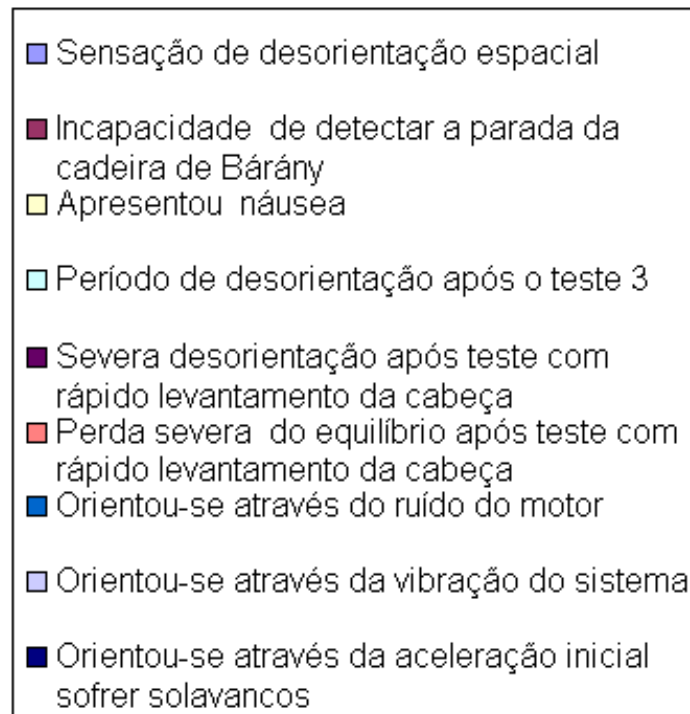
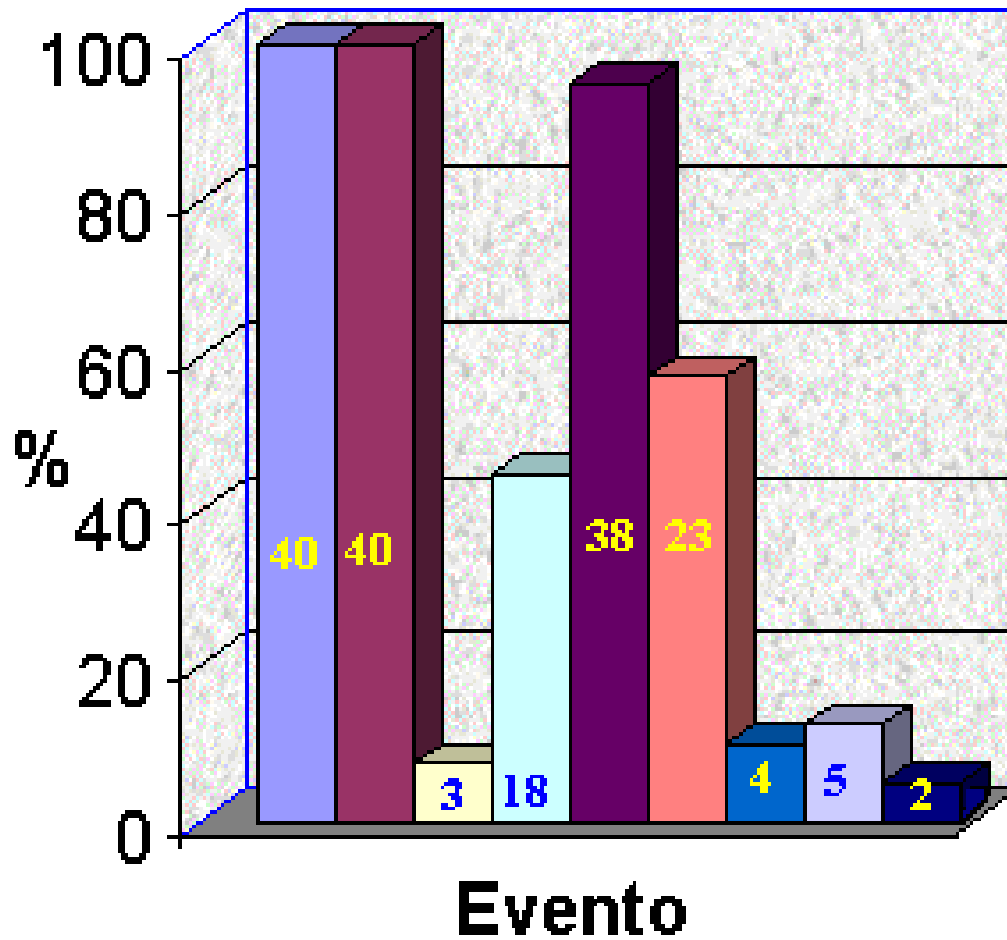


Figura 4.2. Gráfico da Tabela 4.2

#### **4.3.1. Sensação de desorientação espacial**

Observa-se na Tabela 4.2 (item sensação de desorientação espacial) e na coluna 1 da Figura 4.2 que 100% dos alunos testados (n=40) sofreram desorientação espacial causada por estimulação do sistema vestibular, o que demonstra a eficiência da CBEC como instrumento neste sentido.

#### **4.3.2 Incapacidade de determinar o momento de parada da CBEC**

Na coluna 2 da Figura 4.2, verifica-se que, novamente, o total de alunos testados (n=40; 100%) foram incapazes de determinar o momento no qual o movimento da CBEC cessou. Isto ocorre pois o estímulo do sistema vestibular leva o indivíduo a acreditar que está girando para o sentido oposto ao do movimento original da CBEC.

#### **4.3.3 Ocorrência de náusea**

A desorientação espacial vem, na grande maioria das vezes, acompanhada de sintomas como náuseas e vômitos. Durante os testes de avaliação da CBEC com os alunos da Faculdade de Ciências Aeronáuticas/PUCRS, apenas 7,5% (3 pessoas), apresentou náuseas.

#### **4.3.4 Desorientação após 3 minutos do término do teste**

Atingindo 45% (18 casos) dos alunos, este fator varia de pessoa para pessoa, dependendo da sensibilidade de cada indivíduo.

#### **4.3.5 Severa desorientação após o teste 3**

Noventa e cinco por cento dos alunos testados (38), um resultado esperado para este tipo de teste, sofreram desorientação espacial abrupta e intensa, uma vez que, nesta situação, os 3 planos espaciais, ou seja, os três canais semicirculares são estimulados.

#### **4.3.6 Perda severa do equilíbrio após o teste com levantamento rápido da cabeça**

Ocorrência em 57,5% (39 pessoas) dos casos, demonstrando que o rápido levantamento da cabeça, após o teste, o aluno tende a desequilibra-se e quase cair da CBEC, sendo impedido pelo cinto de segurança.

#### **4.3.7 Orientou-se através do ruído mecânico do motor**

Nesta etapa do teste 10% dos alunos (4) orientaram-se através do ruído do motor, o que prejudica o uso da CBEC e demonstra que um aperfeiçoamento da mesma deve ser feito para minimizar este fator de confusão.

#### **4.3.8 Orientou-se através da oscilação do sistema**

A vibração do sistema da transmissão de movimento pode ser sentida pelo indivíduo sentado na CBEC. A vibração do sistema demonstrou ser para 12,5% alunos (5), um fator que permitiu alguma orientação quanto ao movimento rotacional da CBEC.

#### **4.3.9 Orientou-se pela perturbação dinâmica**

Apenas 2 alunos (5%) observaram solavancos iniciais no início da aceleração da CBEC. Ajustes finais podem eliminar este fator limitante da CBEC.



# CAPÍTULO 5

## LIMITAÇÕES E SUGESTÕES

### 5.1. Limitações

Algumas características da CBEC podem ser modificadas, visando otimizar seu funcionamento.

O aprimoramento de equipamentos ou instrumentos segue o curso natural dentro da Engenharia, pois, em nenhum momento, uma idéia parte do marco zero (papel) e chega direto à sua versão final. Um bom exemplo disto pode ser visto na indústria automobilística, onde o modelo de um novo veículo passa pela fase de projeto, protótipo, testes, linha piloto e produção. No entanto, mesmo após ter sido aprovado para produção, não raro, durante a mesma, aparecerem defeitos que só serão corrigidos em novas séries e nos clássicos "recall".

A seguir, serão feitas referências a algumas características que poderão ser melhoradas em uma futura versão da CBEC.

#### 5.1.1. O Motor

O motor de corrente alternada tem uma limitação em termos de controle, pois impede que se utilize uma escala

graduada em rotações por minuto (rpm) no potenciômetro, uma vez que o número de rpm varia em função da carga acidental (massa da pessoa) que ocupa a CBEC. Para fazer o controle da rotação da CBEC, atualmente, deve-se usar faixas diferentes de controle no potenciômetro

#### **5.1.2 Transmissão de movimento**

Como foi mencionado no item 3.2.3.2, a transmissão por corrente com as rodas dentadas na horizontal não é o ideal, pois existe o problema de escape da corrente, devido ao peso próprio da corrente causar uma flexão no trecho não tracionado da corrente.

#### **5.1.3. Base da CBEC**

A base da CBEC deve sofrer modificações para se tornar mais estável. O indivíduo sentado na CBEC ao movimentar-se bruscamente por perda do equilíbrio durante a desorientação espacial pode ocasionar desestabilização base da CBEC.

#### **5.1.4. Tacômetro**

No modelo utilizado na CBEC para fazer a medição velocidade angular, usou-se como transdutor um "micro switch", o qual é chaveado quando em contato com os dentes da roda dentada movida.

Os pulsos gerados são lidos por um contador e mostrados em um display. Este sistema dificulta a leitura

rápida da rotação, pois é necessário ler o contador e realizar o cálculo (divide-se o número de rotações pelos dentes da roda dentada para obter o resultado), devendo-se, ainda, marcar 1 minuto em um cronômetro.

#### **5.1.5 Ruído mecânico do motor e da transmissão de movimento**

O percentual de 10% (4) dos alunos escutaram ruídos mecânicos gerados pela transmissão de movimento e pelo motor. Transmissões de correntes são sabidamente ruidosas, pois dependem de engate e desengate de elos e dentes metálicos. Motores também fazem ruídos mecânicos característicos de mancais e campos magnéticos e isto influencia no ponto de vista de percepção dos sentidos.

## **5.2 Sugestões**

### **5.2.1 Giro para ambos os lados**

Por motivos de custo, a CBEC não foi projetada para possibilitar reversão do movimento, pois essa característica demandaria um sistema de rotação diferente, sem o redutor, pois este elemento não permite que ocorra a reversão brusca. O redutor somente foi usado como alternativa econômica que compensou a baixa potência do motor e o seu tamanho reduzido.

### **5.2.2 Motor**

Sugere-se o uso de um motor de passo, que tem por característica manter a rotação que foi comandada, independente da carga acidental aplicada. A característica do motor de passo garantiria a possibilidade de se usar uma escala no potenciômetro controlador de rotação, conferindo uma precisão adequada. O uso deste tipo de motor é, a cada dia, mais comum na indústria.

Outra característica requerida para um novo protótipo, seria o fato do motor ser dimensionado com potência bem maior que o motor atual, além do fato de suportar surtos de corrente elétrica alta, o que ocorre em reversão repentina de movimento, devido ao fato de em um momento o motor agir com freio até parar o movimento original, e após, iniciar o movimento contrário.

### **5.2.3 Transmissão de movimento**

O ideal é que não exista elemento intermediários na transmissão do movimento (correia, polia, engrenagem, etc.)

e tão pouco motoredutor. O próprio eixo do motor deverá ser vinculado à base da CBEC para fazer o movimento rotacional. Desta forma, seriam eliminados os problemas característicos de uma transmissão, tais como: ruído, possibilidade de colapso dos seus elementos e necessidade de lubrificação, além de permitir a brusca reversão de movimento.

Obviamente, este tipo de motor teria que ser de uma potência grande (pois não seria usado um redutor) e possuir mancais resistentes a esforços axiais (devido ao peso próprio da CBEC e da carga acidental). Certamente, um motor com estas características tem um valor mais elevado, mas uma boa relação custo/benefício.

#### **5.2.4. Base da CBEC**

Sugere-se que seja usado um sub-chassi engastado através de solda à base original da CBEC. Este elemento pode ser executado em forma de um disco em chapa de aço, de raio de aproximadamente 40 cm de raio maior que o atual raio da base. Esta simples modificação deve garantir uma melhor estabilidade a CBEC.

#### **5.2.5. Tacômetro**

Como sugestão, indica-se montar um circuito que tenha por base um disco com um (ou mais) dente(s) ou furo(s). Este disco deve ser vinculado ao eixo principal da CBEC (parte movida), para a simplificação do circuito. Como sensor de rotação pode ser utilizado um conjunto foto acoplador (comercialmente comum), o qual "lê", em

realidade, áreas de claro e escuro. A maior sofisticação deste sistema reside no fato do circuito ser de "base T", isto é, medir a rotação em função do tempo, em intervalos de 60 segundos. Os dados podem ser mostrados em um display comum, formado por blocos de LED, encontrados no mercado. Desta forma, possuir-se-ia um tacômetro de boa qualidade. Adiante é sugerido um circuito relativamente simples, que mede a rotação de um disco dentado (solidário ao eixo movido), baseado em uma chave óptica.

# CAPÍTULO 6

## CONCLUSÕES

### 6.1. Conclusões

O objetivo desta Dissertação de Mestrado foi o de projetar, desenvolver e construir uma Cadeira de Bárány eletricamente acionada (CBEC) para investigar o fenômeno da desorientação espacial no treinamento de pilotos e como ferramenta de pesquisas para verificar o comportamento do sistema vestibular no ambiente aeroespacial dentro e fora desta Universidade.

Apresentamos uma detalhada descrição da construção da CBEC, com fotos e especificações de seus componentes, bem como a montagem da versão final do protótipo. Afim de verificar a efetividade dos parâmetros de desempenho técnico da CBEC, a mesma foi submetida a uma série de testes, nos quais foi amplamente aprovada .

A CBEC foi avaliada como instrumento de treinamento para pilotos, através da demonstração de diferentes tipos de desorientação espacial para 40 alunos (todos pilotos privados) da disciplina de Medicina Aeroespacial da Faculdade de Ciências Aeronáuticas/PUCRS. Os resultados dos testes de desorientação espacial aplicados nos pilotos foram plenamente satisfatórios, pois causaram a desorientação espacial desejada.



**Figura 6.1.** CBEC com suportes laterais para cabeça, adaptação para desenvolvimento de pesquisa entre o Laboratório de Microgravidade/PUCRS e o Johnson Space Center/ NASA

Pode-se, então, concluir que a CBEC, concebida, projetada e desenvolvida durante esta Dissertação de Mestrado demonstrou cumprir os objetivos aos quais se propôs :

- 1) ser um dispositivo de simulação de desorientação espacial para o treinamento de pilotos
- 2) servir como instrumento de pesquisa e análise para estudos sobre o sistema vestibular.



# **A n e x o s**

## **Anexo 1**

### **Biografia de Bárány**

Robert Bárány era o primogênito de seis irmãos e nasceu em 22 de abril de 1876 em Viena. Seu pai era gerente de uma fazenda e sua mãe, Maria Hock, era a filha de um famoso cientista. Quando era ainda bastante jovem, Bárány

contraiu tuberculose dos ossos, o que resultou em um enrijecimento permanente dos seus joelhos. É especulado que esta enfermidade o conduziu a se interessar pela medicina.

Bárány destacou-se na escola primária, na escola de gramática e na universidade. Após completar seus estudos médicos na Universidade de Viena, em 1900, e tornar-se Médico Otologista, Bárány estudou na clínica psiquiátrico-neurológica do Professor Krapelin, em Freiburg, Alemanha, quando, então, foi despertado seu interesse na área de neurologia. No seu retorno a Viena, ele se tornou pupilo do Professor Gussenbauer e, em 1903, aceitou um cargo na Clínica de Otologia, sob a orientação do Professor Politzer. Ele seguiu as teorias de Flourens, Purkinje, Mach, Breuer e outros, e esclareceu a fisiologia e patologia do aparelho vestibular humano. Também fez uma série de conferências em medicina na área de otologia, criou novos testes para detectar doenças do sistema vestibular e para analisar as atividades do cerebelo e a relação deste com as perturbações do equilíbrio.

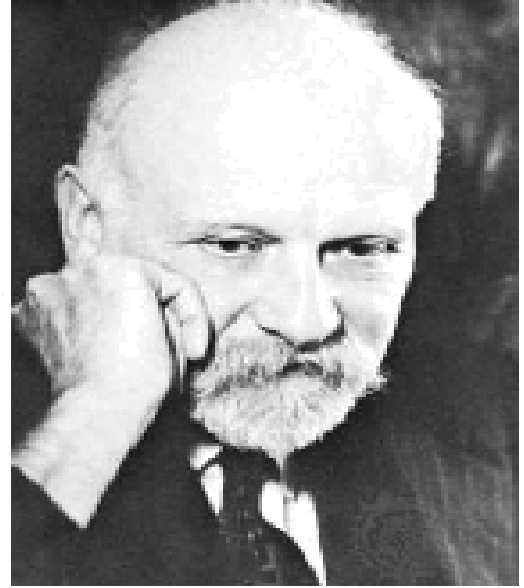
Bárány casou-se com Ida Felicitas Berger em 1909, com quem teve dois filhos e uma filha. Em 1914, Bárány recebeu o prêmio Nobel, devido aos seus estudos em fisiologia e patologia do sistema vestibular (equilíbrio) da orelha interna. Bárány foi convocado a servir no exército austríaco durante a Primeira Guerra Mundial, como um cirurgião civil, e cuidava de soldados com ferimentos na cabeça. Este fato habilitou-o a continuar seus estudos neurológicos do aparelho vestibular, o cerebelo e o aparelho muscular. Em 1915 foi aprisionado pelo exército Russo quando então, recebeu a notícia do Prêmio Nobel. Graças à

intervenção pessoal de Príncipe Carl da Suécia, em nome da Cruz Vermelha, ele foi libertado como prisioneiro de guerra em 1916, e recebeu o Prêmio Nobel pelo Rei de Suécia em Estocolmo.

Bárány voltou a Viena no mesmo ano, mas desapontou-se amargamente pela atitude dos seus colegas austríacos, que o reprovaram por ter feito referências incompletas nos seus trabalhos às descobertas de outros cientistas sobre as teorias nas quais eles afirmavam que o seu trabalho fora baseado. Estes ataques fizeram Bárány deixar Viena para aceitar o cargo de Diretor e Professor do Instituto de Otologia em Uppsala, Suécia, onde ele permaneceu pelo resto de sua vida. Holmgren e vários otologistas suecos famosos publicaram um documento em defesa de Bárány. Durante a última parte de sua vida, Bárány estudou as causas do reumatismo muscular, e continuou trabalhando em um livro sobre este assunto, mesmo após ter sofrido um ataque cardíaco e ter ficado parcialmente paralisado.

De 1917 até sua morte, Bárány ensinou na Universidade de Uppsala, Suécia, onde era chefe do setor de ouvidos, nariz e garganta. Dentre seus filhos, o mais velho tornou-se Professor de Farmacologia na Universidade de Uppsala, o outro, Professor Assistente de Medicina no Caroline Institute, em Estocolmo. A filha casou-se com um médico e emigrou para os E.U.A.

Bárány morreu em Uppsala, Suécia, em 8 de abril de 1936.



Bárány em 1900 e em 1935  
(Enciclopédia Britânica, 2000)

## Anexo 2

### Consentimento Informado



COMANDO DA AERONÁUTICA

DIRETORIA DE SAÚDE

INSTITUTO DE FISILOGIA AEROESPACIAL

TERMO DE ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Eu, \_\_\_\_\_, brasileiro (a),  
\_\_\_\_\_ (estado civil), cédula de identidade nº \_\_\_\_\_, expedida por  
\_\_\_\_\_ (órgão identificador) em \_\_\_\_\_ (data de expedição do documento),  
CPF \_\_\_\_\_ isento o Ministério da Aeronáutica de qualquer responsabilidade civil ou  
criminal por eventuais danos causados em minha pessoa decorrentes de procedimentos  
ocorridos durante o voo em câmara de altitude.

Declaro também que fui orientado tecnicamente dos riscos inerentes à atividade de  
voo em câmara de altitude e que estou plenamente consciente da possibilidade de danos físicos  
involuntários causados à minha pessoa.

\_\_\_\_\_ (local), \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de

\_\_\_\_\_  
(assinatura conforme consta da cédula de identidade)

Anexo 3

Manual de referência da Siemens TCA785



**Functional Description**

The synchronization signal is obtained via a high-ohmic resistance from the line voltage (voltage  $V_s$ ). A zero voltage detector evaluates the zero passages and transfers them to the synchronization register.

This synchronization register controls a ramp generator, the capacitor  $C_{10}$  of which is charged by a constant current (determined by  $R_9$ ). If the ramp voltage  $V_{10}$  exceeds the control voltage  $V_{11}$  (triggering angle  $\varphi$ ), a signal is processed to the logic. Dependent on the magnitude of the control voltage  $V_{11}$ , the triggering angle  $\varphi$  can be shifted within a phase angle of  $0^\circ$  to  $180^\circ$ .

For every half wave, a positive pulse of approx.  $30 \mu s$  duration appears at the outputs Q 1 and Q 2. The pulse duration can be prolonged up to  $180^\circ$  via a capacitor  $C_{12}$ . If pin 12 is connected to ground, pulses with a duration between  $\varphi$  and  $180^\circ$  will result.

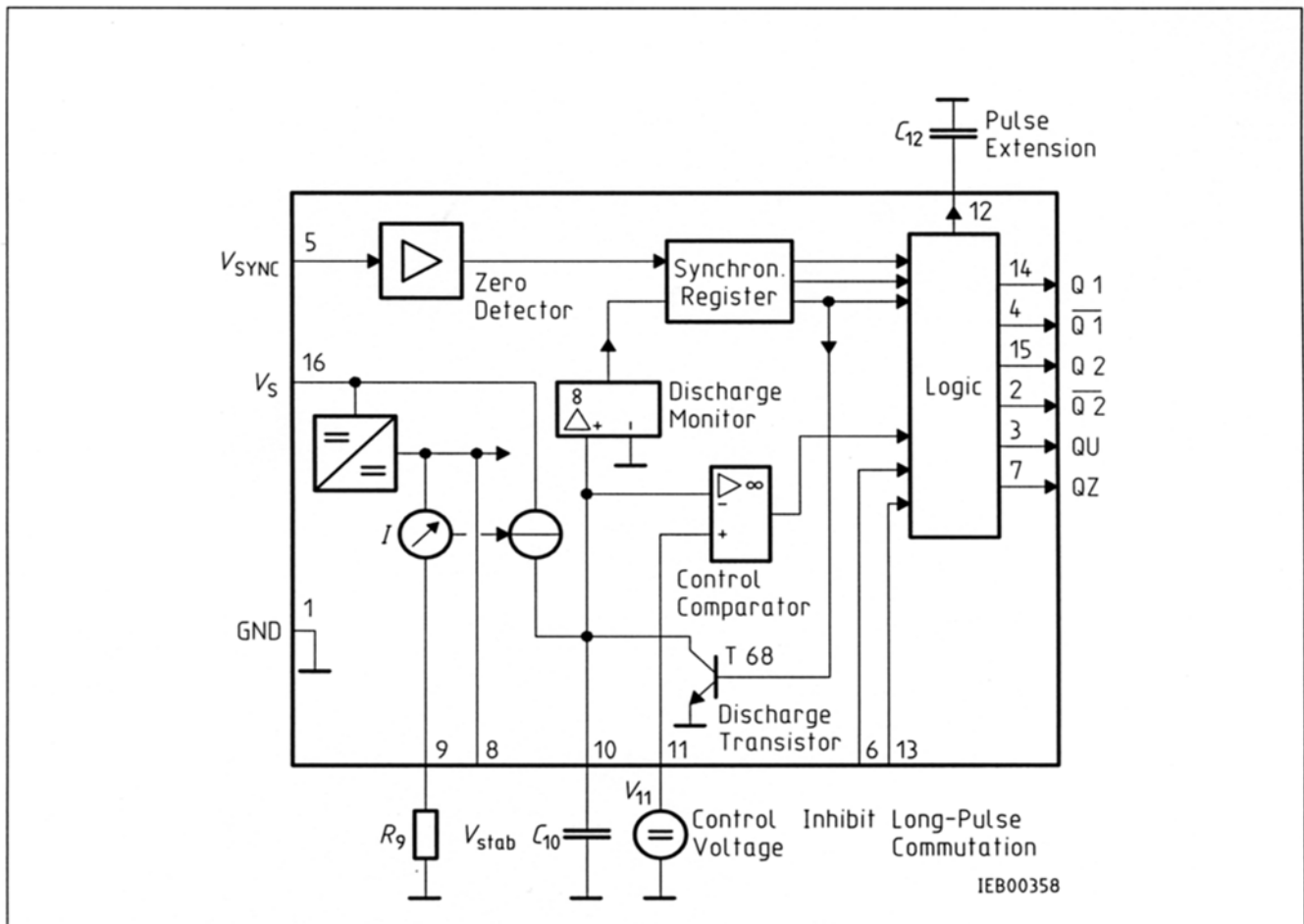
Outputs  $\overline{Q1}$  and  $\overline{Q2}$  supply the inverse signals of Q 1 and Q 2.

A signal of  $\varphi + 180^\circ$  which can be used for controlling an external logic, is available at pin 3.

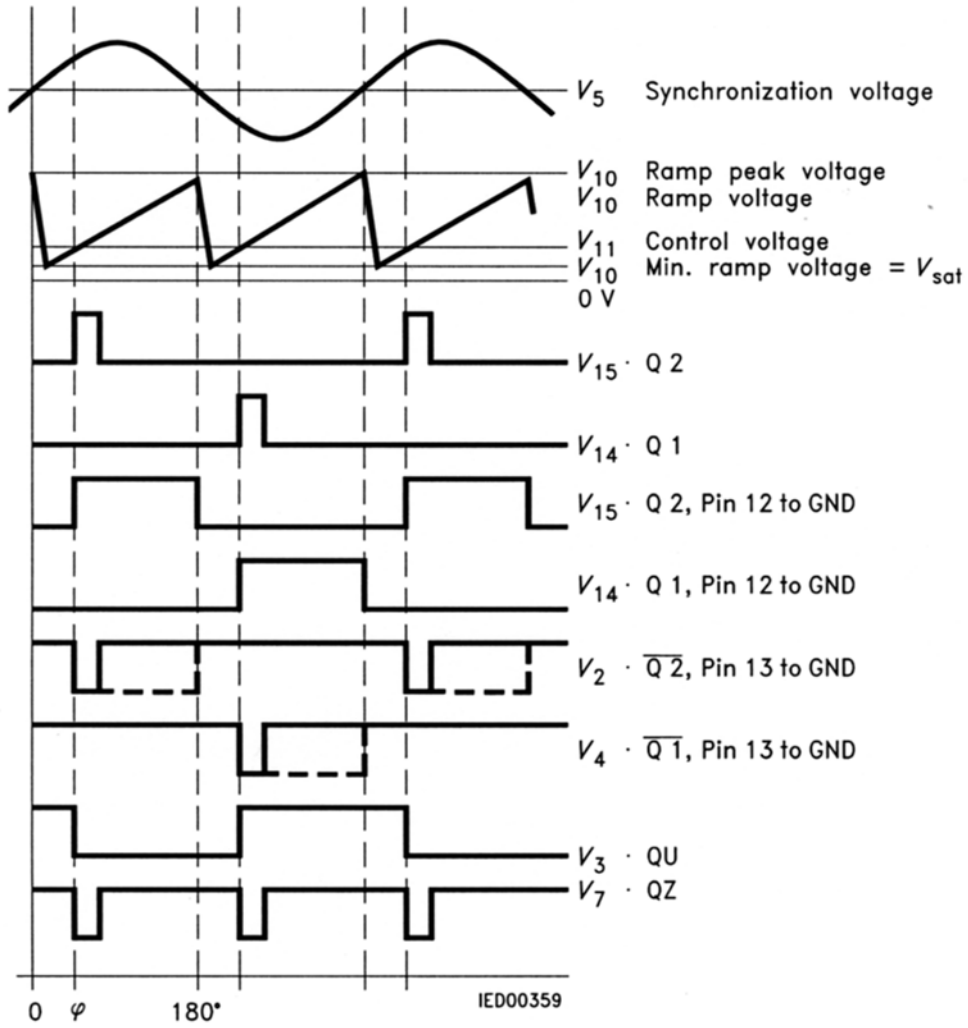
A signal which corresponds to the NOR link of Q 1 and Q 2 is available at output Q Z (pin 7).

The inhibit input can be used to disable outputs Q1, Q2 and  $\overline{Q1}$ ,  $\overline{Q2}$ .

Pin 13 can be used to extend the outputs  $\overline{Q1}$  and  $\overline{Q2}$  to full pulse length ( $180^\circ - \varphi$ ).



**Block Diagram**



Pulse Diagram



## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limit Values		Unit
		min.	max.	
Supply voltage	$V_S$	- 0.5	18	V
Output current at pin 14, 15	$I_Q$	- 10	400	mA
Inhibit voltage	$V_6$	- 0.5	$V_S$	V
Control voltage	$V_{11}$	- 0.5	$V_S$	V
Voltage short-pulse circuit	$V_{13}$	- 0.5	$V_S$	V
Synchronization input current	$V_5$	- 200	$\pm 200$	$\mu A$
Output voltage at pin 14, 15	$V_Q$		$V_S$	V
Output current at pin 2, 3, 4, 7	$I_Q$		10	mA
Output voltage at pin 2, 3, 4, 7	$V_Q$		$V_S$	V
Junction temperature	$T_j$		150	$^{\circ}C$
Storage temperature	$T_{stg}$	- 55	125	$^{\circ}C$
Thermal resistance system - air	$R_{th SA}$		80	K/W

## Operating Range

Supply voltage	$V_S$	8	18	V
Operating frequency	$f$	10	500	Hz
Ambient temperature	$T_A$	- 25	85	$^{\circ}C$

## Characteristics

$8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^{\circ}C \leq T_A \leq 85 \text{ }^{\circ}C; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Supply current consumption S1 ... S6 open $V_{11} = 0 \text{ V}$ $C_{10} = 47 \text{ nF}; R_9 = 100 \text{ k}\Omega$	$I_S$	4.5	6.5	10	mA	1
Synchronization pin 5 Input current	$I_{5 \text{ rms}}$	30		200	$\mu A$	1
$R_2$ varied Offset voltage	$\Delta V_5$		30	75	mV	4
Control input pin 11 Control voltage range	$V_{11}$	0.2		$V_{10 \text{ peak}}$	V	1
Input resistance	$R_{11}$		15		$k\Omega$	5

### Characteristics (cont'd)

$8 \leq V_S \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Ramp generator						
Charge current	$I_{10}$	10		1000	$\mu\text{A}$	
Max. ramp voltage	$V_{10}$			$V_2 - 2$	V	1
Saturation voltage at capacitor	$V_{10}$	100	225	350	mV	1.6
Ramp resistance	$R_9$	3		300	$\text{k}\Omega$	1
Sawtooth return time	$t_f$		80		$\mu\text{s}$	1
Inhibit pin 6						
switch-over of pin 7						
Outputs disabled	$V_{6L}$		3.3	2.5	V	1
Outputs enabled	$V_{6H}$	4	3.3		V	1
Signal transition time	$t_r$	1		5	$\mu\text{s}$	1
Input current	$I_{6H}$		500	800	$\mu\text{A}$	1
$V_6 = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{6L}$	80	150	200	$\mu\text{A}$	1
$V_6 = 1.7 \text{ V}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-5		5	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_S = 12 \text{ V}; C_{10} = 47 \text{ nF}$						
Deviation of $I_{10}$	$I_{10}$	-20		20	%	1
$R_9 = \text{const.}$						
$V_S = 8 \text{ V to } 18 \text{ V}$						
Deviation of the ramp voltage						
between 2 following						
half-waves, $V_S = \text{const.}$	$\Delta V_{10 \text{ max}}$		$\pm 1$		%	
Long pulse switch-over						
pin 13						
switch-over of S8						
Short pulse at output	$V_{13H}$	3.5	2.5		V	1
Long pulse at output	$V_{13L}$		2.5	2	V	1
Input current	$I_{13H}$			10	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 8 \text{ V}$						
Input current	$-I_{13L}$	45	65	100	$\mu\text{A}$	1
$V_{13} = 1.7 \text{ V}$						
Outputs pin 2, 3, 4, 7						
Reverse current	$I_{CEO}$			10	$\mu\text{A}$	2.6
$V_Q = V_S$						
Saturation voltage	$V_{\text{sat}}$	0.1	0.4	2	V	2.6
$I_Q = 2 \text{ mA}$						

### Characteristics (cont'd)

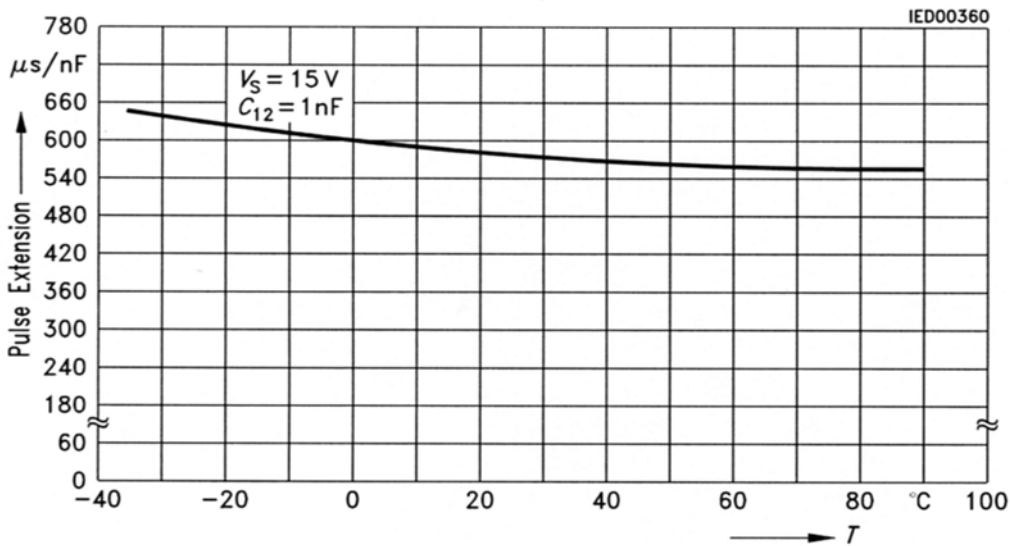
$8 \leq V_s \leq 18 \text{ V}; -25 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85 \text{ }^\circ\text{C}; f = 50 \text{ Hz}$

Parameter	Symbol	Limit Values			Unit	Test Circuit
		min.	typ.	max.		
Outputs pin 14, 15						
H-output voltage – $I_Q = 250 \text{ mA}$	$V_{14/15 \text{ H}}$	$V_s - 3$	$V_s - 2.5$	$V_s - 1.0$	V	3.6
L-output voltage $I_Q = 2 \text{ mA}$	$V_{14/15 \text{ L}}$	0.3	0.8	2	V	2.6
Pulse width (short pulse)	$t_p$	20	30	40	$\mu\text{s}$	1
S9 open Pulse width (short pulse) with $C_{12}$	$t_p$	530	620	760	$\mu\text{s}/\text{nF}$	1
Internal voltage control						
Reference voltage	$V_{\text{REF}}$	2.8	3.1	3.4	V	1
Parallel connection of 10 ICs possible						
TC of reference voltage	$\alpha_{\text{REF}}$		$2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$	1/K	1

**Application Hints for External Components**

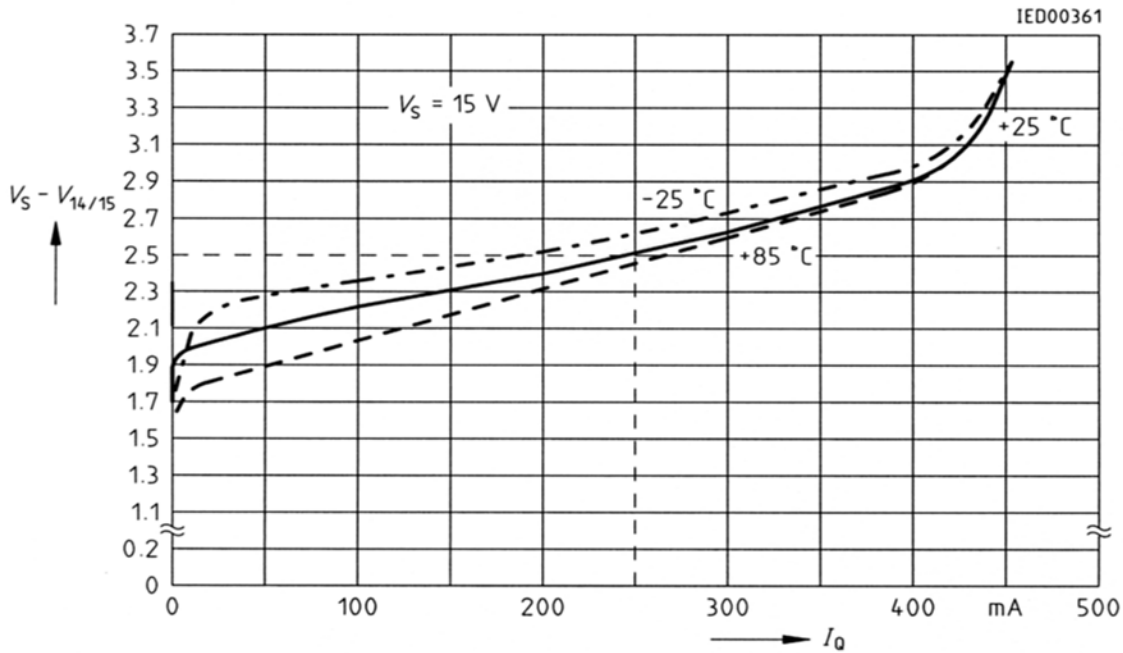
Ramp capacitance	$C_{10}$	min 500 pF	max $1 \mu\text{F}^{1)}$	The minimum and maximum values of $I_{10}$ are to be observed
Triggering point	$t_{Tr} = \frac{V_{11} \times R_9 \times C_{10}}{V_{REF} \times K}$		2)	
Charge current	$I_{10} = \frac{V_{REF} \times K}{R_9}$		2)	Ramp voltage $V_{10 \max} = V_S - 2 \text{ V}$
				$V_{10} = \frac{V_{REF} \times K \times t}{R_9 \times C_{10}}$ 2)

**Pulse Extension versus Temperature**

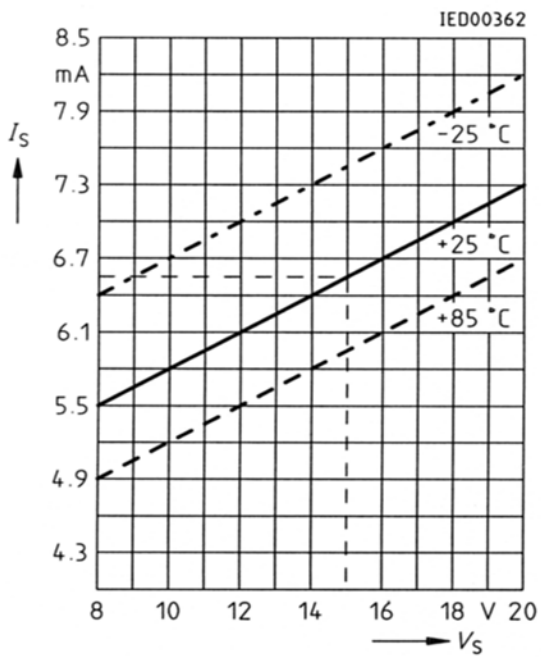


1) Attention to flyback times  
 2)  $K = 1.10 \pm 20 \%$

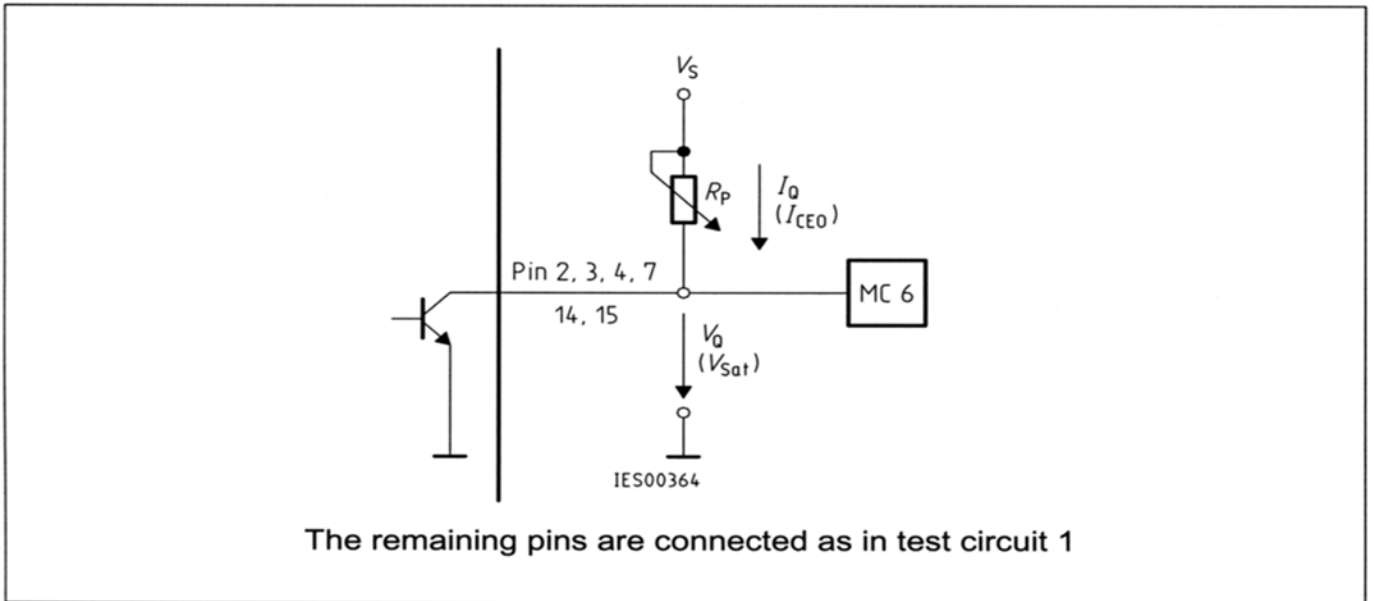
### Output Voltage measured to + $V_S$



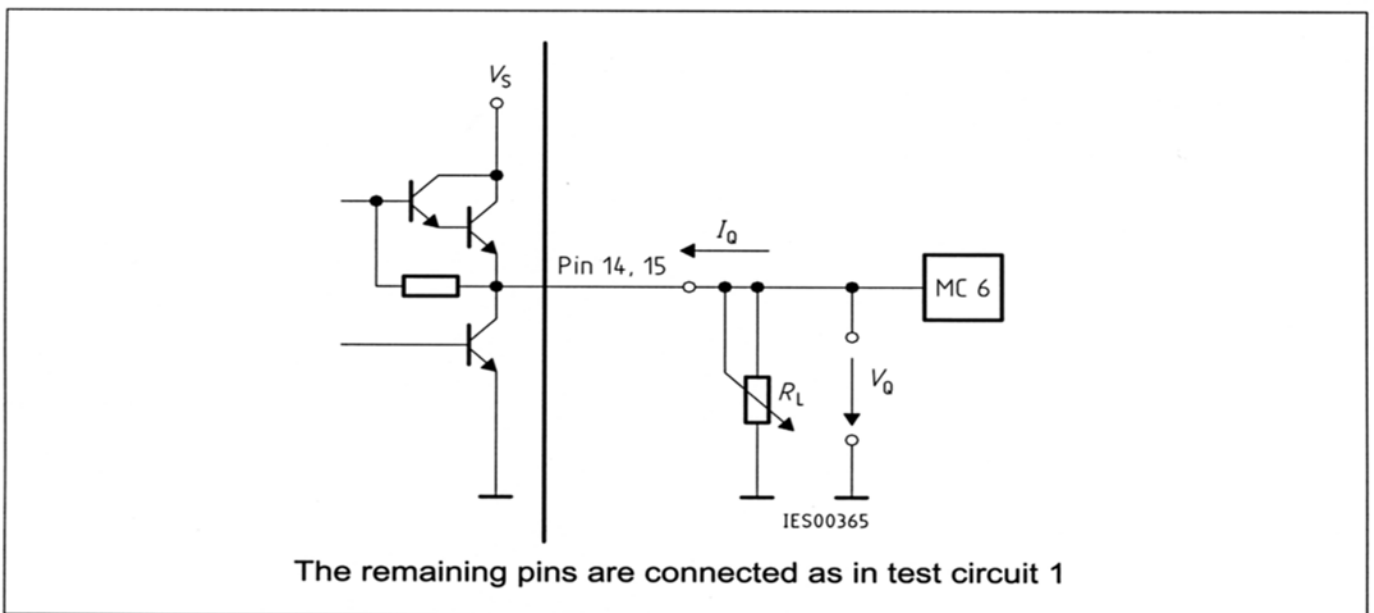
### Supply Current versus Supply Voltage



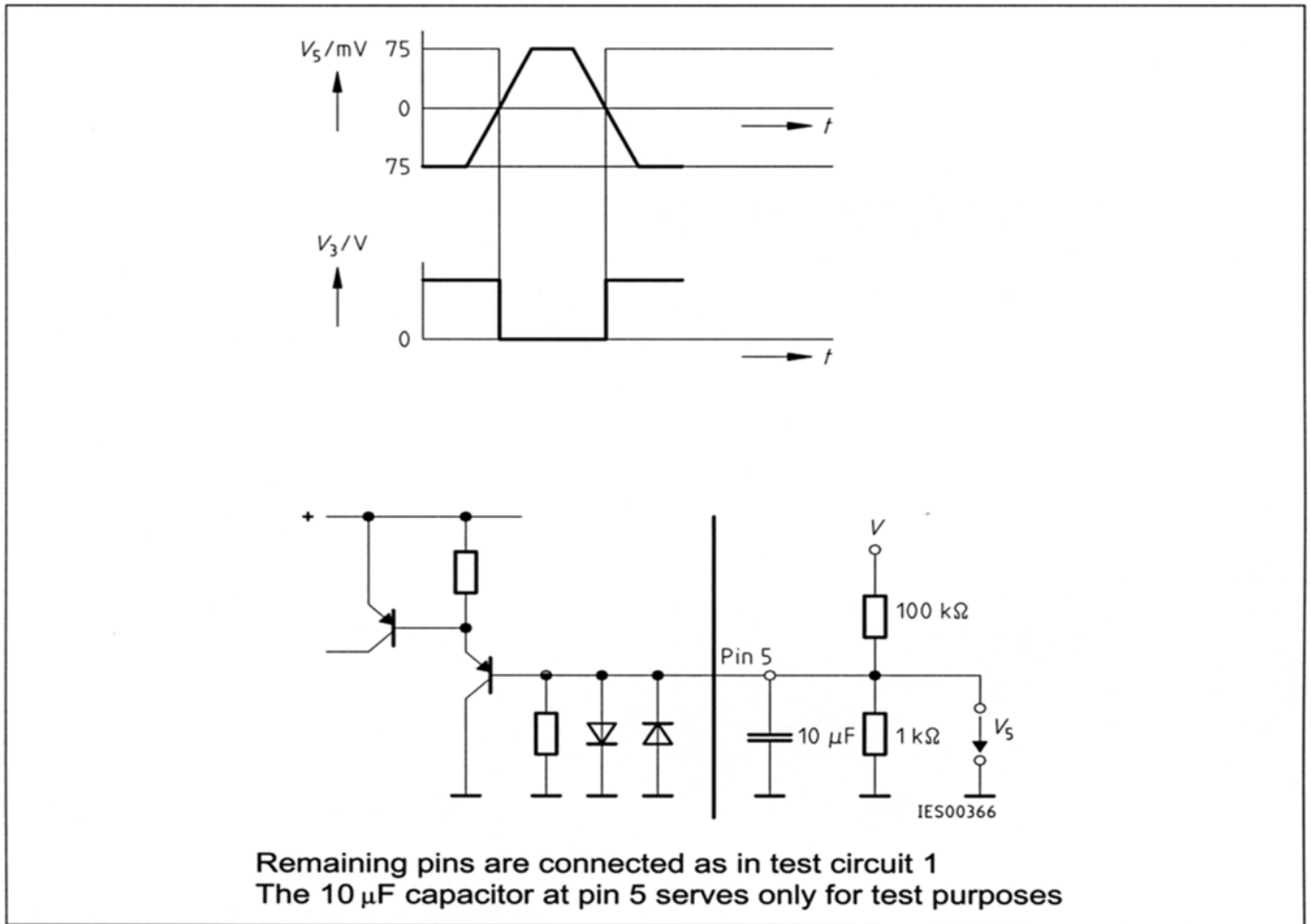




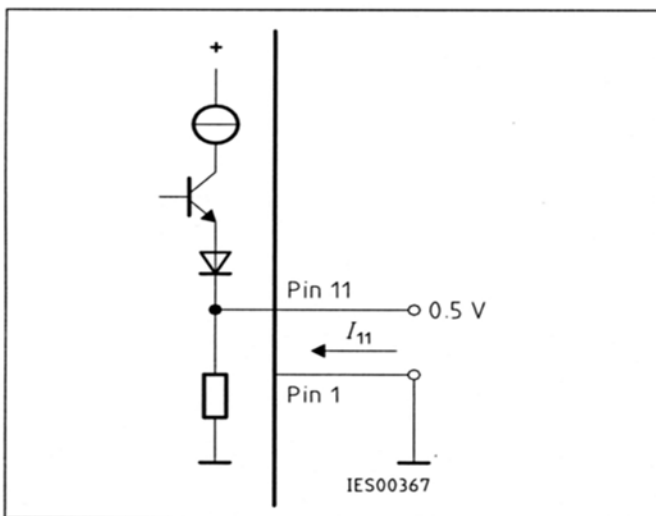
**Test Circuit 2**



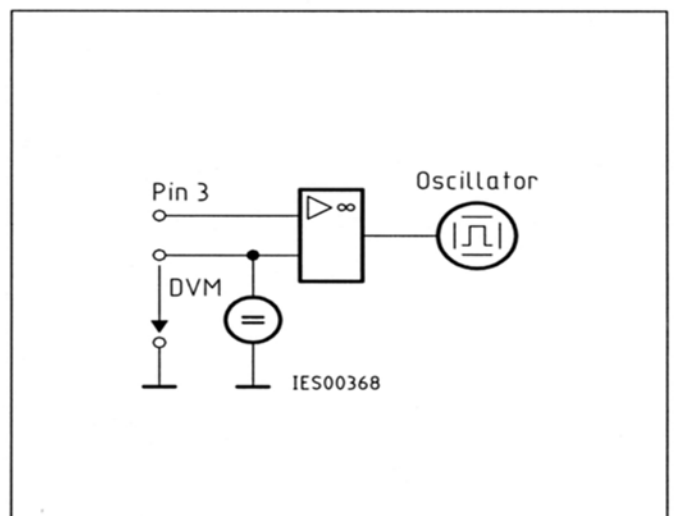
**Test Circuit 3**



**Test Circuit 4**

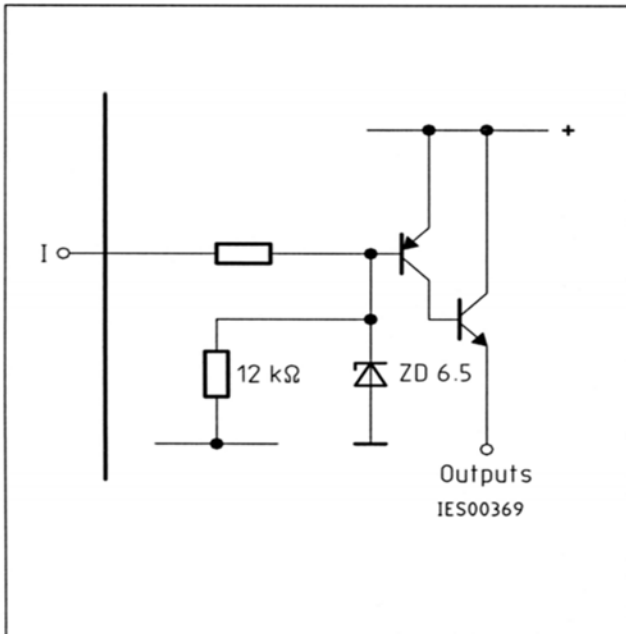


**Test Circuit 5**

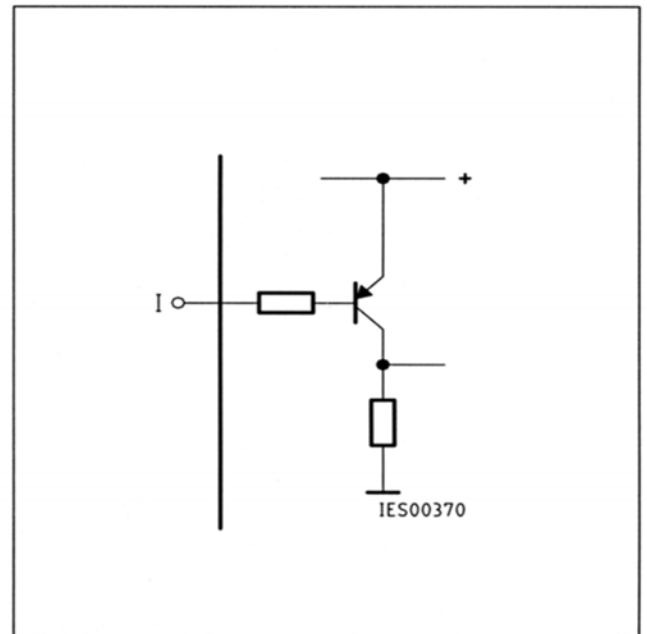


**Test Circuit 6**

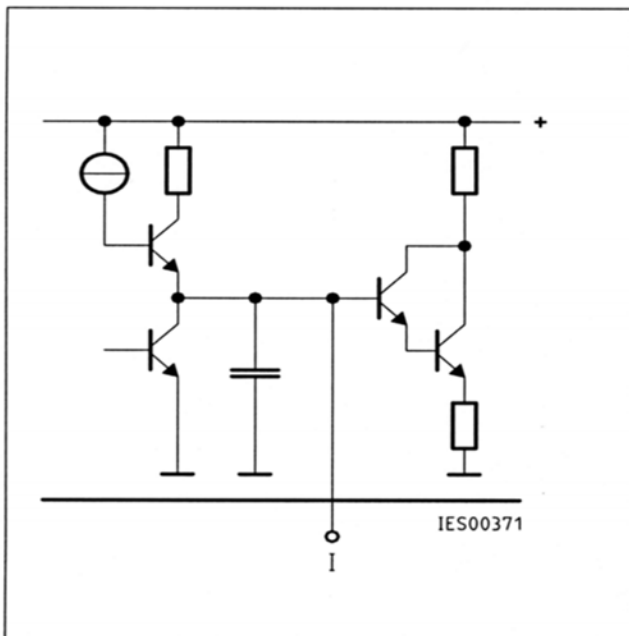




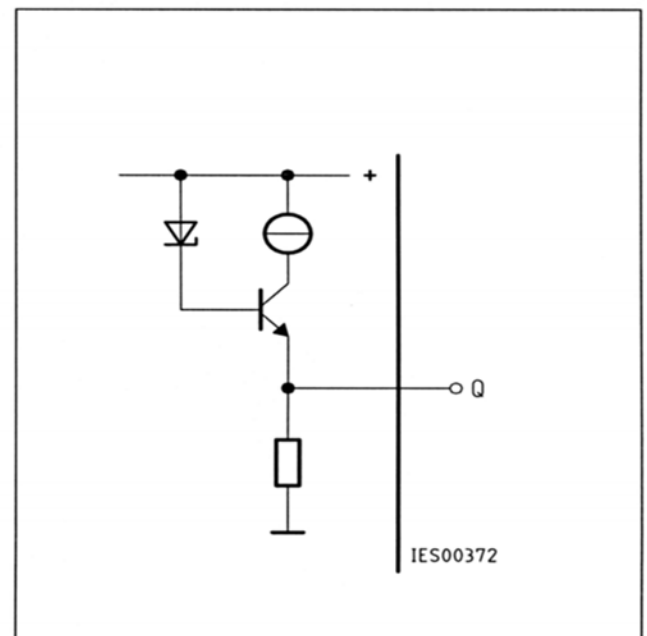
Inhibit 6



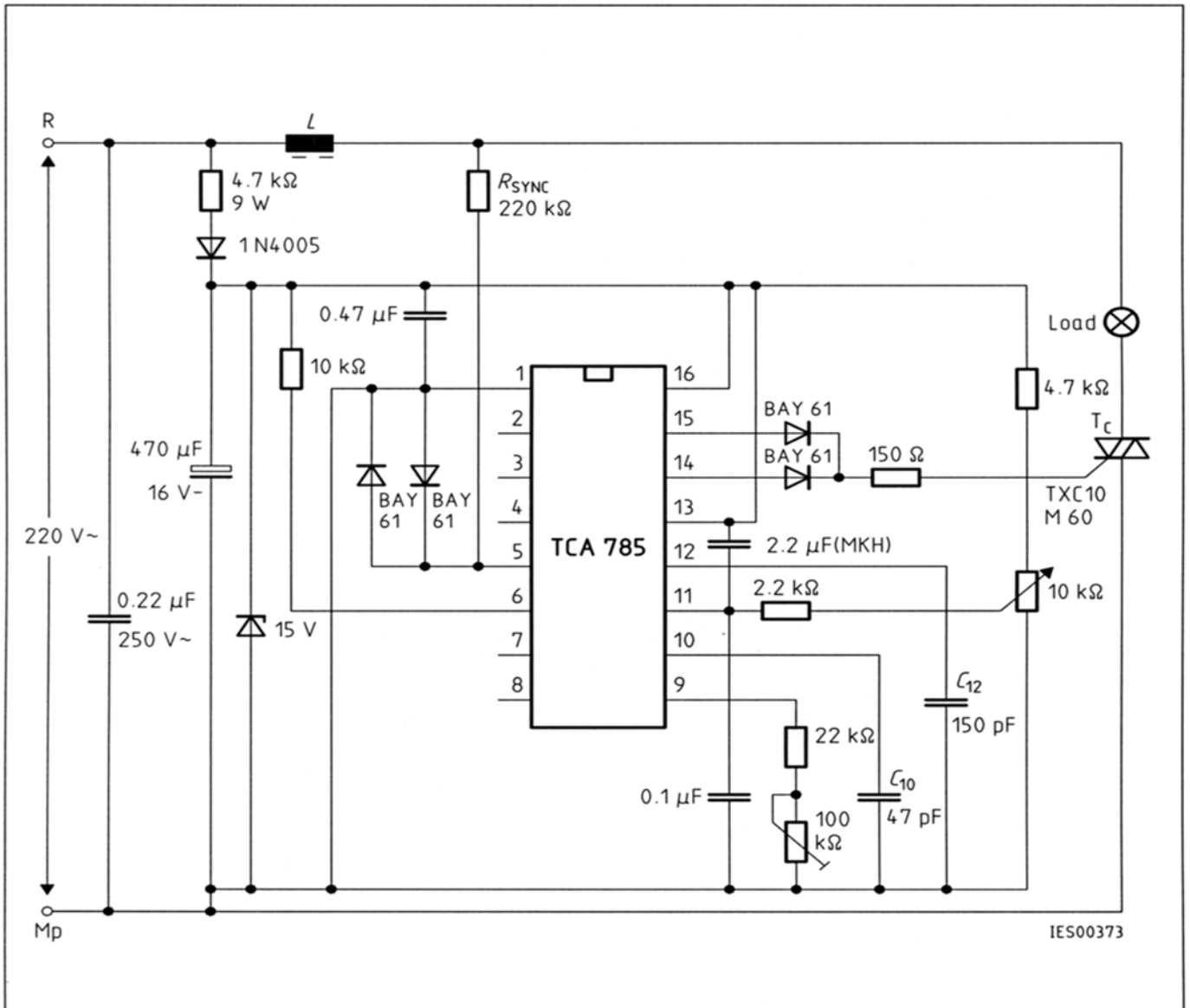
Long Pulse 13



Pulse Extension 12



Reference Voltage 8

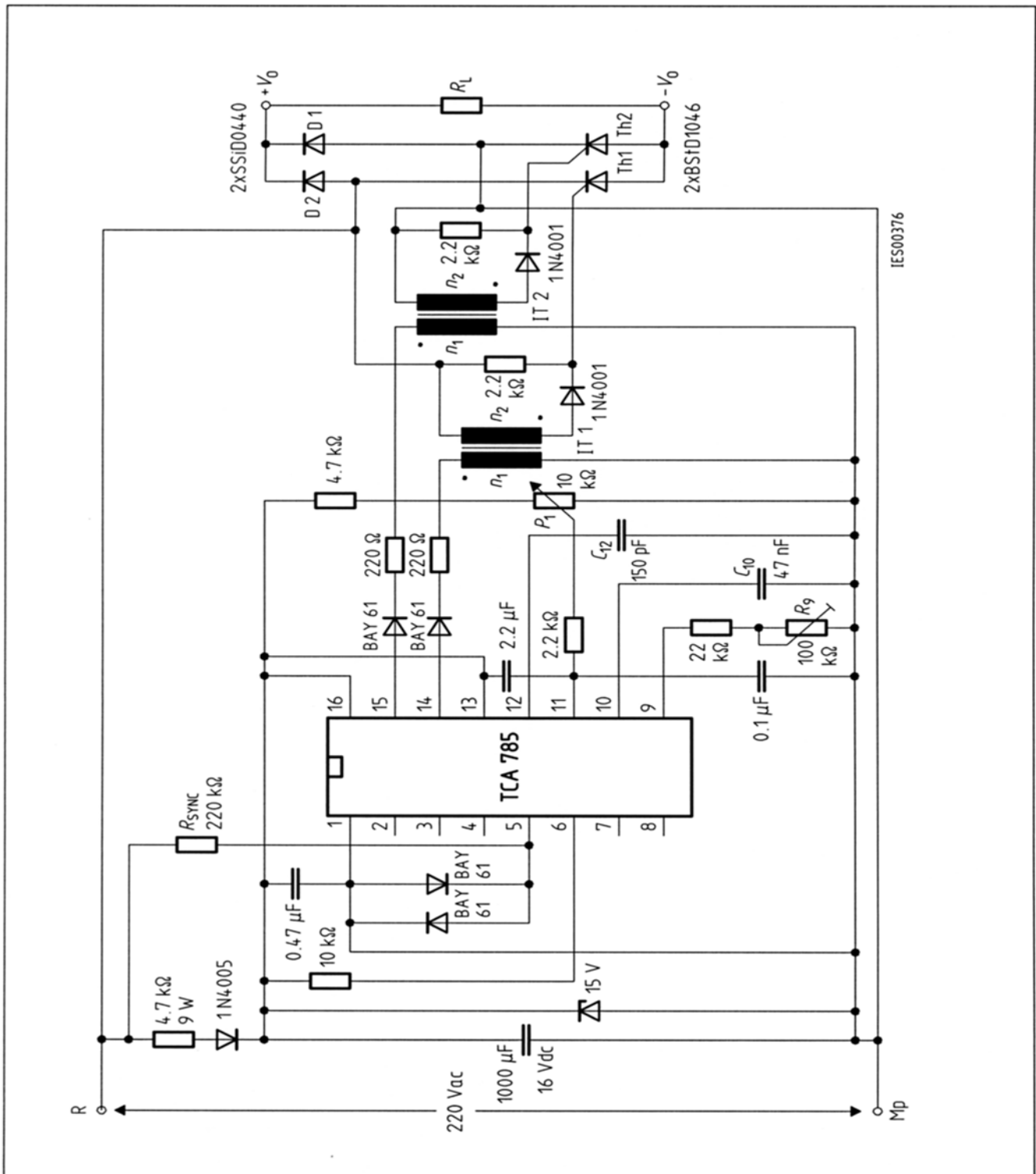


**Application Examples**  
**Triac Control for up to 50 mA Gate Trigger Current**

A phase control with a directly controlled triac is shown in the figure. The triggering angle of the triac can be adjusted continuously between 0° and 180° with the aid of an external potentiometer. During the positive half-wave of the line voltage, the triac receives a positive gate pulse from the IC output pin 15. During the negative half-wave, it also receives a positive trigger pulse from pin 14. The trigger pulse width is approx. 100 μs.







Half-Controlled Single-Phase Bridge Circuit with Two Trigger Pulse Transformers for Low-Power Thyristors

BIBLIOGRAFIA

- BARRETT, R. J. and LOKHANDWALA, M. F. Circulatory and Vestibular implication of central angiotensin mecanismes physiological adaptation to weightlessness. *Medical Hipoteses*. 7:(1981), 1415-1419.
- BENSON, A .J. The vestibular sensory system. In *The Senses*, Ed. H. B. Barlow and J. D. Mollon, 2<sup>a</sup> Ed., Capítulo 16, Cambridge University Press, (1987).
- BENSON, A .J. Motion Sickness. In *Vertigo*, Ed. M. R. Dix and J. D. Hood, pp. 391-426, Chichester: J. P. Wiley & Sons, (1977).
- BENSON, A .J., DIAZ, E. and FARRUGIA, P. The perception of body orientation relative to a rotaten linear acceleration vector. *Fortschitte der Zoologie*, (1975), 23, 264-274.
- BENSON, A .J. Orientation/Disorientation Taining of Flying Personnel: A Working Group Report, *Report N° R-625*, Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1974).
- BENSON, A .J. and BURCHARD, E. Spatial Disorientation in Flight: a Handbook for Aircrew. *AGARDograph n° 170*, Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1973).
- BLES, W., de JONG, H. A . A . and OOSTERVELD, W. J. Prediction of Seasickness Suscetibility. In *Motin Sickness: mecanismes, prediction, prevention and treatment*. Conference Proceodings 372, 27, 1-6, Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1984).
- BORISON, H. L. A misconception of motion sickness leads to false therapeutic expectations. *Aviation Space and Environment Medicine*, (1985), 56, 66-68.
- BRAND, J. J. and PERRY, W. L. M. Drugs used in motion sickness. *Pharmacological Review*, (1966), 18, 895-925.
- CLARK, B. The Vestibular System. *Annual Review of Psychology*, (1970), 21, 273-306.
- CLARK, B. Disorientation incidents reported by military pilots across fourteen years of flight. In *The*

- disorientation Incident*. Conference Report CP 95, A1, 1-6, Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1971).
- CLARK, B. and GRAYBIEL, A . Linear acceleration and deceleration as factors influencing non-visual orientation during flight. *Journal of Aviation Medicine*, (1949), 20, 92-101.
- CLARK, B. and GRAYBIEL, A . Disorientation: A Cause of Pilot Error. Bureau of Medicine and Surgery Research Report, N° NM 001 110 100, 39, Pensacola, Fla: US Navy School of Aviation Medicine, (1955).
- CLARK, B., NICHOLSON, M. A . and GRAYBIEL, A . Fascination: a cause of pilot error. *Journal of Aviation Medicine*, (1953), 24, 429-440.
- DAVIS, J. R. et all Space motion sickness during 24 flights of the space shuttle. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 59: (1988), 1185-1189.
- DICHGANS, J. and BRANDT, T. Visual vestibular interactions: effects on self-motion perception and postural control. In *Handbook of Sensory Physiology*. Ed. R. Held, H. Leibowitz and H. L. Teuber, Vol. 8, pp. 755-804. Berlin: Springer Verlag, (1978).
- DOBIE, T. G. The Disorientation accident-phylosophy of instrument flying training. In *The desorientation incident*. Conference Proceedings CP 95, A15, 1-3, Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1971).
- EDGINGTON, K. Disorientation in army helicoptero operations - a general review. In *Spatial Desorientation in Flight: Current Problems*. Conference Report CP 287, B6, 1-6, Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1980).
- GILES, D. A . and LOCHRIDE, G. K. Behavioral airsickness management programm for students pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine*, (1985), 56, 991-994.
- GILLIGHAM, K. K. Advanced spatial desorientation training concepts. *Aeromedical Review*, N° 11-74, Brooks AFB, Texas, USAF School of Aerospace Medicine, (1974).

- GORGILADZE, G. I. and BRYANOV, I. I. Space motion sickness. *Kosm. Biol. Aviakosm Med.*, 23 (3): (1989), 4-14.
- GRAYBIEL, A ., HOOD, C. D., KNEPTON, J., HOICHE, J. P. and PERKINS, G. F. Human assay of anti-motion sickness drugs. *Aviation Space and Environmental Medicine*, (1975), 46, 1107-1118.
- GUEDRY, F. E. Psychophysics of vestibular sensation. Chapter 1. In *Handbook os Sensory Physiology*, Ed. H. H. Kornhuber, Vol. 6, pp. 3-154. Berlin: Springer-Verlag, (1974).
- HEAD, H. The sense os stability and balance in the air. In *Medical Problems of Flying*. Medical Research Council Special Report. N° 53, pp. 215-256. Londres: HMSO, (1920).
- HIXSON, W. C., NIVEN, J. I. and SPEZIA, E. Major Orientation Error Accidents in Regular Army UH-1 Aircraft During Fiscal Year 1969: Accident Factors. Report NAMRL-1169, Pensacola, Fla.: Naval Aerospace Medical Research Laboratory, (1972).
- HOMICK, J. L., KOHL, R. L., RESCHKE, M. F., DEGIOANNI, J. and CINTRON-TERVINO, N. M. Transdermal scopolamine in the prevention of motion sickness: evaluation of the time course of efficacy. *Aviation Space and Environmental Medicine*, (1983), 54, 994-1000.
- HOMICK, J. L. Motion sickness: general background and methods. In *Proceedings of the space adaptation syndrome drug workshop*, July, 1983. Ed. Kohl, R. L., Houston, Texas, Space Biomedical Research Institute, USRA, Division of Space Biomedicine, (1985), 9-19.
- KIRKHAM, W. R., COLLINS, W. E., GRAPE, P. M., SIMPSON, J. M. and WALLACE, T. F. Spatial disorientation in general aviation accidents. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 49, (1978), 1080-1086.
- KRAUS, R. N. Disorientation in flight - an evaluation of the etiological factors. *Aerospace Medicine*, (1959), 30, 664-673.
- LAWTHER, A . and GRIFFIN, M. J. Prediction of the incidence



- of motion sickness from the magnitude frequency and duration of vertical oscillation. *Journal of Acoustical Society of America*, (1987).
- LEIBOWITZ, H. W. and DICHGANS, J. The ambient visual system and spatial disorientation. In *Spatial Disorientation in flight: Current Problems*. Conference Report CP 287, B4, 1-4. Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1980).
- LINDEMAN, H. H. Studies on the morphology of the sensory regions of the vestibular apparatus. *Ergebnisse der Anatomie und Entwicklungsgeschichte*, (1969), 42, 1-113.
- MARTIN, J. F. and MELVILL JONES, G. Theoretical man-machine interaction which might lead to loss of aircraft control. *Aerospace Medicine*, (1965), 36, 713-716.
- O'CONNOR, P. J. Differential diagnosis of disorientation in flying. *Aerospace Medicine*, (1967), 38, 1155-1160.
- ORMSBY, C. C. and YOUNG, L. R. Perception of static orientation in a constant gravitoinertial environment. *Aviation Space and Environment Medicine*, (1976), 47, 159-164.
- PARKER, D. E. The vestibular apparatus. *Sci. Am.* 243 (5): (1980), 118-134.
- PARKER, D. E. et al. Physiological and behavioral effects of tilt-induced body fluid shifts. *Aviation Space and Environmental Medicine* 54: (1983), 402-409.
- REASON, J. T. Motion sickness: a special case of sensory rearrangement. *Advance Science*, 26. (1970), 386-393.
- REASON, J. T. Motion sickness adaptation: a neural mismatch model. *Journal of the Royal Society of Medicine*, (1978), 71, 819-829.
- REASON, J. T. and BRAND, J. J. Motion sickness. London Academic Press, (1975).
- RESCHKE, M. F., HOMICK, J. L., RYAN, P. and MOSELEY, E. D. Prediction of the space adaptation syndrome. In *Motion Sickness: mechanisms, prediction, prevention and treatment*. Conference Proceedings, 372, 26, 1-19. Neuilly sur Seine, ARGDA/NATO, (1984).
- STEELE-PERKINS, A P. and EVANS, D. A. Disorientation in naval helicopter pilots. In *Operational Helicopter*

- Aviation Medicine*. Conference Proceedings CP 255, 48, 1-5. Neuilly sur Seine: AGARD/NATO. (1978).
- TORMES, F. R. and GUEDRY, F. E. Disorientation phenomena in naval helicopter pilots. *Aviation Space and Environmental Medicine*, (1975), 46, 387-393.
- TREDICI, T. J. Visual illusions as a probable cause of aircraft accidents. In *Spatial Disorientation in Flight: Current Problems*. Conference Report CP 287, B5, 1-5. Neuilly sur Seine: AGARD/NATO, (1980).
- WOOD, C. D. Anti-motion sickness therapy. In *5<sup>th</sup> Symposium on the Role of the Vestibular Organs in Space Exploration*. Report SP-314: Wasghington D. C.: NASA, (1970).
- WOOD, C. D., MANNO, J. E., MANNO, B. R., REDETZKI, H. N., WOOD, M. J. and MIMS, M. E. Evaluation of anti-motion sickness drug side-effects on performance. *Aviation Space and Environment Medicine*, (1985), 56, 310-316.
- YOUNG, L. R. Perception of the body in space: mechanisms. In *Handbook of Physiology - The Nervous System III*, Part 2, Ed. Darian Smith, I. Chapter 22. Bethesda, Ma.: American Physiological Society, William & Wilkins, (1984).
- COLUMBIA ENCYCLOPEDIA, 6th ed. New York: Columbia Univesity Press, (2001), [www.bartleby.com/65/](http://www.bartleby.com/65/).
- Roberts, T.D.M. *Equestrian Technique*. London: J.A. Allen, (2000).
- Gillingham, Kent K. & Fred H. Previc, "Spatial Orientation in Flight" (Final Technical Report), (2001), AL-TR-1993-0022, 79.
- Laird, Dugan, *Approaches to Training and Development*, Second Edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., (2001), 145-146.