



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E**  
**BIOLOGIA CELULAR**

**“Medida De Sensibilidade Ao Contraste De Luminância  
Aplicada Através De Teste Psicofísico Computadorizado:  
Determinação De Valores Normativos Para Uso Clínico”**

**CLÁUDIO EDUARDO CORRÊA TEIXEIRA**

**Belém**

**2007**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CLÁUDIO EDUARDO CORRÊA TEIXEIRA

**“Medida De Sensibilidade Ao Contraste De Luminância  
Aplicada Através De Teste Psicofísico Computadorizado:  
Determinação De Valores Normativos Para Uso Clínico”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular (Área de Concentração: Neurociências), Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas.

**Orientador:** Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira.

**Belém**

**2007**

Teixeira, Cláudio Eduardo Corrêa

MEDIDA DE SENSIBILIDADE AO CONTRASTE DE LUMINÂNCIA APLICADA ATRAVÉS DE TESTE COMPUTADORIZADO: DETERMINAÇÃO DE VALORES NORMATIVOS PARA USO CLÍNICO. Belém, Pará, UFPA/CCB, 2007.

xviii, 130 pp

Dissertação: Mestre em Ciências (Neurociências)

1. Sensibilidade ao contraste visual. 2. Contraste de luminância. 3. Visão espacial. 4. Visão temporal. I. Universidade Federal do Pará / Centro de Ciências Biológicas. II. Título.

**“Medida De Sensibilidade Ao Contraste De Luminância  
Aplicada Através De Teste Psicofísico Computadorizado:  
Determinação De Valores Normativos Para Uso Clínico”**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Biológicas, Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia Celular (Área de concentração: Neurociências), Universidade Federal do Pará, pela Comissão Examinadora formada pelos professores:

Presidente:

**Professor Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira - Orientador**

Departamento de Fisiologia, UFPA

Membros:

**Professora Dra. Dora Selma Fix Ventura**

Instituto de Psicologia, USP

**Professora Dr. Manoel da Silva Filho**

Departamento de Fisiologia, UFPA

**Professor Dra. Maria da Conceição Nascimento Pinheiro**

Núcleo de Medicina Tropical, UFPA

**Professora Dra. Silene Maria Araújo de Lima (suplente)**

Departamento de Fisiologia, UFPA

Belém, 13 de março 2007

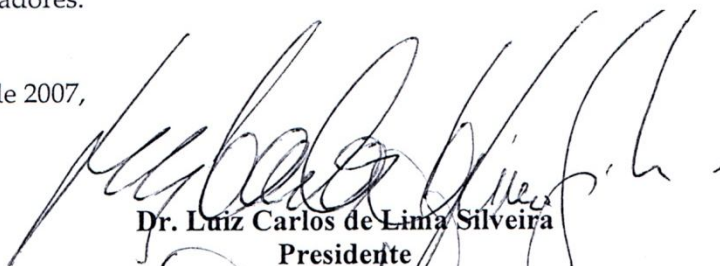


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
Centro de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular

**ATA DA COMISSÃO EXAMINADORA DO EXAME DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM NEUROCIÊNCIAS E BIOLOGIA CELULAR APRESENTADO E DEFENDIDO PELO MESTRANDO CLAUDIO EDUARDO CORRÊA TEIXEIRA**

No treze de março de 2007, às quatorze horas, reuniu-se no Auditório do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, a Comissão Examinadora da Dissertação em Neurociências e Biologia Celular, para avaliar o trabalho apresentado e defendido pelo mestrando **CLAUDIO EDUARDO CORRÊA TEIXEIRA** e intitulado: "SENSIBILIDADE AO CONTRASTE DE LUMINÂNCIA AVALIADA ATRAVÉS DE TESTE PSICOFÍSICO COMPUTADORIZADO: DETERMINAÇÃO DE VALORES NORMATIVOS PARA USO CLÍNICO". A Comissão Examinadora, organizada obedecendo ao disposto nas Resoluções do Conselho Superior de Ensino e Pós-Graduação, foi constituída pelos professores: **Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira** (UFPA), na condição de Presidente (sem direito a voto) e pelos membros: **Dra. Dora Selma Fix Ventura** (USP), na condição de membro titular, **Dr. Manoel da Silva Filho** (UFPA), na condição de membro titular, **Dr. Maria da Conceição Nascimento Pinheiro** (UFPA), na condição de membro titular, e **Dra. Silene Maria Araújo de Lima** (UFPA), na condição de membro suplente. Após haver o candidato apresentado os resultados de sua dissertação de mestrado, obedecendo o prazo regimental, foi dada a palavra aos examinadores para arguição, tendo o candidato respondido às perguntas formuladas. Logo após reuniu-se a Comissão Examinadora para proceder ao julgamento, sendo atribuídas as seguintes notas: **Dra. Dora Selma Fix Ventura**, Nota: 10,0..... **Dr. Manoel da Silva Filho**, Nota: 10,0....., e **Dra. Maria da Conceição Nascimento Pinheiro**, Nota: 10,0..... . Assim sendo, o candidato **CLAUDIO EDUARDO CORRÊA TEIXEIRA** foi considerado aprovado. Nada mais havendo a tratar, o Presidente da Comissão Examinadora deu por encerrado os trabalhos e foi lavrada a presente Ata, que vai devidamente assinada pelo Presidente e examinadores.

Belém, 13 de março de 2007,



**Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira**  
Presidente



**Dra. Dora Selma Fix Ventura**



**Dr. Manoel da Silva Filho**



**Dra. Maria da Conceição Nascimento Pinheiro**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a Deus; a meus pais, irmãs e irmão (*in memoriam*); à minha família (ausentes e presentes); a meus amigos (*idem*); à Paixão, ao Amor, e à Vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira por ter me recebido tão bem quando mais era preciso, mantendo acesos meus sonhos, minha razão, e por sua orientação e incentivo durante a realização desse trabalho.

Ao Professor MSc. Anderson Raiol Rodrigues, elaborador dos programas dos testes visuais utilizados neste trabalho, pelos ensinamentos de Psicofísica e sobre o melhor uso desses testes, além da amizade dedicada.

Aos colegas do Laboratório de Neurofisiologia Eduardo Oswaldo Cruz do Centro de Ciências Biológicas, do Laboratório de Neurofisiologia do Núcleo de Medicina Tropical, e do Grupo de Pesquisa em Neurofisiologia da Universidade Federal do Pará, pela convivência, pelas conversas acadêmicas e apoio durante os testes: Iza Batista Taccolini, Monica Gomes Lima, Eliza Maria da Costa Brito Carvalho, Prof. Dr. Cezar Akiyoshi Saito, Prof. MSc. Bruno Duarte Gomes, Prof. MSc. Givago da Silva Souza, e Wladimir de Aquino Silveira.

Às pessoas que foram voluntárias nesta pesquisa.

À Professora MSc. Soraia Valéria de Oliveira Coelho Lameirão, pela amizade, pelo amor, e pelo carinho.

Àqueles que fazem da Universidade Federal do Pará um lugar para, além da inteligência, a imaginação.



“A Luz Original”

**Gustav Mahler**

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Neurofisiologia do Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira. Estavam em vigência suportes financeiros concedidos por: FAPESP-Temático, Processo nº 02/12733-8; CAPES-PROCAD, Processo nº 0019/01-1; CNPq-PRONEX/SECTAM-FUNTEC/FADESP, Convênio nº 1079; CNPq, Edital Universal, Processo nº 471815/2004-7; CNPq, Edital Universal, Processo nº 486351/2006-8; CNPq, EDITAL MCT/CT-INFRA/CT-ENERG, Processo nº 620248/2006-8; Rede Instituto Brasileiro de Neurociência (IBN Net)-FINEP/FADESP, Ref 4191/05 (Encomenda Ação Transversal), Processo nº 01.06.0842-00, Convênio 1723.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é a medida de valores normativos para sensibilidade ao contraste de luminância, em seus aspectos espacial e temporal, para o uso desses valores tanto em avaliações clínicas como na pesquisa básica do sistema visual. Os estímulos aqui utilizados foram desenvolvidos para computadores pessoais (PCs), o que também permitiu a avaliação do potencial desta ferramenta em testes psicofísicos visuais.

Neste estudo, foram avaliados no teste de sensibilidade ao contraste espacial de luminância 30 indivíduos de ambos os sexos (15 homens e 15 mulheres), na faixa etária entre 16 e 30 anos. Os estímulos utilizados consistiam de padrões de grades com luminância senoidal, em 11 frequências espaciais: 0,2, 0,5, 0,8, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 10,0, 15,0, 20,0, e 30,0 ciclos por grau (cpg). Os resultados encontrados para esta amostra revelaram curvas de sensibilidade de comportamento passa-banda, com pico de sensibilidade em torno de 300 para frequências na faixa de 2-4cpg, e ponto de corte de alta frequência em torno de 30-40cpg.

Por outro lado, também foram avaliados no teste de sensibilidade ao contraste temporal de luminância 34 indivíduos de ambos os sexos (16 homens e 18 mulheres), na mesma faixa etária. O estímulo utilizado consiste de um plano isoluminante projetado em toda a tela do monitor, dentro do qual uma área quadrada central apresenta variação senoidal de luminância em relação a luminância da área geral deste plano, através de oscilações temporais em 7 frequências: 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 16,0, e 32,0 Hertz (Hz). Os resultados obtidos para esta amostra revelaram curvas de sensibilidade de comportamento passa-baixa, com pico de sensibilidade em torno de 100 na faixa de frequências próxima de 8Hz.

Os limites de tolerância e de confiança calculados para ambos os testes delinearam faixas de sensibilidade com diferentes escalas, sendo a faixa de tolerância a de maior amplitude. Na avaliação em separado dos diferentes grupos componentes das amostras (homens e mulheres), somente os limites de tolerância de sensibilidade ao contraste espacial, em seu limite inferior, não apresentaram comportamento passa-banda esperado em sua curva.

Estes resultados sugerem que os testes psicofísicos desenvolvidos para PCs, e utilizados neste trabalho, são compatíveis com avaliações clínicas de caráter visual. Além disso, os valores normativos medidos por estas ferramentas podem ser utilizados como parâmetro de avaliação de alterações da visão normal.

## ABSTRACT

The aim of this work is the measure of both spatial and temporal luminance contrast sensitivity normal values, to allow the use of these values found on clinical practice, besides visual system basic research. The stimuli used here were developed for personal computers (PCs), what still allowed an analysis of this potential tool in visual psychophysics testing.

In this study, thirty subjects of both sex (15 men and 15 women), between 16-30 years old, were evaluated by luminance spatial contrast sensitivity test. The stimulus used were patterns of senoidal luminance gratings of 11 spatial frequencies: 0,2, 0,5, 0,8, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 10,0, 15,0, 20,0, e 30,0 cycles per degree (cpd). The results observed for this sample revealed band-pass sensitivity curves that peaks around 300 in turn of 2-4cpd frequencies, with high frequency cut-off around 30-40cpd.

Furthermore, 34 subjects of both sex (16 men and 18 women) and the same age group either were evaluated by luminance temporal contrast sensitivity test. The stimulus used was an isoluminant plane, whole-projected in a monitor, into which a central square area presents senoidal variation of luminance in relation to the whole-plane luminance through temporal oscillation in 7 frequencies: 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 16,0, e 32,0 Hertz. The results observed for this sample revealed low-pass sensitivity curves that peaks around 100 in turn of 8Hz frequencies.

Tolerance and confidence limits calculated for both tests designed sensitivity scales of different amplitudes, being the tolerance scale the larger. On independent evaluation of samples different groups (men and women), only tolerance limits of spatial contrast sensitivity, on its lower limits, didn't show the band-pass curve pattern expected.

These results suggest that psychophysical tests developed for personal computers, and used in this work, can be adopted on clinical evaluations of visual system. In addition, the measure of normal values by these tools can be used as evaluation parameters of normal vision alterations.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Síntese e análise de uma onda quadrada e seus componentes senóides .....	04
<b>Figura 2.</b>	Padrão de grades com variação senoidal da luz através do mesmo .....	04
<b>Figura 3.</b>	Relação entre a resposta de uma única célula fotorreceptora a um padrão de grades e uma onda periódica simples.....	05
<b>Figura 4.</b>	Formação de imagem pela soma de ondas periódicas e não-periódicas .....	06
<b>Figura 5.</b>	Relação entre diferentes frequências espaciais e a formação de uma imagem complexa.....	07
<b>Figura 6.</b>	Diferença de contribuição entre frequências espaciais para a identificação de uma imagem.....	08
<b>Figura 7.</b>	A frequência fundamental de uma onda senóide formadora de uma onda quadrada.....	10
<b>Figura 8.</b>	A via visual primária.....	13
<b>Figura 9.</b>	Frequência espacial é uma medida do número de ciclos por grau subtendido no olho.....	28
<b>Figura 10.</b>	Perfil de luminância de redes senóides de taxa de contraste de 1.0 e 0.5 .....	29
<b>Figura 11.</b>	Resolução espacial.....	34
<b>Figura 12.</b>	Resolução temporal.....	37
<b>Figura 13.</b>	Somação temporal.....	38
<b>Figura 14.</b>	Relação entre campo dendrítico e receptivo em células ganglionares .....	42
<b>Figura 15.</b>	Modelo de diferenças Gaussianas de campos receptivos .....	43
<b>Figura 16.</b>	Circuitos neurais para contraste acromático e contraste cromático .....	45
<b>Figura 17.</b>	O modelo retinex de Land.....	47
<b>Figura 18.</b>	Demonstração de como um neurônio responsivo às cores amarelo e azul pode ser formado.....	48
<b>Figura 19.</b>	Circuitos neurais para sinais tônicos de cones tipo L .....	50
<b>Figura 20.</b>	Circuitos neurais dos cones tipo L para bipolares de sinais fásicos.....	51
<b>Figura 21.</b>	Optótipos de Snellen.....	65
<b>Figura 22</b>	Exemplo simplificado dos estímulos utilizados na medida da função de sensibilidade ao contraste de luminância.....	67
<b>Figura 23</b>	Exemplo simplificado de como as diferentes frequências espaciais e o contraste de luminância podem ser obtidos.....	68
<b>Figura 24</b>	Exemplo simplificado dos estímulos utilizados na medida da função de sensibilidade ao contraste temporal de luminância.....	70

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b>	Comparação entre curvas de sensibilidade ao contraste para grades de ondas senóides e para grades de ondas quadradas.....	10
<b>Gráfico 2.</b>	Lei de Weber.....	17
<b>Gráfico 3.</b>	Lei de Fechner.....	18
<b>Gráfico 4.</b>	Lei de Stevens.....	20
<b>Gráfico 5.</b>	Função psicométrica.....	22
<b>Gráfico 6.</b>	Construção de uma função psicofísica do limiar.....	23
<b>Gráfico 7.</b>	Dados amostrais usados para o cálculo do limiar absoluto.....	24
<b>Gráfico 8.</b>	Sensibilidade ao contraste em função da luminância .....	30
<b>Gráfico 9.</b>	Função de sensibilidade ao contraste temporal .....	33
<b>Gráfico 10.</b>	Lei de Ricco.....	36
<b>Gráfico 11.</b>	Lei de Bloch.....	39
<b>Gráfico 12.</b>	Taxa de descarga de uma célula ganglionar de centro ON.....	41
<b>Gráfico 13.</b>	Função da sensibilidade ao contraste de célula ganglionar de gato.....	44
<b>Gráfico 14.</b>	O desenvolvimento da sensibilidade ao contraste visual.....	53
<b>Gráfico 15.</b>	Sensibilidade ao contraste espacial e temporal ilustrada para indivíduos controle e pacientes com Doença de Alzheimer .....	56
<b>Gráfico 16.</b>	Tratamento de casos de Síndrome de Possível Associação Estuarina .....	57
<b>Gráfico 17.</b>	Comparação da média por grupo para a curva de sensibilidade ao contraste.....	59
<b>Gráfico 18.</b>	Função de sensibilidade ao contraste espacial para a amostra em estudo...	75
<b>Gráfico 19.</b>	Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste espacial de luminância obtidos para a amostra em estudo.....	76
<b>Gráfico 20.</b>	Limites de confiança de sensibilidade ao contraste espacial de luminância obtidos para a amostra em estudo.....	77
<b>Gráfico 21.</b>	Dados agrupados.....	78
<b>Gráficos 22.</b>	Função de sensibilidade ao contraste espacial para os diferentes grupos ...	81
<b>Gráficos 23.</b>	Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste espacial.....	83
<b>Gráficos 24.</b>	Limites de confiança de sensibilidade ao contraste espacial.....	85
<b>Gráficos 25.</b>	Dados agrupados dos diferentes grupos da amostra.....	86
<b>Gráfico 26.</b>	Função de sensibilidade ao contraste temporal para a amostra em estudo..	89
<b>Gráfico 27.</b>	Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste temporal.....	90
<b>Gráfico 28.</b>	Limites de confiança de sensibilidade ao contraste temporal.....	91
<b>Gráfico 29.</b>	Dados agrupados.....	92
<b>Gráficos 30.</b>	Função de sensibilidade ao contraste temporal para os diferentes grupos..	94
<b>Gráficos 31.</b>	Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste temporal.....	96
<b>Gráficos 32.</b>	Limites de confiança de sensibilidade ao contraste temporal.....	98
<b>Gráficos 33.</b>	Dados agrupados dos diferentes grupos da amostra.....	99

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Dados quantitativos obtidos de amostra composta por 30 indivíduos de ambos os sexos para a função de sensibilidade ao contraste espacial de luminância.....	79
<b>Tabela 2.</b>	Dados quantitativos obtidos dos diferentes grupos (homens e mulheres) da amostra em estudo da função de sensibilidade ao contraste espacial de luminância.....	87
<b>Tabela 3.</b>	Dados quantitativos obtidos de amostra composta por 34 indivíduos de ambos os sexos para a função de sensibilidade ao contraste temporal de luminância.....	93
<b>Tabela 4.</b>	Dados quantitativos obtidos dos diferentes grupos (homens e mulheres) da amostra em estudo da função de sensibilidade ao contraste temporal de luminância.....	100

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	xii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Da Descrição Da Informação Processada Em Paralelo No Sistema Visual Ser Representada Por Diversos Níveis De Conhecimento.....	1
1.2 De Como A Matemática De Fourier Encontra A Psicofísica De Campbell E Robson, Que Encontra A Eletrofisiologia De Hubel E Wiesel, Que Encontra A Matemática De Fourier.....	3
1.3 Da Psicofísica E Sua Trilogia Logarítmica-Potencial-Linear.....	16
1.4 Da Medida Dos Limites Dos Sentidos.....	21
1.5 Da Sensibilidade Ao Contraste De Luminância E Suas Funções.....	26
1.5.1 Da Função De Sensibilidade Ao Contraste Espacial.....	30
1.5.2 Da Função De Sensibilidade Ao Contraste Temporal.....	32
1.6 Da Sensibilidade Ao Contraste De Luminância E Suas Implicações.....	34
1.6.1 Da Resolução Espacial E Da Somação Espacial.....	34
1.6.2 Da Resolução Temporal E Da Somação Temporal.....	36
1.6.3 Da Função De Sensibilidade Ao Contraste E O Modelo Das Diferenças Gaussianas Do Campo Receptivo.....	40
1.6.4 Do Contraste Simultâneo.....	45
1.7 Da Importância Geral Da Sensibilidade Ao Contraste Visual.....	51
1.7.1 Da Diferença De Sensibilidade Ao Contraste Entre Crianças E Idosos.....	51
1.7.2 Da Sensibilidade Ao Contraste Nas Doenças Neuro-Oftalmológicas.....	54
1.7.3 Da Sensibilidade Ao Contraste Nas Doenças Neurodegenerativas.....	55
1.7.4 Da Neurotoxicologia Da Sensibilidade Ao Contraste.....	56
1.7.5 Da Sensibilidade Ao Contraste Na Medicina Ocupacional.....	58
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	61
2.1 Do Objetivo Geral.....	61
2.2 Dos Objetivos Específicos.....	61
<b>3 CASUÍSTICA, MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	62
3.1 Do Ambiente De Avaliação Visual.....	62
3.2 Dos Recursos De Hardware Utilizados.....	62
3.3 Do Ajuste Da Função Gama.....	62
3.4 Da Calibração Dos Monitores Para O Mapeamento Entre Sistemas RGB E CIE	63
3.5 Da Geração De Tons De Cinza Adicionais.....	63
3.6 Dos Indivíduos Testados.....	64
3.7 Dos Paradigmas De Avaliação Visual.....	64
3.7.1 Do Teste De Avaliação Da Acuidade Visual.....	64
3.7.2 Dos Testes De Avaliação Psicofísica Das Funções De Sensibilidade Ao Contraste.....	66
3.7.2.1 Do Teste De Sensibilidade Ao Contraste Espacial.....	66



3.7.2.2	Do Teste De Sensibilidade Ao Contraste Temporal.....	69
3.8	Da Análise Estatística Descritiva.....	71
3.8.1	Da Obtenção De Intervalos De Confiança E De Tolerância.....	71
3.8.2	Da Normalidade Dos Dados Obtidos Da Amostra.....	73
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	74
4.1	Dos Resultados Do Teste De Acuidade Visual Com Optótipos De Snellen.....	74
4.2	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Espacial.....	74
4.2.1	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Espacial Para Todos Os Indivíduos Testados.....	74
4.2.2	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Espacial Para Os Diferentes Grupos De Indivíduos Testados.....	79
4.3	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Temporal.....	88
4.3.1	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Temporal Para Todos Os Indivíduos Testados.....	88
4.3.2	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Temporal Para Os Diferentes Grupos De Indivíduos Testados.....	93
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	101
5.1	Da Importância Da Determinação De Valores Normativos E De Intervalos De Confiança E De Tolerância Para O Teste De Sensibilidade Ao Contraste De Luminância.....	101
5.2	Da Utilização De Computadores Pessoais Como Ferramentas De Teste Visual E Dos Estímulos Utilizados.....	102
5.3	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Espacial De Luminância.....	103
5.4	Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Temporal De Luminância.....	106
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	108
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	109
	<b>ANEXOS</b>	
	<b>APÊNDICES</b>	

# 1 INTRODUÇÃO

As sensações são compostas pela habilidade de transduzir, codificar e, finalmente, perceber as informações contidas nos estímulos gerados no ambiente externo e interno, sendo grande parte do cérebro dedicada a estas tarefas. Neste processo, células altamente especializadas convertem a energia disponível em sinais eletroquímicos que transportam a informação sobre o estímulo para o encéfalo, ativando neurônios centrais capazes de representar os aspectos qualitativo e quantitativo dos estímulos e, em algumas modalidades sensoriais – sensação somática, visão e audição –, sua localização no espaço e no tempo (PURVES *et al.*, 2001).

Este trabalho tem por finalidade principal a descrição de aspectos quantitativos e qualitativos normais de um parâmetro do processo de representação visual, cuja importância é permitir a dimensão perceptível do ambiente que nos cerca a partir da detecção dos diferentes estímulos distribuídos no espaço e no tempo: a sensibilidade ao contraste de luminância.

## 1.1 Da Descrição Da Informação Processada Em Paralelo No Sistema Visual Ser Representada Por Diversos Níveis De Conhecimento

No sistema nervoso central, as diversas regiões do córtex recebem uma variedade de informação de diferentes fontes receptoras sensoriais (olhos, ouvidos, etc.), o que exige dessas regiões do encéfalo a capacidade de responder a diferentes características que compreendem o espectro de estímulos do ambiente externo. Particularmente interessante é a evidência de que diferentes áreas deste tecido são especiais por responder a (ou codificar) diferentes características de uma mesma modalidade sensorial. No córtex visual, por exemplo, são encontrados grupos celulares que diferenciam em resposta fisiológica à diversidade componente da informação visual, como forma, cor, tamanho e movimento. Além disso, registros eletrofisiológicos em primatas não-humanos evidenciam diferentes intensidades de resposta a uma única característica, se estas respostas são medidas em áreas diferentes do mesmo tecido. Tais evidências vêm sendo sustentadas por estudos utilizando técnicas de imageamento funcional em humanos, e também formalmente correlacionadas com a experiência de pacientes que, após sofrer lesões em diferentes áreas do encéfalo, evoluíram para quadros clínicos descritos como prejuízos relativamente isolados na capacidade de

processamento visual (FELLAMAN; VAN ESSEN, 1991; LIVINGSTONE; HUBEL, 1988; TOOTELL *et al.*, 1998; ROBERTSON, 2003).

O processamento em paralelo da informação visual ainda na retina, aliado à organização funcional similar encontrada no cérebro, historicamente remete à noção de que a integração da informação codificada em separado no cérebro é a lógica concebível da representação unificada na experiência visual. E como o encéfalo processa em paralelo as diferentes características da informação sensorial (visual) que recebe, tornou-se comum a idéia de que a integração dessas respostas neuronais é necessária à criação de uma representação visual (WÄSSLE, 2004; SINCICH; HORTON, 2005).

Mas, independente de as questões levantadas sobre a integração da informação sensorial (visual) ter estimulado alternativas teóricas a respeito do processamento integrativo, a sensação visual é o resultado de uma tarefa de processamento de informação, sendo realizada de algum modo capaz de traduzir (ou transformar) a informação visual, compartimentada em toda sua composição e complexidade, através de uma representação detalhada em seus limites fisiológicos. E, para se entender um fenômeno de transformação de informação, principalmente se se busca entender um processo perceptivo como a visão, cada vez mais se faz necessário o compartilhamento de uma ampla perspectiva. O estudo da sensação visual deve incluir, além da análise de aspectos concernentes a interação entre parâmetros físicos ambientais e o sistema nervoso, uma abordagem da natureza desses processos de transformação essenciais à representação subjetiva. Deve-se buscar analisar os muitos e diferentes complexos níveis possíveis de atividade de tal “maquinaria” orgânica, sejam eles matemáticos, físico-químicos, biológicos, psicofísicos, ou psicológicos (MARR, 1982; GOEBEL *et al.*, 2004).

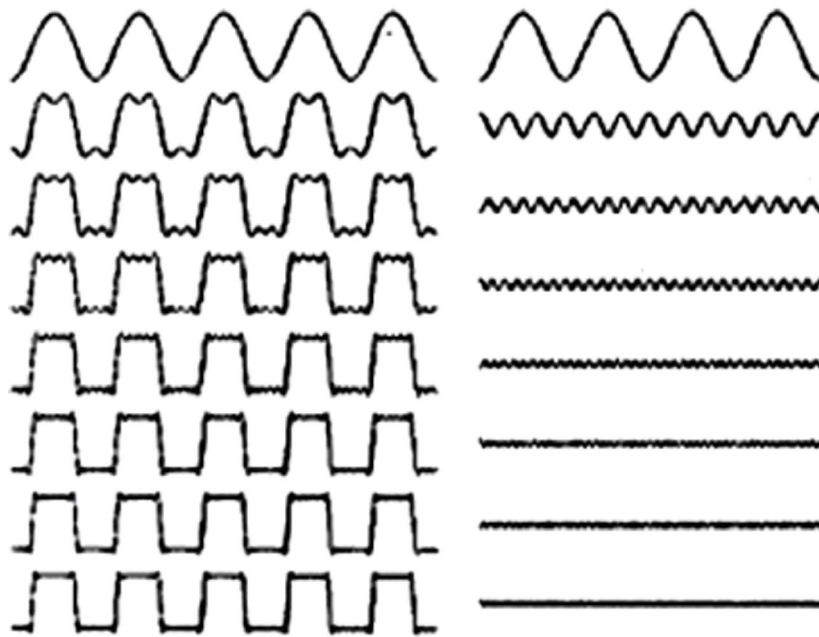
O desenvolvimento da idéia de que só através de diferentes tipos de explicação, em diferentes níveis de conhecimento, se pode entender completamente um aparato que desempenha tarefas de processamento de informação (seja uma máquina, seja um organismo) é muito importante. Sem isto, corre-se o risco de se interpretar isoladamente o computador e a computação, o organismo vivo e a sensação, anulando-se a perspectiva de interpretação integral dos mesmos. Pode-se encarar tal argumento como uma simples tentativa de se unificar comportamentos e correntes antagônicas de pensamento em algo mais palpável do ponto de vista intelectual. Entretanto, é a perspectiva formada por diferentes idéias (e outras que ainda devem ser desenvolvidas) que permitirão aos interessados descobrir caminhos para se ter um ponto de partida mais confiável a fim de responder perguntas do tipo “o que é a sensação visual, por que a sensação visual é apropriada tal como existe, como

funciona a lógica de sua execução, como e o que é necessário para que ocorra o processo de transformação de diferentes estímulos em representação visual descritiva” (MARR, 1982).

Muito têm sido feito em diversos níveis de conhecimento, contribuindo para que se possa melhor compreender estas questões. O desenvolvimento da idéia de que os problemas que envolvem as teorias da integração podem ser esclarecidos, ou até mesmo explicados, pela convergência do conhecimento gerado em áreas não estritamente biológicas, como a computação e a matemática, com o de áreas classicamente reconhecidas, como a fisiologia e a psicofísica, precede qualquer tentativa neste sentido.

## **1.2 De Como A Matemática De Fourier Encontra A Psicofísica De Campbell E Robson, Que Encontra A Eletrofisiologia De Hubel E Wiesel, Que Encontra A Matemática De Fourier**

Em 1822, quando um físico francês, o Barão Jean Fourier, desenvolveu seu teorema em busca de uma ferramenta para melhor entender ondas de calor, talvez não imaginasse o impacto de suas idéias para o estudo do sistema visual. A *análise de Fourier*, como posteriormente ficou conhecida sua descoberta, deu um argumento matemático fundamental (e discutido até hoje) para esclarecer como a informação que chega à retina pode ser decomposta e seguir por vias paralelas a diferentes regiões do córtex visual, sem perda de conteúdo representativo. Basicamente diz o seguinte: que uma onda periódica de qualquer complexidade pode ser analisada (decomposta) como a soma linear de ondas senóides e cosenóides harmonicamente relacionadas e de frequências, amplitudes e fases específicas (Figura 1).



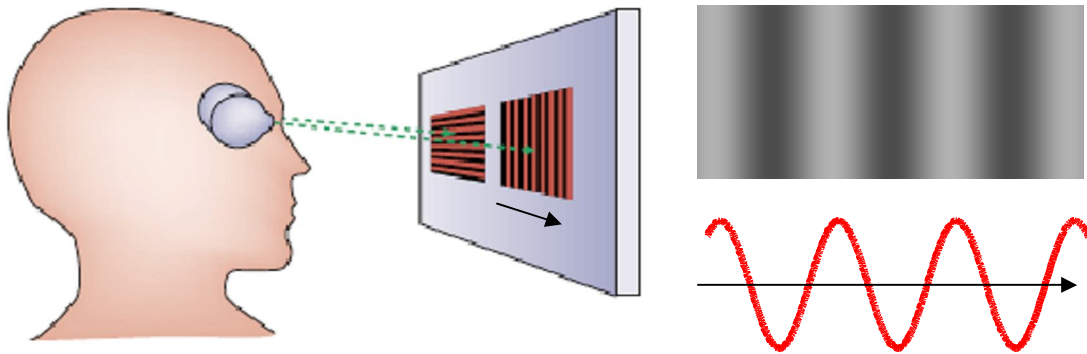
**Figura 1.** Síntese e análise de uma onda quadrada e seus componentes senóides. À esquerda: de cima para baixo, a síntese de uma onda quadrada pela soma de seus componentes senóides elementares; de baixo para cima, a análise de uma onda quadrada pela subtração de seus diferentes componentes senóides elementares. À direita, as ondas senóides elementares componentes desta onda quadrada (Fonte: Disponível em [http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09\\_17-zana.pdf](http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09_17-zana.pdf). Acessado e modificado em novembro de 2006).

Mas, por que a análise por ondas senóides torna-se apropriada ao estudo do sistema visual? A informação visual cotidiana é composta por variáveis como tempo e espaço, assim como intensidade e comprimento de onda de luz. E o estímulo visual espacial mais simples de se imaginar, composto por estas variáveis, seria um padrão de grades com variação senoidal da luz através do mesmo (Figura 2):



**Figura 2.** Padrão de grades com variação senoidal da luz através do mesmo.

Se uma única célula fotorreceptora recebe estímulos luminosos de um padrão de grades como este (por exemplo, na horizontal, da esquerda para a direita), sua resposta pode variar em altos e baixos ao encontrar estímulos claros e escuros deste padrão, resultando numa onda periódica simples (Figura 3), a qual pode ser analisada em seus componentes (ondas) senóides:



**Figura 3.** Relação entre a resposta de uma única célula fotorreceptora a um padrão de grades com variação senoidal da luz através do mesmo e uma onda periódica simples (Fonte: Modificado de BLAKE; LOGOTHETIS, 2002).

As ondas senóides possuem propriedades que permitem a não alteração de sua forma quando atravessam sistemas lineares espacialmente invariáveis (como a córnea, o cristalino, e, talvez, certos arranjos celulares na retina). Assim, ao aplicar-se a análise de Fourier no estudo da recepção deste estímulo (onda), o sistema visual poderia analisá-lo como a soma de grades senóides de frequências espaciais, amplitudes e fases apropriadas.

De modo similar, se um cenário qualquer em um nível constante for projetado sobre a retina, a resposta de um conjunto de células fotorreceptoras pode ser compreendida como constituída por partes decompostas de uma onda complexa relacionada ao padrão espacial da luz contida na informação visual recebida deste cenário. E tal onda complexa, ao ser detectada (e analisada) em seus componentes estruturais, não sofreria prejuízo de conteúdo, pois manteria sua forma original, apesar de compartimentada (BAYLOR, 1987; DE VALOIS; DE VALOIS, 1988).

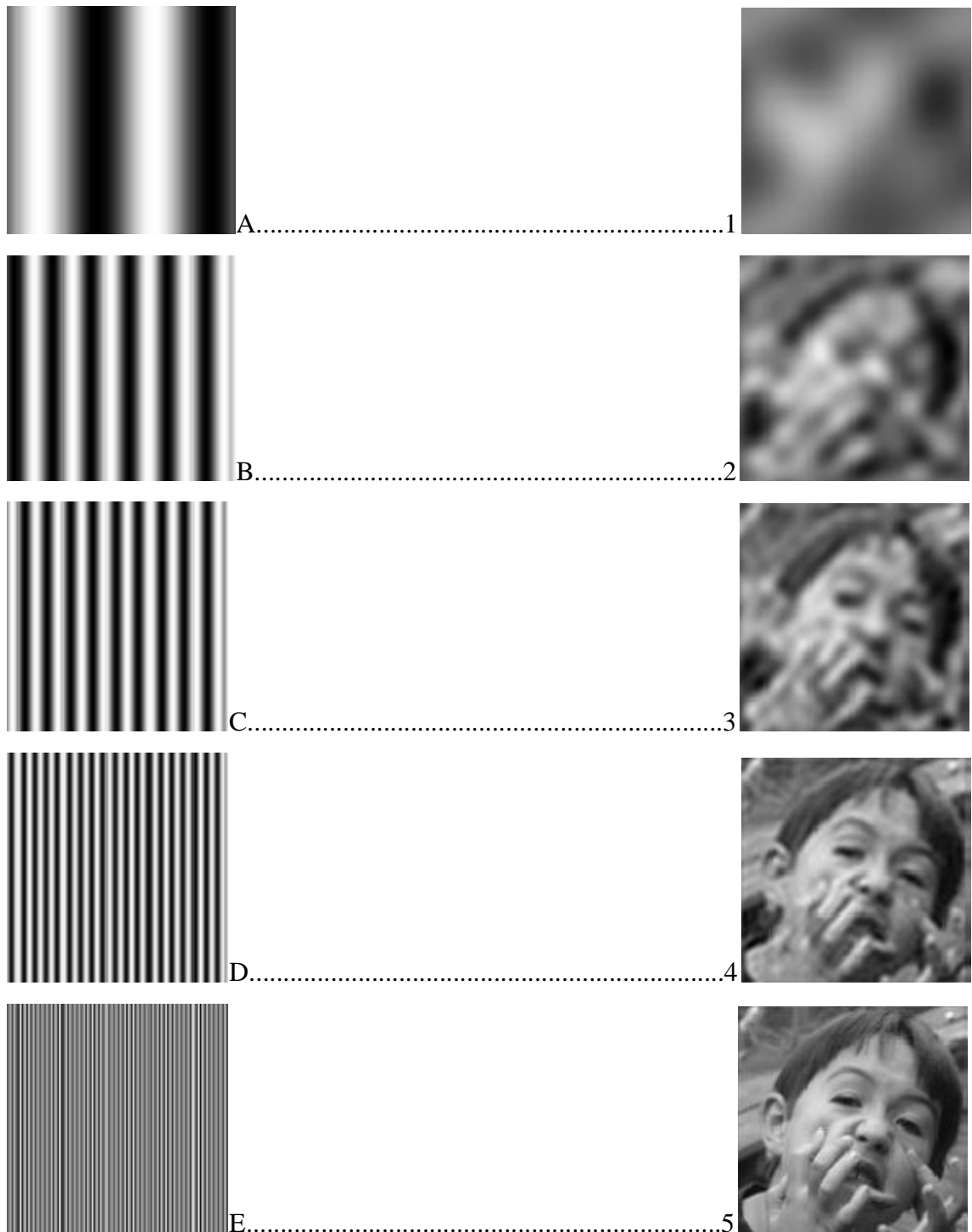
Novos teoremas desenvolvidos a partir do original também tiveram uma aplicação bem sucedida neste campo; a *transformada inversa de Fourier* e suas variações contribuíram para o entendimento de como o sistema visual pode integrar a informação distribuída em suas diversas áreas. A *transformada inversa*, por exemplo, permite que, de

modo contrário ao da *análise*, qualquer onda *periódica* possa ser sintetizada pela adição conjunta de ondas senóides harmonicamente relacionadas e de frequências, amplitudes e fases apropriadas. Por outro lado, uma de suas variações teóricas permite que qualquer onda *não-periódica* possa ser descrita como a soma de ondas senóides, se todas as frequências forem incluídas, e não somente as harmônicas entre si (Figura 4) (DE VALOIS; DE VALOIS, 1988). Deste modo, a informação visual inicialmente decomposta na retina poderia ser integrada no córtex por um processo que utilizasse um mecanismo de síntese similar, com a vantagem de poder associar ao seu conteúdo outras informações que não somente as visuais, se esta associação não for considerada isoladamente.



**Figura 4.** Formação de imagem pela soma de ondas periódicas e não-periódicas (Fonte: Disponível em [http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09\\_17-zana.pdf](http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09_17-zana.pdf). Acessado e modificado em novembro de 2006).

Entretanto, a imagem da realidade projetada na retina não varia somente como um padrão de grades (WELIKY *et al.*, 2003). Correto. Porém, ao isolar-se a detecção de profundidade, o mundo visual torna-se bidimensional como na imagem projetada na retina, o que sugere que a informação visual recebida poderia ser tratada, em parte, pela análise de Fourier, desde que em apropriados componentes senóides de frequência espacial, amplitude, fase e orientação (Figura 5).



**Figura 5.** Relação entre diferentes frequências espaciais e a formação de uma imagem complexa. A, B, C, D e E: Padrões de grades exemplificando diferentes frequências espaciais, das mais baixas (A) até as mais altas (E); 1, 2, 3, 4 e 5: A diferença no detalhe visual desta imagem se dá pela contribuição (adição) de uma dada onda senóide de frequência espacial específica (Fonte: Disponível em [http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09\\_17-zana.pdf](http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09_17-zana.pdf). Acessado e modificado em novembro de 2006).

Contudo, neste caso também não se pode desprezar a idéia de que a análise e a síntese bidimensional não devem limitar-se a simples padrões repetitivos. Além disso, outro



aspecto que deve ser notado é a diferença de contribuição entre frequências espaciais baixas e altas para identificação de uma imagem (Figura 6) (DE VALOIS; DE VALOIS, 1988).



**Figura 6.** Diferença de contribuição entre frequências espaciais baixas (no alto) e altas (em baixo) para a identificação de uma imagem (no meio) (Fonte: Disponível em [http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09\\_17-zana.pdf](http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09_17-zana.pdf). Acessado e modificado em novembro de 2006).

Para o estudo da visão, o teorema de Fourier e suas variações podem ser aplicados como uma possibilidade de qualquer tipo de onda formada por variações da luz no espaço (ou no tempo) poder ser analisada pela soma dos componentes de onda senóide (ou sintetizados pela adição conjunta de ondas senóides), de frequência espacial, amplitude, fase e orientação apropriados.

Embora a análise de Fourier seja importante em sua aplicação ao estudo dos processos visuais, nivelando diferentes conhecimentos (fisiologia, psicofísica, etc), quando sua aplicação encontra condições não limitadas à linearidade da informação visual, as imprecisões resultantes talvez sugeriram que o sistema visual utilize algo similar juntamente com outros processos para lidar com a complexidade da informação sensorial (DAUGMAN, 1980; MARCELJA, 1980). Talvez, não. Mas, quando se tem o pensamento da necessidade de diferentes níveis de conhecimento para o melhor entendimento de um processo representativo de informação, sua contribuição para o avanço do nível matemático de esclarecimento dos processos visuais é inquestionável.

Um bom exemplo desta contribuição ocorreu quase um século e meio depois de Fourier desenvolver seu teorema, quando Campbell e Robson, uma dupla de pesquisadores de Cambridge, sugeriram a possível existência de canais visuais, cujas sintonias se relacionavam com diferentes frequências espaciais. Na época, um dos argumentos que sustentavam a existência de tais canais era justamente a análise Fourier do espectro de uma onda quadrada, ou seja, a extensão na qual ela está correlacionada com ondas senóides de várias frequências.

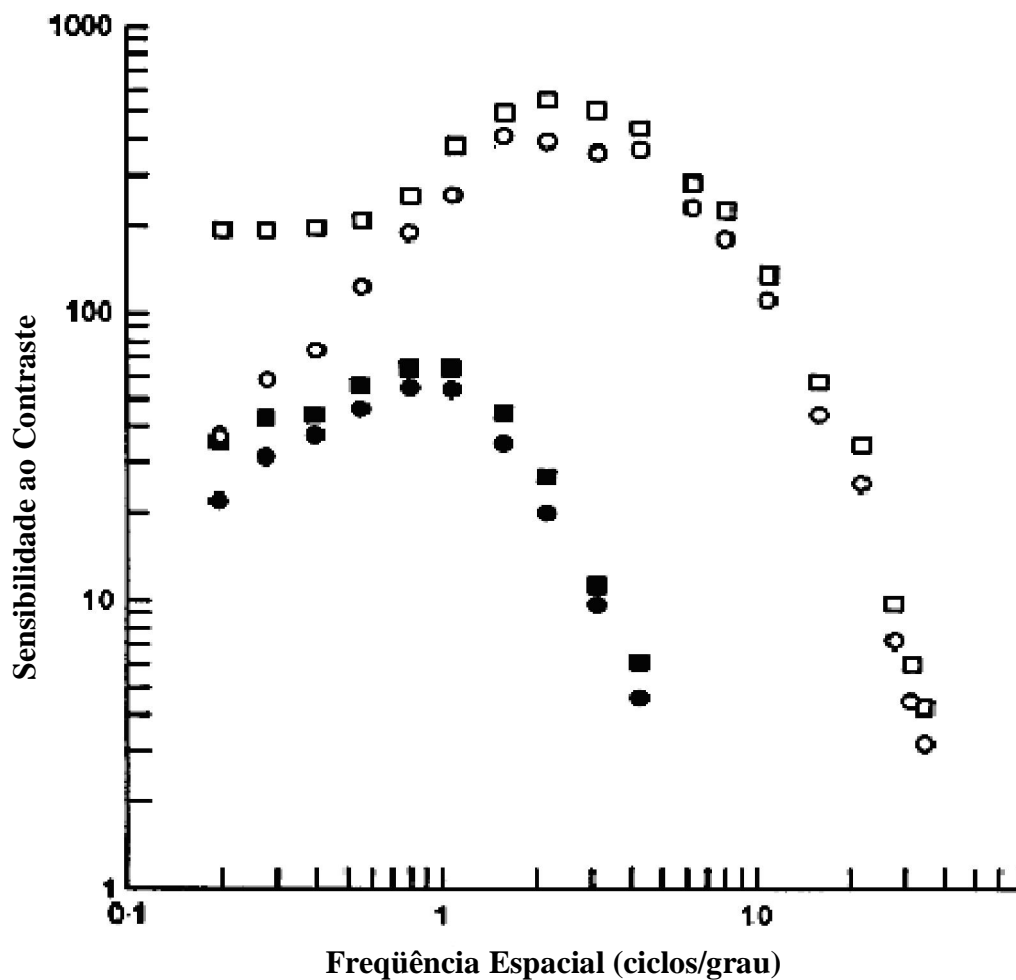
O espectro Fourier de uma onda quadrada consiste de uma onda senóide fundamental de mesma frequência, amplitude e fase que a quadrada, e seus harmônicos em amplitude decrescente. A análise desse espectro pode ser executada por filtros, os quais passam a informação adiante quando o estímulo combina-se, ou se correlaciona com, à função destes filtros (MARR, 1982).

Em 1964, Campbell e Robson anunciaram no Optical Society Meeting: "quando um segundo harmônico é adicionado a uma grade senóide (em qualquer relação de fase), este parece ser detectado independentemente". Nos anos seguintes trabalharam na medição do limiar de contraste para padrões senóides e de onda quadrada, de mesma frequência espacial. A questão era se o limiar depende essencialmente do contraste do padrão ou do contraste dos componentes de onda senóide do padrão. Sabendo que a amplitude do componente da onda senóide na frequência fundamental da onda quadrada é  $4/\pi$  maior que a amplitude do padrão de onda quadrada (Figura 7), Campbell e Robson descobriram que o

limiar de contraste da onda quadrada é mais baixo que o da onda senóide (Gráfico 1). E exatamente na quantidade prevista pela idéia de que o limiar dos indivíduos depende do contraste do componente de onda senóide fundamental da onda quadrada em vez de essencialmente do contraste do padrão de onda quadrada.



**Figura 7.** A amplitude da freqüência fundamental de uma onda senóide formadora de uma onda quadrada (em cima) é  $4/\pi$  maior que a amplitude do padrão de onda quadrada (em baixo) (Fonte: Disponível em [http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09\\_17-zana.pdf](http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09_17-zana.pdf). Acessado e modificado em novembro de 2006).



**Gráfico 1.** Comparação entre curvas de sensibilidade ao contraste para grades de ondas senóides (círculos) e para grades de ondas quadradas (quadrados), em diferentes condições de luminância ( $500\text{cd/m}^2$  para o par superior de curvas;  $0,05\text{cd/m}^2$  para o par de curvas inferior). Este resultado demonstra claramente que o limiar de contraste (inverso da sensibilidade) da onda quadrada é mais baixo que o da onda senóide (Fonte: Modificado de CAMPBELL; ROBSON, 1968).

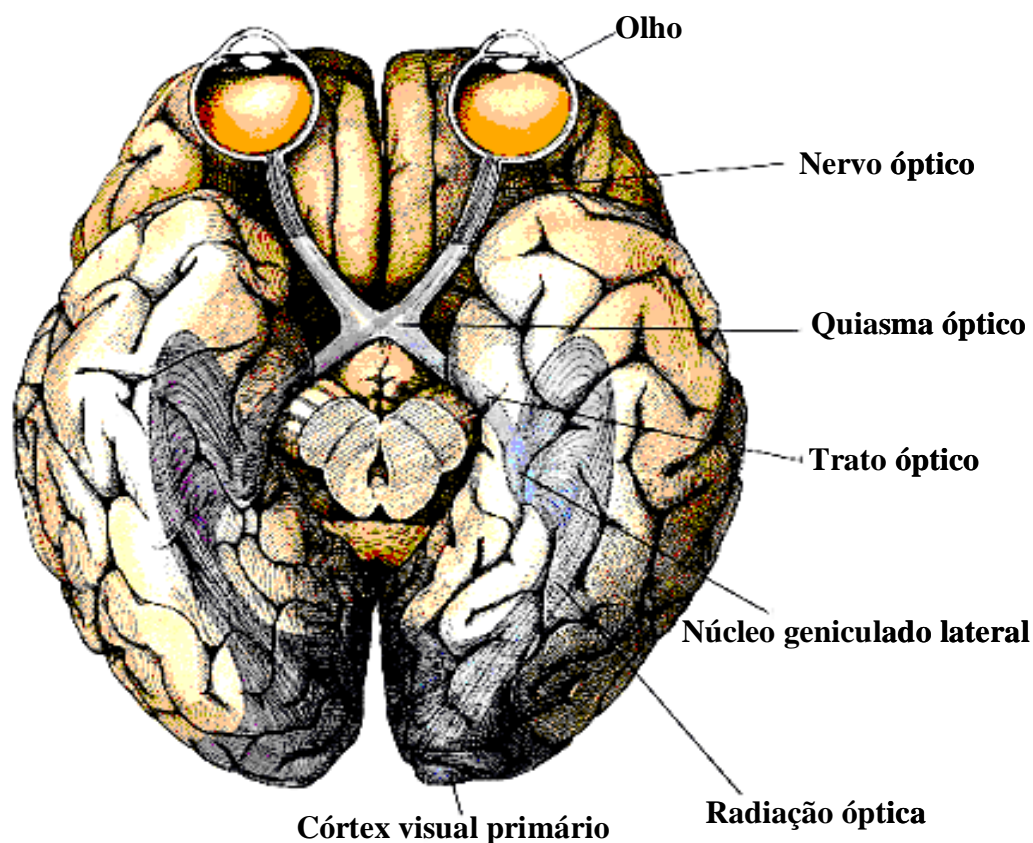
Assim, ao publicar o artigo intitulado "Application of Fourier analysis to the visibility of gratings", em 1968, estes pesquisadores concluíram que o sistema visual atua como um filtro espacial, já que é o contraste dos componentes de um padrão, e não o padrão como um todo, que determina se este pode ser detectado. Além disso, quando a matemática de Fourier encontrou a psicofísica de Campbell e Robson, a relação entre a análise daquele e os canais destes também permitiu o desenvolvimento de uma teoria sobre a detecção (quando qualquer componente Fourier é visível, então seu padrão é visível) e uma teoria para a discriminação de um padrão (dois padrões supralimiais podem ser discriminados quando os componentes Fourier que os distinguem são visíveis independentemente). Resultado: impacto imediato. O trabalho desses pesquisadores acabou originando vários estudos sobre diversos aspectos desses canais nos anos seguintes, compondo uma das mais importantes contribuições da psicofísica para o entendimento do processo de representação visual.

A abordagem dos canais ganhou um rápido acompanhamento entre os pesquisadores da visão na tentativa de se determinar seus mecanismos subjacentes, e sua relação com a perspectiva analítica de Fourier. Um desses mecanismos é a adaptação específica de frequência espacial, a qual ocorre quando se olha fixo um padrão por um longo período de tempo (normalmente 1 minuto é suficiente). Os processos que envolvem esta adaptação ainda hoje não estão completamente entendidos, mas é sabido que a adaptação a um padrão de alto contraste tem como resultado uma maior dificuldade de se ver um padrão de baixo contraste. Para tentar responder se a adaptação a uma única frequência espacial afeta toda a função de sensibilidade ao contraste ou só a sensibilidade à frequência teste, Blakemore e Campbell (1969) mediram a função de sensibilidade ao contraste antes e após adaptação a uma onda senóide de uma frequência espacial particular, e descobriram que os limiares de contraste foram elevados somente para uma escala limitada de frequências (e orientações) próximas à frequência (e orientação) adaptada. Disto concluíram que a adaptação isola um canal particular no encéfalo, e que a função de sensibilidade ao contraste era o envelope de um número de canais sobrepostos, seletivos de frequências espaciais.

Por outro lado, enquanto Graham e Nachmias (1971) mostraram que não há somação sub-limiar entre uma fundamental e seu terceiro harmônico, Sachs, Nachmias e Robson (1971), em outro experimento com somação sub-limiar, descobriram que duas grades com 20% de diferença em frequência espacial não somam. Juntos, esses resultados sugerem que os mecanismos subjacentes aos canais de Campbell e Robson parecem ter uma incrível e fina sintonia, como se fossem verdadeiros analisadores de Fourier (GREENLEE; MAGNUSSEN, 1988).

Embora isoladamente estas (e muitas outras) hipóteses não contemplassem outros aspectos, como, por exemplo, a visibilidade de características complexas, elas reforçavam a existência de diferentes canais atuando na transformação dos estímulos sensoriais recebidos, o que logicamente sugere que a informação visual é destinada a diferentes regiões do cérebro. Entretanto, a explicação para a importância desse mecanismo para o estabelecimento da sensação visual parecia depender de mais dados que permitissem uma nova perspectiva. E era justamente o que estava sendo investigado, simultaneamente.

Desde o final da década de 1920, a eletrofisiologia vinha dando saltos no desenvolvimento de ferramentas importantíssimas para o estudo do sistema nervoso. No final da década de 1950, quando David Hubel e Torsten Wiesel encontraram-se no laboratório de Stephen Kuffler, cujos trabalhos sobre campos receptivos retinianos já eram conhecidos, a questão mais interessante que eles poderiam fazer estava justamente relacionada ao que o córtex faz com a informação que recebia da retina (HUBEL; WIESEL, 1998). Neste sentido, antes e após Campbell e Robson sugerirem a existência de diferentes canais visuais no sistema nervoso, a dupla de Harvard trabalhou naquela que ficou conhecida como a mais famosa série de estudos sobre o comportamento dos neurônios em diferentes níveis da via visual, contribuindo para o delineamento da existência de três canais funcionais relativamente independentes de processamento da informação visual, os quais, através do núcleo geniculado lateral do tálamo, relacionam a informação recebida na retina a diferentes áreas no córtex estriado (Figura 8).



**Figura 8.** A via visual primária. Através do núcleo geniculado lateral do tálamo, a informação recebida na retina chega a diferentes áreas no córtex estriado (Fonte: Disponível em <http://hubel.med.harvard.edu/b14.htm#topo>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Detalhes: um canal é composto pelas projeções que interconectam as células ganglionares magnocelulares à camada IV, onde alguns neurônios com campos receptivos simples apresentam resposta seletiva à orientação de um determinado estímulo e, por sua vez, projetam-se, ainda na mesma camada, até outras células que também apresentam orientação seletiva, além de seletividade à direção de um estímulo; outro canal é composto pelas projeções que interconectam as células ganglionares parvocelulares que se projetam às regiões interbolhas da camada III, onde alguns neurônios com campos receptivos aparentemente mais complexos apresentam respostas ON e OFF a estímulos através de todo o campo receptivo, além de ser relativamente insensíveis ao comprimento de onda da luz e altamente seletivos à orientação do estímulo (HUBEL; WIESEL, 1959, 1961, 1968, 1998; LIVINGSTONE; HUBEL, 1987a,b; MARTINEZ; ALONSO, 2001; CALLAWAY, 2001); e, finalmente, um outro canal é composto pelas projeções que interconectam as células ganglionares coniocelulares que se projetam às regiões de bolhas da camada III, onde alguns neurônios apresentam campos receptivos com oposição de cores (HENDRY; REID, 2000).

Assim, quando a psicofísica de Campbell e Robson encontrou a eletrofisiologia de Hubel e Wiesel, a relação entre os canais daqueles e os canais destes tornou-se próxima.

Na mesma época, vários trabalhos tiveram como resultado exatamente o que seria esperado dos mecanismos de sintonia de orientação encontrados por Hubel e Wiesel. O próprio trabalho de Blakemore e Campbell anteriormente citado, publicado em 1969 e intitulado "On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images", é um deles. Ao mesmo tempo, Thomas e colaboradores (1969; 1970) estavam alcançando conclusões semelhantes.

Contudo, um dos mais interessantes aspectos resultante dessas conclusões está relacionado à diferença de respostas dos neurônios destas vias. Enquanto que as células ganglionares aparentemente fornecem um fluxo de informação para o encéfalo que está envolvido na comparação espacial de processos oponentes, com uma organização centro-periferia do campo receptivo e seletividade para aumentos e diminuições de luminância (sendo as respostas dos neurônios no núcleo geniculado lateral similares às dos da retina), pequenos pontos de luz, efetivos em estimular neurônios na retina e no núcleo geniculado lateral, são ineficazes em estimular neurônios no córtex visual. Pelo contrário, a maioria dos neurônios dos córtices visuais de gatos e macacos responde fortemente a barras de claro-escuro apresentadas numa variedade de orientações dentro do campo receptivo da célula (MOLOTCHNIKOFF *et al.*, 1996; GOEBEL *et al.*, 2004).

A existência de resposta cortical a barras de luminância traz consigo algumas considerações baseadas na análise de Fourier. Se, em termos de seu espectro, uma onda quadrada é considerada complexa, paradoxalmente uma única barra é uma onda mais complexa ainda, pois seu padrão não-periódico faz com que sua síntese requeira não somente ondas senóides harmonicamente relacionadas, mas contribuições de um contínuo espectro de frequências numa larga escala, em fase, sem permitir que seu padrão se repita em qualquer outro ponto do espaço (DE VALOIS; DE VALOIS, 1988).

Deste modo, quando a eletrofisiologia de Hubel e Wiesel encontrou a matemática de Fourier, a relação entre os neurônios corticais seletivos a barras daqueles e a análise deste revela a natureza mais complexa dos processos envolvidos na representação visual, e estabelece uma fronteira a partir da qual há riscos de perder-se em ilações matemáticas, exceto pela possibilidade de tornar conceitos subjacentes aplicáveis ou não numa dada situação da vida real.

Outra consideração importante a ser feita sobre a aplicação da análise de Fourier diz sobre a questão da invariância espacial, ou seja, sobre a necessidade de a estrutura

envolvida ter de ser uniforme, homogênea, em suas propriedades. Devido as diferentes propriedades entre a fóvea e a região periférica, e entre componentes fotorreceptores, as propriedades visuais da retina são quase que completamente não-homogêneas (NEITZ; JACOBS, 1986; NATHANS, 1989; CURCIO *et al.*, 1990; DACEY, 2000; MASLAND; RAVIOLA, 2000; PEICHL, 2005).

Mas, se uma linearidade Fourier é justificável na física óptica, e torna-se menos na fisiologia da retina, do córtex, ou do sistema visual como um todo, isto faz com que não se aceite que uma análise linear possa ser aplicada de modo significativo a processos fisiológicos ou psicofísicos? Absolutamente. Mesmo com a própria Lei de Weber-Fechner, historicamente considerada como a primeira relação visual quantitativa, assumindo que a relação entre intensidade de luz e brilho é logarítmica, e mesmo com a existência de outras não-linearidades já descritas para a relação entre variáveis físicas e resposta celular no sistema visual, vale lembrar que a maior parte dessas não-linearidades ocorre somente em circunstâncias restritas, freqüentemente incomuns.

Por que existem filtros espaciais? Em termos gerais, é provável que os filtros espaciais forneçam uma representação mais rica e mais útil da imagem do que uma representação ponto-a-ponto do brilho da imagem. Se a análise for regional em vez de pontual, isto significa que, por exemplo, se pode representar fielmente o sinal recebido na retina, embora ele esteja amostrado em um número de pontos pelos campos receptivos dos receptores retinianos ou dos neurônios. Entretanto, a real condição desses filtros ou canais (ou gradientes) espaciais ainda precisa ser definida (GOLDSTEIN, 1999).

Mas, se na prática, o sistema visual como um todo pode aproximar-se de um sistema linear, isto não diz ser a linearidade sua função essencial. Por isto é importante diferenciar entre a aplicação da análise de Fourier no estudo do sistema visual e a possibilidade de que o sistema visual possa se utilizar destes conceitos no processamento do estímulo visual. Além disso, há vários trabalhos cujos resultados remetem à necessidade do desenvolvimento de novas possibilidades em diversos níveis de entendimento para que o processamento da informação visual no córtex possa ser melhor compreendido (TS'O *et al.*, 1990; WELIKY *et al.*, 2003; SINSICH; HORTON, 2005). E não se deve deixar de lado o fato de que a análise de Fourier, juntamente com outras funções, pode ser razoavelmente aplicada para quantificar respostas a complexos padrões de luz, sejam elas neurais ou psicofísicas.

Finalmente, mesmo em face de resultados que, posteriormente, parecem conflitantes, há várias evidências de que o modelo dos canais é válido, mesmo que parcialmente (STROMEYER; KLEIN, 1974). Estudos fisiológicos mostram que há uma larga



escala de bandas de frequências presente no córtex visual (DE VALOIS; DE VALOIS, 1988). Porém, mais do que o valor de precisão das bandas subjacentes, a noção de que há vias de informação independentes ainda é de grande importância para o estudo da visão, sendo a principal mensagem deixada pelo encontro entre a matemática, a psicofísica e a eletrofisiologia, ou melhor, entre Fourier, Campbell, Robson, Hubel e Wiesel.

### 1.3 Da Psicofísica E Sua Trilogia Logarítmica-Potencial-Linear

A Psicofísica é comumente definida como o ramo quantitativo do estudo da percepção, investigando as relações entre os estímulos observados e as respostas e as razões para essas relações. Desde seu princípio, a Psicofísica foi baseada na idéia de que o sistema perceptivo humano é um instrumento de medida cujos resultados (experiências, julgamentos, respostas) podem ser sistematicamente analisados. Devido sua longa história, seus métodos experimentais alcançaram um alto nível de refinamento nos dias de hoje. Mas foi em pouco mais de um século (entre 1850 e 1970) que foram desenvolvidos os três mais importantes conceitos sobre as leis básicas da Psicofísica.

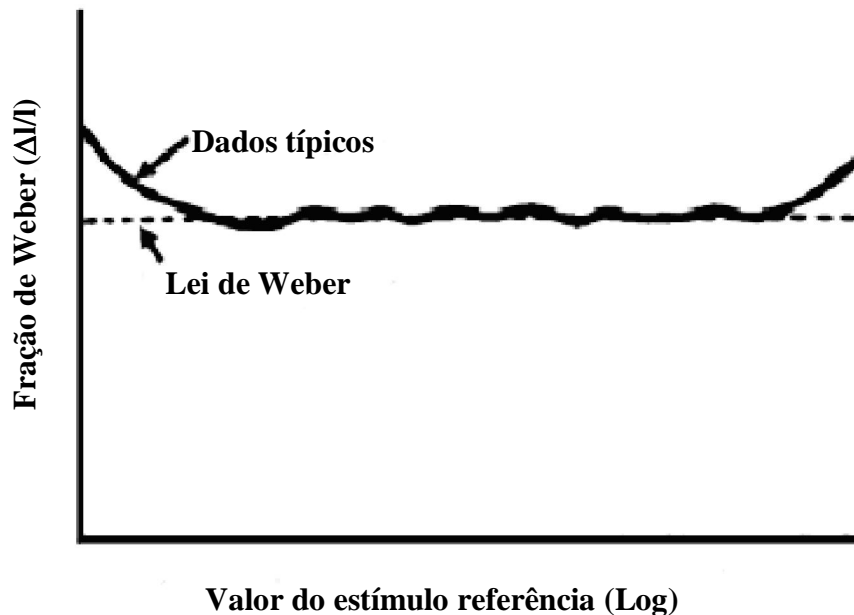
A convergência dos trabalhos isolados de dois alemães, o fisiologista Ernst Heinrich Weber (1795-1871) e do médico Gustav Theodor Fechner (1801-1887), tornou-se conhecida por ter estabelecido o primeiro desses conceitos, relacionando quantitativamente as propriedades de estímulos físicos e a experiência sensorial causada por eles.

Ao estudar a sensação tátil, Weber desenvolveu o conceito de *diferença mínima perceptível*, através da relação entre a quantidade de estimulação que deve ser adicionada para que alguma diferença possa ser percebida ( $\Delta\Phi$ ), e o valor da estimulação inicial ( $\Phi$ ),

$$k = \Delta\Phi / \Phi$$

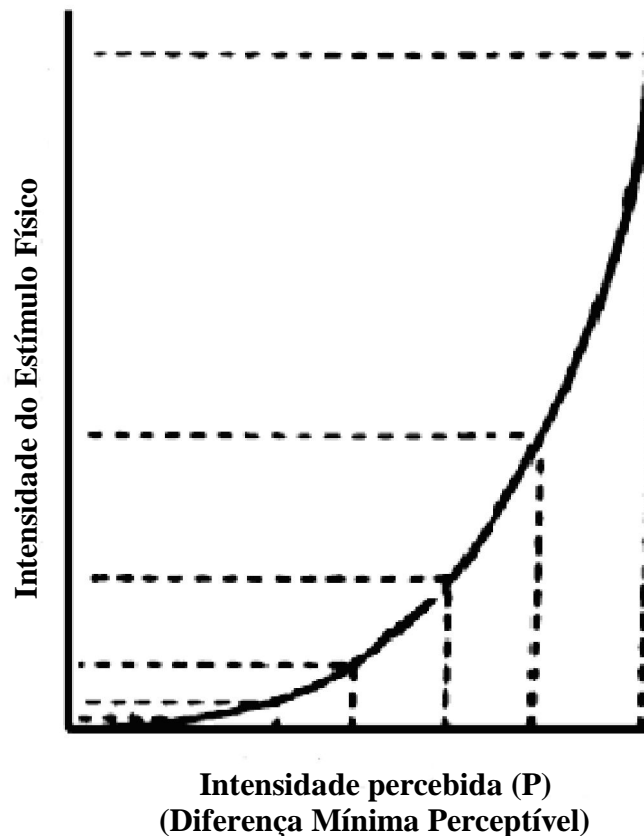
, sendo k uma constante de proporcionalidade chamada de *fração de Weber*, a qual determina a magnitude com que o limiar é alcançado a partir do aumento de  $\Delta\Phi$ . Deste modo, a Lei de Weber propôs que incrementos iguais de estimulação são proporcionais a iguais incrementos de sensação (FARELL; PELLI, 1999). Assim, o menor aumento detectável no parâmetro do estímulo de interesse sempre é uma porcentagem constante do valor referência. Se o valor referência ( $\Phi$ ) é pequeno (ou seja, uma luz fraca), um pequeno aumento ( $\Delta\Phi$ ) pode ser

detectado. Se o valor referência é grande (ou seja, uma luz brilhante), pequenos aumentos não são detectáveis; somente os grandes o são. Deste modo, a fração de Weber torna-se uma constante que se desvia do valor referência somente quando as variações do estímulo, adicionadas para que alguma diferença possa ser percebida, são significativas (Gráfico 2).



**Gráfico 2.** Lei de Weber. A linha pontilhada indica o valor previsto de  $k$ ; a linha sólida indica os valores medidos. Note que  $k$  permanece virtualmente constante acima de uma ampla escala de valores, mas desvia-se do valor previsto nas extremidades altas e baixas da escala (Fonte: Disponível em <http://courses.washington.edu/psych333/Handouts/coursepack/chapter-07.pdf>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Contemporâneo de Weber, e considerado como um dos grandes estudiosos da Psicologia Experimental, Fechner chegou às mesmas conclusões sobre a medida de percepção. Num livro publicado em 1860, intitulado “Elements of Psychophysics”, sua abordagem, mais matemática que a de Weber, mostrou que escalas internas de intensidade podem ser reconstruídas se houver uma relação entre *diferenças mínimas perceptíveis* e aumentos na intensidade subjetiva (psicofísica interna), assim como entre *diferenças mínimas perceptíveis* e as propriedades físicas de um estímulo (psicofísica externa). Neste sentido, para Fechner as *diferenças mínimas perceptíveis* correspondiam a iguais aumentos na intensidade subjetiva, sendo proporcionais a variável física estudada (Gráfico 3).



**Gráfico 3.** Lei de Weber-Fechner. Quanto maior a intensidade do estímulo referência após cada aumento de diferença mínima perceptível, maior o aumento necessário para que outra diferença mínima perceptível (outro aumento fixo, ou seja, o dobro) seja percebida (Fonte: Disponível em <http://courses.washington.edu/psych333/Handouts/coursepack/chapter-07.pdf>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Estes estudos conduziram à Lei Logarítmica de Weber-Fechner da intensidade subjetiva, onde a percepção ( $\psi$ ) é definida como uma função logarítmica da estimulação ( $\Phi$ ) – ou seja, a magnitude do sentido subjetivo interno é proporcional ao logaritmo da intensidade do estímulo (JOHNSON *et al.*, 2002):

$$\psi = k.\log(\Phi)$$

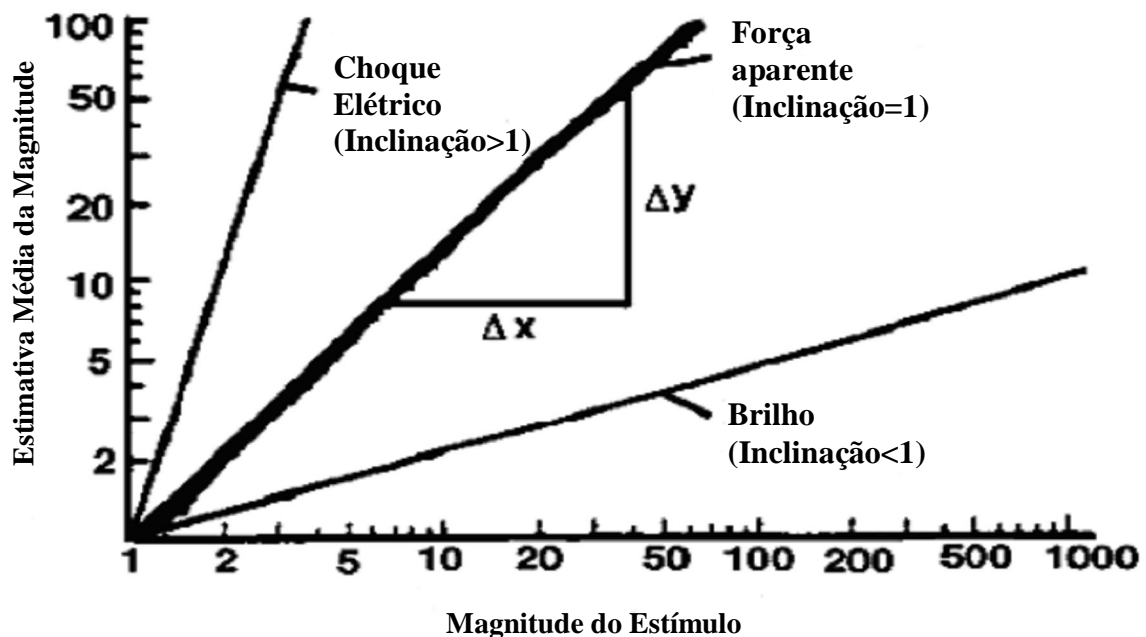
Somente cerca de 100 anos depois, em um artigo intitulado "To honor Fechner and repeal his law" (1961), Stanley Smith Stevens (1906-1973) desenvolveu o segundo importante conceito sobre as leis básicas da Psicofísica. Ele demonstrou que, quando os indivíduos relatam sua sensação da intensidade subjetiva, seja diretamente (por relato numérico) ou indiretamente (selecione uma intensidade equivalente em uma outra modalidade), as relações entre a intensidade do estímulo e a magnitude subjetiva de sua

sensação são descritas de modo mais eficaz por funções de potência do que por funções logarítmicas, sugerindo que a lei básica que relaciona a magnitude subjetiva à intensidade física é uma Lei de Potência, e não logarítmica, como sugeriu Fechner (JOHNSON *et al.*, 2002).

Em resumo, a relação entre a intensidade física de um estímulo e sua intensidade percebida também pode ser medida por *escalamento direto*, no qual o indivíduo atribui um valor para um particular parâmetro do estímulo (como o brilho de uma luz). Paralelamente, o indivíduo pode ser inquirido a *combinar* um estímulo com outro; por exemplo, a sonoridade de um tom pode ser ajustada para indicar o brilho percebido de uma luz. Deste modo, para cada diferente parâmetro do estímulo há algumas relações previsíveis entre a magnitude física do parâmetro e sua magnitude percebida. Sobre uma ampla escala esta relação pode ser expressa como a seguinte função matemática:

$$P = k.S^n$$

onde P é a magnitude percebida, k é uma constante, S é a magnitude física do parâmetro do estímulo que está sendo investigado, e n é um expoente (potência). Esta relação é conhecida como a *Lei de Potência de Stevens*, a qual estabelece que diferentes tipos de estímulos seguem funções de potência muito diferentes (Gráfico 4).



**Gráfico 4.** Lei de Stevens. A relação entre o valor de um parâmetro físico e seu valor percebido difere grandemente de uma modalidade sensorial para outra (Fonte: Disponível em <http://courses.washington.edu/psych333/Handouts/coursepack/chapter-07.pdf>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Não demorou muito e, já em 1963 (dois anos após a proposta de Stevens), Donald MacCrimmon MacKay (1922-1987) demonstrou que não se pode distinguir as duas leis, logarítmica e de potência, sem examinar os mecanismos subjacentes a estas relações. De acordo com MacKay, se a magnitude da sensação subjetiva estivesse relacionada ao estímulo físico por uma lei logarítmica, e, conseqüentemente, a sensação subjetiva de números fosse logarítmica, então, ao selecionarmos um número para combinar-se à sensação subjetiva interna de intensidade, o número estaria relacionado ao estímulo por uma lei de potência. Deste modo, ambas as leis pareciam ainda não traduzir as relações existentes entre a intensidade dos estímulos físicos e a magnitude da sensação subjetiva.

Neste sentido, o próprio Fechner parecia ter a noção de que algo precisava ser feito para traduzir o estudo da psicofísica externa para o estudo da psicofísica interna. Em seus estudos, ainda chegou a considerar a possibilidade de que sua Lei Logarítmica fosse resultado de uma relação logarítmica entre os estímulos interno e externo e de uma relação linear entre a intensidade subjetiva e o estímulo interno, porém acabou por rejeitar esta idéia.

Quem não rejeitou essa possível relação de linearidade foram Mountcastle e colaboradores (1963) e Werner e Mountcastle (1965) que, em acordo com as idéias de MacKay, definiram o terceiro importante conceito sobre as leis básicas da Psicofísica. Estes

pesquisadores demonstraram que uma correlação entre expoentes (Lei de Potência) de funções de respostas psicofísicas e de funções de respostas neurofisiológicas implica em linearidade. Ou seja, propuseram que a intensidade subjetiva da sensação está relacionada linearmente ao sinal (resposta) neural do qual depende. Posteriormente, Stevens estudou e destacou correlações entre resposta neurais sensoriais primárias e a lei de potência com a finalidade de refutar desafios à sua Lei de Potência, porém seus resultados implicaram na aceitação da idéia das linearidades, apesar de o mesmo não tê-lo feito explicitamente (STEVENS, 1970).

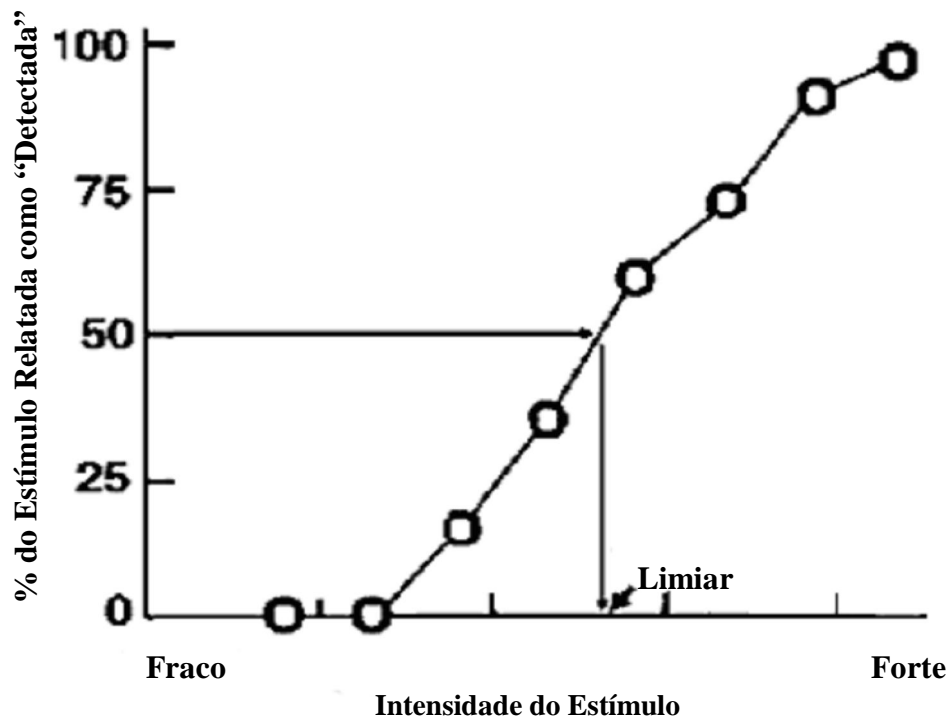
Apesar de a evidência disponível apontar para a linearidade como a lei básica da Psicofísica, ainda há muita discussão sobre essa idéia, pois a mesma parece não contemplar outras condições apresentadas como, por exemplo, a da intensidade subjetiva ser baseada na resposta de uma população de neurônios, não nas respostas de um único neurônio, e a da resposta da população neuronal não estar, em geral, ligada às respostas dos neurônios individuais de nenhuma maneira simples (VEGA-BERMUDEZ; JOHNSON, 1999).

Deste modo, embora ainda muito discutidas, as idéias desenvolvidas nessa trilogia logarítmica-potencial-linear, fortemente embasadas na matemática, compõem uma das importantes contribuições da Psicofísica para o melhor entendimento da relação entre *variáveis independentes* (luz, som ou pressão mecânica) e *variáveis dependentes* (respostas comportamentais relacionadas com sensação e percepção), indispensável à medida dos diferentes limites das várias modalidades sensoriais (ou de uma mesma modalidade, como a visão), e ao esclarecimento das questões relativas a como a informação física é traduzida em sensação (FARELL; PELLI, 1999).

#### **1.4 Da Medida Dos Limites Dos Sentidos**

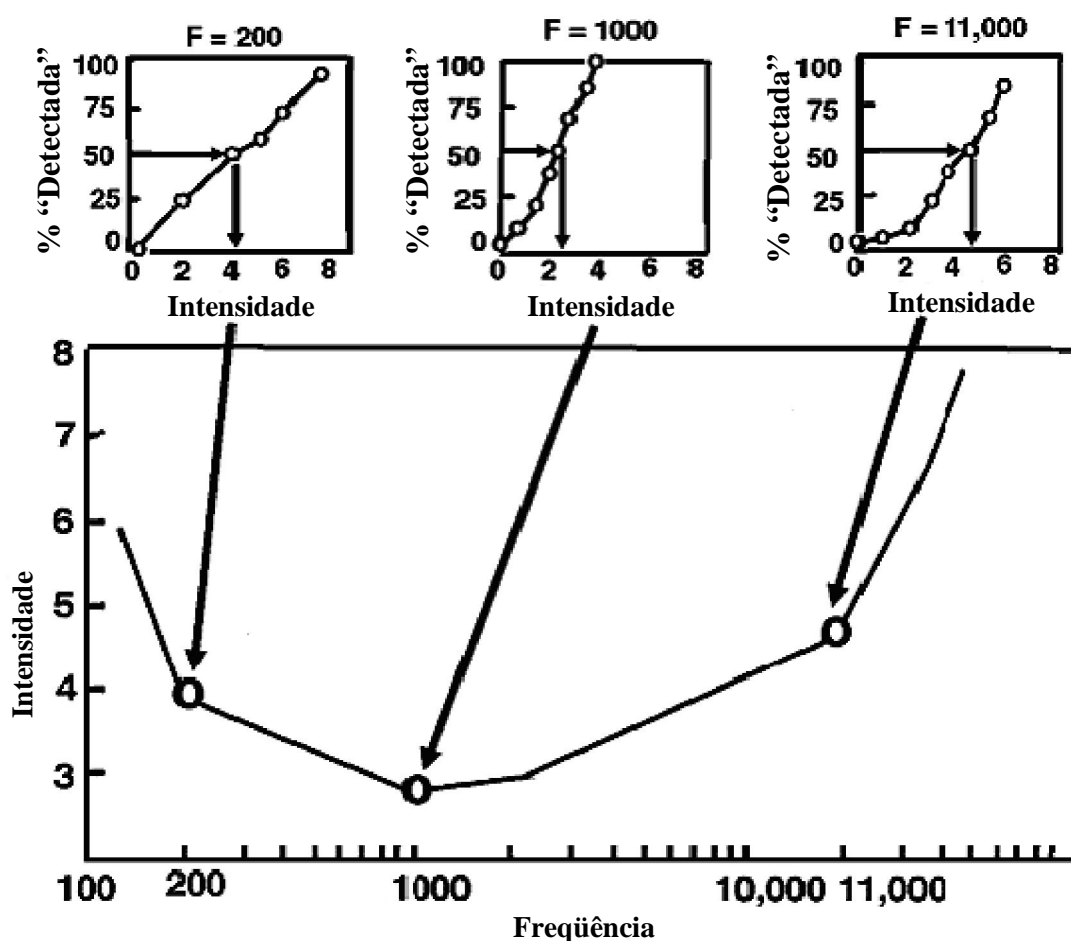
Sendo a Psicofísica o estudo da relação entre as propriedades físicas de um estímulo e a percepção deste, se esta relação fosse sempre diretamente proporcional, seria fácil prever os efeitos da mudança de um ou mais parâmetros do estímulo. Entretanto, o que é percebido não é simplesmente uma mensuração direta do que está presente no ambiente, pois a relação entre os parâmetros de um estímulo sensorial e o que é percebido quase sempre é complexa. Quando se considera a relação entre o mundo físico e a percepção dele, vários aspectos fundamentais devem ser considerados, como, por exemplo, as propriedades que tornam os estímulos detectáveis, identificáveis, e discrimináveis uns dos outros (tanto em

magnitude como em escala). Por exemplo, com o aumento da intensidade de um estímulo, chega-se a um ponto onde o mesmo é detectado, o *limiar sensorial* (BI; ENNIS, 1998)(Gráfico 5).



**Gráfico 5.** Função psicométrica. Um exemplo de medida do limiar mostrando que quando a intensidade do estímulo é aumentada, a porcentagens de tentativas na qual o indivíduo detecta a presença do estímulo progressivamente aumenta até um valor em que o detecta 100% das vezes. O ponto no qual o estímulo é detectável 50% das vezes é definido como o limiar sensorial (Fonte: Disponível em <http://courses.washington.edu/psych333/Handouts/coursepack/chapter-07.pdf>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

E pela obtenção de medidas do limiar sensorial sob uma variada escala de diferentes condições de um estímulo, é possível a construção de um perfil de sensibilidade àquele estímulo. No Gráfico 6, ao medir-se o limiar sensorial a altura de um tom para muitas intensidades diferentes, obtém-se um perfil da sensibilidade auditiva através de uma escala completa (HALL, 1981).



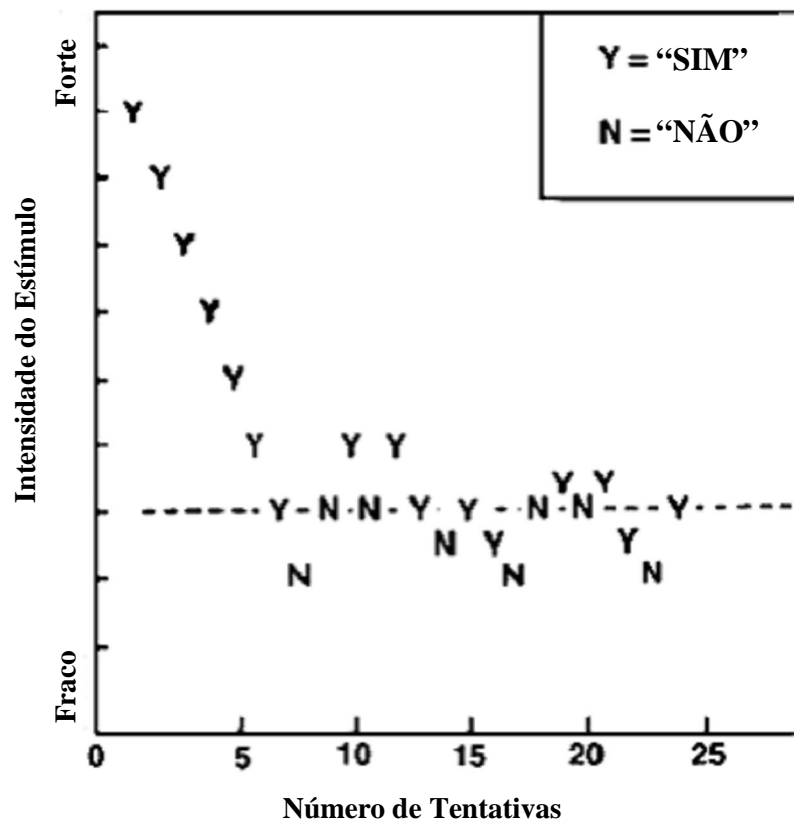
**Gráfico 6.** Construção de uma função psicofísica a partir de múltiplas medidas do limiar, em gráficos da porcentagem de respostas *sim* chamados de *funções psicométricas*. O limiar sensorial é lido como o nível do estímulo no qual o indivíduo relata ver o estímulo em 50% das tentativas (Fonte: Disponível em <http://courses.washington.edu/psych333/Handouts/coursepack/chapter-07.pdf>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Deste modo, embora os limiares sensoriais não sejam fenômenos de tudo ou nada, pois há algumas variações nas propriedades físicas do estímulo e no estado fisiológico do organismo, eles permitem encontrar os estímulos aos quais o sistema visual é mais sensível.

Enquanto Weber desenvolveu o conceito de *limiar diferencial*, ou seja, a quantidade de estimulação que deve ser adicionada para que alguma diferença possa ser percebida além da estimulação inicial, o *limiar absoluto* é a menor quantidade de energia do estímulo que um observador pode detectar. Há vários métodos diferentes que podem ser usados para medir o limiar absoluto, sendo que todos possuem vantagens e limitações (BI; ENNIS, 1998).



No Método dos Limites, estímulos de diferente magnitude são apresentados intercaladamente de modo ascendente ou descendente pelo pesquisador, e o indivíduo é inquirido a indicar se detecta ou não detecta o estímulo. No Método em Escada, uma variação do Método dos Limites, a apresentação do estímulo ascende e descende em intensidade de modo contínuo, de acordo com a detecção ou não do estímulo pelo indivíduo testado (Gráfico 7).



**Gráfico 7.** Dados amostrais usados para o cálculo do limiar absoluto. Esses dados foram obtidos usando um procedimento em escada descendente no qual a intensidade do estímulo foi diminuída após o indivíduo ter relatado sua detecção ("sim") e aumentada após o indivíduo ter relatado sua não-deteção ("não"). O limiar (linha horizontal pontilhada) é tomado como sendo a intensidade do estímulo na qual o número de pontos "sim" se iguala ao número de pontos "não" (Fonte: Disponível em <http://courses.washington.edu/psych333/Handouts/coursepack/chapter-07.pdf>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Numa outra variação do Método dos Limites, chamada de Método do Ajuste, o indivíduo testado controla a magnitude do estímulo e é inquirido a ajustá-lo de modo ascendente até percebê-lo, ou a ajustá-lo de modo descendente até não mais percebê-lo. Depois de um número de tentativas tem-se a medida da média e da variância. Entretanto, esta medida inclui um elemento de tendência subjetiva, pois os indivíduos podem diferir, por

exemplo, no ponto no qual eles estão dispostos a dizer que podem ver o estímulo (FARELL; PELLI, 1999).

Já no Método dos Estímulos Constantes, estes são apresentados pelo pesquisador em ordem aleatória e o indivíduo é inquirido se pode detectá-los. A vantagem deste método sobre os anteriores é que ele minimiza os efeitos de adaptação e/ou expectativa.

Por outro lado, no Método de Escolha Forçada de Duas Alternativas, o estímulo é apresentado em um de dois possíveis locais, e o indivíduo é inquirido a escolher o local no qual o estímulo esteve presente. A vantagem deste método é que ele é objetivo e pode ser usado para medir percepção em animais, crianças, ou indivíduos que por vários motivos sejam difíceis de se testar.

Além dos diferentes métodos disponíveis para se medir os limiares sensoriais, uma importante questão diz respeito a como diferentes modos de abordagem (do pesquisador) podem alterar a significância dos resultados obtidos por uma mesma metodologia, o que pode ser observado na lógica por trás das *regras de transição* do estímulo. Cada *Regra X* tem uma porcentagem associada de respostas corretas,  $x$ , de modo que o estímulo ao nível de  $x\%$  *correto* tem uma igual probabilidade de ascender ou descender. Se o nível do estímulo sobe ou desce, subseqüentemente terá uma maior possibilidade de reverter o sentido. Deste modo, os níveis de estímulo tenderão a convergir para (e oscilar) próximo do ponto de  $x\%$  *correto* (KLIMENKO *et al.*, 1990).

No Método em Escada, por exemplo, uma vez na vizinhança da região de limiar, a mais simples regra de transição do estímulo (regra A) é aumentar o nível do estímulo para a próxima tentativa após *uma* resposta de detecção negativa, ou diminuir o nível do estímulo após uma resposta de detecção positiva. Na resultante seqüência ascendente e descendente do nível do estímulo, mudanças no sentido dos níveis do estímulo são chamadas *pontos de inversão*. Deste modo, estes *pontos de inversão* são mais elevados para uma mudança de uma série ascendente de níveis do estímulo para uma série descendente, e mais baixos para uma mudança de uma série descendente de níveis do estímulo para uma série ascendente. O local do estímulo entre um ponto de inversão e o precedente nível de estímulo constitui um *local de estimativa*. Para se evitar uma possível tendência de sentido (escolha de um *local de estimativa* ascendente ou descendente como limiar), uma *média dos pontos de inversão*, tanto superiores como inferiores, é avaliada. Conseqüentemente, o valor médio do estímulo entre os dois pontos de inversão (um ponto médio de inversão superior e um outro inferior) constitui uma *estimativa de meio-curso*, e a média de todas as estimativas de meio-

curso é operacionalmente definida como *estimativa limiar do ponto de 50%*. Deste modo, a *estimativa de meio-curso* fornece uma grosseira janela móvel da *estimativa do limiar*.

Contudo, ao mudar-se a regra de transição de modo que o nível do estímulo seja somente diminuído após *duas* respostas positivas consecutivas, mas ainda aumentado após cada resposta negativa (Regra B), o resultado é uma estimativa mais elevada do limiar, o ponto de 70.7 % do limiar. Por conseguinte, ao se modificar as regras de transição de modo que o nível do estímulo seja agora somente diminuído após *três* respostas positivas consecutivas, mas ainda seja aumentado após cada resposta negativa (Regra C), terá como resultado uma estimativa ainda mais elevada do limiar, o ponto 79.4% do limiar...

Logicamente, devido ao diferente número de tentativas específicas de diferentes regras de transição, somente alguns dos potenciais pontos de limiar são práticos dentro do contexto dos experimentos de sensibilidade de um indivíduo, ainda assim utilizando-se de outras metodologias que não a do Método em Escada (como a dos Estímulos Constantes, por exemplo) (WETHERILL, 1963; WETHERILL & LEVITT, 1965; WETHERILL *et al.*, 1966; LEVITT & TREISMAN, 1969; ROSE *et al.*, 1970; LEVITT, 1971; KERSHAW, 1985; KOLLMEIER *et al.*, 1988; SIMPSON, 1989). Ir além ao estimar pontos de limiar não alteraria os resultados experimentais, além de ser de pouca consequência prática em termos de conclusões empíricas. Porém, como uma simples mudança de regra de transição do estímulo pode alterar de modo significativo os resultados obtidos, é importante que ao se investigar limiares sensoriais a um estímulo, os critérios adotados na aplicação da metodologia sejam pré-avaliados e determinados como padrão para que não haja conflito de resultados entre indivíduos testados.

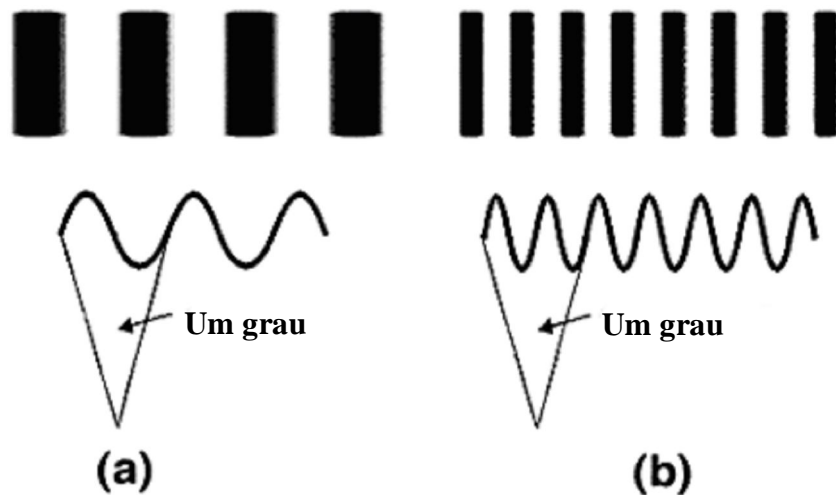
Além dos critérios de aplicação dos diferentes métodos, também é importante um certo nível de controle sobre as condições de resposta dos indivíduos testados. Neste sentido, existem alguns experimentos que, por não haver estímulo presente, são úteis para determinar quando o indivíduo está supondo, e não realmente observando, que um estímulo está presente. Tais experimentos são conhecidos como *Catch Trials*, podendo ser usados em quaisquer dos métodos acima mencionados, de variados modos.

## **1.5 Da Sensibilidade Ao Contraste de Luminância e Suas Funções**

Quando o oftalmologista encontra a menor letra que um indivíduo pode relatar, isto somente dá a ele uma medida da acuidade, e não uma medida da visibilidade de diferentes

padrões visuais. Na medida clínica da acuidade visual, o oftalmologista utiliza um padrão em alto contraste (Teste de Snellen), ou seja, letras pretas sobre um fundo branco; porém, no cotidiano, os cenários visuais não se encontram em um único nível de contraste, pelo contrário, estão em contraste amplamente variável. Mas, um teste pode representar um estímulo que atenda, ao mínimo, os parâmetros visuais cotidianos, compostos por variáveis tão complexas, como espaço, tempo, intensidade e comprimento de onda de luz? Sim. Como o sistema visual analisa em paralelo a informação recebida (ou seja, é sensível a diferentes componentes de um mesmo estímulo), ao se adotar a análise de Fourier como um possível mecanismo deste processo, pode-se conhecer a sensibilidade a qualquer padrão visual, bastando para isto testar a sensibilidade do sistema visual a ondas senóides. E esta medida de sensibilidade ao contraste é muito importante para se ter um real conhecimento do estado geral da capacidade visual de um indivíduo (ARDEN, 1978).

O estímulo visual espacial mais simples de se imaginar é um padrão de grades com variação senoidal da luz através do mesmo, o qual é composto pela soma linear de ondas senóides harmonicamente relacionadas e de frequências, amplitudes e fases específicas. Neste padrão de estímulo, a frequência espacial das ondas senóides é o número de ciclos (um ciclo consiste de uma barra clara mais uma barra escura) em um grau de ângulo visual (as unidades de frequência espacial são denominadas de *ciclos por grau*); já a amplitude das ondas senóides está relacionada ao contraste de luminância do padrão, ou seja, a como a luz varia senoidalmente (na figura desta página, perpendicularmente) através deste padrão; e a fase das ondas senóides é a posição no ciclo na qual estas ondas, e seus componentes de menor amplitude, estão superpostas (Figura 9).

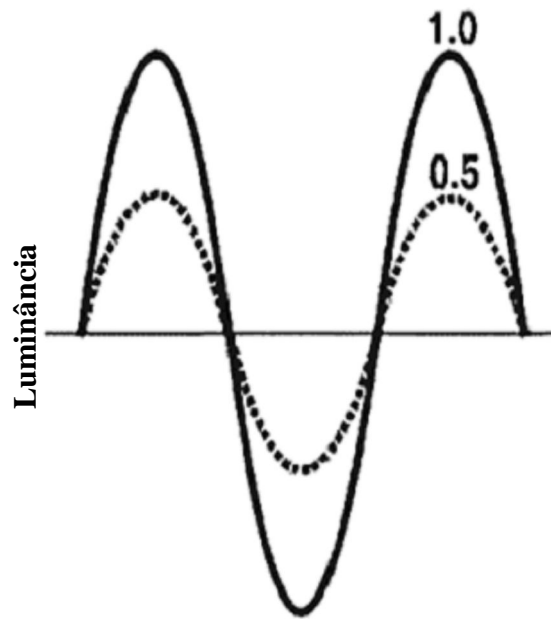


**Figura 9.** Frequência espacial é uma medida do número de ciclos por grau subtendido no olho. (a) Um ciclo por grau. (b) Dois ciclos por grau (Fonte: Disponível em <http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Uma grade senóide é uma onda senóide bidimensional mais um fundo para manter sua positividade. O contraste do padrão de grades,  $C$ , é chamado de *contraste de modulação, de Raleigh* ou *de Michelson*, e representa o limiar de intensidade diferencial de luminância deste padrão, sendo definido pela relação:

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

onde  $C$  pode ter um valor entre 0.0 e 1.0. A variação senoidal da luminância permite que o contraste do padrão seja alterado sem mudar a luminância média da superfície que demonstra as grades (Figura 10).



**Figura 10.** Perfil de luminância de redes senóides de taxa de contraste de 1.0 e 0.5. Para o valor de contraste 1, a rede teria a luminância mínima e máxima disponível (Fonte: Disponível em <http://webvision.med.utah.edu/KallSpatial.html>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

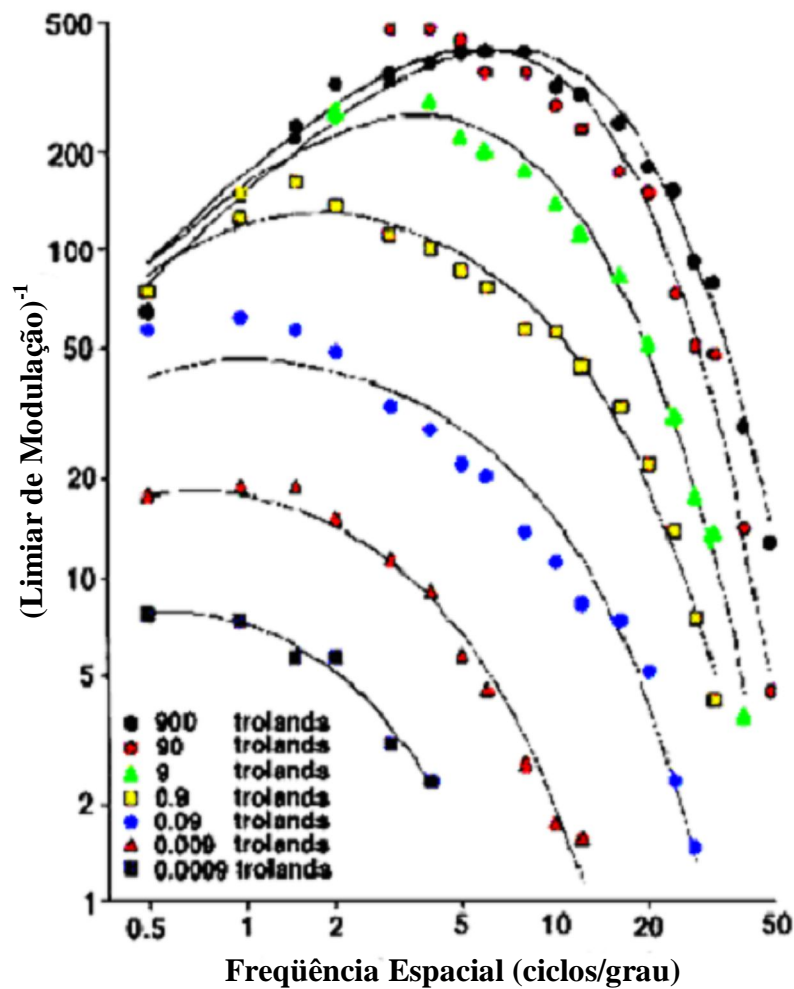
Pode-se medir o limiar de contraste para detecção de um padrão de onda senóide pelo uso de qualquer dos métodos descritos anteriormente (ver Da Medida Dos Limites Dos Sentidos). Na medida de limiares visuais, o contraste de uma dada freqüência espacial do padrão de grades é diminuído (ou seja, as luminâncias mínima e máxima do padrão têm seus valores aproximados gradativamente) até a detecção da rede tornar-se impossível, determinando assim o limiar para esta freqüência espacial.

O contraste requerido para o sistema visual alcançar um certo limiar pode ser expresso como uma sensibilidade sobre uma escala decibel (dB) (sensibilidade ao contraste em  $\text{dB} = -20 \log_{10}C$ ). Já a sensibilidade é normalmente medida em algumas poucas e diferentes freqüências para definir uma curva de função, cujo gráfico expressa o log da sensibilidade versus o log da freqüência. Assim, a sensibilidade ao contraste é definida como o inverso do limiar de contraste ( $1/\text{limiar de contraste}$ ), ou seja, a recíproca dos limiares de contraste para uma escala de freqüências espaciais resulta num gráfico da sensibilidade em função da freqüência espacial, conhecido como *função de sensibilidade ao contraste espacial* (DE VALOIS; DE VALOIS, 1988).

Vale ressaltar que, apesar de o sistema visual apresentar muitas não-linearidades reconhecidas, implicando em óbvias limitações para uma técnica que busca representar este sistema através de um único grupo de pontos de limiar, a medida da função de

sensibilidade ao contraste tem provado ser muito útil em vários aspectos. Além disso, sua capacidade de previsão sugere que, sob muitas condições, o tratamento do sistema visual como um sistema semi-linear pode ser considerado razoável, quando aplicado para melhor entendê-lo.

### 1.5.1 Da Função De Sensibilidade Ao Contraste Espacial



**Gráfico 8.** Sensibilidade ao contraste em função da luminância, mostrando uma mudança na forma, de *passa-baixa* (do inglês, *low-pass*) em baixas luminâncias, a *passa-banda* (do inglês, *band-pass*) em altas luminâncias (Fonte : Modificado de VAN NES; BOUMAN, 1967).

No Gráfico 8 está uma típica função de sensibilidade ao contraste espacial para um indivíduo humano normal, obtida através de um padrão estático de grades, com luminância variável. A forma desta função é em U invertido, sendo que seu pico está adaptado ao ambiente visual do organismo (VAN NESS; BOUMAN, 1967).

Em níveis fotópicos de luz, pode ser visto que o pico da função encontra-se na escala de frequências espaciais entre 5-10 ciclos/grau, e o ponto de corte encontra-se em alta frequência espacial (cerca de 50 a 60 ciclos/grau). Nota-se também um declínio mais abrupto na sensibilidade para frequências espaciais mais altas, se comparado com as frequências mais baixas (CAMPBELL; GREEN, 1965).

Com a progressiva diminuição do nível de luminância, o pico de sensibilidade desloca-se para as frequências espaciais mais baixas. Deste modo, a transição de um nível de luminância (por exemplo, de fotópico para mesópico) produz um deslocamento no pico da sensibilidade espacial, de 6-10 para 1-2 ciclos/grau. Este deslocamento resulta de uma maior perda na sensibilidade ao contraste de frequências espaciais mais altas do que na de frequências mais baixas, embora a sensibilidade ao contraste das frequências mais baixas também diminua de algum modo com a diminuição dos níveis de luminância. Em níveis escotópicos de luz, a sensibilidade é de, no máximo, cerca de 8%, sendo sua máxima resolução de aproximadamente 6 ciclos/grau. É possível que alguma atenuação ainda ocorra, mas em frequências espaciais abaixo daquelas que podem ser convenientemente medidas (PATEL, 1966; DE VALOIS *et al.*, 1974).

Além de variar com o nível de luminância, a sensibilidade ao contraste espacial também varia em função do local retiniano em que o padrão é detectado. Se um padrão é deslocado da fóvea para a periferia, mudanças na propriedade de detectá-lo são reveladas de modo similar ao produzido pela diminuição do nível de luminância. Ou seja, a sensibilidade ao contraste diminui como um todo, seu pico ocorre em frequências espaciais progressivamente mais baixas, o ponto de corte em alta frequência passa para a região das baixas frequências, e a atenuação das baixas frequências torna-se menos aparente (DAITCH; GREEN, 1969; ROVAMO *et al.*, 1978; WRIGHT; JOHNSTON, 1983). Entretanto, questões relativas à natureza dessas mudanças de sensibilidade relacionadas à excentricidade, e à região retiniana de maior sensibilidade a várias frequências espaciais (fóvea ou periferia), são questões que dependem muito das condições de teste adotadas.

Além disso, vários outros fatores influenciam a forma e os parâmetros críticos da função de sensibilidade ao contraste espacial. Os perfis de luminância (ondas senóides ou quadradas), o nível de foco, e a óptica do olho, estão entre eles (GOLDSTEIN, 1999).



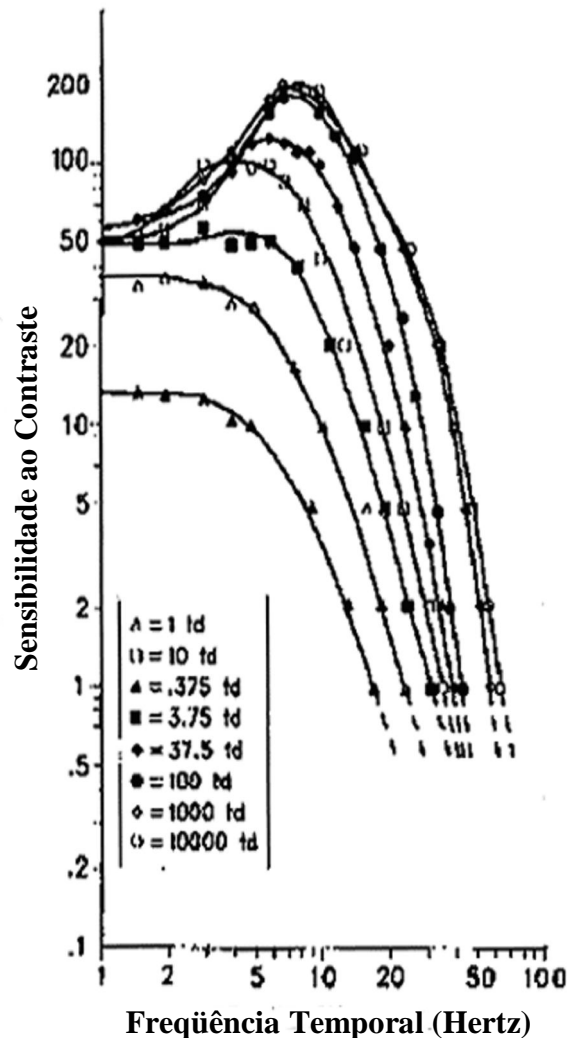
### 1.5.2 Da Função De Sensibilidade Ao Contraste Temporal

Embora muitas fontes de luz (como as lâmpadas fluorescentes, a televisão, etc.) pareçam ter uma iluminação constante e estável, na realidade estas fontes produzem uma quantidade de luz que varia rapidamente no tempo. O esforço para entender a insensibilidade do sistema visual a estas rápidas flutuações no nível de luz gerou uma quantidade considerável de trabalhos, sendo grande parte destes relacionada ao conceito de *frequência limiar de variação, de fusão ou de intermitência* (do inglês, *critical flicker frequency*) de ondas periódicas. Esta *frequência limiar de variação* marca o limite entre a variação perceptível de intensidade de luz (*flicker*) e a aparência estável de uma luz cuja intensidade varia de modo imperceptível (*fusion*). Por exemplo, se o contraste de luminância de um padrão-alvo varia senoidalmente no tempo, em algumas frequências temporais há amplitudes (variações de luminância) suficientemente pequenas para tornar o padrão-alvo invisível; ou seja, este padrão não é distinguível de um outro com zero de contraste, pois a oscilação na intensidade de luz é tida como estável (*fusion*). Por outro lado, com o aumento da amplitude, o alvo pode tornar-se visível, sendo, neste caso, a oscilação na intensidade de luz tida como variável (*flicker*) (WATSON; AHUMADA, 1985). Esta transição para a visibilidade é o *limiar de contraste*, cujo inverso é a *sensibilidade ao contraste*.

Um gráfico de sensibilidade ao contraste *versus* frequência temporal é chamado de *função de sensibilidade ao contraste temporal* ou *Função de De Lange*. Uma função de sensibilidade ao contraste temporal pode ser obtida variando-se senoidalmente um campo grande e espacialmente uniforme em diferentes frequências temporais, sendo a tarefa do observador detectar a presença desta variação.

As características gerais da função de sensibilidade ao contraste temporal, sob variadas condições de luminância, estão ilustradas no Gráfico 9. Em altas luminâncias, um pico de sensibilidade de cerca de 200 ocorre por volta de 8Hz. Já acima desta frequência, a sensibilidade cai abruptamente. Para um estímulo com variação senoidal, a *frequência de variação crítica* é a frequência mais alta na qual a sensibilidade ao contraste é igual a 1. Seguindo a abrupta queda da curva no Gráfico 9, a *frequência de variação crítica*, neste caso, é alcançada em frequências entre 50-70Hz. Pode-se ver também que esta função lembra a função de sensibilidade ao contraste espacial ao mostrar deslocamento de seu pico para frequências mais baixas, além de atenuações nas frequências altas e baixas, quando o nível de

luminância é progressivamente reduzido. Entretanto, apesar do declínio nas frequências baixas, a sensibilidade se estabiliza em cerca de 50 (KELLY, 1961).



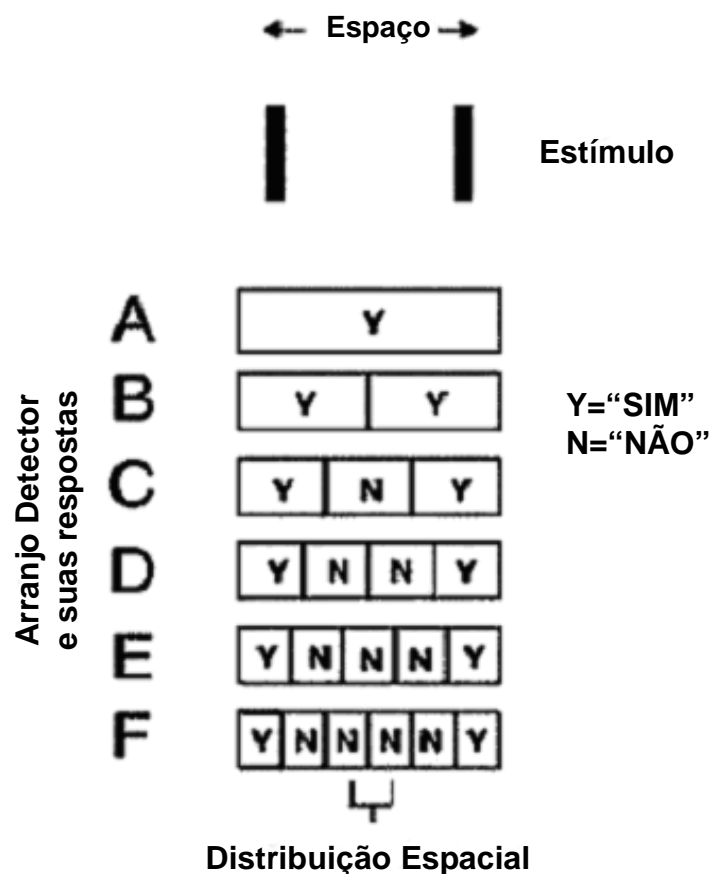
**Gráfico 9.** Função de sensibilidade ao contraste temporal (Fonte: Modificado de DE LANGE, 1958).

Ao contrário da sensibilidade ao contraste espacial, a forma da função de sensibilidade ao contraste temporal, medida em função da excentricidade retiniana para estímulos diferindo em frequência temporal (0-16Hz, 0-12° de excentricidade), não é alterada, indicando que o campo visual aparentemente é homogêneo em sensibilidade para mudanças no contraste ao longo do tempo (WRIGHT; JOHNSTON, 1983). Porém, vale ressaltar que esta função não é uma função invariável. Pelo contrário, sua forma está sujeita a grandes alterações, dependendo, por exemplo, da intensidade do fundo, da configuração espacial do padrão-alvo e do seu entorno, do observador, e do método utilizado para se obter o limiar (WATSON; AHUMADA, 1985).

## 1.6 Da Sensibilidade Ao Contraste de Luminância e Suas Implicações

### 1.6.1 Da Resolução Espacial E Da Somação Espacial

No domínio espacial, para se discriminar dois estímulos (por exemplo, duas linhas (como na Figura 11), é necessário um *sistema detector* cuja organização apropriada forneça uma resposta Sim-Não-Sim; neste caso, esta organização é dada pelo arranjo de C a F (KALLONIATIS, LUU, 2006b).



**Figura 11.** Resolução espacial. De C em diante, os arranjos detectores permitem a percepção de duas linhas (Fonte: Disponível em <http://webvisio.med.utah.edu/temporal.html>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

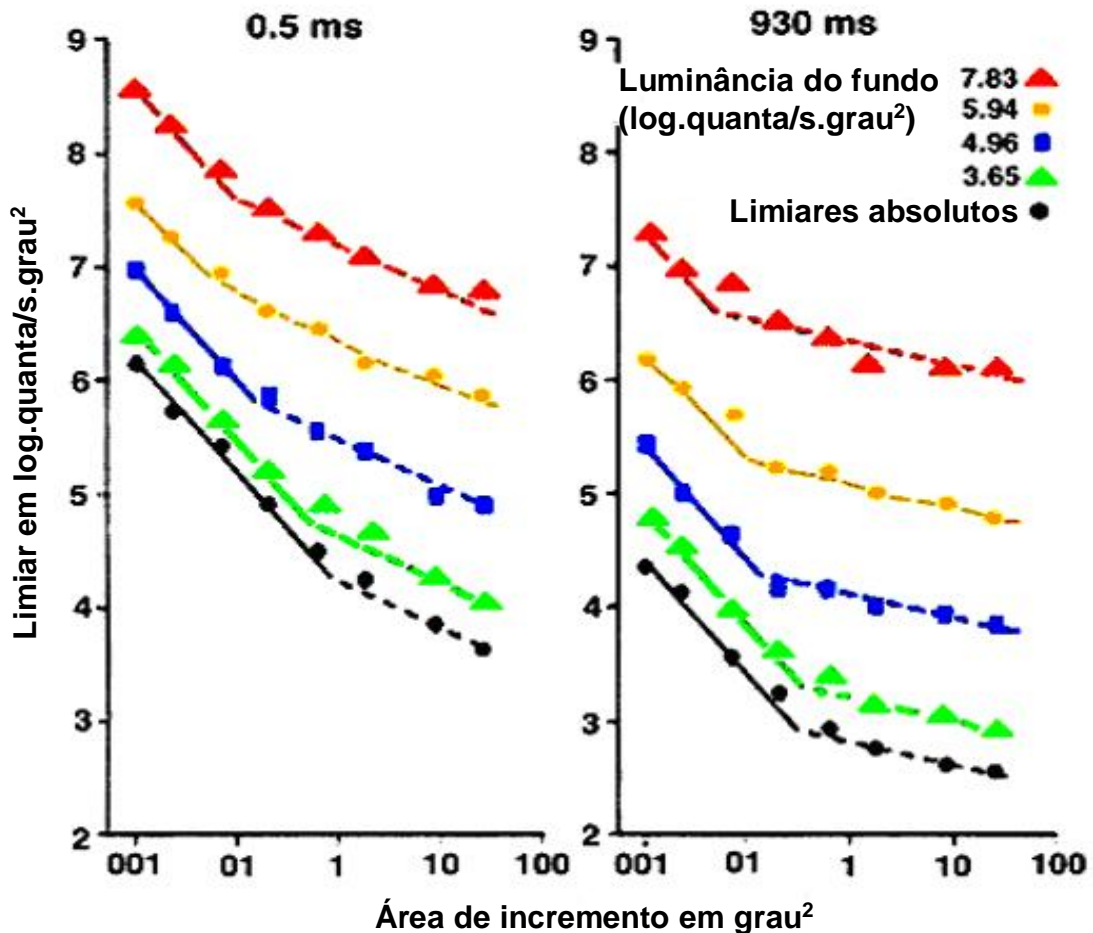
Este sistema detector pode ser interpretado como a convergência dos fotorreceptores nas células ganglionares, formando um campo receptivo, e tendo como resultado o processo conhecido como *somação espacial*. Com esta convergência, a estimulação de diferentes fotorreceptores, componentes deste campo receptivo, resulta em um

sinal (SHAPLEY; ENROTH-CUGELL, 1984). Deste modo, o tamanho do campo receptivo funcional limitaria a capacidade de resolução do sistema.

Em outras palavras, a somação espacial descreve a capacidade do olho de somar ou adicionar mais *quanta* sobre uma certa área. Esta área na qual a somação espacial ocorre é chamada de *diâmetro crítico*. De acordo com a *Lei de Ricco*, dentro do diâmetro crítico, o limiar é alcançado quando a energia luminosa total alcança um valor constante (k), ou seja, quando o produto da luminância (L) e da área estimulada (A) igualam ou excedem esse valor constante. A Lei de Ricco é expressa como:

$$L \cdot A^n = k$$

onde L é a luminância do estímulo, A é a área do estímulo, k é um valor constante, e n descreve se a somação espacial é completa (n=1) ou parcial (0<n<1), não ocorrendo quando n = 0. Deste modo, quando a luminância é reduzida à metade, é necessário dobrar o estímulo da área para se alcançar o limiar, e, quando a luminância é dobrada, o estímulo da área pode ser reduzido a metade e ainda assim alcançar o limiar (Gráfico 10) (KALLONIATIS, LUU, 2006a).



**Gráfico 10.** Lei de Ricco. O log da luminância (log quanta/seg.grau<sup>2</sup>) é uma outra forma de expressar a iluminância) como função da área para um estímulo com duas diferentes durações. A Lei de Ricco está representada pela linha sólida com um gradiente de -1 (Fonte: Dados [modificados] de BARLOW em LAMMING, 1991).

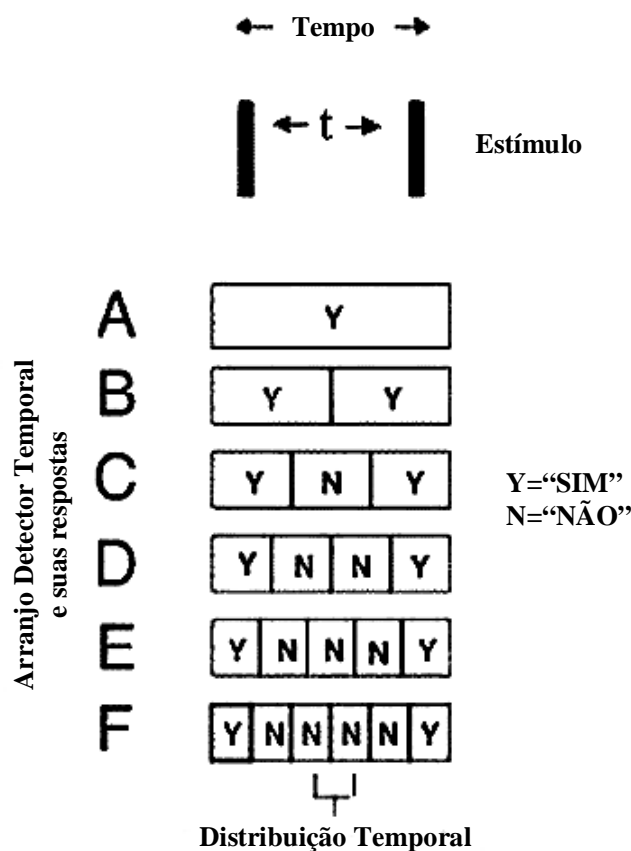
Nota-se no gráfico acima que a área crítica é maior nas luminâncias baixas e menor nas luminâncias altas, o que reflete a alteração funcional do tamanho do campo receptivo com as mudanças no nível de adaptação (SHAPLEY; ENROTH-CUGELL, 1984).

### 1.6.2 Da Resolução Temporal E Da Somação Temporal

Por outro lado, além de os olhos funcionarem em uma larga amplitude de níveis de luminância, eles também devem ser capazes de responder a diferentes taxas de mudança da luminância. Os olhos estão constantemente tomando amostras de informação das imagens projetadas na retina de uma maneira periódica. Já que há uma quantidade finita de tempo requerida para coletar e processar a informação, há limitações para a capacidade de resposta do sistema visual a algumas taxas de mudança. Neste sentido, o conceito de

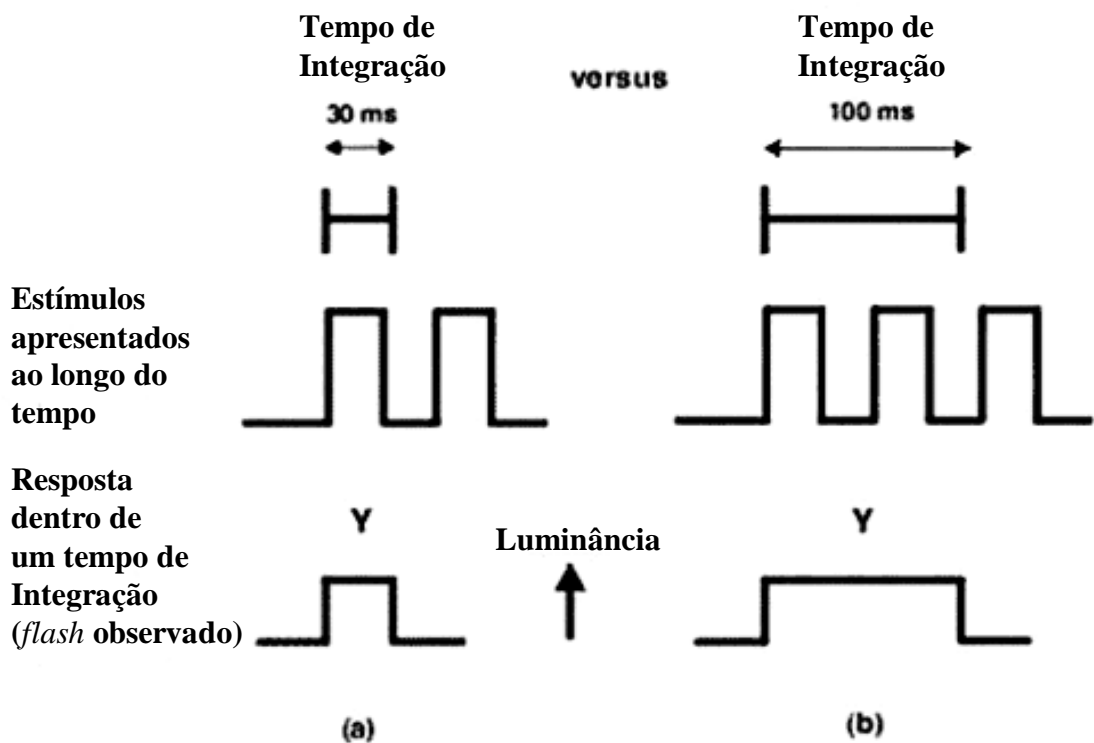
*freqüência de variação crítica*, importante para o entendimento da função de sensibilidade ao contraste temporal (ver Da Sensibilidade Ao Contraste Temporal), é influenciado por vários fatores, dentre os quais a propriedade de *somação temporal* do sistema visual (KALLONIATIS, LUU, 2006b).

A somação temporal refere-se à capacidade do olho de somar os efeitos de *quanta* individuais de luz no tempo. No domínio temporal, o mesmo princípio somatório mencionado para o domínio espacial se aplica, porém com os estímulos separados no tempo (Figura 12). A separação entre as duas linhas está no domínio temporal (como dois *flashes* liberados) após um intervalo de tempo  $t$ , e o *sistema detector* agora possui tempos de integração temporal diferentes. Por exemplo, enquanto que o arranjo detector A integra somente no tempo  $= t$ , o arranjo detector B possui uma integração de tempo  $= 0.5 t$ , o arranjo C possui uma integração de tempo  $= 0.33 t$ , e assim sucessivamente. Devido aos menores tempos de integração para os arranjos a partir de C, estes seriam capazes de discriminar os dois *flashes* que estão separados por intervalos de  $t$  (KALLONIATIS, LUU, 2006b).



**Figura 12.** Resolução temporal. A velocidade de integração permite a detecção de estímulos intermitentes. De C em diante, os arranjos detectores permitem a discriminação do estímulo em todo o tempo (Fonte: Disponível em <http://webvisio.med.utah.edu/temporal.html>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Deste modo, o tempo de integração temporal está relacionado ao processo de somação temporal de modo intrínseco. Para detectar um flash de luz após o outro, um tempo de integração apropriado é requerido (Figura 13). O período de integração é maior que 100ms para bastonetes e de 10-15ms para cones. A vantagem de um longo tempo de integração é que sob limitadas condições de níveis de luz, o limiar será alcançado, enquanto que, quando os níveis de luz não forem limitados (visão fotópica), um curto tempo de integração é preferível para melhorar a resolução temporal (KALLONIATIS, LUU, 2006b).

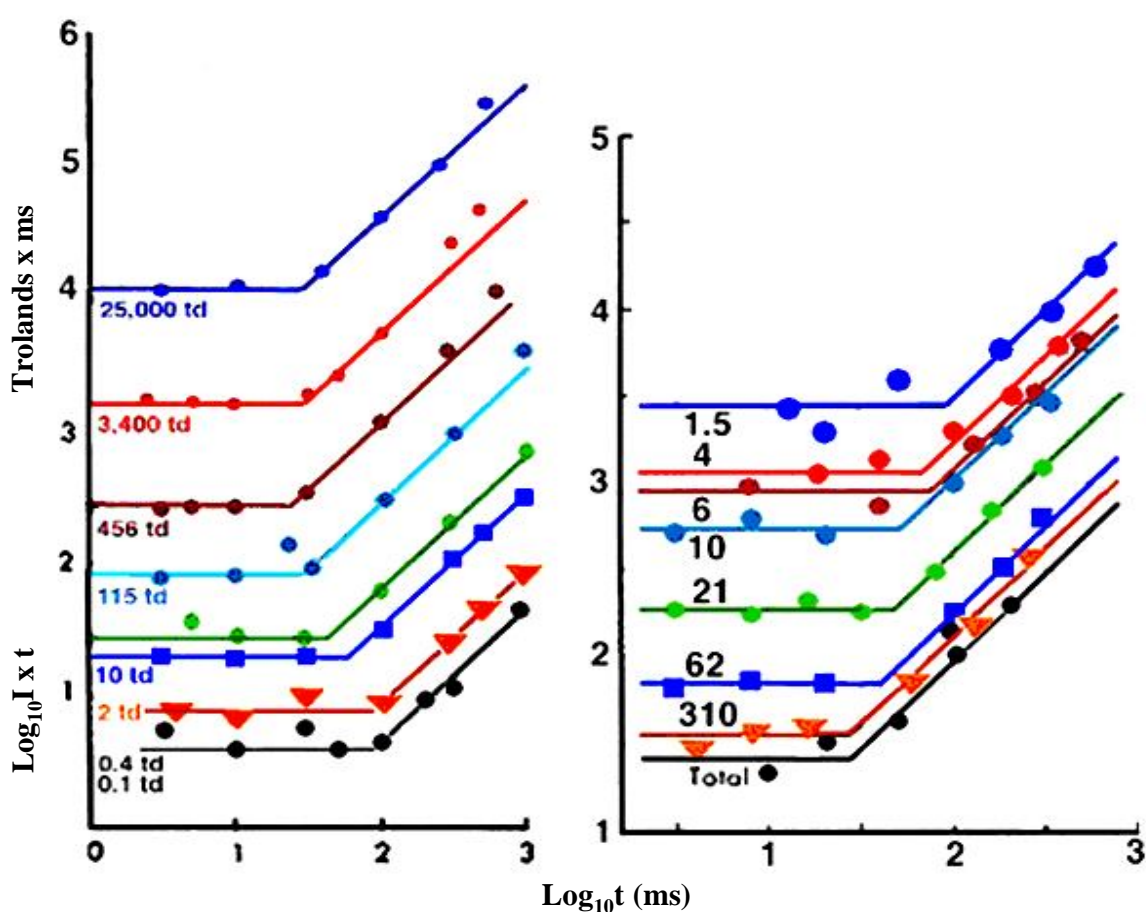


**Figura 13.** Somação temporal. *Flashes* de luz são apresentados ao olho. (a) Com um curto tempo de integração, os *flashes* são detectados. (b) Por outro lado, os diferentes *flashes* não são percebidos com um longo tempo de integração (isto é, o estímulo apareceu como um único *flash* luminoso) (Fonte: Disponível em <http://webvisio.med.utah.edu/temporal.html>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Entretanto, a somação temporal somente ocorre dentro de um certo período de tempo, chamado de *duração* ou *período crítico*. De acordo com a *Lei de Bloch* da visão, dentro desta duração crítica, o limiar é alcançado quando o total de energia luminosa é alcançado. A Lei de Bloch da somação temporal é análoga à Lei de Ricco da somação espacial. A Lei de Bloch estabelece que a energia luminosa total é um valor constante ( $k$ ), deste modo o limiar é alcançado quando o produto da luminância ( $L$ ) e a duração do estímulo ( $t$ ) igualam-se a esta constante. A Lei de Bloch é expressa como:

$$L \cdot t^n = k$$

onde  $L$  é a luminância do estímulo,  $t$  é a duração do estímulo,  $k$  é um valor constante e  $n$  descreve se a somação temporal é completa ( $n=1$ ) ou parcial ( $0 < n < 1$ ), não ocorrendo quando  $n = 0$ . Deste modo, quando a luminância é reduzida à metade, é necessário dobrar a duração do estímulo para se alcançar o limiar, e quando a luminância é dobrada, o limiar pode ser alcançado na metade da duração do estímulo (Gráfico 11) (KALLONIATIS, LUU, 2006b).



**Gráfico 11.** Lei de Bloch. Duração da luminância versus curvas de tempo. A Lei de Bloch atua quando o gradiente da linha é zero. O tempo de integração (duração crítica) pode ser determinado dos gráficos acima. Além da duração crítica, sucumbe a Lei de Bloch (quando o gradiente é maior que zero). (a) Ponto de luz teste a 1 grau foveal sobre diferentes fundos. (b) Pontos de luz teste foveal de diferentes diâmetros (em min ou arc) e para estimulação completa do olho (total). A interrelação entre integração temporal e somação espacial é mostrada no painel à direita, onde a Lei de Bloch é medida para diferentes tamanhos de estímulo teste (Fonte: Dados [modificados] de KAHNEMAN & NORMAN em HART JR, 1987).

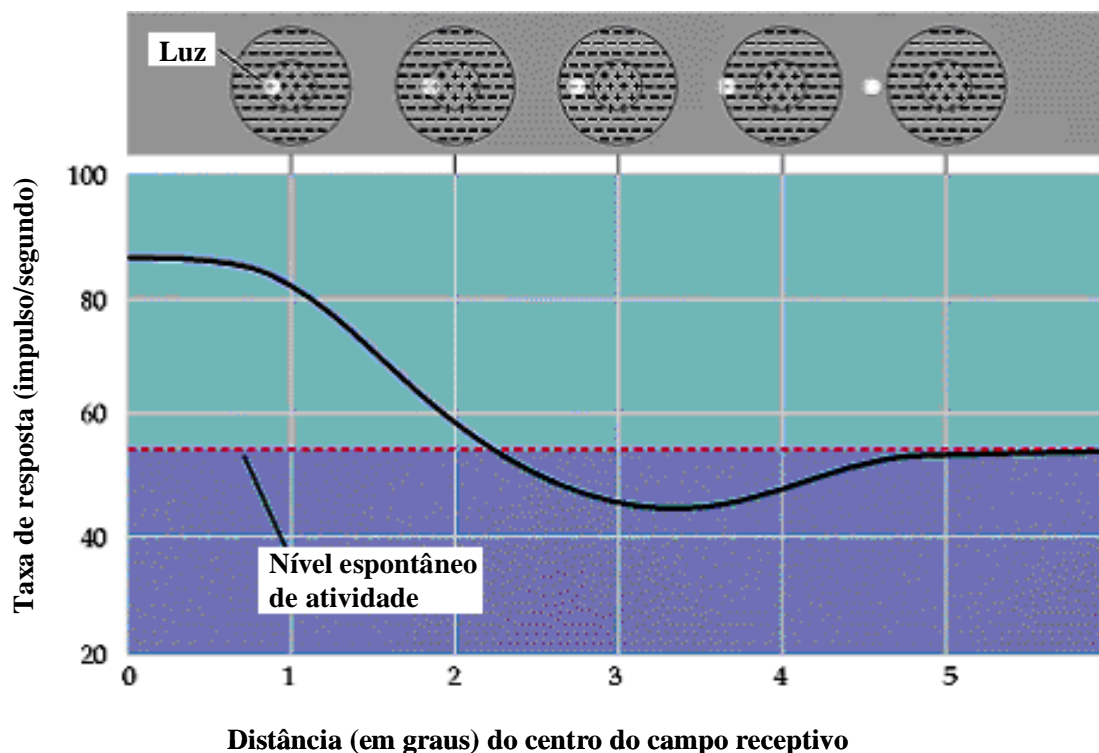
Nota-se também no gráfico acima que a duração crítica é mais curta para estímulos com alta luminância, com o limiar sendo alcançado mais rapidamente, e maior para



estímulos com baixa luminância, com o limiar sendo alcançado de modo mais lento. A somação temporal cessa além do tempo de integração temporal, sendo que acima deste valor o limiar depende mais só da luminância do que do produto da luminância e da duração do estímulo. Além disso, nota-se também que a somação temporal é afetada por outras variáveis do teste, como a luminância do fundo e o tamanho do estímulo-teste. Deste modo, nota-se no gráfico 5 a maior duração crítica para fundos mais claros e para estímulos-teste menores em diâmetro (KALLONIATIS, LUU, 2006b).

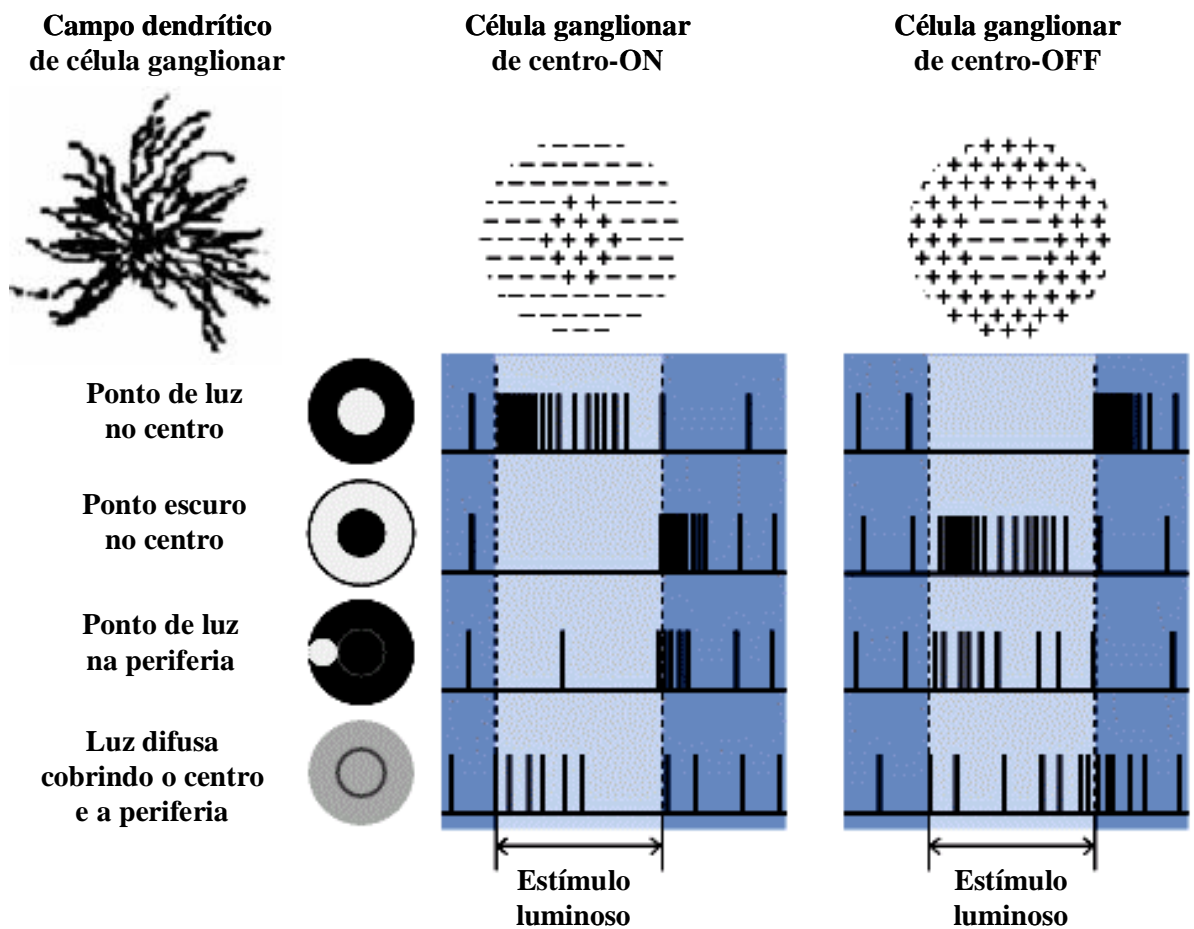
### **1.6.3 Da Função De Sensibilidade Ao Contraste E O Modelo Das Diferenças Gaussianas Do Campo Receptivo**

Nos vertebrados, cada célula ganglionar responde melhor a objetos de diferentes tamanhos, o que em parte está relacionado a um dos fatores que permitem a elas coletar sinais visuais sobre um amplo alcance do espaço visual, ou seja, sua variável extensão dendrítica. Então, pode-se considerar que o centro dos campos receptivos seja similar em tamanho ao dos campos dendríticos (YANG; MASLAND, 1992; DACEY; PETERSEN, 1992). Mas, se o alcance do estímulo torna-se maior, a extensão dos campos dendríticos por si só não é suficiente para explicar um declínio na sensibilidade (Gráfico 12).



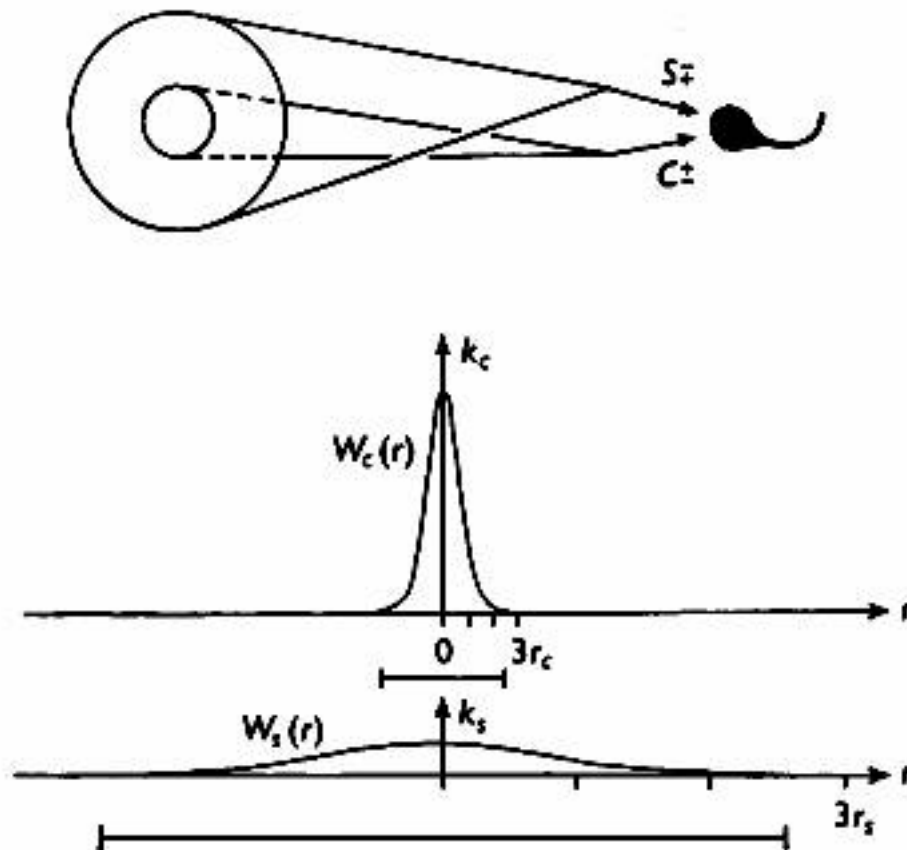
**Gráfico 12.** Taxa de descarga de uma célula ganglionar de centro ON a um ponto de luz em função da distância de sua origem ao centro do campo receptivo. Zero sobre o eixo x corresponde ao centro; em uma distância de 5°, o ponto cai fora do campo receptivo (Fonte: Modificado de PURVES *et al.*, 2001).

Deste modo, a detecção de bordas torna-se necessária, o que pode ser modelado como resultado da interação centro-periferia de respostas diferenciais (MERWINE *et al.*, 1995). Na célula centro OFF da Figura 14, por exemplo, as respostas excitatórias da periferia ON são provocadas por estímulos estreitos próximos à borda do campo dendrítico (SCHILLER, 1992; NELSON *et al.*, 1993; BROWN; MASLAND, 2001; ZAGHLOUL *et al.*, 2003; SILVEIRA *et al.*, 2004a).



**Figura 14.** Relação entre campo dendrítico e receptivo em células ganglionares de gato, com centro ON e OFF (Fonte: Modificado de PURVÈS *et al.*, 2001).

As funções de sensibilidade ao contraste podem ser modeladas com sucesso como uma subtração linear de dois mecanismos de campo receptivo concêntricos opostos (Figura 15).



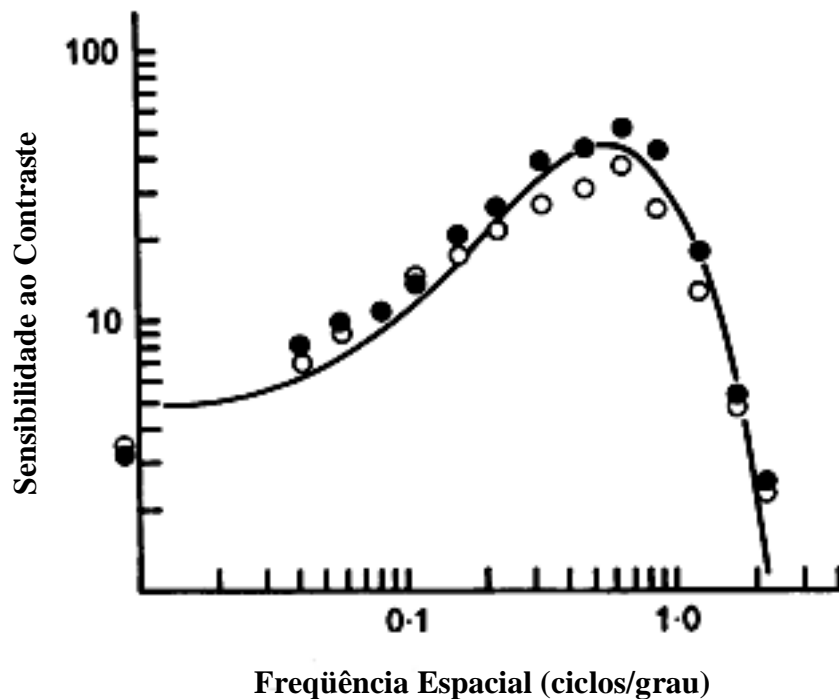
**Figura 15.** Modelo de diferenças Gaussianas de campos receptivos (Fonte: ENROTH-CUGELL; ROBSON, 1966).

Numa versão bem estudada deste modelo o centro  $W_c(r)$  e a periferia  $W_s(r)$  são dados por perfis Gaussianos de sensibilidade, com grande sensibilidade no centro do campo receptivo, e um decremento plano e abrupto da sensibilidade fora do centro (RODIECK, 1965). O mecanismo de centro predomina para estímulos localizados centralmente, porque é mais forte neste local, porém o mecanismo de periferia prevalece para a estimulação periférica porque o raio da periferia ( $r_s$ ) é maior do que o do centro ( $r_c$ ). Esses raios afetam a taxa na qual a sensibilidade declina com a retirada do estímulo do centro. Este modelo é freqüentemente referido como *Modelo de Diferenças Gaussianas* (NELSON, 2006).

Assim, as funções de sensibilidade ao contraste parecem em geral caracterizar o campo receptivo, sem usar pontos ou cortes de luz, mas estímulos de campo inteiro que consistem de ondas de espaços senoidais. Estes aparecem como padrões alternantes, com bordas indistintas, barras claras e escuras cobrindo todo o espaço visual, sendo o contraste a diferença de brilho entre as fases clara e escura desses padrões.

Nesta caracterização do campo receptivo, o contraste de um dado padrão, com uma dada freqüência espacial (a recíproca do número de pares de barras claras e escuras por

unidade de distância), é reduzido até a célula ganglionar responder abertamente de modo inexpressivo, sem traços característicos, indicando seu limiar. O processo é então repetido para padrões com diferentes frequências espaciais. As sensibilidades (as recíprocas dos limiares de contraste) são postas em gráficos como uma função da frequência espacial. O resultado líquido é uma curva demonstrando que nas células ganglionares há uma frequência espacial ótima de estimulação, observada na resposta (sensibilidade) mais alta quando o contraste era mais baixo (NELSON, 2006). Deste modo, se a sensibilidade ao contraste é uma medida da seletividade das células ganglionares ao tamanho do estímulo, a característica de sintonia (melhor resposta) espacial dos campos receptivos das células ganglionares pode ser observada nas funções de sensibilidade ao contraste (Gráfico 13) (YANG; MASLAND, 1992).



**Gráfico 13.** Função da sensibilidade ao contraste de célula ganglionar de gato. Símbolos vazados e preenchidos são os dados gerados com padrões verticais e horizontais, respectivamente, mostrando uma simetria de sensibilidade (Fonte: Modificado de ENROTH-CUGELL; ROBSON, 1966).

Vale ressaltar que, como as medidas de sensibilidade ao contraste podem ser aplicadas igualmente tanto para um organismo inteiro como para uma única célula, as comparações entre o desempenho de um organismo e o de uma célula ganglionar geralmente levam à conclusão de que os organismos não podem detectar estímulos visuais que não são

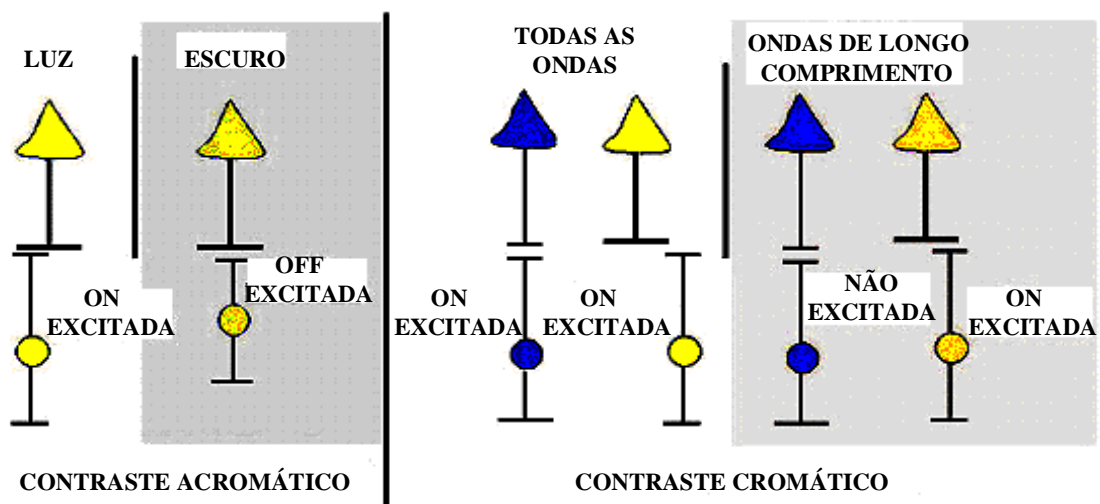
detectados pelo menos igualmente bem pelas células ganglionares, o que ainda é motivo de discussão (SHAPLEY; VICTOR, 1986).

#### 1.6.4 Do Contraste Simultâneo

De modo geral, na distinção de claro e escuro, e de cores, são usados dois circuitos neurais paralelos no córtex visual. O circuito responsável pela distinção entre claro e escuro, ou seja, pelo contraste de luminância, depende somente dos cones tipo L e detecta diferenças que dependem da energia da luz. Já o circuito responsável pela visão de cores, ou seja, pelo contraste cromático, depende dos cones tipo L e S e compara a resposta de ambos os sistemas de cones ao mesmo estímulo (GOURAS; ZRENNER, 1981; GOURAS, 2006).

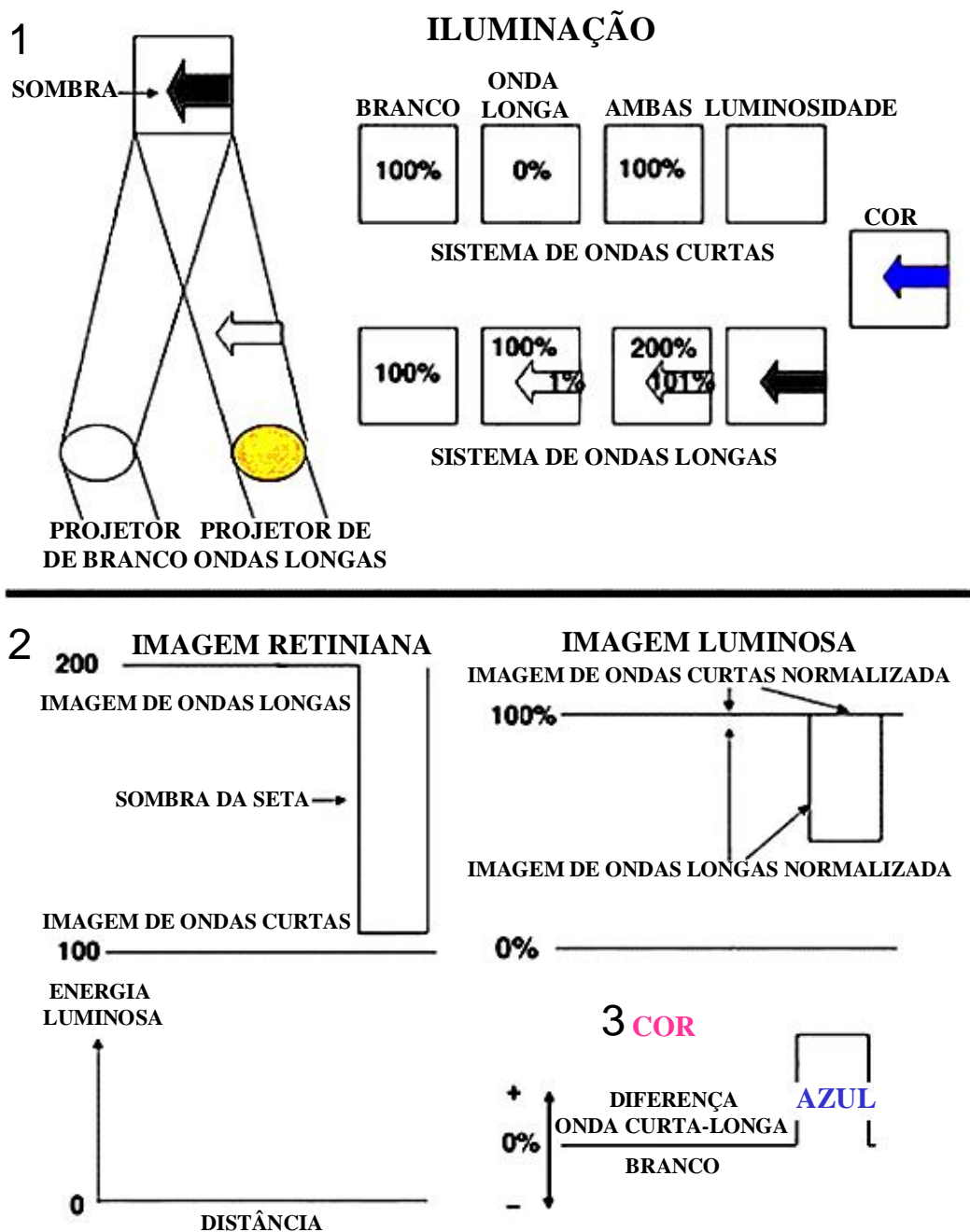
Para se distinguir claro de escuro, as respostas de grupos vizinhos de cones tipo L são comparadas para limites de contraste energético, sendo esses limites associados no encéfalo como um objeto (Figura 16, esquerda). Esta comparação pode envolver cones individuais adjacentes ou séries de cones no mínimo ângulo de resolução visual.

Já para o contraste cromático, o encéfalo compara as respostas de um grupo de cones tipo L com as de um grupo de cones tipo S a gradientes de comprimento de onda e energia incidentes na mesma área retiniana, tomando a diferença entre eles (Figura 16, direita) (MULLEN, 1985).



**Figura 16.** Circuitos neurais para contraste acromático e contraste cromático (Fonte: Disponível em <http://webvision.med.utah.edu/color.html#color%20vision>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Deste modo, o brilho e o contraste acromático de um objeto dependem inteiramente da diferença entre a luz que ele reflete e da luz refletida por seu entorno. A cor também depende do contraste simultâneo do comprimento de onda em vez do contraste energético. Edwin Land demonstrou a importância do contraste simultâneo na visão de cores mostrando que a cor depende da luz refletida do entorno de um objeto. Ele propôs um modelo no qual a comparação de um sistema de cones com outro, necessária para se chegar a uma decisão de cor, ocorre após o brilho de um objeto ter sido estabelecido separadamente para cada mecanismo de cones (Figura 17) (LAND, 1986).

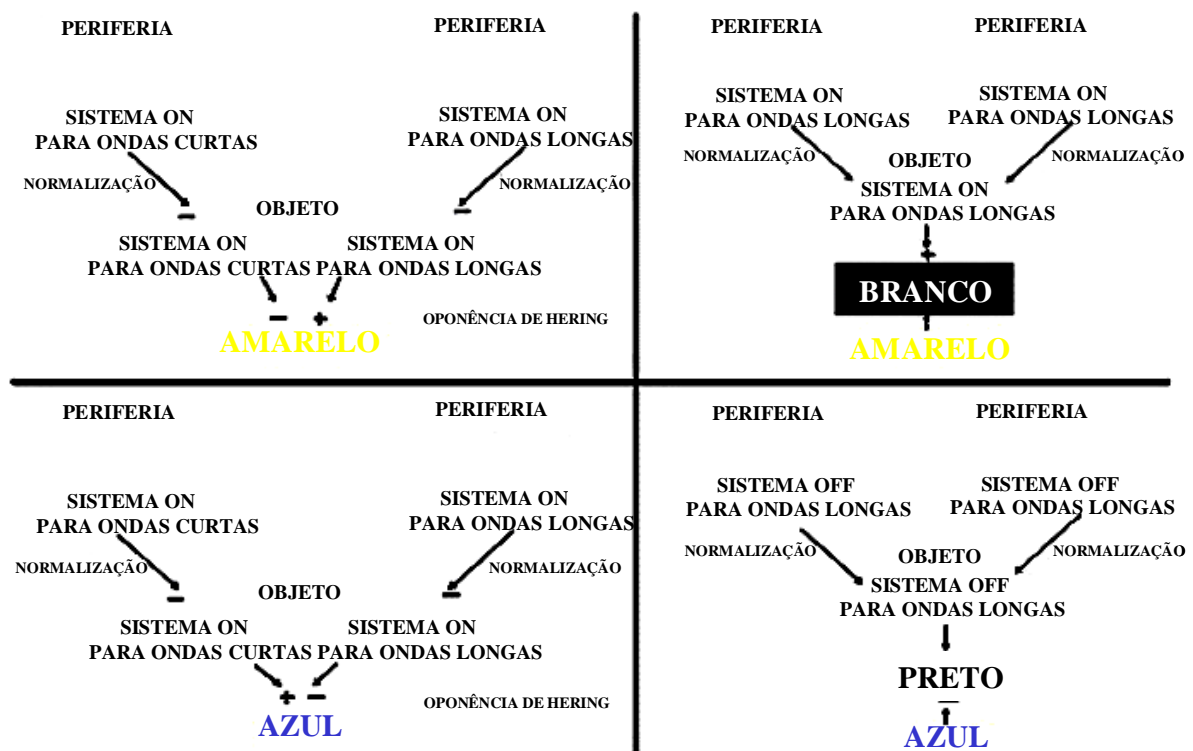


**Figura 17.** O modelo retinex de Land (Fonte: Disponível em <http://webvision.med.utah.edu/color.html#color%20vision>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Neste modelo, a comparação de sistemas de cones tipo S e L, necessária para a visão de cores, ocorreria após a normalização da luminosidade ter sido estabelecida dentro de cada sistema de cones. Isto requer o processamento independente das imagens dos cones tipo S e L de resposta tônica antes de serem comparadas (GOURAS; ZRENNER, 1981; GOURAS, 2006).



Um esquema razoável de como imagens formadas em separado pelos cones S e L são normalizadas se baseia na chamada dupla oponência de neurônios, encontrada no córtex visual dos primatas (MICHAEL, 1977). Neurônios de dupla oponência apresentam antagonismo especial entre o mecanismo que medeia o centro e a periferia do campo receptivo do mesmo cone, algo não visto tão fortemente na retina ou no NGL. Neste modelo, cones tipo L, respondendo ao objeto, excitam o neurônio, e cones tipo L, respondendo ao fundo, inibem o neurônio. Esta inibição normaliza as respostas sobre um espaço porque cria uma diferença entre as respostas de diferentes áreas retinianas, eliminando valores absolutos (Figura 18).



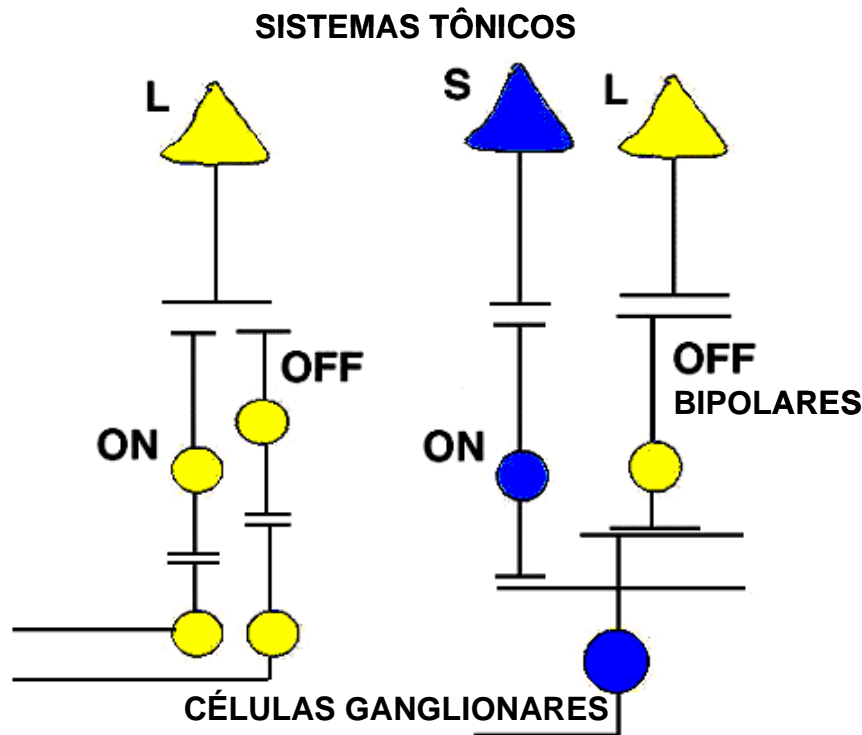
**Figura 18.** Demonstração de como um neurônio responsivo às cores amarelo e azul pode ser formado (Fonte: Disponível em <http://webvision.med.utah.edu/color.html#color%20vision>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Após a normalização, o contraste cromático é alcançado por duas comparações. Uma ocorre entre neurônios que refletem a luminosidade das imagens dos dois sistemas de cones na mesma área de espaço, antagonisticamente interagindo um com o outro para criar neurônios responsivos à diferença entre os dois (por exemplo,  $[S_{exc}ON - L_{inib}ON =$  neurônio responsivo a azul] ou  $[S_{inib}ON - L_{exc}ON =$  neurônio responsivo a amarelo]. Uma

segunda comparação envolve este sinal diferencial sendo comparado com aqueles das áreas adjacentes do espaço visual para a detecção de contraste cromático simultâneo (GOURAS; ZRENNER, 1981; GOURAS, 2006).

Assim, as cores branca, cinza e preto são vistas quando não há contraste cromático (por comprimento de onda), ou seja, outro grupo de neurônios, diferente daqueles responsivos a azul e amarelo, está respondendo. A cor branca, pura, requer que ambos os sistemas de cones S e L estejam respondendo igualmente. A cor preta requer que ambos os sistemas estejam em silêncio e o sistema de cones tipo L esteja respondendo. Deve haver sistemas separados de neurônios respondendo ao branco e ao preto. Se ambos são excitados simultaneamente, a sensação deve ser cinza (GOURAS; ZRENNER, 1981; GOURAS, 2006).

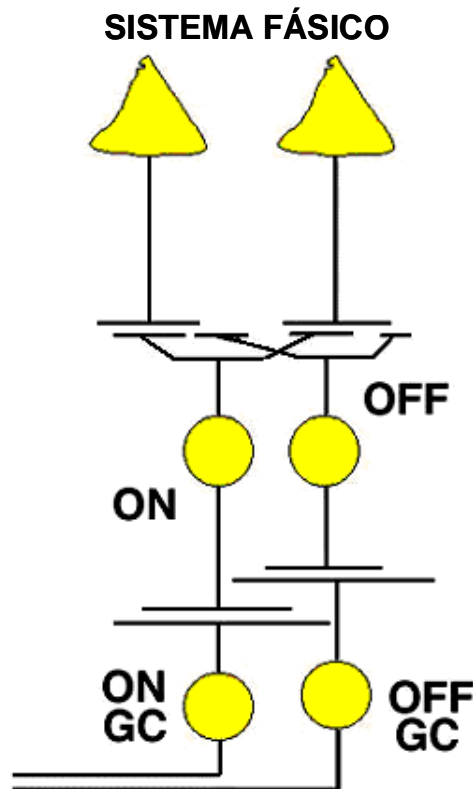
Neste sentido, são interessantes os aspectos da circuitaria retiniana revelados por dados oriundos de estudos feitos com homens que possuem um sistema de visão de cores divariante, apresentando somente dois tipos de cones, tipos S e L, assim como cães e gatos. Aparentemente, nestes casos ambos os sinais de contraste cromático e acromático são transmitidos por cones tipo L pelos mesmos canais das células bipolares e ganglionares (Figura 19, esquerda). As células bipolares (pequenas e lentas em condução) e as células ganglionares transmitem sinais tônicos dos cones tipo L para o encéfalo. Um canal é excitado por um aumento da absorção de luz pelos cones tipo L; isto é um canal ON. Outro canal é excitado por uma diminuição da absorção da luz pelos cones tipo L; isto é um canal OFF. No encéfalo ambos os sinais são processados por dois circuitos separados, um dos quais se extrai o contraste acromático e do outro o contraste cromático. Para o contraste acromático, sinais tônicos dos canais de cones tipo L adjacentes são comparados. Para o contraste cromático, sinais de canais de grupos de cones tipo L são comparados com aqueles de canais de cones tipo S (GOURAS; ZRENNER, 1981; GOURAS, 2006).



**Figura 19.** Circuitos neurais para sinais tônicos de cones tipo L (Fonte: Disponível em <http://webvision.med.utah.edu/color.html#color%20vision>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Já os cones tipo S transmitem seus sinais por outro sistema tônico de células bipolares e ganglionares (Figura 19, direita). Neste caso há somente canais ON de cones tipo S, presumivelmente porque esses cones somente estão envolvidos no contraste cromático, e não no acromático. Além disso, essas células ganglionares também recebem estímulos excitatórios de células bipolares OFF ligadas a cones tipo L. Isto aumenta sua sensibilidade ao contraste cromático sucessivo, ou seja, comprimento de onda curto seguido de comprimento de onda longo. Deste modo, o encéfalo faz duas comparações: compara os sinais dos cones tipo S e L na mesma área retiniana e então compara o resultado com as áreas adjacentes para detectar bordas ou limites de contraste cromático (GOURAS; ZRENNER, 1981; GOURAS, 2006).

Há um outro sistema de células bipolares maiores (fásico e veloz) e células ganglionares que também transmite sinais de cones tipo L para o encéfalo (Figura 20). Este sistema não é tão desenvolvido na fóvea como o sistema tônico, possui uma menor resolução espacial, e parece não desempenhar nenhum papel na visão de cores, pois apresenta uma alta sensibilidade ao contraste acromático (KAPLAN; SHAPLEY, 1986). Existem evidências de que este sistema contribua para a detecção da luminância (LEE *et al.*, 1990).



**Figura 20.** Circuitos neurais dos cones tipo L para bipolares de sinais fásicos (Fonte: Disponível em <http://webvision.med.utah.edu/color.html#color%20vision>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

## 1.7 Da Importância Geral Da Sensibilidade Ao Contraste Visual

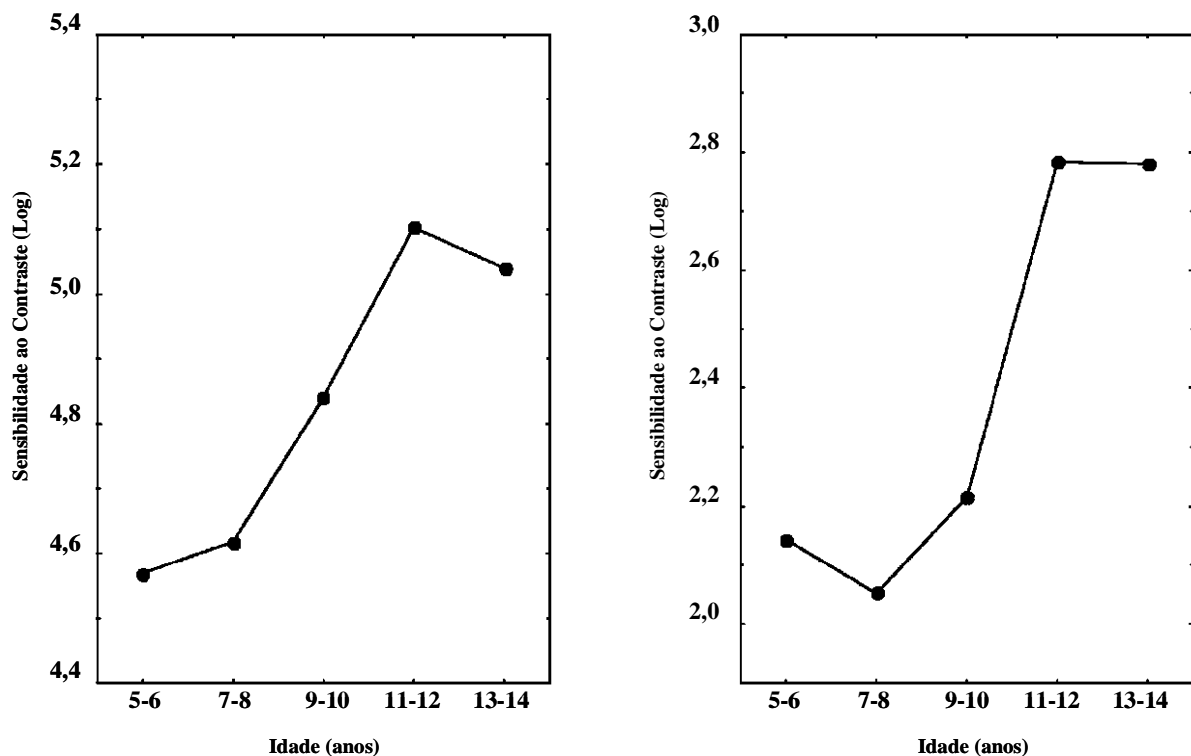
A sensibilidade ao contraste visual pode ser prejudicada ou até mesmo anulada por diversos fatores, desde alterações normais na fisiologia do organismo em desenvolvimento até o contato com substâncias biológicas ou químicas adversas. O reconhecimento deste padrão diferencial de prejuízo tem levado ao uso clínico do teste de sensibilidade ao contraste como complementação diagnóstica. Deste modo, aqui se inicia uma descrição geral de dados e relatos encontrados na literatura científica sobre o uso do teste de sensibilidade ao contraste, e de como este fino instrumento de avaliação funcional é importante à pesquisa sobre o desenvolvimento e a fisiologia do sistema nervoso e visual, no diagnóstico de doenças, entre outros aspectos.

### 1.7.1 Da Diferença De Sensibilidade Ao Contraste Entre Crianças E Idosos

Com a idade, vários aspectos relacionados à visão sofrem modificações importantes, sendo um desses aspectos a sensibilidade ao contraste (DEREFELDT *et al.*,

1979; AKUTSU *et al.*, 1991). Em crianças humanas recém nascidas, por exemplo, a sensibilidade ao contraste visual é pobre. Durante este período, a sensibilidade da criança pode ser limitada por fatores físicos que afetem a captura de fótons, tais como o tamanho dos olhos e a densidade de fotorreceptores. Em um estudo com 32 crianças, com idade entre 6 e 30 semanas de vida, Skoczenski e Norcia (1998) demonstraram que a sensibilidade visual das crianças também é limitada por altos níveis de ruído (interferência) no processo de transdução neural. Esses autores relatam que o ruído neural intrínseco em neonatos é aproximadamente 9 vezes mais alto do que em adultos. Com a diminuição do ruído neural intrínseco durante a infância, a sensibilidade ao contraste melhora proporcionalmente, sugerindo que o ruído neural estabelece limites críticos sobre a sensibilidade ao contraste durante todo o desenvolvimento. Além disso, embora crianças prematuras saudáveis demonstrem frequentemente ser mais atentas a estímulos visuais do que crianças nascidas dentro do período normal de gestação, durante seu desenvolvimento há equivalência de sensibilidade ao contraste entre elas, o que sugere que a experiência visual não interfere no desenvolvimento da via visual primária (OLIVEIRA *et al.*, 2004).

Num trabalho que relata dados de sensibilidade ao contraste em condições fotópicas e escotópicas de 169 crianças, com idade entre 5 e 14 anos, Benedek e colaboradores (2003) demonstram a marcante maturação tardia da sensibilidade ao contraste temporal em frequências espaciais baixas sob condições escotópicas (Gráfico 14). De acordo com estes autores, há um desenvolvimento tardio da sensibilidade ao contraste, e as baixas frequências espaciais mostram um desenvolvimento mais pronunciado se comparado com as de alta frequência.



**Gráficos 14.** O desenvolvimento da sensibilidade ao contraste visual sob condições fotópica e escotópica (Fonte: Modificado de BENEDEK *et al.*, 2003).

Entretanto, o desenvolvimento da sensibilidade ao contraste específico para frequências espaciais pode ser explicado pelas melhorias na capacidade de atenção dependentes da idade, o que pode levar a melhorias correlatas em cada frequência espacial (BENEDEK *et al.*, 2003).

Além disso, Ross (1992) testou 220 crianças, com idade entre 7-12 anos, e 20 adultos, para sensibilidade ao contraste espacial, com estímulos sinusóides verticais, horizontais e oblíquos. Os adultos apresentaram sensibilidade média maior do que as crianças, mas os meninos apresentaram sensibilidade média maior do que as meninas, o que sugere uma possível relação de gênero.

E, finalmente, afim de determinar a prevalência de prejuízos visuais, entre outras condições, e se tais prejuízos estariam associados com quedas, Lord e colaboradores (1994) avaliaram 414 em mulheres com idade de 65-99 anos. Estes autores revelaram que mulheres com histórico de múltiplas quedas possuíam significativa associação com baixa sensibilidade ao contraste, entre outras condições. Também neste sentido, Anstey e colaboradores (1997), investigando a associação entre variáveis sensorio-motoras indicativas de envelhecimento biológico e cognitivo em 202 mulheres com idade entre 60-86 anos,

utilizaram o teste de sensibilidade ao contraste visual e concluíram que o mesmo é um bom indicador de envelhecimento cognitivo.

### **1.7.2 Da Sensibilidade Ao Contraste Nas Doenças Neuro-Oftalmológicas**

A catarata é uma opacificação das lentes normalmente claras do cristalino que geralmente ocorre bilateralmente. Há três tipos de catarata relacionadas à idade, que podem ocorrer sozinhas ou em conjunto. Todos os tipos podem comprometer seriamente a função visual pela diminuição da acuidade visual e da sensibilidade ao contraste (JACKSON; OWSLEY, 2003).

Outro sério processo prejudicial à visão é a maculopatia relacionada à idade (MRI), a qual ocorre em duas fases. A de ocorrência mais precoce é caracterizada por um prejuízo moderado da acuidade visual na visão central associado com lesões extracelulares e mudanças na pigmentação e morfologia do epitélio pigmentar da retina. Já a MRI de ocorrência tardia, a qual causa severa perda da acuidade, é caracterizada por extensa atrofia do epitélio pigmentar da retina. Além das reduções na acuidade, pessoas com MRI também apresentam disfunção escotópica, deficiências na percepção de cor e perda da sensibilidade ao contraste (JACKSON; OWSLEY, 2003).

Na retinose pigmentar (RP), composta por uma família de doenças retinianas degenerativas que resultam em anormalidades de fundo características, sintomas de cegueira noturna e perda progressiva da visão periférica são característicos. Parece que em todas as formas de RP ambos os fotorreceptores (cones e bastonetes) são afetados. Embora o dano pareça ocorrer predominantemente nos bastonetes, o sistema de cones é comprometido em vários graus e em diferentes tipos de RP. Além disso, vários estudos psicofísicos têm relatado alterações no processamento temporal em pacientes com RP, descrevendo reduzida sensibilidade ao contraste temporal (FELIUS; SWANSON, 1999).

Já a principal característica da retinopatia diabética é a ocorrência de alterações nos pequenos vasos sanguíneos na retina, o que pode causar prejuízo na acuidade e outros problemas funcionais da visão, tais como perda da visão periférica, deficiência de cor, além de perdas de sensibilidade ao contraste (JACKSON; OWSLEY, 2003).

Finalmente, na neuropatia óptica hereditária de Leber, uma desordem mitocondrial, jovens adultos apresentam perda de visão central bilateralmente, com redução acentuada da acuidade visual e discromatopsia. Interessante o relato de que mesmo portadores

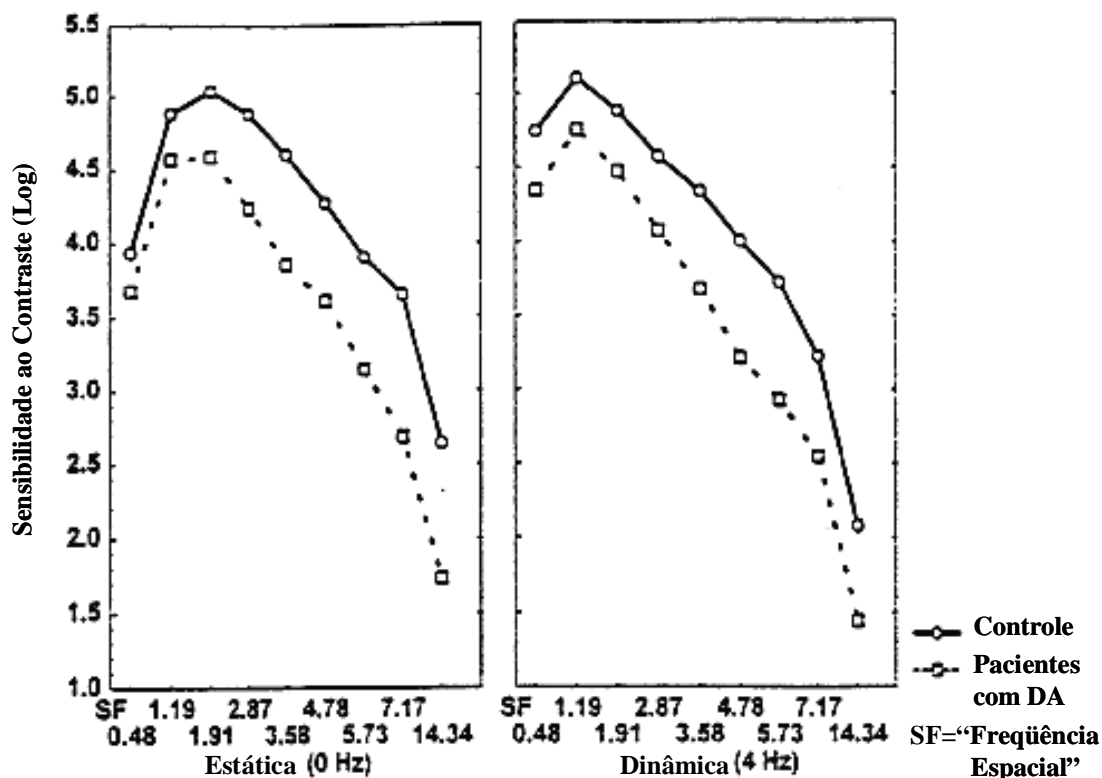
assintomáticos de uma mutação relacionada a esta desordem apresentam perda significativa de sensibilidade ao contraste espacial cromático e de luminância, mas não de sensibilidade temporal (VENTURA *et al.*, 2005).

### **1.7.3 Da Sensibilidade Ao Contraste Nas Doenças Neurodegenerativas**

Na Doença de Parkinson (DP), doença neurodegenerativa que prejudica as funções cognitiva, motora, e sensorial, o prejuízo primário da função visual parece ser causado pela perda de neurônios dopaminérgicos na retina. Entretanto, todas as perdas visuais associadas à DP não podem ser atribuídas a origens retinianas, pois áreas do NGL e do córtex visual, as quais também contêm células dopaminérgicas, são susceptíveis à DP. Estudos sobre os efeitos desta doença sobre a sensibilidade ao contraste fornecem mais evidências de que a mesma afeta o estímulo das células ganglionares retinianas. A sensibilidade ao contraste espacial medida nestes pacientes é reduzida (JACKSON; OWSLEY, 2003).

Já sobre a Doença de Alzheimer (DA), uma desordem neurodegenerativa caracterizada pelo início insidioso de uma demência progressiva a partir da meia-idade, vários artigos descrevem os problemas funcionais visuais dos pacientes, incluindo acuidade reduzida, sensibilidade ao contraste espacial reduzida, acromatopsia, deficiências na percepção de forma e movimento, e lentificação da velocidade de processamento visual. Contudo, a presença ou não dessas deficiências visuais ainda é discutida; alguns estudos relatam deficiências em pacientes com DA na acuidade visual e na sensibilidade ao contraste, enquanto que outros estudos relatam normalidade para esses parâmetros visuais (Gráfico 15) (KÉRI *et al.*, 1999; JACKSON; OWSLEY, 2003).

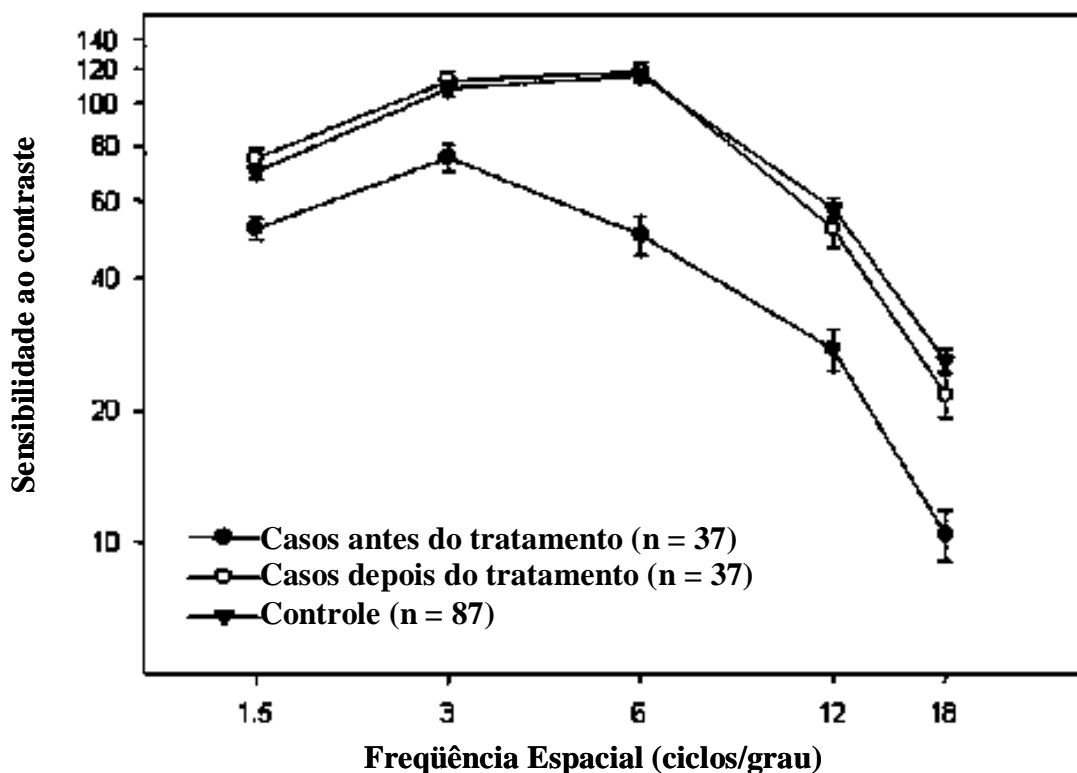




**Gráficos 15.** Sensibilidade ao contraste espacial e temporal ilustrada para indivíduos controle e pacientes com DA (Fonte: Modificado de KÉRI *et al.*, 1999).

#### 1.7.4 Da Neurotoxicologia Da Sensibilidade Ao Contraste

As biotoxinas podem se tornar um risco emergente para a saúde humana. Recentes proliferações de dinoflagelados estuarinos (*Pfiesteria* sp.) foram associadas a doenças humanas na costa dos Estados Unidos, além de prejudicar a saúde de laboratoristas, os quais apresentaram sinais de toxicidade após manterem contato respiratório com aerossóis de aquários povoados por estas espécies. Neste sentido, tem sido dada especial atenção a uma síndrome humana associada às espécies de *Pfiesteria*, conhecida como *Síndrome de Possível Associação Estuarina* (PEAS, do inglês *Possible Estuary Associated Syndrome*), caracterizada por sintomas multi-sistêmicos, baixo desempenho em testes neuropsicológicos de funções cognitivas e, principalmente por, em seu início, apresentar perdas severas e rápidas na sensibilidade ao contraste visual. Contudo, após a administração terapêutica de colestiramina (um polímero não-absorvível com capacidade de ligação aniônica a substâncias tóxicas, permitindo sua melhor eliminação), a síndrome desaparece em alguns dias, e a sensibilidade ao contraste visual retorna ao normal (Gráfico 16) (HUDNELL, 2005).



**Gráfico 16.** Tratamento de casos de PEAS. Perfil da sensibilidade ao contraste visual para casos de PEAS antes e depois do tratamento com colestiramina (Fonte: Modificado de HUDNELL, 2005).

Outra variável importante na manifestação de prejuízos visuais é a intoxicação por metais pesados. Em seus estágios tardios, o efeito tóxico da exposição mercurial nas funções visuais do homem compromete de modo severo o campo visual periférico. Além disso, existem relatos de prejuízo de visão de cor, além de perda de sensibilidade ao contraste espacial e temporal de luminância (RICE; GILBERT, 1990; FEITOSA-SANTANA *et al.*, 2007). Deste modo, há uma necessidade cada vez mais urgente do desenvolvimento de protocolos específicos e sensíveis, os quais possam ser usados para monitorar e detectar os estágios precoces de disfunção visual devido à intoxicação mercurial, principalmente por sua importante ocorrência na região amazônica (SILVEIRA *et al.*, 1999, 2004b; RODRIGUES *et al.*, 2007).

Por outro lado, a cloroquina e seus análogos, usados no tratamento de malária, lupus eritematoso sistêmico, artrite reumatóide e outras condições inflamatórias e dermatológicas, apresentam efeitos colaterais importantes sobre as estruturas do olho, caracterizadas principalmente como retinotoxicidade e depósitos corneanos. Num estudo com pacientes usuários de cloroquina sem alterações no exame de fundo de olho, a sensibilidade ao contraste esteve dentro dos valores normais; porém, vale ressaltar que os pacientes

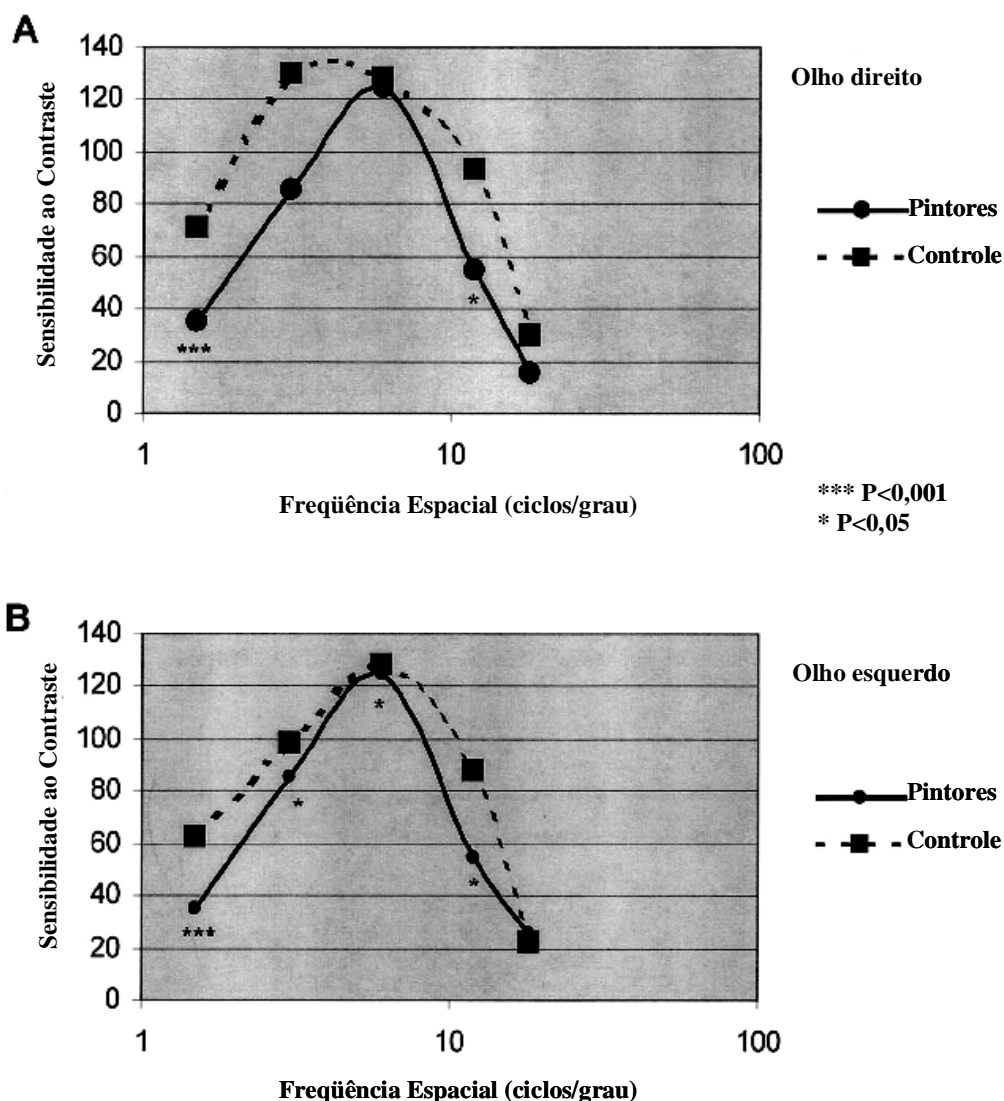
submetidos ao teste de sensibilidade ao contraste possuíam uma baixa dose acumulada da droga, e que em indivíduos com altas doses acumuladas não se pode excluir um prejuízo de sensibilidade ao contraste (VENTURA *et al.*, 2003).

### **1.7.5 Da Sensibilidade Ao Contraste Na Medicina Ocupacional**

O sistema visual pode ser afetado adversamente pela exposição a várias substâncias encontradas no trabalho. Deste modo, muitas doenças dos olhos afetam a sensibilidade ao contraste, mas são indiferentes à acuidade visual (BOECKELMANN; PFISTER, 2003).

A toxicidade dos solventes orgânicos é um dos mais importantes assuntos emergentes no campo da saúde ocupacional. Os efeitos neurotóxicos dos solventes estão bem documentados. Solventes orgânicos são de uma classe química de compostos que são usados rotineiramente na indústria de tintas. Frequentemente, os trabalhadores são expostos a misturas de solventes, podendo sofrer de distúrbios de diferentes funções psicológicas/psicofisiológicas.

Boeckelmann e Pfister (2003) estudaram a sensibilidade ao contraste visual em vários indivíduos expostos de forma ocupacional a solventes orgânicos. A sensibilidade ao contraste foi medida em 42 pintores e 28 indivíduos controle de várias idades. Os trabalhadores expostos compreenderam três grupos, com baixa, média e alta exposição, respectivamente. Resultados com sensibilidade ao contraste alterada, em baixas frequências espaciais, foram registrados para o olho direito em 38% dos pintores e em 11% dos controles; para o olho esquerdo, 38% dos pintores e 7% dos controles apresentaram tais alterações. Além disso, a redução na sensibilidade ao contraste foi encontrada em todos os três grupos de trabalhadores expostos, e em ambos os olhos (Gráfico 17). Deste modo, Boeckelmann e Pfister concluíram que a reduzida sensibilidade ao contraste em pintores parece ser um indicador de defeitos visuais induzidos em resposta a exposição a solventes orgânicos.



**Gráficos 17.** Comparação da média por grupo para a curva de sensibilidade ao contraste. A (olho direito). B (olho esquerdo). (Fonte: Modificado de BOECKELMANN; PFISTER, 2003).

Também investigando a relação entre trabalhadores expostos em sua ocupação a uma mistura de solventes orgânicos e suas funções visuais, incluindo a sensibilidade ao contraste visual, Gong e colaboradores (2003) testaram 182 indivíduos expostos a solventes orgânicos e 96 indivíduos controle. Os valores encontrados para a sensibilidade ao contraste foram significativamente mais baixos nos indivíduos expostos.

Já no campo de trabalho dos profissionais de saúde, a Organização Mundial da Saúde alerta que na prática da odontologia, a manipulação do amálgama dentário torna o profissional um dos mais expostos aos efeitos do mercúrio em ambiente de trabalho, apresentando disfunções visuais de discriminação de cor e perda de sensibilidade ao contraste visual (CANTO-PEREIRA *et al.*, 2005).

O uso interativo de técnicas de imageamento por ressonância magnética está aumentando em salas de cirurgia, particularmente no campo da neurocirurgia. De Vocht e colaboradores (2003) estudaram os efeitos neurocomportamentais da exposição a campos magnéticos de um sistema de ressonância magnética de 1,5 Tesla em 17 voluntários (38-57 anos) que trabalham com tal sistema. Efeitos adversos foram encontrados na sensibilidade ao contraste visual, apesar de terem sido considerados inconclusos devido a um forte efeito de aprendizagem.

Entretanto, apesar de os agricultores também comporem um grupo de trabalhadores vulneráveis em sua ocupação a várias substâncias tóxicas, incluindo pesticidas que muitas vezes são neurotóxicos, Kamel e colaboradores (2003) compararam o desempenho em teste de sensibilidade ao contraste visual de 288 agricultores, os quais estiveram trabalhando pelo menos durante o último mês expostos a pesticidas agrotóxicos, com o de 51 indivíduos controle que não estiveram naquelas condições de trabalho, e não encontraram diferenças significativas entre os grupos de estudo.

Deste modo, o teste rotineiro da sensibilidade ao contraste é muito importante para a detecção precoce de patologia ocupacional, apesar de algumas discrepâncias possivelmente relacionadas com as diferentes técnicas e metodologias adotadas. Os médicos do trabalho deveriam medir a sensibilidade ao contraste, como um método adicional para avaliar um dano neurotóxico incerto. A sensibilidade ao contraste fornece uma medida mais compreensiva da visão funcional (BOECKELMANN; PFISTER, 2003).

O teste de sensibilidade ao contraste é barato, não-invasivo, e pode ser usado como um procedimento suplementar. Entretanto, não deve ser usado isoladamente, pois a diminuição da sensibilidade ao contraste pode ser conseqüência de muitas causas. Além disso, certos tipos de prejuízo na sensibilidade ao contraste podem indicar diferentes problemas visuais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Do Objetivo Geral**

O objetivo deste trabalho é a determinação de valores normativos de sensibilidade ao contraste espacial e temporal de luminância para uso clínico, através da aplicação de testes psicofísicos computadorizados.

### **2.2. Dos Objetivos Específicos**

- a) Medição de limiares de sensibilidade ao contraste espacial de luminância;
- b) Medição de limiares de sensibilidade ao contraste temporal de luminância;
- c) Avaliação dos limiares de sensibilidade ao contraste encontrados enquanto parâmetros de normalidade;
- d) Validação dos programas desenvolvidos no Laboratório de Neurofisiologia do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará para o teste de sensibilidade ao contraste espacial e temporal de luminância;

### **3 CASUÍSTICA, MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Do Ambiente De Avaliação Visual**

Estruturalmente, todo o trabalho desenvolvido envolve: (1) a utilização de métodos psicofísicos para a determinação das variáveis psicofísicas dependentes, (2) o emprego de padrões gráficos para a realização das tarefas de avaliação visual, e (3) o armazenamento contínuo e permanente das informações dos indivíduos testados e dos resultados dos testes realizados, formando assim um crescente banco de dados.

#### **3.2 Dos Recursos De Hardware Utilizados**

Os aplicativos utilizados no estudo do sistema visual humano foram desenvolvidos em linguagem de programação C++, em ambiente de desenvolvimento C++ Builder 3.0, para o uso em plataformas IBM-PC, sendo utilizado o modelo Pentium IV 1.7GHz, com 512MB de RAM e disco rígido de 40GB. A estimulação visual é gerada por placa gráfica ANNIHILATOR 2, da CREATIVE, com paleta de cores de 24 bits (8 bits por canal). Os padrões gráficos são apresentados em monitor de vídeo modelo SONY Multiscan G420, de 19 polegadas, com resolução espacial de 1024 x 768 pixels, frequência horizontal de 98,8kHz e frequência de varredura vertical de 120Hz.

#### **3.3 Do Ajuste Da Função Gama**

A relação entre a intensidade luminosa gerada nos monitores e a voltagem de entrada nos canhões do tubo de raios catódicos foi linearizada por software proprietária da placa gráfica. A luminância de saída foi medida pelo uso de um colorímetro digital modelo Chroma Meter CS-100A, da Konica Minolta, de 1° de abertura angular, colocado a 1 metro de distância da tela e dirigido para o seu centro. O processo de linearização da função gama, para cada um dos canhões do monitor foi realizado com  $\gamma = 2,4$ .

### **3.4 Da Calibração Dos Monitores Para O Mapeamento Entre Sistemas RGB E CIE**

Após a compensação do efeito da função gama para o monitor, a calibração necessária para uma representação adequada de cores pelos programas foi realizada através do uso de valores padrões de cromaticidade para monitor da tecnologia CRT (POYNTON, 1995), obtidos através do uso de um colorímetro marca CS-100A da Konica Minolta. Esta estratégia possibilitou a medida direta das coordenadas de cromaticidade de cada um dos canhões (COWAN, 1983; MOLLON; BAKER, 1995). O mapeamento entre os espaços de cores RGB e XYZ foi realizado pelas transformações lineares derivadas das transformações apresentadas por Cowan (1983).

### **3.5 Da Geração de Tons de Cinza Adicionais**

Por causa da integração espacial realizada pelo sistema visual, uma média dos detalhes finos de uma imagem é realizada quando esta corresponde a uma pequena área vista a uma distância suficientemente grande. A intensidade luminosa de cada um dos finos detalhes espaciais é integrada de forma a ser percebida apenas a intensidade geral da imagem. Quando este fenômeno é utilizado para a criação de imagens em dispositivos de impressão e de reprodução digital de imagens, ele é conhecido como técnica de *dithering* (GOMES; VELHO, 1994, 1995).

Esta técnica é utilizada para a obtenção de valores intermediários de luminância, permitindo a reprodução de níveis adicionais de cinza. Isto possibilita a obtenção de níveis adicionais de contraste baixo, condição necessária para certas formas de avaliação visual, como a medição da sensibilidade ao contraste de luminância, principalmente em frequências espaciais ou temporais médias, onde o sistema visual é mais sensível. Portanto, esta técnica é adequada para a geração de estimulação visual em testes de medição de limiar (MOLLON; BAKER, 1995).

Através do uso da *dithering* foi possível a obtenção de valores de intensidade na geração de redes senoidais de luminância equivalentes a 10 bits de resolução.



### **3.6 Dos Indivíduos Testados**

Neste estudo foram avaliados indivíduos de ambos os sexos, na faixa etária de 16 a 30 anos. Os indivíduos foram recrutados para os testes mediante anúncio em sala de aula para alunos de graduação, anúncio entre funcionários da Universidade Federal do Pará, entre familiares e conhecidos desses.

Os indivíduos foram inicialmente esclarecidos sobre os objetivos da avaliação psicofísica, fornecendo permissão escrita para participar dos testes psicofísicos e informando os detalhes de sua história clínica (ver ANEXOS 1 e 2). Em caso de menores de 18 anos, a permissão dos pais e a atitude voluntária do indivíduo foram respeitadas e obrigatórias.

Foram considerados critérios de exclusão a intercorrência de alterações oftalmológicas, neuro-oftalmológicas ou neurológicas, assim como doenças sistêmicas de potencial repercussão oftalmológica ou neurológica. Indivíduos com ametropias só participaram dos testes se sua refração estivesse corrigida a partir de avaliação clínica recente, realizada a menos de um ano. E indivíduos cuja ocupação pudesse interferir como fator de risco para alterações visuais também foram excluídos.

Este trabalho foi avaliado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, como parte integrante do projeto “Núcleo de Excelência em Neuropatologias Emergentes – Desenvolvimento de Tecnologia para Monitoramento Neurofisiológico da Saúde de Populações Amazônicas”, cujas diretrizes atenderam as exigências da Resolução 196/96-CNS/MS (Protocolo N° 038/2004-CEP/NMT)(ver ANEXO 3) .

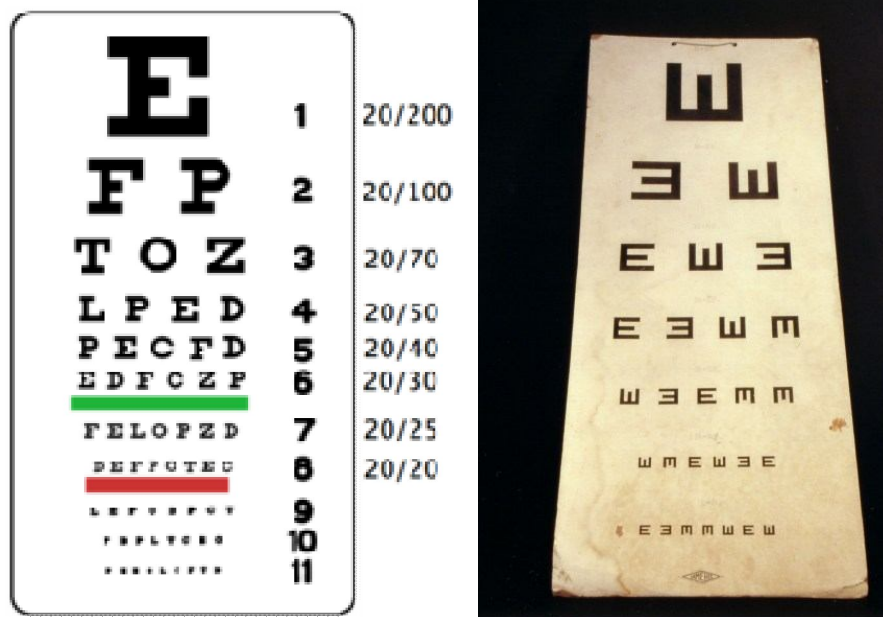
### **3.7 Dos Paradigmas De Avaliação Visual**

#### **3.7.1 Do Teste De Avaliação Da Acuidade Visual**

Inicialmente, os indivíduos foram submetidos a uma avaliação oftalmológica rotineira, o Teste de Acuidade Visual com Optótipos de Snellen. Este teste clássico indica se os indivíduos apresentam acuidade normal, possibilitando assim a continuação dos testes psicofísicos em computador.

Este teste é realizado obrigatoriamente em ambiente sob condições satisfatórias de iluminação. O indivíduo é posicionado a 6 metros de distância, olhando para um quadro

contendo um conjunto de 55 letras – os optótipos de Snellen (Figura 21). Estas letras estão ordenadas em fileiras no sentido horizontal do quadro (escala optométrica) sendo apresentadas em diferentes dimensões e formatos em cada linha, o que limita a capacidade de observação do indivíduo caso este apresente problemas na discriminação visual.



**Figura 21.** Optótipos de Snellen. (Esquerda) Teste para pessoas alfabetizadas (Fonte: Disponível em <http://id302.securedata.net/infocsonline.org/merchantmanager/index.php?cPath=2&mmsid=78cea225866a82d7ede814db9ee754a0>. Acessado e modificado em novembro de 2006); (Direita) Teste para pessoas iletradas (Fonte: Disponível em <http://www.jeuglab.nl/?action=weblab&item=47>. Acessado e modificado em novembro de 2006).

Durante o teste, o indivíduo é instruído a olhar fixo para o quadro com os optótipos, começando pelas fileiras superiores e, logo em seguida, passando para as fileiras inferiores subsequentes, sempre relatando verbalmente qual letra está conseguindo observar. Os testes são monoculares, em ambos os olhos. O resultado deste teste é determinado pela relação da última fileira descendente da escala em que o indivíduo consegue discriminar as letras, com o valor da escala relacionado a esta fileira (na figura, observado na extrema direita do quadro de teste para pessoas alfabetizadas). O padrão ideal de normalidade para este teste em indivíduos que não necessitem de correção dióptrica é de 20/20.

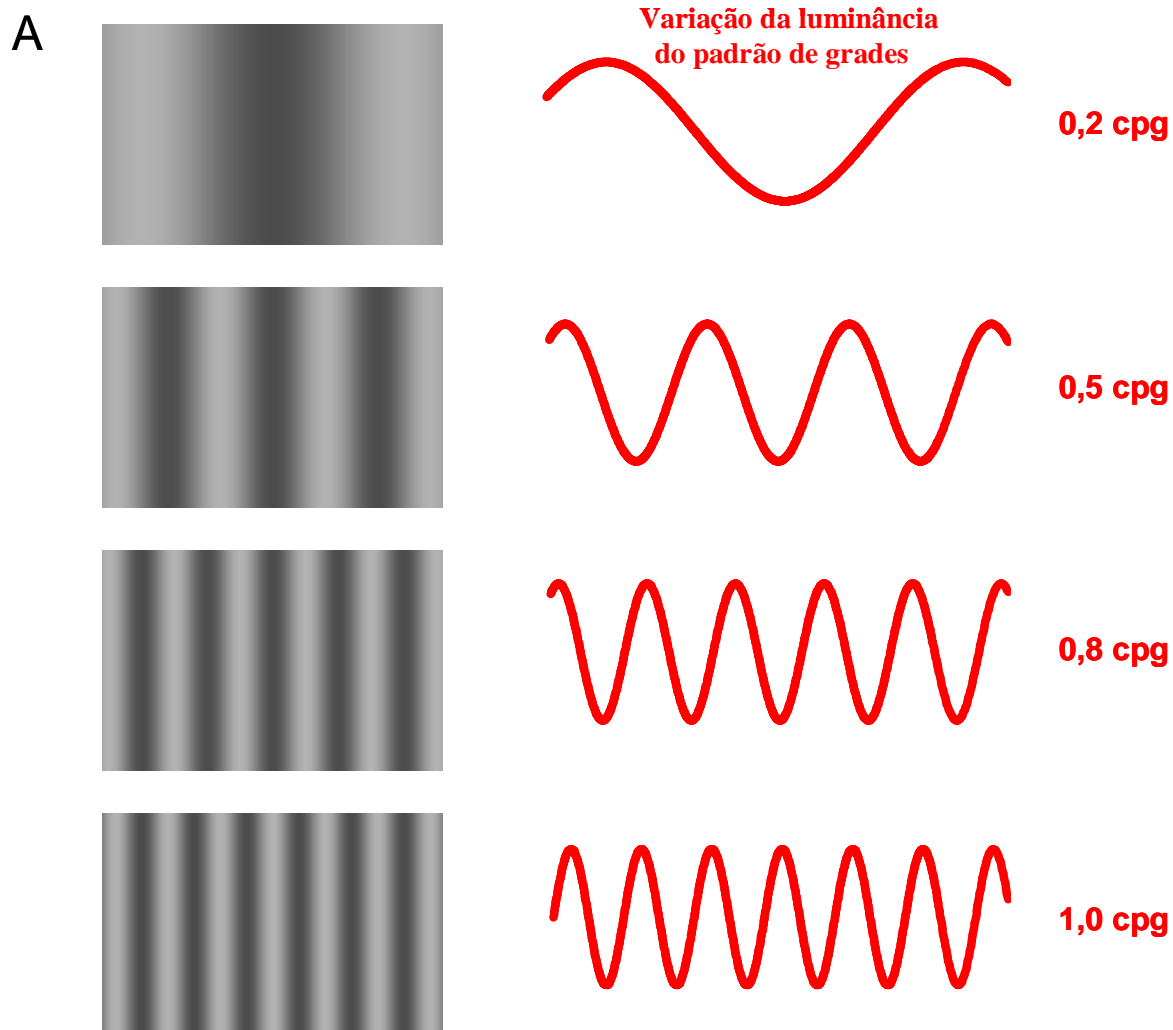
### **3.7.2 Dos Testes De Avaliação Psicofísica Das Funções De Sensibilidade Ao Contraste**

Todos os testes em computador foram realizados monocularmente, em ambiente não iluminado por outra fonte luminosa que não o monitor do computador. Tal medida é adotada para evitar-se a necessidade de levar em consideração outras fontes luminosas na calibração e exibição dos estímulos visuais.

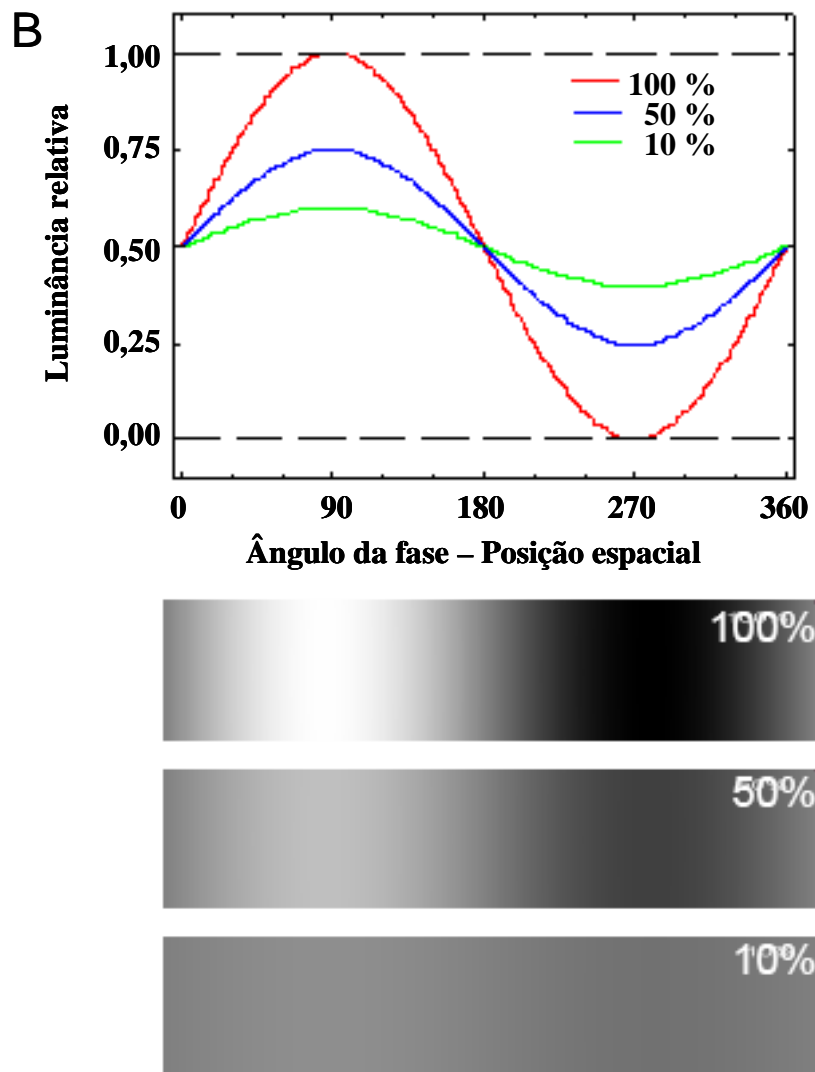
Os programas de computador, assim como os estímulos visuais de ambos os testes psicofísicos utilizados neste trabalho, foram desenvolvidos no Laboratório de Neurofisiologia do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, pelo Prof. MsC Anderson Raiol Rodrigues.

### **3.7.3 Do Teste De Sensibilidade Ao Contraste Espacial De Luminância**

Para a determinação da função de sensibilidade ao contraste espacial de luminância, é realizado um teste que descreve a variação da sensibilidade do indivíduo testado quanto à percepção de contraste simultâneo numa certa faixa de frequências espaciais. O estímulo utilizado consiste de um padrão espacial isocromático que se propaga ao longo da direção perpendicular à tela do monitor, e que é formado por barras claras e escuras (Figura 22), cuja luminância, também perpendicular a essas barras, é modulada senoidalmente em torno da luminância média da tela do monitor (Figura 23). Ou seja, quanto mais distante a luminância relativa do padrão de barras estiver da luminância média da tela do monitor, maior o contraste observado (100%), e vice-versa. E quanto menor o ângulo (posição) da fase do padrão espacial, maior é a frequência espacial obtida, e vice-versa.



**Figura 22.** Exemplo simplificado dos estímulos utilizados na medida da função de sensibilidade ao contraste de luminância. Na esquerda são apresentados os padrões espaciais estáticos como observados na tela do computador durante os testes. Na direita está representado como a variação no ângulo da fase do padrão espacial resulta em diferentes frequências espaciais (e como a luminância do padrão espacial varia perpendicularmente a luminância média da tela do computador). cpg, ciclos por grau (Fonte: Modificado de RODRIGUES, 2003).



**Figura 23.** Exemplo simplificado de como as diferentes freqüências espaciais e o contraste de luminância podem ser obtidos. O gráfico relaciona como a variação da luminância relativa dos padrões espaciais estáticos, em relação a luminância média da tela do computador, determina a obtenção de maior (linha vermelha) ou menor (linha verde) contraste observado durante os testes. A variação no ângulo da fase do padrão espacial (neste caso, 360°) resulta em diferentes freqüências espaciais (ou seja, padrões de barras mais estreitos ou mais largos) (Fonte: Disponível em [http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09\\_17-zana.pdf](http://www.vision.ime.usp.br/~creativision/seminars/files/2004/09_17-zana.pdf). Acessado e modificado em novembro de 2006).

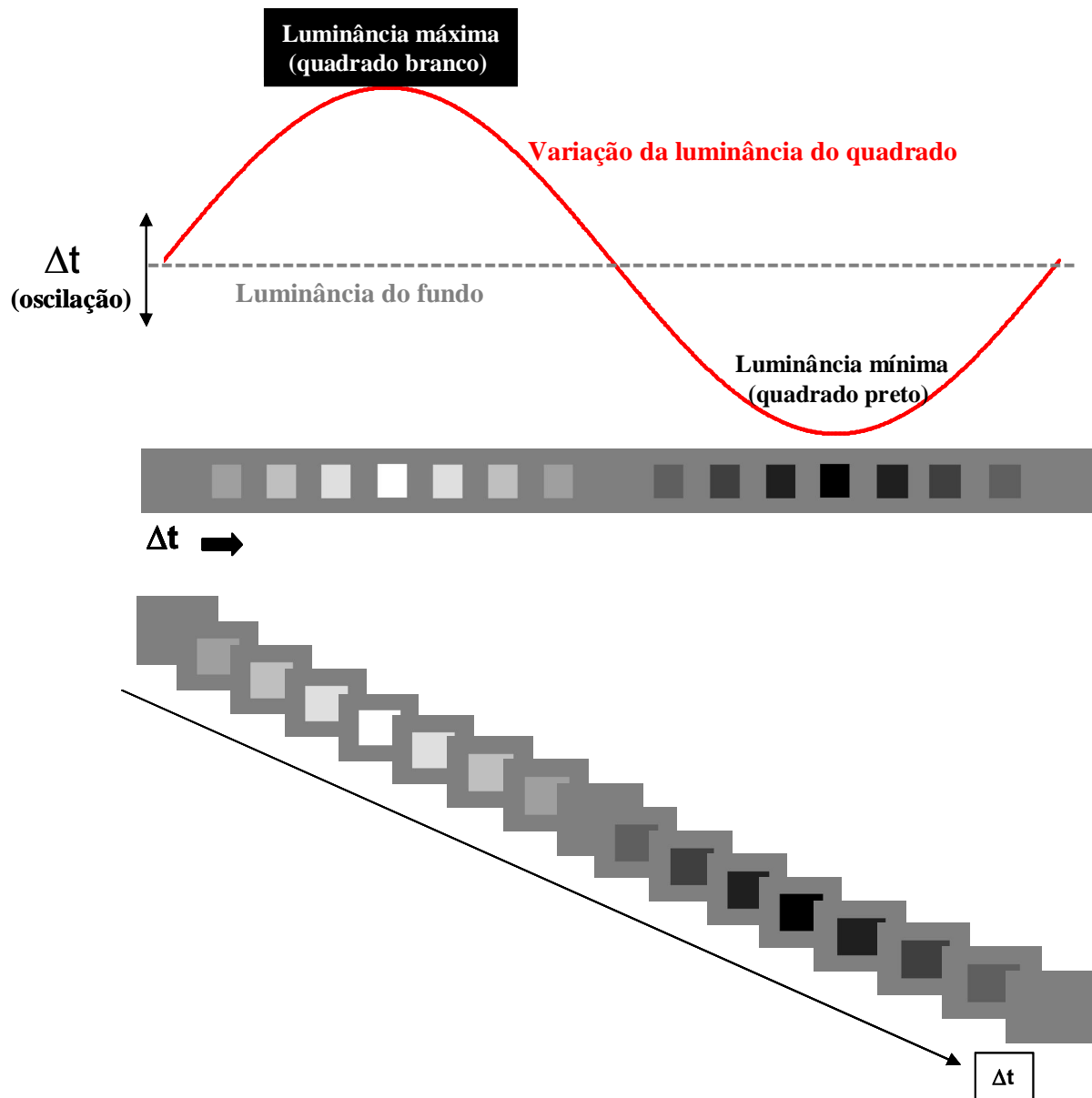
Os testes são realizados na distância de três (3) metros, abrangendo onze (11) freqüências espaciais (0,2, 0,5, 0,8, 1, 2, 4, 6, 10, 15, 20 e 30 ciclos/grau). A tela em que o padrão é exibido é retangular e mede 0,034m por 0,027m, correspondendo à extensão angular de 6,5° por 5° de ângulo visual a 3m de distância, com a luminância média 43,5cd/m<sup>2</sup>. A diferença de luminância entre as barras claras e escuras determina o contraste da rede, apresentado em valores entre 0 – 1, calculados através da fórmula de Michelson.

O teste é iniciado com a apresentação do estímulo em contraste sublimiar. O indivíduo é testado através do método em escada, definindo o contraste perceptível até o contraste limiar ser alcançado (CAMPBELL *et al.*, 1981).

Os resultados são mostrados em valores de sensibilidade ao contraste, correspondente ao inverso do contraste limiar. Para cada indivíduo foram realizadas quatro (4) tentativas nas onze (11) frequências espaciais, sendo a primeira tentativa descartada para evitar o baixo desempenho por desconhecimento do uso do sistema. Os resultados são mostrados numericamente como a média e o desvio padrão de sensibilidade ao contraste, e graficamente como a média, desvio padrão e limites de tolerância e de confiança de sensibilidade ao contraste, em cada frequência testada.

#### **3.7.4 Do Teste De Sensibilidade Ao Contraste Temporal De Luminância**

Para a determinação da função de sensibilidade ao contraste temporal de luminância, é realizado um teste que descreve a variação da sensibilidade do indivíduo testado quanto à percepção de contraste simultâneo numa certa faixa de frequências temporais. O estímulo utilizado consiste de um plano isoluminante projetado em toda a tela do monitor, dentro do qual uma área quadrada central apresenta variação senoidal de luminância em relação a luminância da área geral deste plano, através de oscilações temporais em 7 frequências: 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 16,0, e 32,0 Hertz (Figura 23).



**Figura 24.** Exemplo simplificado dos estímulos utilizados na medida da função de sensibilidade ao contraste temporal de luminância. No diagrama superior, a linha vermelha representa como a luminância varia em frequência perpendicularmente à luminância do fundo da tela para cada um dos estímulos e nos quadros sequenciais abaixo são apresentados os estímulos que representam as telas do teste.

Os testes são realizados na distância de três (3) metros. A tela em que o padrão é exibido é retangular e mede 0,034m por 0,027m, correspondendo à extensão angular de 6,5° por 5° de ângulo visual a 3m de distância, com a luminância média 43,5cd/m<sup>2</sup>. A diferença de luminância entre o estímulo quadrado e o fundo determina o contraste, apresentado em valores entre 0 – 1, calculados através da fórmula de Michelson.

O teste é iniciado com a apresentação do estímulo quadrado sobre um fundo isocromático, em contraste sublimiar. O indivíduo é testado através do método em escada, definindo o contraste perceptível até o contraste limiar ser alcançado.

Os resultados são mostrados em valores de sensibilidade ao contraste, correspondente ao inverso do contraste limiar. Para cada indivíduo são realizadas quatro (4) tentativas da sensibilidade ao contraste nas sete (7) frequências temporais, sendo a primeira tentativa descartada para evitar o baixo desempenho por desconhecimento do uso do sistema. Os resultados são mostrados numericamente como a média e o desvio padrão de sensibilidade ao contraste, e graficamente como a média, desvio padrão e limites de tolerância e de confiança de sensibilidade ao contraste, em cada frequência testada.

### **3.8 Da Análise Estatística Descritiva**

#### **3.8.1 Da Obtenção de Intervalos de Confiança e de Tolerância**

A avaliação psicofísica das condições de um sistema sensorial (como a visão), seja na pesquisa básica, seja na clínica, necessita do emprego de um meio objetivo de avaliação dos resultados obtidos, de modo a classificar um dado resultado como normal ou alterado. Deste modo, a definição de valores normativos através de estudos estatísticos descritivos torna-se essencial para avaliações desta natureza (SIMONS, 1981; 1983; MAYER *et al.*, 1995; SALOMÃO & VENTURA, 1995).

No estudo estatístico-descritivo de amostras populacionais, os métodos de estimativas por intervalos de confiança geralmente são os mais empregados. Baseados na Teoria da Amostragem e na Teoria da Estimação, a finalidade desses procedimentos é caracterizar uma amostra para que, a partir dos resultados obtidos, seja possível uma dada inferência a respeito da população que contém tal amostra. Porém, como por diversas razões as características de uma amostra podem não representar as da população, esta diferença sempre impõe um erro de inferência. Por isto, somente quando este erro for estatisticamente tratável, tendo-se a exata idéia da probabilidade de se estar errando, é possível inferir resultados obtidos de uma amostra populacional, sendo a estimativa entendida como uma aproximação do dado verdadeiro que sempre contém um componente de incerteza. Deste modo, para o adequado tratamento de dados observacionais, torna-se necessário o estabelecimento de determinados critérios, como o grau e confiança e o erro padrão da estimativa, a fim de verificar se a inferência de uma estimativa pode levar (ou não) a conclusões equivocadas (ARANGO, 2005).



Neste sentido, duas estimativas intervalares podem ser citadas: o intervalo de confiança e o intervalo de tolerância. O intervalo de confiança é calculado para estimar, por exemplo, entre que valores da amostra podem estar a média e/ou a variância (desconhecidas) de uma população. Por sua vez, o intervalo de tolerância apresenta os valores extremos no qual espera-se isolar uma proporção da população, sendo esses valores determinados a partir dos valores obtidos da amostra durante seu estudo (ARANGO, 2005).

Deste modo, no cálculo do intervalo de confiança que define a faixa de valores na qual uma medida amostral deve estar contida para ser considerada normal, ou seja, a faixa de valores na qual espera-se que uma porcentagem  $p$  da população em estudo esteja contida, como não se pode ter 100% de certeza de que o intervalo obtido conterà de fato a proporção  $p$  especificada, deve-se também levar em consideração o grau de confiança  $GC$ . Dados  $p$  e  $GC$ , os valores extremos (limites) do intervalo de confiança (IC) para uma variância paramétrica desconhecida podem ser calculados da seguinte forma:

$$IC_{GC}(\bar{X}) = \bar{X} \pm t_{GC,gl} \cdot (s/\sqrt{n})$$

onde,  $\bar{X}$  é a média da amostra;  $t$  é a distribuição  $t$  de Student para um IC de 99% de probabilidade, com  $(n-1)$  graus de liberdade  $gl$ ; e  $s$  é o desvio padrão do tamanho da amostra  $n$  (ARANGO, 2005). Neste trabalho, os valores normativos definidos pelo cálculo dos limites de confiança respeitaram valores de  $GC = 0,01$ . Os cálculos dos limites de confiança foram realizados em planilhas do Microsoft®Excel, versão 2002.

Similarmente, no cálculo do intervalo de tolerância, que define a faixa de valores na qual uma medida amostral pode estar contida para ser considerada normal, ou seja, a faixa de valores na qual espera-se que uma porcentagem  $p$  da população em estudo possa estar contida, como não se pode ter 100% de certeza de que o intervalo obtido conterà de fato a proporção  $p$  especificada, além de  $p$  deve-se também levar em consideração o grau de confiança  $\gamma$  (ARANGO, 2005). Dados  $p$  e  $\gamma$ , os valores extremos (limites) do intervalo de tolerância podem ser calculados da seguinte forma:

$$LT = \bar{X} \pm ks \quad k = \sqrt{\frac{(N-1) \left(1 + \frac{1}{N}\right) z_{(1-p)/2}^2}{\chi_{\gamma, N-1}^2}}$$

onde,  $\bar{X}$  é a média da amostra;  $s$  é o desvio padrão da amostra;  $N$  é o tamanho da amostra;  $k$  é o fator calculado de forma que o intervalo cubra pelo menos uma porção  $p$  da população, com uma confiança  $\gamma$ ;  $\chi^2_{\gamma, N-1}$  é o valor crítico da distribuição qui-quadrado, com grau de liberdade  $N-1$  e probabilidade  $\gamma$ ; e  $z_{(1-p)/2}$  é o valor crítico da distribuição normal, com probabilidade  $(1-p)/2$ .

Os valores normativos definidos pelo cálculo dos limites de tolerância respeitaram valores de  $p = 0,90$  e  $\gamma = 0,95$  (SALOMÃO; VENTURA, 1995). Os cálculos dos limites de tolerância foram realizados em planilhas do Microsoft®Excel, versão 2002.

### **3.8.2 Da Normalidade dos Dados Obtidos da Amostra**

Neste trabalho, os resultados obtidos foram submetidos ao Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov para parâmetros normais desconhecidos, denominado de Teste das Probabilidades de Lillefors. Neste teste, executado no Programa Biostat 4.0, conforme o resultado da prova, se  $p > 0,05$ , a hipótese nula não é descartada, sendo os dados da amostra considerados como tendo total aderência ao modelo de normalidade; por outro lado, se  $p < 0,05$ , a hipótese de não-aderência ao modelo de normalidade é assumida.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Dos Resultados do Teste de Acuidade Visual com Optótipos de Snellen**

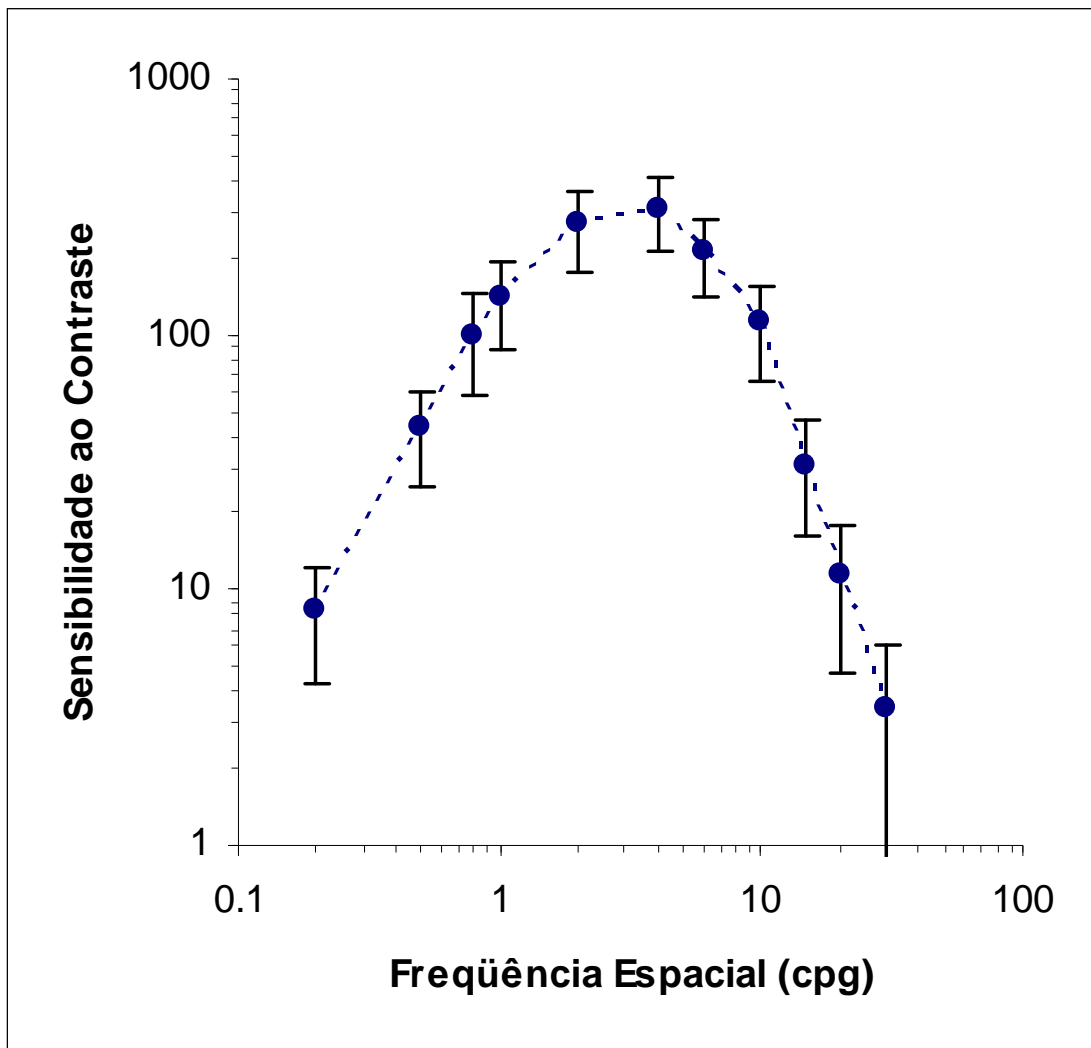
Em todos os testes psicofísicos executados neste trabalho, os indivíduos foram testados monocularmente, sendo avaliado apenas o olho dominante (em todos, o olho direito). A execução desses testes foi feita na seguinte ordem: (1) Teste de Acuidade Visual com Optótipos de Snellen, com ou sem correção dióptrica, quando da ausência de exame oftalmológico recente; (2) Teste de Sensibilidade ao Contraste Espacial de Luminância; e (3) Teste de Sensibilidade ao Contraste Temporal de Luminância.

O procedimento inicial de determinação da acuidade visual, através do uso do Teste de Snellen, foi realizado com o intuito de evitar a inserção de sujeitos em condições visuais alteradas no estudo. Neste teste, somente foram aceitos indivíduos cujos resultados obtidos apresentaram valores iguais ou superiores a 20/20.

### **4.2 Dos Resultados dos Testes de Sensibilidade ao Contraste Espacial**

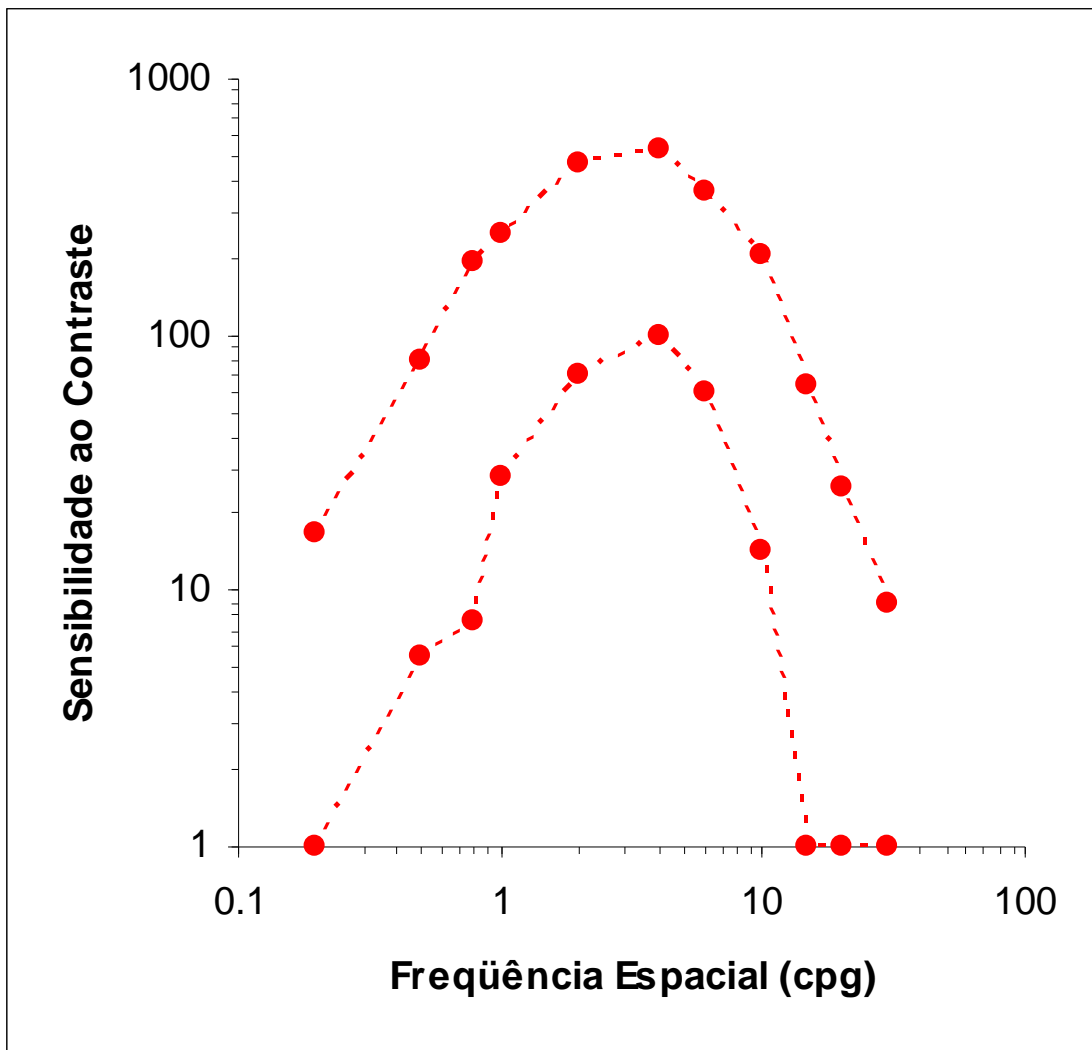
#### **4.2.1 Dos Resultados dos Testes de Sensibilidade ao Contraste Espacial para Todos os Indivíduos Testados**

Foram avaliados 30 indivíduos de ambos os sexos no Teste de Sensibilidade ao Contraste Espacial de Luminância, sendo obtidas médias de valores médios de sensibilidade acima de 200 na região de frequências espaciais entre 2 e 4 ciclos/grau (270.74 e 313.05, respectivamente). A função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-banda*, com ponto de corte de alta frequência em torno de 40 e 50 ciclos/grau (Gráfico 18).



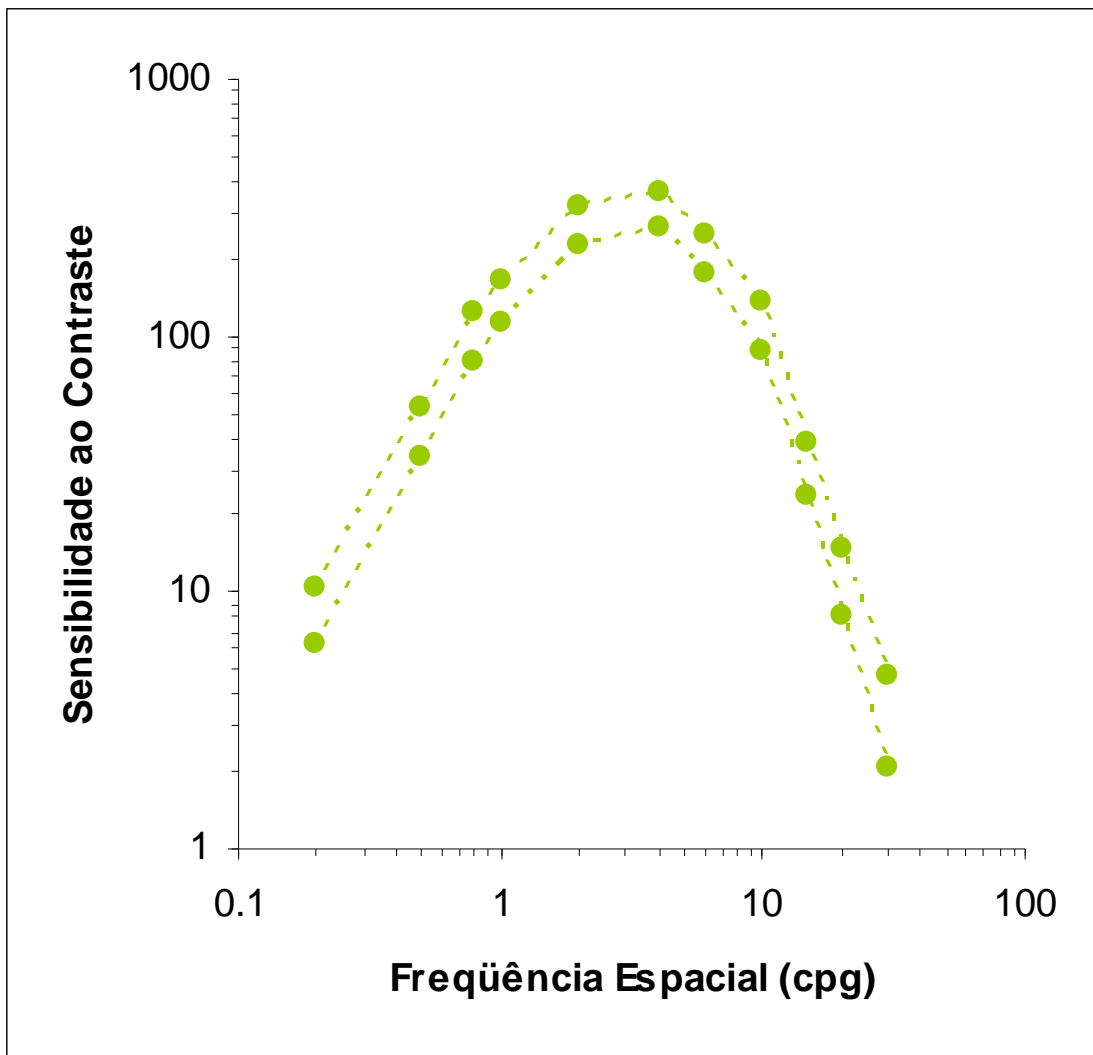
**Gráfico 18.** Função de sensibilidade ao contraste espacial para a amostra em estudo, composta pela média dos valores médios de sensibilidade ao contraste espacial de luminância de cada um dos indivíduos testados.

Para a medida do intervalo de tolerância estabelecido para os dados obtidos da amostra, no limite superior foram obtidas médias de valores médios de sensibilidade acima de 400 na região de frequências espaciais entre 2 e 4 ciclos/grau (472.04 e 527.16, respectivamente). Para o limite inferior, foram obtidas médias de valores médios de sensibilidade abaixo de 100 na mesma região de frequências espaciais (69.43 e 98.93, respectivamente). A função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-banda* em ambos os limites de tolerância, porém com diferentes pontos de corte de alta frequência, em torno de 40 e 50 ciclos/grau para o limite superior e 10 e 20 ciclos/grau para o limite inferior (Gráfico 19).



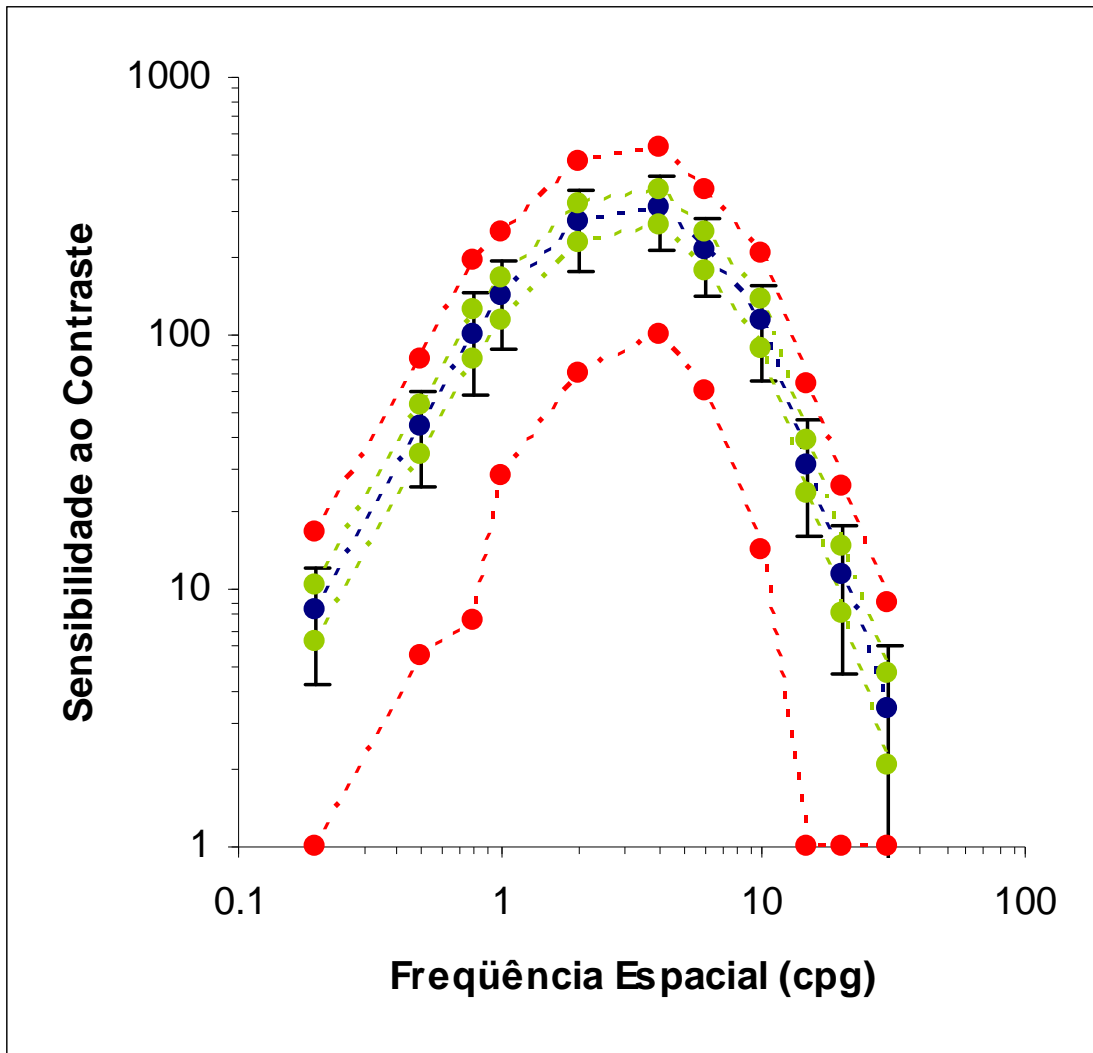
**Gráfico 19.** Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste espacial de luminância obtidos para a amostra em estudo.

Já para a medida do intervalo de confiança estabelecido para os dados obtidos da amostra, este perfil de limite foi deslocado para mais próximo dos valores médios de sensibilidade dos indivíduos testados. No limite superior foram obtidas médias de valores médios de sensibilidade acima de 300 na região de frequências espaciais entre 2 e 4 ciclos/grau (318.08 e 363.40, respectivamente). Já para o limite inferior, foram obtidos médias de valores médios de sensibilidade acima de 200 na mesma região de frequências espaciais (223.39 e 262.69, respectivamente). A função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-banda* em ambos os limites de confiança, com diferentes pontos de corte de alta frequência, em torno de 40 e 50 ciclos/grau para o limite superior, e 30 e 40 ciclos/grau para o limite inferior (Gráfico 20).



**Gráfico 20.** Limites de confiança de sensibilidade ao contraste espacial de luminância obtidos para a amostra em estudo.

Uma avaliação qualitativa e quantitativa desses resultados pode ser feita em conjunto pela leitura do Gráfico 21 e da Tabela 1.



**Gráfico 21.** Dados agrupados: (azul) Valores de sensibilidade ao contraste espacial de luminância dos indivíduos testados; (verde) Limites de confiança; (vermelho) Limites de Tolerância.

**Tabela 1. Dados quantitativos obtidos de amostra composta por 30 indivíduos de ambos os sexos para a função de sensibilidade ao contraste espacial de luminância.**

<b>Frequências</b>						
<b>Espaciais</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio</b>	<b>IC</b>	<b>IC</b>	<b>IT</b>	<b>IT</b>
<b>(cpg)</b>		<b>Padrão</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>
<b>0,2*</b>	8,26	3,99	10,27	6,26	16,80	-0,27**
<b>0,5*</b>	43,01	17,51	51,82	34,20	80,48	5,55
<b>0,8*</b>	100,02	43,14	121,73	78,31	192,34	7,70
<b>1,0*</b>	138,63	51,61	164,60	112,65	249,06	28,20
<b>2,0*</b>	270,74	94,08	318,08	223,39	472,04	69,43
<b>4,0</b>	313,05	100,07	363,40	262,69	527,16	98,93
<b>8,0*</b>	210,62	70,38	246,03	175,20	361,20	60,03
<b>10,0*</b>	111,29	45,31	134,09	88,49	208,24	14,34
<b>15,0*</b>	30,95	14,84	38,41	23,48	62,69	-0,80**
<b>20,0*</b>	11,32	6,66	14,67	7,97	25,57	-2,92**
<b>30,0</b>	3,40	2,61	4,71	2,08	8,99	-2,20**

\* Teste de Normalidade K-S Lilliefors:  $p > 0.05$

\*\* Valores negativos que nos gráficos foram normalizados para 1,0.

(cpg), (ciclos por grau); IC, Intervalo de Confiança; IT, Intervalo de Tolerância.

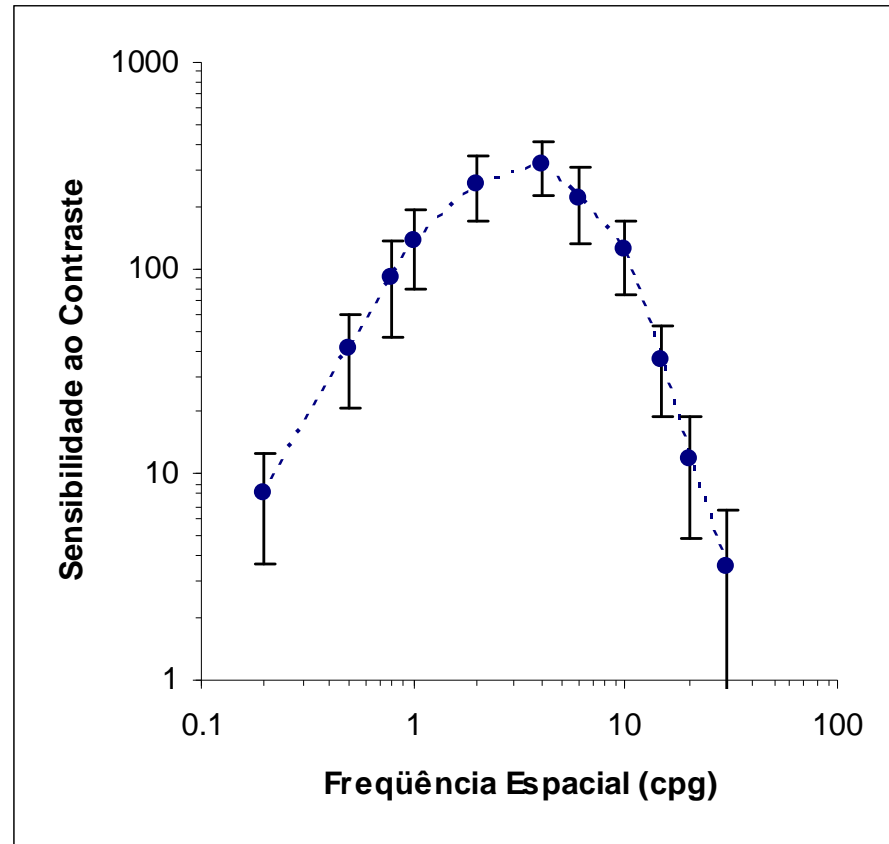
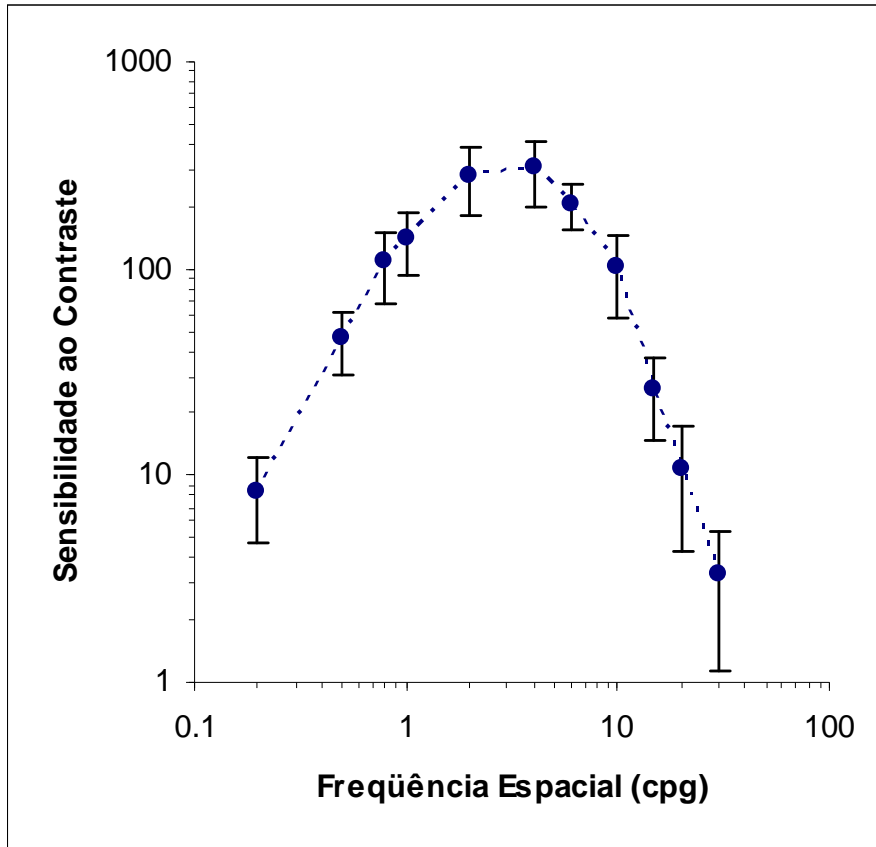
Como pode ser observado na Tabela 1, na avaliação pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov modificado por Lilliefors, as distribuições de frequência dos resultados obtidos para o teste de sensibilidade ao contraste espacial, quando envolvidos todos os componentes da amostra nesta análise, o as médias apresentam comportamento compatível com a função normal em quase todas as frequências espaciais ( $p > 0.05$ ), com exceção das frequências 4 e 30 ciclos/grau ( $p < 0.01$ ).

#### **4.2.2 Dos Resultados dos Testes de Sensibilidade ao Contraste Espacial para os Diferentes Grupos de Indivíduos Testados**

Dos 30 indivíduos testados para sensibilidade ao contraste espacial de luminância, 15 homens e 15 mulheres compunham a amostra, e o desempenho desses diferentes grupos também foi avaliado em separado.

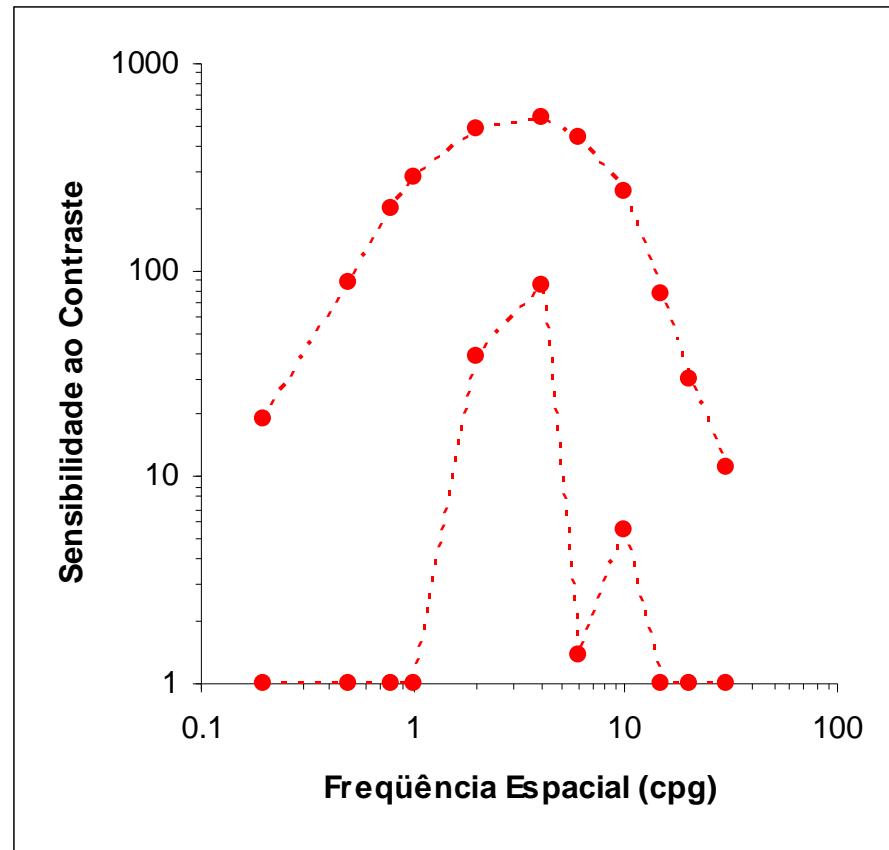
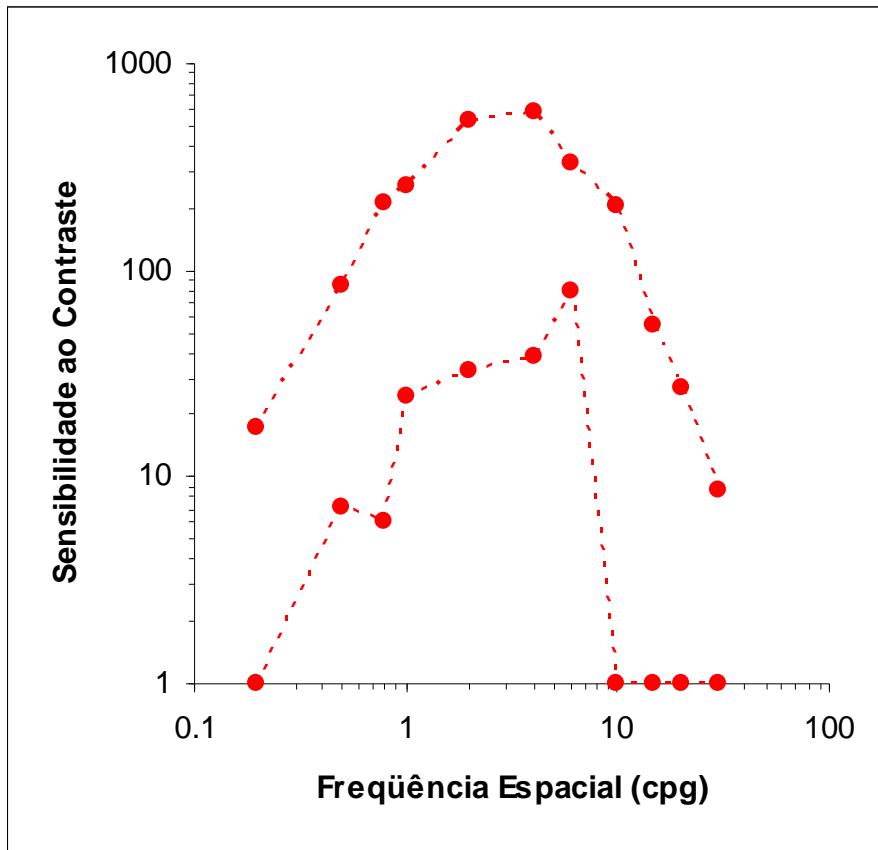


As médias dos valores médios de sensibilidade para ambos os grupos encontram-se acima de 200 na região de frequências espaciais entre 2 e 4 ciclos/grau (homens: 282.99 e 307.06, respectivamente; mulheres: 258.48 e 319.03, respectivamente ), e a função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-banda*, com ponto de corte de alta frequência em torno de 40 e 50 ciclos/grau, para as frequências testadas (Gráficos22).



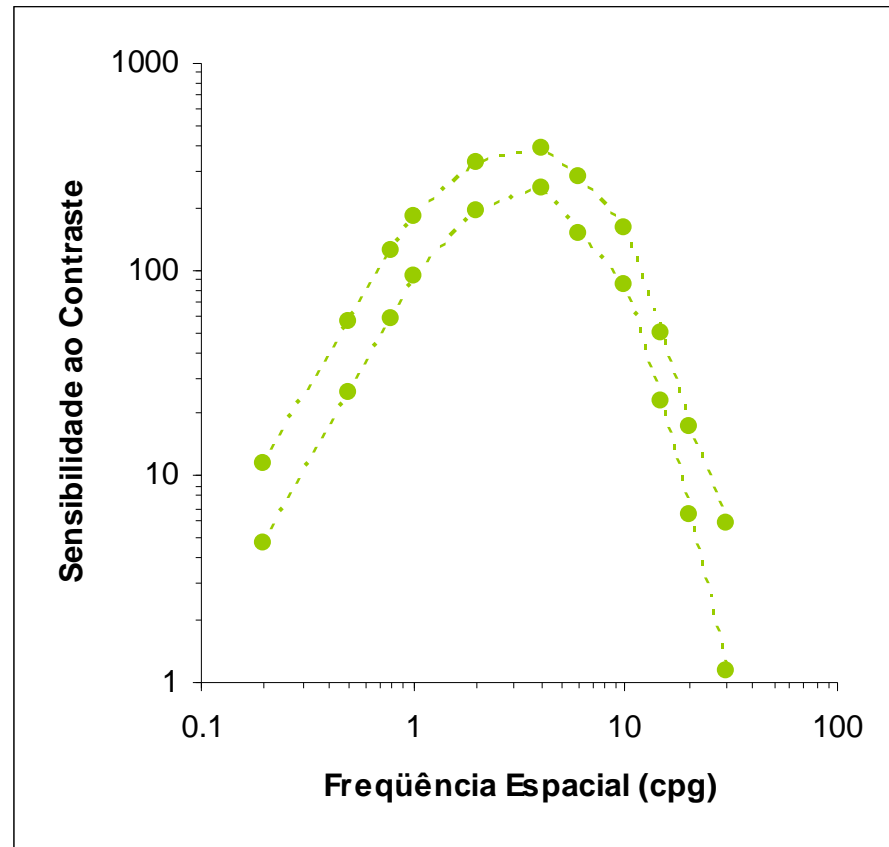
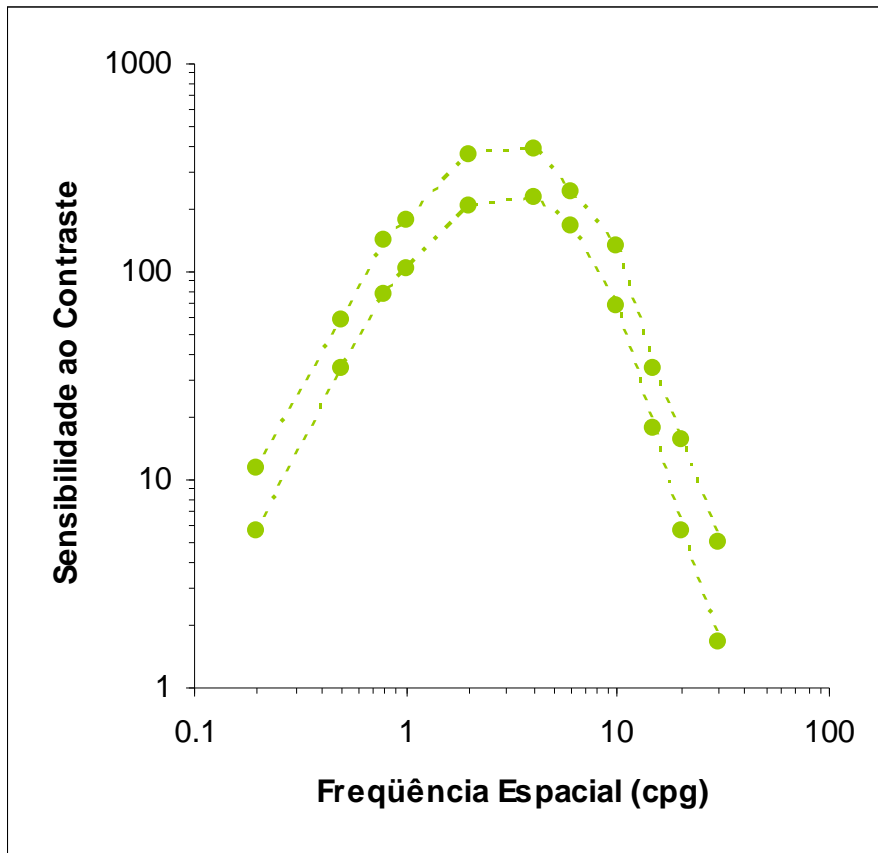
**Gráficos 22.** Função de sensibilidade ao contraste espacial para os diferentes grupos (esquerda: homens; direita: mulheres) da amostra em estudo, composta pela média dos valores médios de sensibilidade de cada um dos indivíduos testados.

Para os homens, no limite de tolerância superior os valores de sensibilidade estabelecido para os dados obtidos da amostra apresentaram-se acima de 500 na região de frequências espaciais entre 2 e 4 ciclos/grau (532.94 e 576.35, respectivamente), e no limite inferior, esses valores apresentaram-se abaixo de 50 na mesma região de frequências espaciais (33.05 e 37.78, respectivamente). Já para as mulheres, no limite de tolerância superior foram obtidos valores de sensibilidade acima de 400 na mesma região de frequências espaciais (478.22 e 552.59, respectivamente), e no limite inferior, esses valores de sensibilidade apresentaram-se abaixo de 100 (38.74 e 85.46, respectivamente). Em ambos os grupos, a função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-banda* somente no limite de tolerância superior, apresentando ponto de corte de alta frequência em torno de 30-40 ciclos/grau, para as frequências testadas (Gráficos 23).



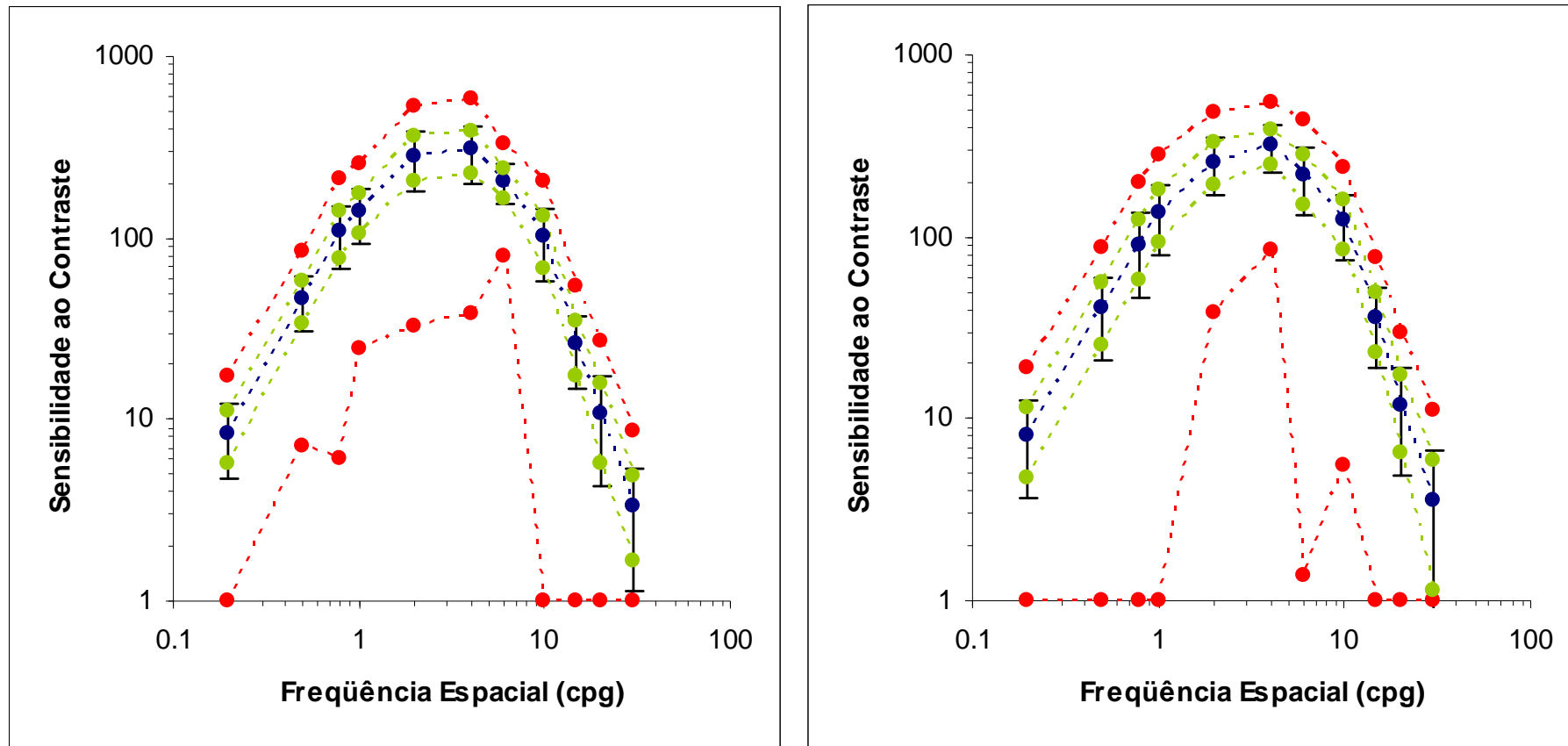
**Gráficos 23.** Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste espacial de luminância para os diferentes grupos (esquerda: homens; direita: mulheres) da amostra em estudo.

Em relação ao intervalo de confiança, em ambos os grupos este perfil de limite foi deslocado para mais próximo das médias dos valores médios de sensibilidade dos indivíduos testados. No limite superior, em ambos os grupos foram obtidos valores de sensibilidade acima de 300 na região de frequências espaciais entre 2 e 4 ciclos/grau (homens: 360.47 e 390.53, respectivamente; mulheres: 326.59 e 391.43, respectivamente). Já no limite inferior, para os homens foram obtidos valores de sensibilidade acima de 200 na mesma região de frequências espaciais (205.52 e 223.60, respectivamente), e para as mulheres, esses valores apresentaram-se acima de 150 (190.37 e 246.63, respectivamente). A função de sensibilidade ao contraste de ambos os grupos apresentou comportamento *passa-banda* em ambos os limites de confiança, com diferentes pontos de corte de alta frequência, em torno de 40 e 50 ciclos/grau para o limite superior, e 30 e 40 ciclos/grau para o limite inferior, para as frequências testadas (Gráficos 24).



**Gráficos 24.** Limites de confiança de sensibilidade ao contraste espacial de luminância para os diferentes grupos (esquerda: homens; direita: mulheres) da amostra em estudo.

Uma avaliação qualitativa e quantitativa desses resultados pode ser feita em conjunto pela leitura dos Gráficos 25 e da Tabela 2.



**Gráficos 25.** Dados agrupados: (azul) Valores de sensibilidade ao contraste espacial de luminância dos indivíduos testados; (verde) Limites de confiança; (vermelho) Limites de Tolerância (Esquerda: homens; Direita: mulheres).

**Tabela 2. Dados quantitativos obtidos dos diferentes grupos (homens e mulheres) da amostra em estudo da função de sensibilidade ao contraste espacial de luminância.**

Frequências Espaciais (cpg)	Média		Desvio Padrão		IC Superior		IC Inferior		IT Superior		IT Inferior	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
0,2	8,44*	8,08*	3,66	4,42	11,26	11,48	5,63	4,69	17,52	19,03	-0,63**	-2,86**
0,5	45,80*	40,23*	15,63	19,34	57,81	55,09	33,79	25,36	84,55	88,19	7,05	-7,73**
0,8	109,24*	90,80*	41,63	44,05	141,24	124,66	77,25	56,94	212,47	200,04	6,02	-18,44**
1,0	140,49*	136,77*	46,82	57,60	176,47	181,04	104,50	92,49	256,58	279,61	24,39	-6,07**
2,0	282,99*	258,48*	100,80	88,62	360,47	326,59	205,52	190,37	532,94	478,22	33,05	38,74
4,0	307,06*	319,03*	108,60	94,19	390,53	391,43	223,60	246,63	576,35	552,59	37,78	85,46
8,0	202,93*	218,31*	49,79	87,49	241,20	285,55	164,66	151,06	326,39	435,25	79,47	1,36
10,0	100,84*	121,74*	42,67	46,88	133,64	157,77	68,04	85,71	206,66	237,98	-4,98**	5,50
15,0	26,09*	35,80*	11,20	16,73	34,70	48,66	17,49	22,94	53,86	77,30	-1,67**	-5,69**
20,0	10,73*	11,91*	6,49	7,00	15,72	17,29	5,74	6,54	26,82	29,27	-5,36**	-5,44**
30,0	3,28*	3,51	2,14	3,09	4,93	5,89	1,64	1,14	8,59	11,18	-2,03**	-4,15**

\* Teste de Normalidade K-S Lilliefors:  $p > 0.05$ .

\*\* Valores negativos que nos gráficos foram normalizados para 1,0.

(cpg), (ciclos por grau); M, homens; F, mulheres; IC, Intervalo de Confiança; IT, Intervalo de Tolerância.

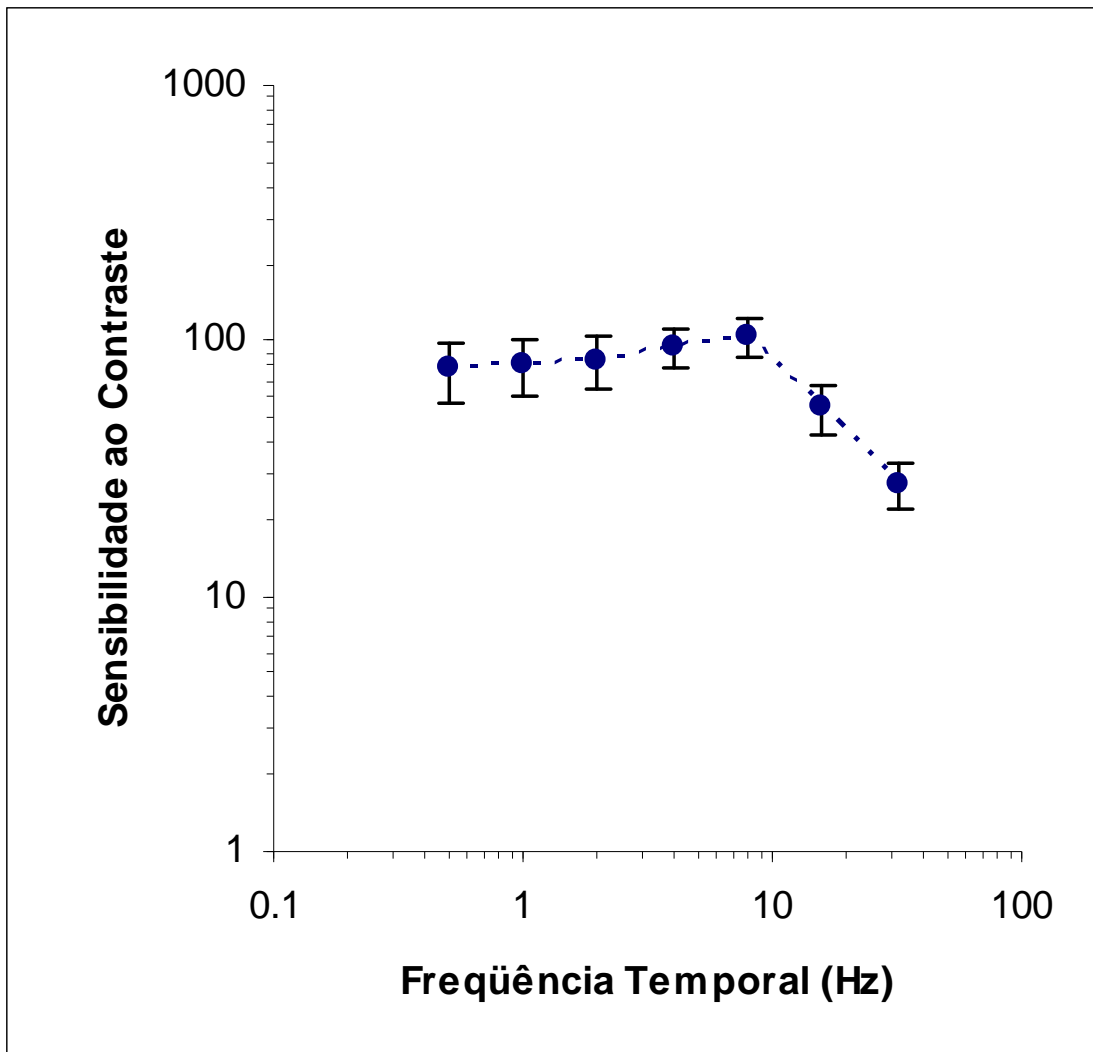
Como pode ser observado na Tabela 2, na avaliação pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov modificado por Lilliefors, feita separadamente para os grupos, todos resultados dos homens encontram-se dentro de padrões teóricos esperados ( $p > 0.05$ ), enquanto que os resultados obtidos dos testes com as mulheres revelam um padrão de normalidade na maioria das frequências espaciais, com exceção da frequência 30 ciclos/grau ( $p < 0.01$ ).



### **4.3 Dos Resultados dos Testes de Sensibilidade ao Contraste Temporal**

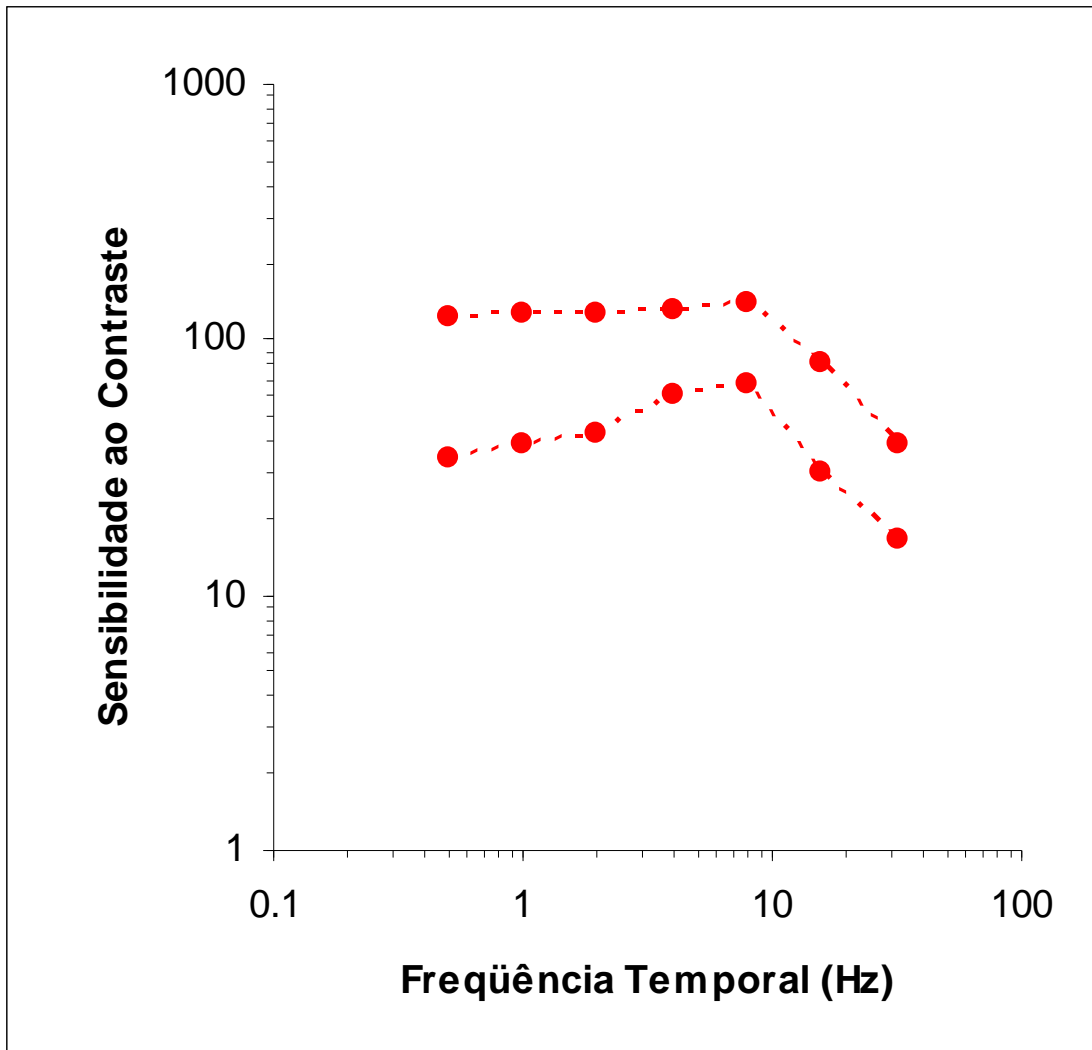
#### **4.3.1 Dos Resultados dos Testes de Sensibilidade ao Contraste Temporal para Todos os Indivíduos Testados**

Foram avaliados 34 indivíduos de ambos os sexos no Teste de Sensibilidade ao Contraste Temporal de Luminância, sendo obtida média de valores médios de sensibilidade um pouco acima de 100 (103.25) na região de frequências temporais em torno de 8Hz. A função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-baixa* (Gráfico 26).



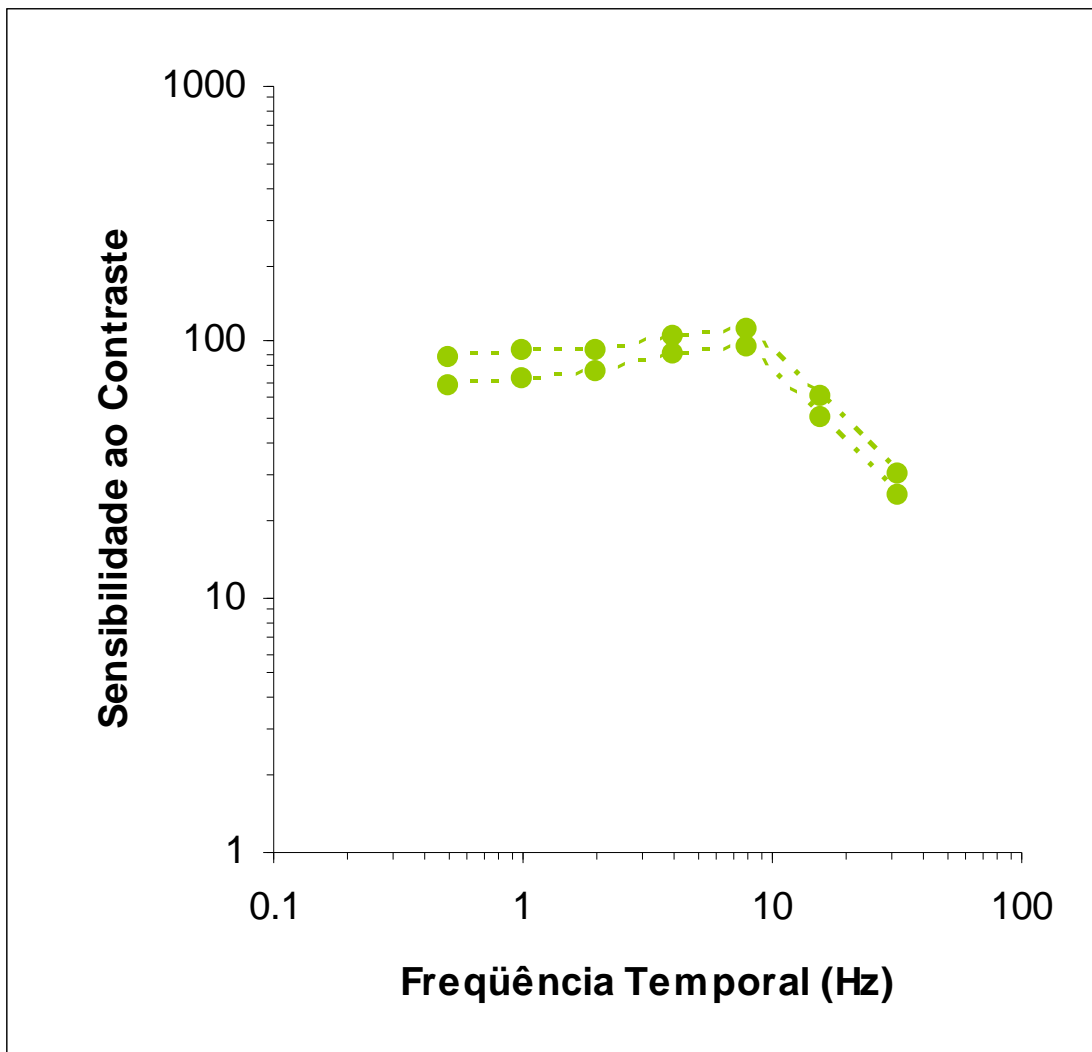
**Gráfico 26.** Função de sensibilidade ao contraste temporal para a amostra em estudo, composta pela média dos valores médios de sensibilidade ao contraste temporal de luminância de cada um dos indivíduos testados.

Em relação ao intervalo de tolerância estabelecido para os dados obtidos da amostra, no limite superior os valores de sensibilidade apresentaram-se acima de 100 (140.28) na região de frequências temporais em torno de 8Hz. Para o limite inferior, foram obtidos valores de sensibilidade abaixo de 80 (66.22) na mesma região de frequências temporais. A função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-baixa* em ambos os limites de tolerância (Gráfico 27).



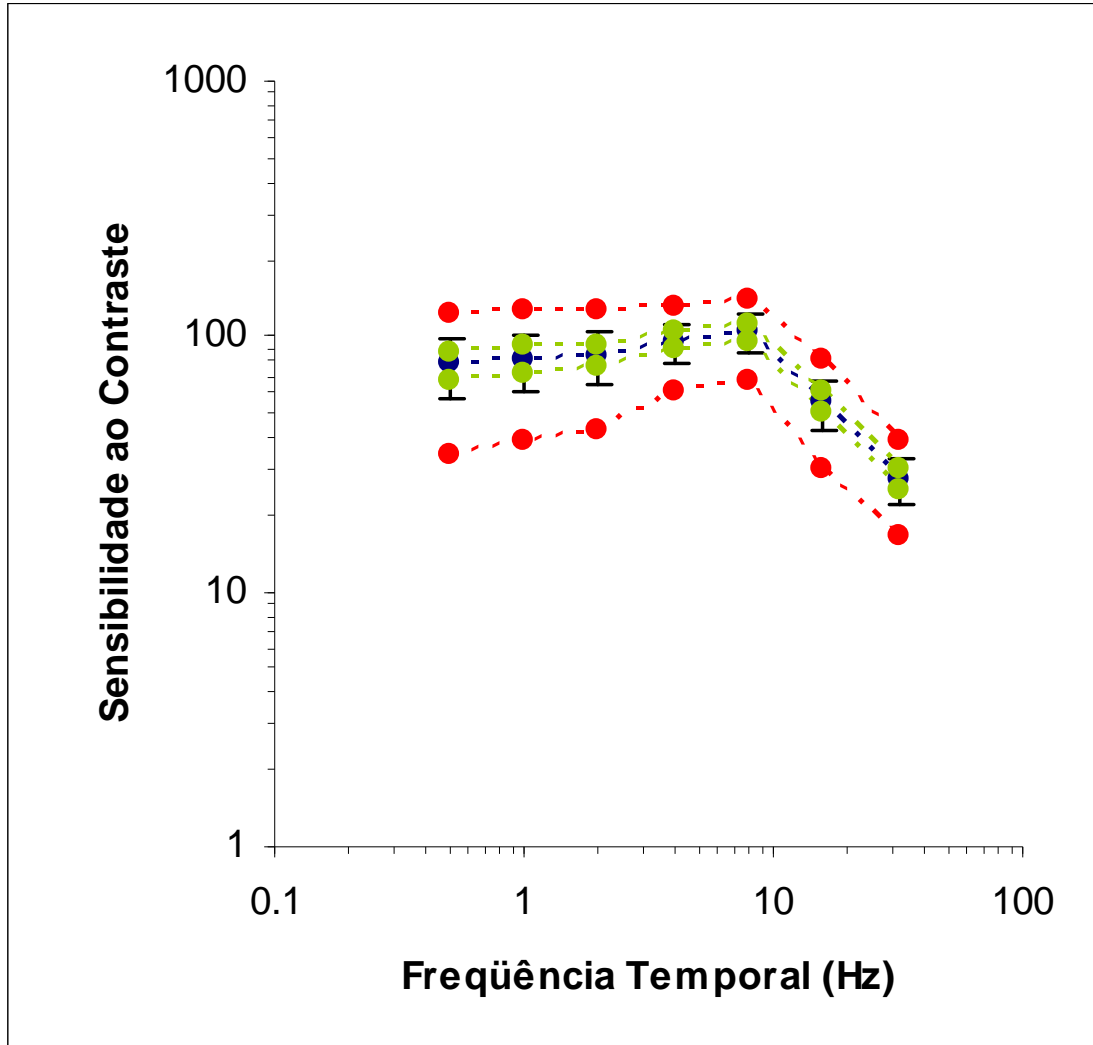
**Gráfico 27.** Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste temporal de luminância obtidos para a amostra em estudo.

Já para o intervalo de confiança estabelecido para os dados obtidos da amostra, este perfil de limite foi deslocado para mais próximo das médias dos valores médios de sensibilidade dos indivíduos testados. No limite superior foram obtidos valores de sensibilidade um pouco acima de 100 (111.52) na região de frequências temporais em torno de 8Hz, e para o limite inferior, foram obtidos valores de sensibilidade um pouco abaixo de 100 (94.98) na mesma região de frequências temporais. A função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-baixa* em ambos os limites de confiança (Gráfico 28).



**Gráfico 28.** Limites de confiança de sensibilidade ao contraste temporal de luminância obtidos para a amostra em estudo.

Uma avaliação qualitativa e quantitativa desses resultados pode ser feita em conjunto pela leitura do Gráfico 29 e da Tabela 3.



**Gráfico 29.** Dados agrupados: (azul) Valores de sensibilidade ao contraste temporal de luminância dos indivíduos testados; (verde) Limites de confiança; (vermelho) Limites de Tolerância.

**Tabela 3. Dados quantitativos obtidos de amostra composta por 34 indivíduos de ambos os sexos para a função de sensibilidade ao contraste temporal de luminância.**

Frequências						
Temporais (Hz)	Média	Desvio Padrão	IC Superior	IC Inferior	IT Superior	IT Inferior
<b>0,5*</b>	77,70	20,94	87,52	67,89	121,66	33,75
<b>1,0*</b>	81,59	20,49	91,19	71,98	124,59	38,59
<b>2,0*</b>	84,04	19,46	93,17	74,92	124,89	43,20
<b>4,0</b>	95,95	16,97	103,90	87,99	131,56	60,33
<b>8,0*</b>	103,25	17,65	111,52	94,98	140,28	66,22
<b>16,0*</b>	55,19	11,91	60,77	49,60	80,18	30,19
<b>32,0*</b>	27,44	5,30	29,93	24,96	38,57	16,32

\* Teste de Normalidade K-S Lillefors:  $p > 0.05$ .

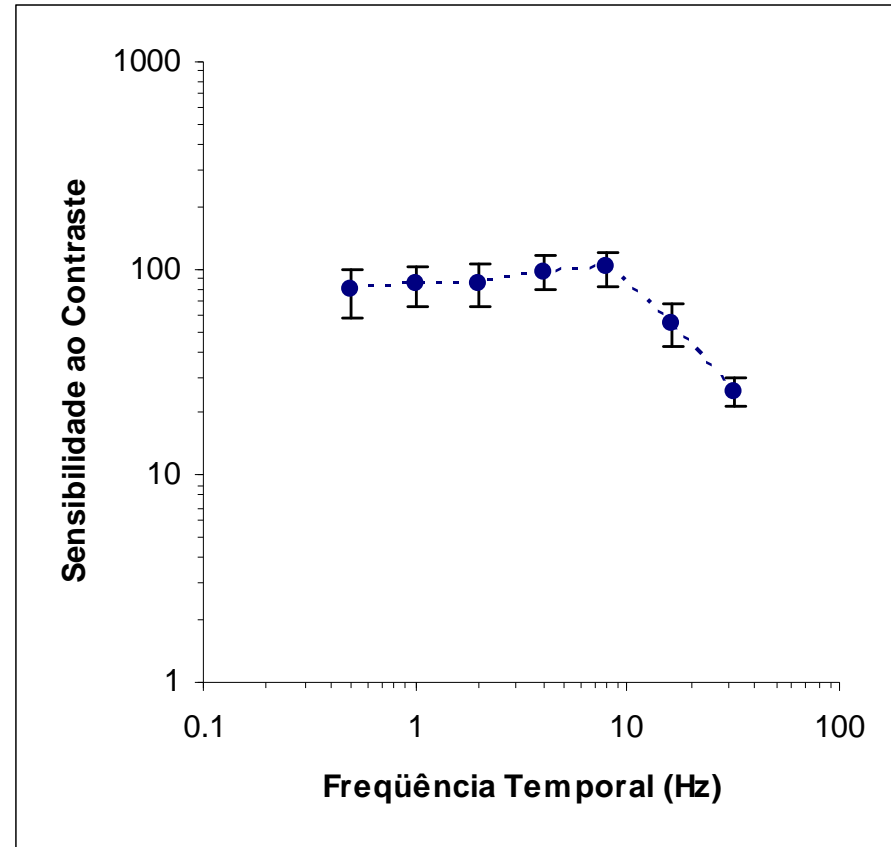
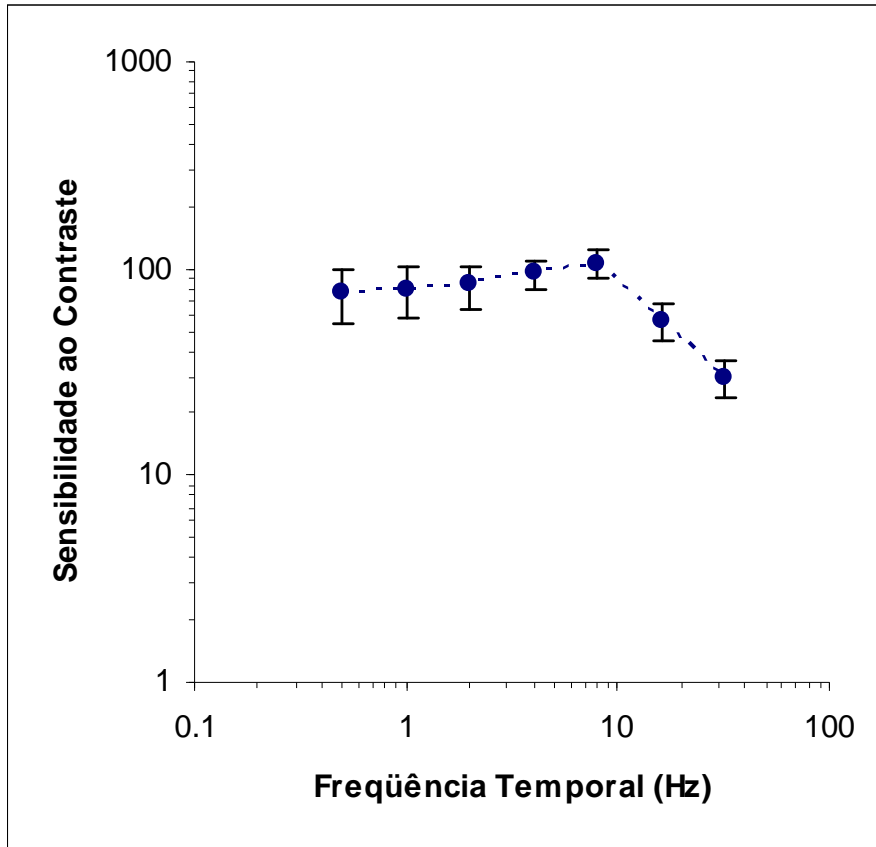
(Hz), (Hertz); IC, Intervalo de Confiança; IT, Intervalo de Tolerância.

Como visto na Tabela 3, na avaliação de aderência ao modelo teórico de normalidade das distribuições de frequência dos resultados obtidos para o teste de sensibilidade ao contraste temporal, quando envolvidos todos os componentes da amostra na análise, as médias apresentam comportamento compatível com a função normal em quase todas as frequências espaciais ( $p > 0.05$ ), com exceção das frequências 4Hz ( $p < 0.01$ ).

#### **4.3.2 Dos Resultados dos Testes de Sensibilidade ao Contraste Temporal para os Diferentes Grupos de Indivíduos Testados**

Dos 34 indivíduos testados para sensibilidade ao contraste temporal de luminância, 16 homens e 18 mulheres compunham a amostra, e o desempenho desses diferentes grupos também foi analisado em separado.

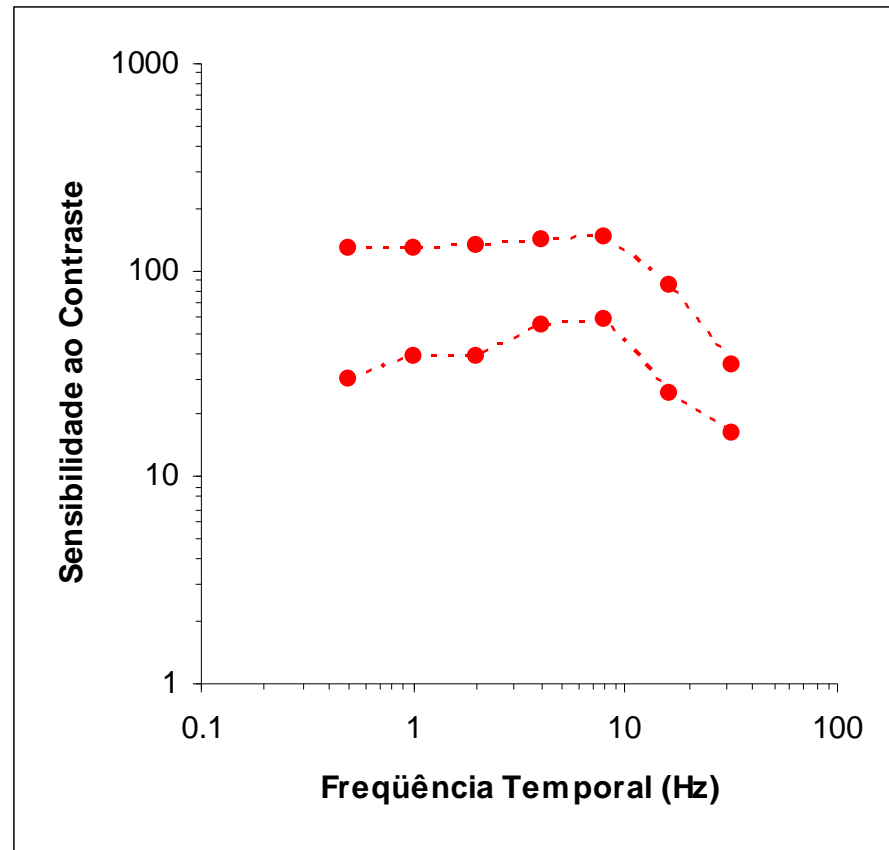
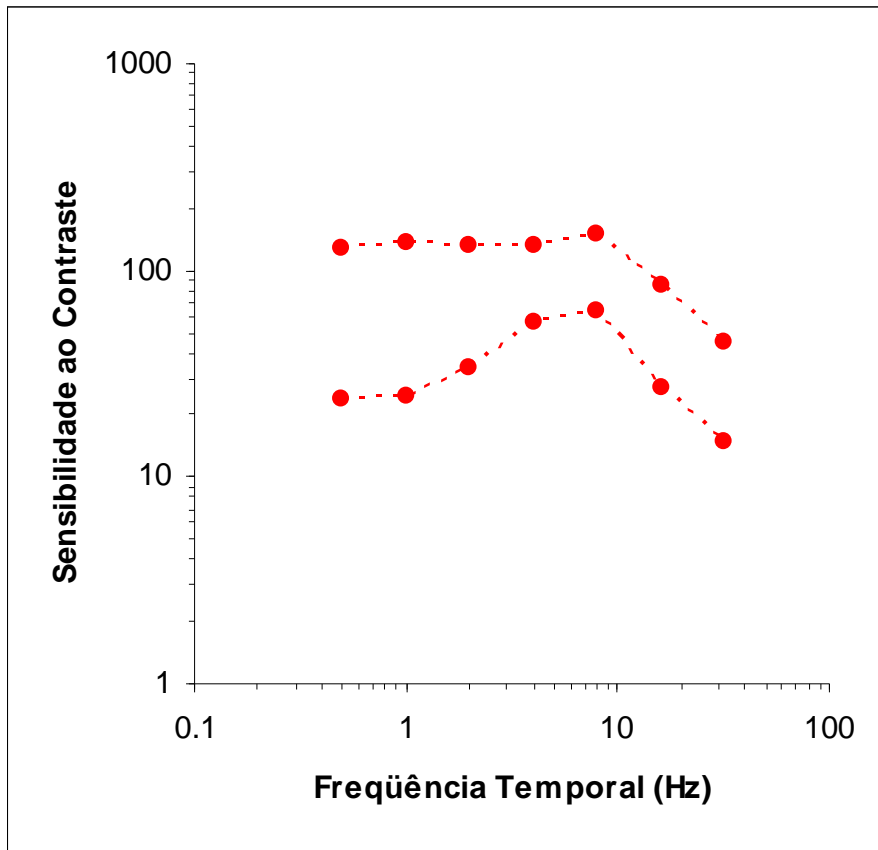
A média dos valores médios de sensibilidade para os homens testados encontra-se um pouco acima de 100 (106.07) na região de frequências temporais em torno de 8Hz, sendo que para as mulheres a média dos valores médios de sensibilidade apresentou-se mais próxima de 100 (100.74). Para ambos os grupos a função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-baixa* (Gráficos 30).



**Gráficos 30.** Função de sensibilidade ao contraste temporal para os diferentes grupos (esquerda: homens; direita: mulheres) da amostra em estudo, composta pela média dos valores médios de sensibilidade de cada um dos indivíduos testados.

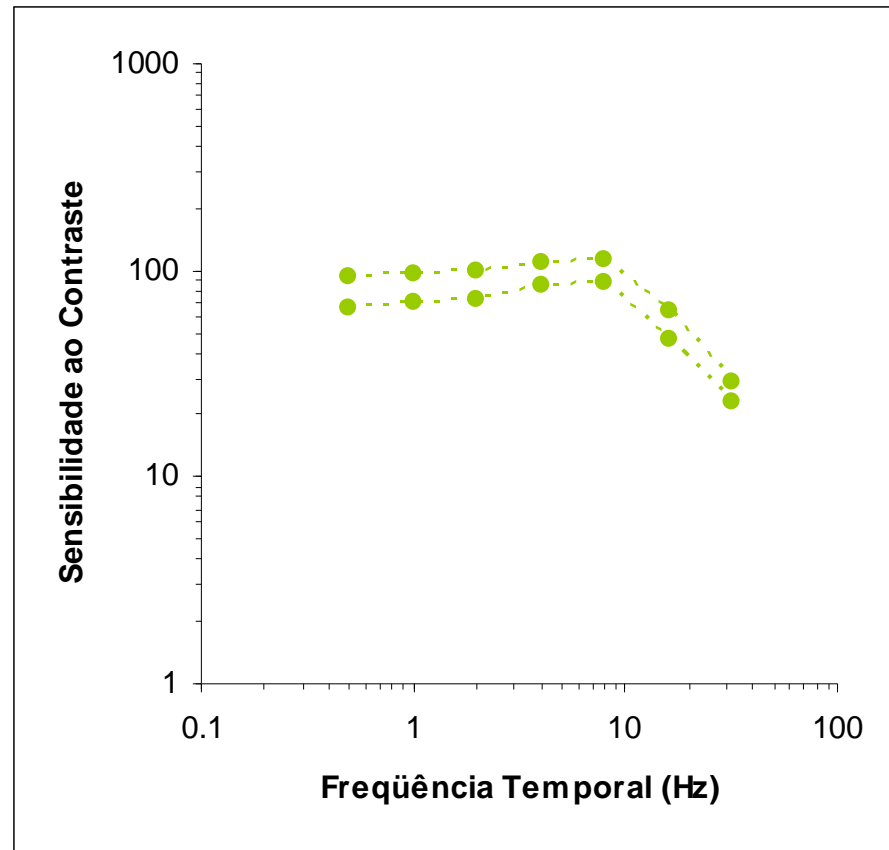
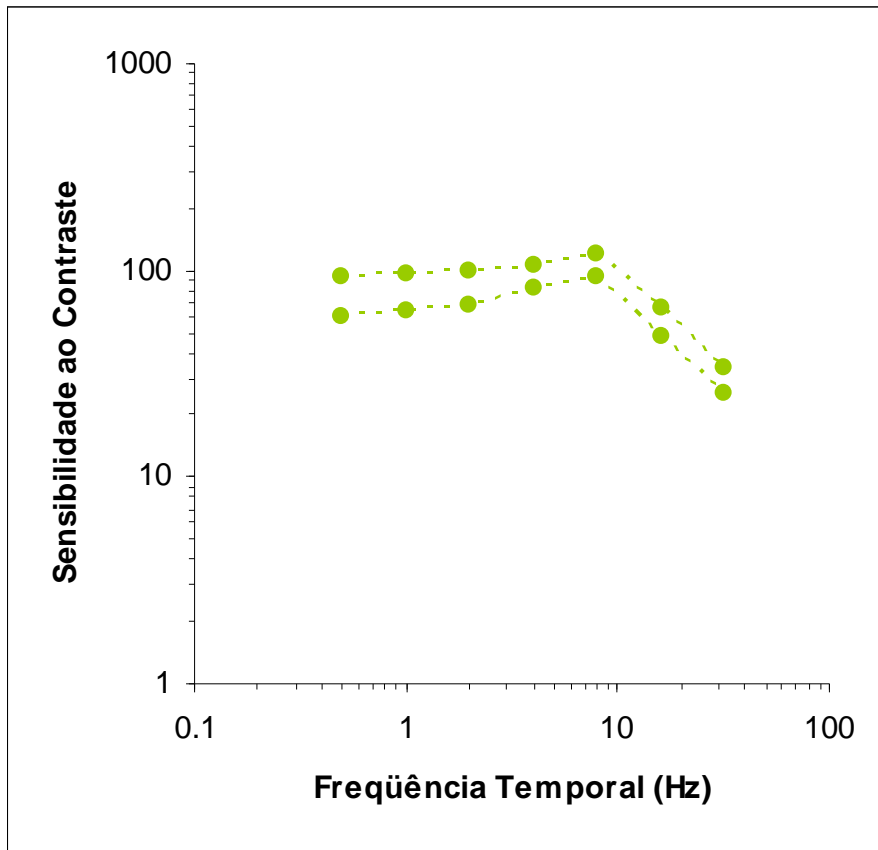
No limite de tolerância superior, para ambos os grupos foram obtidos valores de sensibilidade um pouco acima de 140 na região de frequências temporais em torno de 8Hz (homens: 148,42; mulheres: 143,31). Já no limite inferior, valores de sensibilidade abaixo de 70 na mesma região de frequências temporais (homens: 63,73; mulheres: 58,16). Em ambos os grupos, a função de sensibilidade ao contraste apresentou comportamento *passa-baixa* em ambos os limites de tolerância (Gráficos 31).





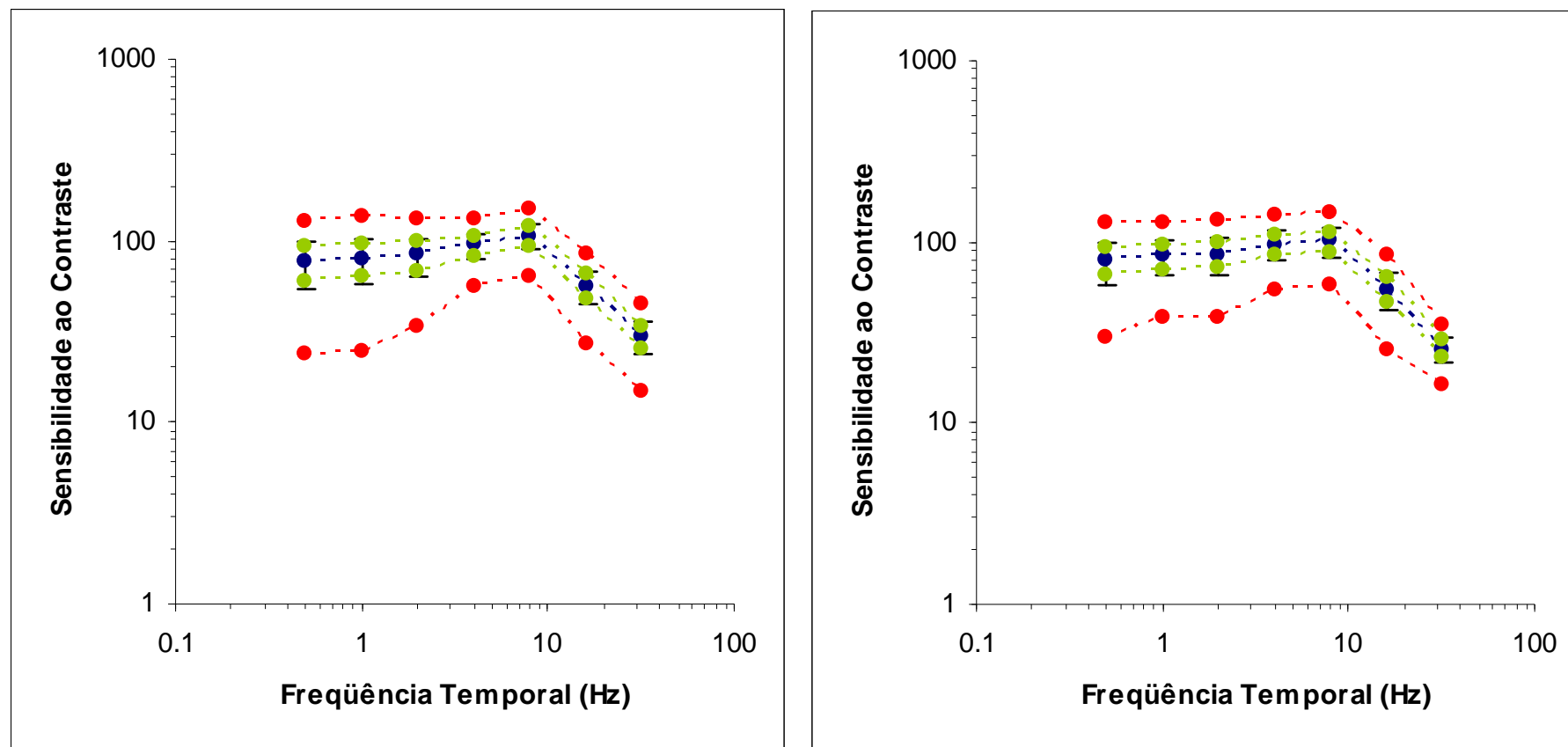
**Gráficos 31.** Limites de tolerância de sensibilidade ao contraste temporal de luminância para os diferentes grupos (esquerda: homens; direita: mulheres) da amostra em estudo.

Em relação ao intervalo de confiança, em ambos os grupos este perfil de limite foi deslocado para mais próximo dos valores médios de sensibilidade dos indivíduos testados. No limite superior, em ambos os grupos foram obtidos valores de sensibilidade um pouco acima de 110 na região de frequências temporais em torno de 8Hz (homens: 118,87; mulheres: 113,03). Já para o limite inferior, em ambos os grupos foram obtidos valores de sensibilidade um pouco acima de 80 na mesma região de frequências temporais (homens: 93,27; mulheres: 88,45). A função de sensibilidade ao contraste de ambos os grupos apresentou comportamento *passa-banda* em ambos os limites de confiança (Gráficos 32).



**Gráficos 32.** Limites de confiança de sensibilidade ao contraste temporal de luminância para os diferentes grupos (esquerda: homens; direita: mulheres) da amostra em estudo.

Uma avaliação qualitativa e quantitativa desses resultados pode ser feita em conjunto pela leitura dos Gráficos 33 e da Tabela 4.



**Gráficos 33.** Dados agrupados: (azul) Valores de sensibilidade ao contraste temporal de luminância dos indivíduos testados; (verde) Limites de confiança; (vermelho) Limites de Tolerância (Esquerda: homens; Direita: mulheres).

**Tabela 4. Dados quantitativos obtidos dos diferentes grupos (homens e mulheres) da amostra em estudo da função de sensibilidade ao contraste temporal de luminância.**

Frequências Temporais (Hz)	Média		Desvio Padrão		IC Superior		IC Inferior		IT Superior		IT Inferior	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
<b>0,5</b>	76,12*	79,11*	21,45	21,00	91,92	93,46	60,32	64,77	128,38	128,81	23,86	29,42
<b>1,0</b>	79,57*	83,38*	22,63	18,86	96,24	96,26	62,89	70,50	134,72	128,00	24,41	38,77
<b>2,0</b>	83,21*	84,79*	20,11	19,42	98,02	98,05	68,39	71,52	133,08	130,74	33,34	38,84
<b>4,0</b>	94,58*	97,16	15,67	18,42	106,13	109,74	83,04	84,58	132,77	140,73	56,40	53,58
<b>8,0</b>	106,07*	100,74*	17,38	17,99	118,87	113,03	93,27	88,45	148,42	143,31	63,73	58,16
<b>16,0</b>	55,99*	54,47*	11,75	12,35	64,64	62,91	47,33	46,04	84,61	83,70	27,36	25,25
<b>32,0</b>	29,46*	25,65*	6,04	3,89	33,91	28,31	25,01	23,00	44,18	34,85	14,74	16,46

\* Teste de Normalidade K-S Lilliefors:  $p > 0.05$ .

(Hz), (Hertz); M, homens; F, mulheres; IC, Intervalo de Confiança; IT, Intervalo de Tolerância.

Na avaliação de aderência ao modelo teórico de normalidade das distribuições de frequência dos resultados obtidos para o teste de sensibilidade ao contraste temporal, feita separadamente para os grupos, todos resultados dos homens encontram-se dentro de padrões teóricos esperados ( $p > 0.05$ ), enquanto que os resultados obtidos dos testes com as mulheres revelam um padrão de normalidade na maioria das frequências espaciais, com exceção da frequência 4Hz ( $p < 0.01$ ).

## **5 DISCUSSÃO**

### **5.1 Da Importância Da Determinação De Valores Normativos E De Intervalos De Confiança E De Tolerância Para O Teste De Sensibilidade Ao Contraste De Luminância**

A utilização de valores normativos tem como principal e importante objetivo a possibilidade do uso de dados obtidos de uma amostra, cujas características normais permitem inferências sobre as de uma determinada população, na avaliação de amostras possivelmente alteradas. E para que sejam estabelecidos valores normativos a partir dos de uma amostra, cálculos de intervalos de tolerância e/ou confiança devem resultar em uma distribuição normal, cujo comportamento e valores podem ser utilizados em posteriores avaliações qualitativas e quantitativas relacionadas aos dados obtidos (ARANGO, 2005).

A determinação de intervalos de confiança e de tolerância neste trabalho se justifica pelo fato de que estes possibilitam diferentes abordagens de avaliação comparativa entre valores normativos de sensibilidade visual e suas possíveis alterações. Como os intervalos de confiança são limites dentro dos quais se espera que um determinado parâmetro populacional (como a média de sensibilidade visual) esteja, a partir de valores intervalares normais pode-se comparar amostras populacionais semelhantes (urbanas ou rurais) expostas a diferentes condições. Por exemplo, trabalhadores que utilizam e não utilizam equipamento de proteção a uma dada substância tóxica. Já para os intervalos de tolerância, limites dentro dos quais se espera que uma proporção estabelecida da população se encontre, seus valores normais permitem que valores paramétricos de um indivíduo sejam classificados como aceitáveis, ou não, para os padrões normais de sua população de origem. Como a sensibilidade ao contraste de luminância é um parâmetro visual sensível a diversas variáveis, torna-se importante a utilização de ferramentas estatísticas dessa natureza para a avaliação diferencial de seus testes e resultados, principalmente quando se busca estabelecer relações entre valores individuais e valores populacionais obtidos por amostragem.

## **5.2 Da Utilização De Computadores Pessoais Como Ferramentas De Teste Visual E Dos Estímulos Utilizados**

Há diversos tipos de testes psicofísicos visuais, cada um utilizando diferentes materiais, equipamentos e métodos. Apesar de muitas vezes seus resultados serem conflitantes entre si, sustentam resultados importantes para o conhecimento do comportamento da sensibilidade visual humana, e contribuem em conjunto para o constante desenvolvimento de testes que aliem qualidade de desempenho com praticidade e precisão. Neste sentido, a revolução tecnológica impulsionada pelo desenvolvimento de sistemas de computação, com máquinas cada vez mais rápidas, precisas e utilitárias, permitiu que os computadores conquistassem seu espaço na pesquisa básica e clínica em Psicofísica Visual.

Testes psicofísicos visuais computadorizados têm a vantagem de executar estímulos de natureza diversa, desenvolvidos com precisão matemática dentro dos limites do sistema utilizado, o que é refletido na qualidade dos resultados obtidos (ARDITI, 2005; HAEGERSTROM-PORTNOY *et al.*, 1997; CORWIN *et al.*, 1989). Os testes utilizados neste trabalho foram desenvolvidos para computadores pessoais (PCs), o que demonstra a possibilidade de se ter uma avaliação psicofísica de amplo espectro em consultórios clínicos a um custo razoável.

A escolha dos estímulos apresentados neste trabalho reflete a inicial necessidade de adequação de padrões espaciais e temporais simples, cujo desenvolvimento pelo Prof. MSc. Anderson Raiol Rodrigues não exigiu plataformas computacionais de difícil acesso ou alto custo, a uma ferramenta (PC) comum em consultórios de clínica oftalmológica e neurológica. Além disso, enquanto que o estímulo utilizado no teste de sensibilidade ao contraste espacial - padrão de grades verticais com variação senoidal de luminância - é amplamente utilizado em diversos estudos já publicados (e citados neste trabalho ao longo da Introdução), para o estímulo utilizado no teste de sensibilidade ao contraste temporal - plano isoluminante com área quadrada central apresentando variação senoidal de luminância através de oscilações temporais - não foram encontrados similares na literatura, apenas estímulos temporais circulares e/ou com alguma variação espacial, o que indica a necessidade de outros estudos sobre as propriedades de sensibilidade visual a esse estímulo (BUSEY, 1999; GOMI *et al.*, 2006).

### **5.3 Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Espacial De Luminância**

Neste trabalho foram medidos valores normativos de sensibilidade ao contraste espacial e temporal de luminância apenas para pessoas na faixa etária de 16 a 30 anos, de ambos os sexos. Como uma diferença significativa de sensibilidade visual normalmente ocorre entre diferentes faixas etárias, sendo mais proeminente e melhor relatada na literatura quando a distância temporal entre indivíduos é relativamente grande, como entre crianças, jovens adultos e idosos, não se fez obrigatória a comparação entre indivíduos de diferentes idades contidos nesta faixa etária da amostra. Entretanto, é necessário que haja uma constante medida de valores normativos de sensibilidade visual para diferentes faixas etárias, envolvendo diferentes métodos e instrumentos de avaliação, para que se possa desenhar um panorama mais claro das variações ocorridas na sensibilidade do sistema visual humano ao longo do tempo (ADAMS; COURAGE, 2002; GINSBURG *et al.*, 1984; MANTYJARVI & LAITINEN, 2001; KINNEAR & SAHRAIE, 2002; LEAT; WEGMANN, 2004; SCHARRE *et al.*, 1990; SCIALFA *et al.*, 1988; MONTES-MICO; FERRER-BLASCO, 2001).

Comparar dados psicofísicos que foram obtidos em testes diferentes, com metodologias diferentes e estímulos diferentes, apesar de potencialmente gerar conflito entre resultados, permitir análises discrepantes, e limitar o uso dos valores normativos publicados, ainda assim muitas vezes é a única maneira de se avaliar a qualidade dos resultados gerados (LONG; PENN, 1987).

Na determinação dos limites de tolerância de sensibilidade ao contraste espacial de luminância, neste trabalho foram obtidas valores de sensibilidade para o limite superior acima de 400 na região de frequências espaciais entre 2 e 4 ciclos/grau (472.04 e 527.16, respectivamente), e abaixo de 100 no limite inferior (69.43 e 98.93, respectivamente) na amostra avaliada. Já para a medida dos limites de confiança dos dados da amostra como um todo, foram obtidas médias de valores médios de sensibilidade acima de 300 na região de frequências espaciais entre 2-4 ciclos/grau (318.08 e 363.40, respectivamente) para o limite superior, e acima de 200 (223.39 e 262.69, respectivamente) para o limite inferior.

Comparativamente, Boeckelmann e Pfister (2003) apresentaram em seu trabalho uma faixa de valores normativos para o teste Vistech Chart VCTS 6500, a qual, nas frequências de 1,5 e 3,0 ciclos/grau determinam uma faixa de sensibilidade de cerca de 25-90 e 40-150, respectivamente, com faixa de pico de sensibilidade de cerca de 40-200 na



frequência de 6 ciclos/grau. Se comparada com as faixas de tolerâncias e de confiança delineadas neste trabalho, a sensibilidade para as frequências de 1,5 e 3,0 ciclos/grau somente estariam situadas dentro da faixa de tolerância; já a sensibilidade para a frequência 6,0 ciclos/grau, teria somente valores acima de 60 situados nas faixas de tolerância e de confiança.

Por outro teste, o Functional Acuity Contrast Test 101, Schreiber e colaboradores (2002) delinearam valores normais de sensibilidade ao contraste espacial de 17 indivíduos. Se os valores de sensibilidade encontrados por estes autores para as frequências de 1,5, 3,0, e 6,0 ciclos/grau, são comparados com os delineados neste trabalho, estes somente estariam situados dentro da faixa de tolerância.

Quando da avaliação independente dos limites de tolerância dos diferentes grupos, neste trabalho somente o limite superior das mulheres testadas apresentou maior similaridade de resultado com o grupo como um todo (478.22 e 552.59, respectivamente), se comparado com os valores de sensibilidade apresentados pelos homens, bem mais elevados (532.94 e 576.35, respectivamente). Por outro lado, no limite inferior, tanto homens como mulheres tiveram desempenho um pouco abaixo do revelado pelo grupo como um todo (homens: 33.05 e 37.78, respectivamente; mulheres: 38.74 e 85.46, respectivamente). Já na avaliação independente dos limites de confiança dos diferentes grupos, no limite superior de ambos os grupos foram obtidos valores de sensibilidade diversamente mais elevados que os da amostra (homens: 360.47 e 390.53, respectivamente; mulheres: 326.59 e 391.43, respectivamente), enquanto que para o limite inferior, foram obtidos valores de sensibilidade próximos aos da amostra como um todo, tanto para os homens (205.52 e 223.60, respectivamente) como para as mulheres (190.37 e 246.63, respectivamente).

Benedek e colaboradores (2002), também utilizando um teste computadorizado (*Venus*), testaram somente mulheres (n = 15) para o estabelecimento de dados normais de sensibilidade ao contraste espacial. Em seu trabalho, obtiveram como resultados valores para as frequências 1,91, 2,87 e 3,58 ciclos/grau dentro de ambas as faixas de tolerância e de confiança aqui delineadas para o grupo das mulheres, enquanto que para a frequência de 4,78 ciclos/grau, os valores de sensibilidade obtidos por esses autores somente estiveram situados dentro da faixa de tolerância apresentada neste trabalho para este mesmo grupo.

Por outro lado, Amick e colaboradores (2003), utilizando o Vistech Contrast Sensitivity Chart, testaram 15 indivíduos, sendo 8 homens e 7 mulheres, e estabeleceram dados para controle de sensibilidade ao contraste espacial, obtendo como resultado valor (log)

de sensibilidade para a frequência de 3 ciclos/grau situado dentro de ambas as faixas de tolerância e de confiança delineadas aqui

Várias razões podem contribuir para as diferenças encontradas nestas comparações. Como já citado acima, a diferença entre testes, a diferença de metodologia aplicada, e, principalmente, as diferentes características da amostra populacional aqui testada em relação às dos trabalhos aqui citados, em sua totalidade originárias de outros países, podem ser determinantes para que seus valores de sensibilidade sejam mais comumente encontrados dentro do intervalo de tolerância, de maior escala, do que dentro do intervalo de confiança, o qual representa rigidamente um parâmetro amostral/populacional específico. Além disso, os trabalhos aqui comparados, ou apresentam valores médios de grupos controle (de no mínimo 15 pessoas), ou apresentam somente valores de limites de tolerância, o que impossibilita a avaliação de possíveis interseções entre intervalos de confiança de amostras distintas.

Na amostra como um todo, a avaliação pelo Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov modificado por Lilliefors revelou que para o teste de sensibilidade ao contraste espacial, as médias apresentam comportamento compatível com a função normal em quase todas as frequências espaciais ( $p > 0.05$ ), com exceção das frequências 4 e 30 ciclos/grau ( $p < 0.01$ ), enquanto que na avaliação independente dos diferentes grupos, os resultados do grupo dos homens encontram-se dentro de padrões teóricos esperados ( $p > 0.05$ ), mas os das mulheres, apesar de revelarem um padrão de normalidade na maioria das frequências espaciais, têm sua exceção na frequência de 30 ciclos/grau ( $p < 0.01$ ). Possivelmente, estes pontos de não-normalidade devem-se a característica variável das amostras independentes (homens e mulheres), que, relacionadas em grupo e em número ( $n$ ) relativamente pequeno, revelam uma inter-variância significativa.

Isto possivelmente também explica porque nos gráficos os limites inferiores dos intervalos de tolerância de ambos os grupos não apresentaram o comportamento esperado (passa-banda), o que não ocorreu com os limites dos intervalos de confiança. Como o aumento do  $n$  da amostra tem diferentes consequências sobre os intervalos de confiança e de tolerância (nos primeiros, os limites tendem a se aproximar do parâmetro em questão, a média; nos segundos, esses limites tendem a se fixar em determinados valores), para que os limites inferiores dos intervalos de tolerância apresentassem a configuração passa-banda, o  $n$  dos grupos teria que pelo menos ser o triplo (ver APÊNDICE 7). Por isso, quando da determinação dos intervalos de tolerância para amostra como um todo, com o dobro do  $n$  dos

grupos em separado, os limites delineados já apresentam o padrão esperado para a curva (passa-banda).

#### **5.4 Dos Resultados Dos Testes De Sensibilidade Ao Contraste Temporal De Luminância**

A avaliação de dados psicofísicos de testes de sensibilidade ao contraste temporal de luminância torna-se ainda mais difícil de se fazer, principalmente pela diversidade de estímulos que, geralmente, estão associados com aspectos da dimensão espacial, se forem considerados os trabalhos mais recentes na literatura. Deste modo, não foram encontrados trabalhos publicados que apresentassem estímulo semelhante ao utilizado neste estudo.

Nos indivíduos de ambos os sexos testados neste trabalho, os limites de tolerância de sensibilidade temporal obtidos apresentaram valores médios para o limite superior acima de 100 na região de frequências temporais em torno de 8Hz (140.28), e abaixo de 80 no limite inferior (66.22) na amostra avaliada. Quando da avaliação independente dos diferentes grupos, ambos apresentaram similaridade de resultado com o grupo como um todo, tanto no limite superior (homens: 148,42; mulheres: 143,31), como no inferior (homens: 63,73; mulheres: 58,16). Já para a medida dos limites de confiança de sensibilidade ao contraste temporal de luminância da amostra como um todo, foram obtidos valores médios de sensibilidade acima de 100 na região de frequências espaciais entre 8Hz (111.52) para o limite superior, e um pouco abaixo de 100 (94.98) para o limite inferior. Quando da avaliação independente dos diferentes grupos, no limite superior de ambos os grupos foram obtidos valores de sensibilidade um pouco acima dos da amostra como um todo (homens: 118,87; mulheres: 113,03), enquanto que para o limite inferior, foram obtidos valores de sensibilidade um pouco abaixo dos mesmos (homens: 93,27; mulheres: 88,45).

Ao comparar-se esses dados com os do clássico trabalho de De Lange (1958), onde a sensibilidade ao contraste temporal, em condições fotópicas, parte de valores em torno de 50 para um pico em torno de 200 na frequência de 8Hz, os resultados deste autor encontram-se dentro da faixa de tolerância delineada neste trabalho a partir de um valor de sensibilidade em torno de 58, e dentro da faixa de confiança a partir de um valor de sensibilidade em torno de 88. Por outro lado, neste trabalho os maiores valores de pico de sensibilidade encontraram-se em torno de 148 (para um grupo independente, os homens),

abaixo do valor encontrado por De Lange de cerca de 200 (DE LANGE, 1958; WATSON; AHUMADA, 1985; KALLONIATIS, LUU, 2006b). Entretanto, apesar dessas diferenças, as quais podem estar relacionadas a diferentes métodos e ferramentas utilizados, na comparação entre trabalhos existe uma larga faixa de sensibilidade em interseção.

Já no trabalho mais recente de Elleberg e colaboradores (1999), a sensibilidade temporal de 24 indivíduos adultos normais, entre 18-26 anos de idade, foi estabelecida como em torno de 100, na faixa de frequências em torno de 5Hz, e 95 em torno da faixa de frequências de 10Hz. Comparativamente, os dados desses autores estão situados dentro de ambas as faixas de tolerância e de confiança delineadas neste trabalho.

Na amostra como um todo, a avaliação pelo Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov modificado por Lilliefors revelou que para o teste de sensibilidade ao contraste temporal, as médias apresentam comportamento compatível com a função normal em quase todas as frequências temporais ( $p > 0.05$ ), com exceção da frequência 4Hz ( $p < 0.01$ ). Por outro lado, quando da avaliação independente dos diferentes grupos, os resultados do grupo dos homens encontram-se dentro de padrões teóricos esperados ( $p > 0.05$ ), enquanto que os das mulheres, apesar de revelarem um padrão de normalidade na maioria das frequências temporais, têm sua exceção na frequência 4Hz ( $p < 0.01$ ).

Embora mais discretos graficamente que os do teste de sensibilidade ao contraste espacial, estes pontos de não-normalidade possivelmente também estão relacionados à característica variável das amostras independentes (homens e mulheres), que, relacionadas em grupo e em número ( $n$ ) relativamente pequeno, ainda revelam uma inter-variância significativa.

Nos gráficos, os limites dos intervalos de tolerância de ambos os grupos apresentaram o comportamento esperado (passa-baixa), o que não ocorreu no teste espacial. Talvez o fato de nas frequências temporais testadas, mesmo as mais altas, não haver correlação com níveis muito baixos de sensibilidade, tenha contribuído com a estabilidade de comportamento das curvas resultantes. Entretanto, somente a continuação dos estudos sobre as propriedades visuais normais e alteradas desafiadas com esse estímulo possibilitarão interrelações mais consistentes.

Neste trabalho foram medidos, através de testes psicofísicos computadorizados, os aspectos espacial e temporal da sensibilidade ao contraste de luminância. A medida de valores normativos, delineadores de faixas de normalidade estatística (intervalos de confiança e de tolerância), resultou em valores consistentes para indivíduos adultos na faixa etária entre 16 e 30 anos, permitindo que estas medidas e estes testes psicofísicos visuais sejam utilizados no estudo de alterações visuais, através da comparação entre os resultados normais obtidos neste trabalho e o de indivíduos e/ou populações que apresentem possíveis alterações visuais.

Os estímulos visuais utilizados neste trabalho, desenvolvidos pelo Prof. MsC. Anderson Raiol Rodrigues no Laboratório de Neurofisiologia do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, além de demonstrar resultados confiáveis para testes psicofísicos de determinação de curvas de sensibilidade ao contraste, também comprovam a viabilidade da utilização de estímulos psicofísicos de avaliação visual em computadores pessoais (PCs), permitindo a adoção desses testes na prática clínica, tanto oftalmológica como neurológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams RJ, Courage ML. **Using a single test to measure human contrast sensitivity from early childhood to maturity.** *Vision Research*, 42: 1205-1210, 2002.
- Akutsu H, Legge GE, Ross JA, Schuebel KJ. **Psychophysics of reading--X. Effects of age-related changes in vision.** *Journal of Gerontology*, 46 (6): 325-331, 1991.
- Amick M, Cronin-Golomb A, Gilmore GC. **Visual processing of rapidly presented stimuli is normalized in Parkinson's disease when proximal stimulus strength is enhanced.** *Vision Research*, 43: 2827-2835, 2003.
- Anstey KJ, Lord SR, Williams P. **Strength in the lower limbs, visual contrast sensitivity, and simple reaction time predict cognition in older women.** *Psychology of Aging*, 12 (1): 137-44, 1997.
- Arango HG. **Bioestatística Teórica e Computacional.** 2ª edição, Guanabara Koogan, 2005.
- Arden GB. **The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbances.** *British Journal of Ophthalmology*, 65: 198-209, 1978.
- Arditi A. **Improving the design of the letter contrast sensitivity test.** *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 46(6):2225-2229, 2005
- Baylor DA. **Photoreceptor signals and vision. Proctor lecture.** *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 28 (1): 34-49, 1987.
- Benedek G, Benedek K, Kéri S, Janaky M. **The scotopic low-frequency spatial contrast sensitivity develops in children between the ages of 5 and 14 years.** *Neuroscience Letters*, 345: 161-164, 2003.
- Benedek K, Tajti J, Janaky M, Vecsei L, Benedek G. **Spatial contrast sensitivity of migraine patients without aura.** *Cephalalgia*, 22(2): 142-145, 2002.
- Bi J, Ennis DM. **Sensory thresholds: concepts and methods.** *Journal of Sensory Studies*, 13: 133-148, 1998.
- Blake R, Logothetis NK. **Visual Competition.** *Nature Reviews Neuroscience*, 3: 1-11, 2002.
- Blakemore C, Campbell FW. **On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images.** *Journal of Physiology (London)*, 213: 237-260, 1969.
- Boeckelmann I, Pfister EA. **Influence of occupational exposure to organic solvent mixtures on contrast sensitivity in printers.** *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 45(1): 25-33, 2003.
- Brown SP, Masland RH. **Spatial scale and cellular substrate of contrast adaptation by retinal ganglion cells.** *Nature Neuroscience*, 4 (1) : 44-51, 2001.

Busey TA. **Localization and identification tasks rely on different temporal frequencies.** Vision Research, 39(3): 513-532, 1999.

Callaway EM. **Neural mechanisms for the generation of visual complex cells.** Neuron, 32(3): 515-525, 2001.

Campbell FW, Green DG. **Optical and retinal factors affecting visual resolution.** Journal of Physiology (London), 181: 576-593, 1965.

Campbell W, Robson JG. **Application Of Fourier Analysis To The Visibility Of Gratings.** Journal of Physiology, 197: 551-566 551, 1968.

Campbell FW, Johnstone JR, Ross J. **An explanation of the visibility of low frequency gratings.** Vision Research, 21: 723-730, 1981.

Canto-Pereira LHM, Lago M, Costa MF, Rodrigues AR, Saito CA, Silveira LCL, Ventura DF. **Visual impairment on dentists related to occupational mercury exposure.** Environmental Toxicology and Pharmacology, 19: 517-522, 2005.

Corwin TR, Carlson NB, Berger E. **Contrast sensitivity norms for the Mentor B-VAT II-SG video acuity tester.** Optometry and Vision Science, 66(12):864-70, 1989.

Cowan WB. **An inexpensive scheme for calibration of a color monitor in terms of CIE standard coordinates.** Computer Graphics, 17: 315-321, 1983.

Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE, Hendrickson AE. **Human photoreceptor topography.** Journal of Comparative Neurology, 292: 497-523, 1990.

Dacey DM, Petersen MR. **Dendritic field size and morphology of midget and parasol ganglion cells of the human retina.** Proceedings of National Academy of Sciences USA, 89 (20): 9666-9670, 1992.

Dacey DM. **Parallel pathways for spectral coding in primate retina.** Annual Review of Neuroscience, 23: 743-775, 2000.

Daitch JM, Green DG. **Contrast sensitivity of the human peripheral retina.** Vision Research, 9: 947-952, 1969.

Daugman JG. **Two-dimensional spectral analysis of cortical receptive field profiles.** Vision Research, 20: 847-856, 1980.

De Lange H. **Research into the dynamic nature of the human fovea-cortex systems with intermittent and modulated light. I. Attenuation characteristics with white and colored light.** Journal of the Optical Society of America, 48: 777-784, 1958.

De Valois RL, Morgan H, Snodderly DM. **Psychophysical studies of monkey vision III. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers.** Vision Research, 14: 75-81, 1974.

De Valois RL, De Valois KK. **Spatial Vision.** Oxford University Press, New York, 1988.

De Vocht F, Van-Wendel-de-Joode B, Engels H, Kromhout H. **Neurobehavioral effects among subjects exposed to high static and gradient magnetic fields from a 1.5 Tesla Magnetic Resonance Imaging System – a case-crossover pilot study.** *Magnetic Resonance in Medicine*, 50: 670-674, 2003.

Derefeldt G, Lennerstrand G, Lundh B. **Age variations in normal human contrast sensitivity.** *Acta Ophthalmologica (Copenh)*, 57(4): 679-690, 1979.

Elleberg D, Lewis TL, Liu CH, Maurer D. **Development of spatial and temporal vision during childhood.** *Vision Research*, 39: 2325–2333, 1999.

Enroth-Cugell C, Robson JG. **The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat.** *Journal of Physiology (London)*, 187: 517-552, 1966.

Farell B, Pelli DG. **Psychophysics methods, or how to measure a threshold, and why.** In: Carpenter RHS & Robson JG (eds.). **Vision Research: A Practical Guide to Laboratory Methods**, p. 129-136. Oxford: Oxford University Press, 1999.

Feitosa-Santana C, Costa MF, Lago M, Ventura DF. **Long-term loss of color vision after exposure to mercury vapor.** *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 40: 409-414, 2007.

Felius J, Swanson WH. **Photopic temporal processing in retinitis pigmentosa.** *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 40(12): 2932-2944, 1999.

Fellman DJ, Van Essen DC. **Distributed hierarchical processing in the primate visual cortex.** *Cerebral Cortex*, 1: 1–47, 1991.

Ginsburg AP, Evans DW, Cannon MW Jr, Owsley C, Mulvanny P. **Large-sample norms for contrast sensitivity.** *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 61(2): 80-84, 1984.

Goebel R, Muckli L, Kim D-S. Chapter 35: **Visual System.** In: **The Human Nervous System**, pp. 2-27, Second Edition, Elsevier (USA), 2004.

Goldstein EB. **Sensation and Perception**, 5<sup>th</sup> ed. Brooks/Cole Publishing, 1999.

Gomes J, Velho L. **Computação Gráfica: Imagem.** Rio de Janeiro: IMPA/SBM, 1994.

Gomes J, Velho L. **Abstraction Paradigms for Computer Graphics.** *The Visual Computer*, 11(5): 227--239, 1995.

Gomi H, Abekawa N, Nishida S. **Spatiotemporal Tuning of Rapid Interactions between Visual-Motion Analysis and Reaching Movement.** *The Journal of Neuroscience*, 26(20): 5301–5308, 2006.

Gong Y, Kishi R, Kasai S, Katakura Y, Fujiwara K, Umemura T, Kondo T, Sato T, Sata F, Tsukishima E, Tozaki S, Kawai T, Miyama Y. **Visual dysfunction in workers exposed to a mixture of organic solvents.** *Neurotoxicology*, 24: 703-710, 2003.



Gouras P, Zrenner E. **Color vision: a review from a neurophysiological perspective.** Progress in Sensory Physiology, 1: 139-179, 1981.

Gouras P. **Color Vision.** In: Kolb H, Fernandez E, Nelson R. <http://webvision.med.utah.edu>. Arquivo consultado em 2006.

Graham N, Nachmias J. **Detection of grating patterns containing two spatial frequencies: a comparison of single channel and multichannel models.** Vision Research, 11: 251-259, 1971.

Greenlee MW, Magnussen S. **Spatial waveform discrimination following higher-harmonic adaptation.** Journal of the Optical Society of America A, 5: 1744-1748, 1988.

Haegerstrom-Portnoy G, Brabyn J, Schneck ME, Jampolsky A. **The SKILL Card. An acuity test of reduced luminance and contrast.** Smith-Kettlewell Institute Low Luminance. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 38(1): 207-218, 1997.

Hall JL. **Hybrid adaptive procedure for estimation of psychometric functions.** Journal of the Acoustical Society of America, 69: 1763-1769, 1981.

Hart Jr WM. **The temporal responsiveness of vision.** In: Adler's physiology of the eye. **Clinical application.** Moses & Hart ed, St Louis, The C. V. Mosby Company, 1987.

Hendry SHC, Reid RC. **The Koniocellular Pathway In Primate Vision.** Annual Review of Neuroscience, 23: 127-153, 2000.

Hubel DH, Wiesel TN. **Receptive Fields Of Single Neurones In The Cat's Striate Cortex.** Journal of Physiology, 148: 574-591, 1959.

Hubel DH, Wiesel TN. **Receptive Fields, Binocular Interaction And Functional Architecture In The Cat's Visual Cortex.** Journal of Physiology, 160: 106-154, 1961.

Hubel DH, Wiesel TN. **Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex.** Journal of Physiology, 195: 215-243, 1968.

Hubel DH, Wiesel TN. **Early Exploration of the Visual Cortex.** Neuron, 20: 401-412, 1998.

Hudnell HK. **Chronic biotoxin-associated illness: multiple-system symptoms, a vision deficit, and effective treatment.** Neurotoxicology and Teratology, 27: 733-743, 2005.

Jackson GR, Owsley C. **Visual dysfunction, neurodegenerative diseases, and aging.** Neurological Clinics of North America, 21: 709-728, 2003.

Johnson KO, Hsiao SS, Yoshioka T. **Neural coding and the basic law of Psychophysics.** The Neuroscientist, 8(2): 111-121, 2002.

Kalloniatis M, Luu C. **Visual acuity.** In: Kolb H, Fernandez E, Nelson R. <http://webvision.med.utah.edu>. Arquivo consultado em 2006(a).

Kalloniatis M, Luu C. **Temporal resolution.** In: Kolb H, Fernandez E, Nelson R. <http://webvision.med.utah.edu>. Arquivo consultado em 2006(b).

Kamel F, Rowland AS, Park LP, Anger WK, Baird DD, Gladen BC, Moreno T, Stallone L, Sandler DP. **Neurobehavioral performance and work experience in Florida farmworkers.** Environmental Health Perspectives, 111(14): 1765-1772, 2003.

Kaplan E, Shapley RM. **The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity.** Proceedings of National Academy of Sciences USA, 83(8): 2755-2757, 1986.

Kelly DH. **Visual responses to time-dependent stimuli. I. Amplitude sensitivity measurements.** Journal of the Optical Society of America, 51: 422-429, 1961.

Kéri S, Antal A, Kálmán J, Janka Z, Benedek G. **Early visual impairment is independent of the visuocognitive and memory disturbances in Alzheimer's disease.** Vision Research, 39: 2261-2265, 1999.

Kershaw CD. **Statistical properties of staircase estimates from two interval forced choice experiments.** British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 38: 35-43, 1985

Kinnear PR, Sahraie R. **New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70.** British Journal of Ophthalmology, 86(12): 1408-1411, 2002.

Klymenko V, Pizer SM, Johnston RE. **Visual Psychophysics and Medical Imaging: Nonparametric Adaptive Method for Rapid Threshold Estimation in Sensitivity Experiments.** Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions On Medical Imaging, Vol Y (4): 353-365, 1990.

Kollmeier B, Gilkey RH, Sieben UK. **Adaptive staircase techniques in psychoacoustics: A comparison of human data and a mathematical model.** Journal of the Acoustical Society of America, 83(5): 1852-1861, 1988.

Lamming D. Chapter 8: **Spatial frequency channels.**In: Cronly-Dylon J. **Vision and Visual Dysfunction**, vol 5, London: Mcmillan Press, 1991.

Land E. **Recent advances in retinex theory.** Vision Research, 26: 7-21, 1986.

Leat SJ, Wegmann D. **Clinical testing of contrast sensitivity in children: age-related norms and validity.** Optometry and Vision Science, 81(4): 245-254, 2004.

Lee BB, Pokorny J, Smith VC, Martin PR, Valberg A. **Luminance and chromatic modulation sensitivity of macaque ganglion cells and human observers.** Journal of Optical Society of America, 7: 2223-2236, 1990.

Levitt H, Treisman M. **Control charts for sequential testing.** Psychometrika, 34: 509-518, 1969.

Levitt H. **Transformed up-down methods in psychoacoustics.** Journal of the Acoustical Society of America, 44: 467-477, 1971.

Livingstone MS, Hubel DH. **Connections between layer 4B of area 17 and the thick cytochrome oxidase stripes of area 18 in the squirrel monkey.** Journal of Neuroscience, 7(11): 3371-3377, 1987a.

Livingstone MS, Hubel DH. **Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth.** Journal of Neuroscience, 7(11): 3416-3468, 1987b.

Livingstone MS, Hubel DH. **Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception.** Science, 240(4853): 740-749, 1988.

Long GM, Penn DL. **Normative contrast sensitivity functions: the problem of comparison.** American Journal of Optometry and Physiological Optics, 64(2):131-135, 1987.

Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey KJ. **Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women.** Journal of American Geriatric Society, 42(10): 1110-1117, 1994.

Mäntyjärvi M, Laitinen T. **Normal values for the Pelli-Robson contrast sensitivity test.** Journal of Cataract and Refractive Surgery, 27: 261-266, 2001.

Marcelja S. **Mathematical description of the responses of simple cortical cells.** Journal of the Optical Society of America, 70(11): 1297-1300, 1980.

Marr D. **Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information.** WH Freeman and Company, New York, 1982.

Martinez LM, Alonso J-M. **Construction of Complex Receptive Fields in Cat Primary Visual Cortex.** Neuron, 32: 515-525, 2001.

Masland RH, Raviola E. **Confronting complexity: strategies for understanding the microcircuitry of the retina.** Annual Review of Neuroscience, 23: 249-284, 2000.

Mayer DL, Beiser AS, Warner AF, Pratt EM, Raye KN, Lang JM. **Monocular Acuity Norms for the Teller Acuity Cards Between Ages One Month and Four Years.** Investigative Ophthalmology & Visual Science, 36: 671-685, 1995.

Merwine DK, Amthor FR, Grzywacz NM. **Interaction between center and surround in rabbit retinal ganglion cells.** Journal of Neurophysiology, 73(4): 1547-1567, 1995.

Michael C. **Color vision mechanisms in monkey striate cortex: dual opponent cells with concentric receptive fields.** Journal of Neurophysiology, 41: 572-588, 1977.

Mollon JD, Baker MR. **The use of CRT displays in research on colour vision.** In: Drum, B. (ed.) **Colour Vision Deficiencies XII**, p. 423-443. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995.

Molotchnikoff S, Shumikhina S, Moisan LE. **Stimulus-dependent oscillations in the cat visual cortex: differences between bar and grating stimuli.** Brain Research, 731(1-2): 91-100, 1996.

Montes-Mico R, Ferrer-Blasco T. **Contrast sensitivity function in children: normalized notation for the assessment and diagnosis of diseases.** Documenta Ophthalmologica, 103(3): 175-186, 2001.

Mountcastle VB, Poggio GF, Werner G. **The relation of thalamic cell response to peripheral stimuli varied over an intensive continuum.** Journal of Neurophysiology, 26: 807-834, 1963.

Mullen KT. **The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings.** Journal of Physiology (London), 359: 381-409, 1985.

Nathans J. **The genes for color vision.** Scientific American, 260(2): 42-49, 1989.

Neitz J, Jacobs GH. **Polymorphism of the long-wavelength cone in normal human color vision.** Nature, 323(6089): 623-625, 1986.

Nelson R, Kolb H, Freed M. **Off-alpha and Off-beta ganglion cells in cat retina. I. Intracellular electrophysiology and HRP stains.** Journal of Comparative Neurology, 329: 68-84, 1993.

Nelson R. **Visual responses of ganglion cells.** In: Kolb H, Fernandez E, Nelson R. <http://webvision.med.utah.edu>. Arquivo consultado em 2006.

Oliveira AGF, Costa MF, De Souza JM, Ventura DF. **Contrast sensitivity threshold measured by sweep-visual evoked potential in term and preterm infants at 3 and 10 months of age.** Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 37: 1389-1396, 2004.

Pasquarelli MRL. **Normas para a apresentação de trabalhos acadêmicos (Abnt/Nbr-14724, Agosto 2002),** 2a Edição, Edifício, Osasco-SP, 2004.

Patel AS. **Spatial resolution by the human visual system.** Journal of the Optical Society of America, 56: 689-694, 1966.

Peichl L. **Diversity of mammalian photoreceptor properties: adaptations to habitat and lifestyle? The anatomical record. Part A.** Discoveries in molecular, cellular, and evolutionary biology, 287(1): 1001-1012, 2005.

Poynton C. **A Guided Tour of Color Space.** Versão resumida do artigo publicado em New Foundations for Video Technology - Proceeding of the SMPTE Advanced Television and Electronic Imaging Conference, San Francisco, p. 167-180, 1995.

Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Katz LC, LaMantia A-S, McNamara JO, Williams SM. **Neuroscience.** 2nd ed. Sunderland Editors (MA): Sinauer Associates, Inc. 2001.

Rice DC, Gilbert SG. **Effects of developmental exposure to methyl mercury on spatial and temporal visual function in monkeys.** Toxicology Applied Pharmacology, 102(1): 151-163, 1990.

Robertson LC. **Binding, Spatial Attention And Perceptual Awareness.** Nature Reviews Neuroscience, 4: 93-102, 2003.

Rodieck RW. **Quantitative analysis of cat retinal ganglion cell response to visual stimuli.** Vision Research, 5(11): 583-601, 1965.

Rodrigues AR. **O desenvolvimento de aplicativos de avaliação psicofísica visual em estações de trabalho IBM/RISC.** 2003, 110f. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém do Pará, 2003.

Rodrigues AR, Souza CRB, Rodrigues PSS, Silveira AT, Damin ETB, Côrtes MIT, Castro AJO, Mello GA, Vieira JLF, Pinheiro MCN, Ventura DF, Silveira LCL. **Mercury toxicity in the Amazon: contrast sensitivity and color discrimination of subjects exposed to mercury.** Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 40: 415-424, 2007.

Rose RM, Teller DY, Rendleman P. **Statistical properties of staircase estimates.** Perception and Psychophysics, 8(4): 199-204, 1970;

Ross HE. **Orientation anisotropy: some caveats in interpreting group differences and developmental changes.** Ophthalmic and Physiologic Optics: the Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists), 12(2): 215-219, 1992.

Rovamo J, Virsu V, Nasanen R. **Cortical magnification factor predicts de photopic contrast sensitivity of peripheral vision.** Nature, 271: 54-56, 1978

Sachs MB, Nachmias J, Robson JG. **Spatial-frequency channels in human vision.** Journal of the Optical Society of America, 61: 1176-1186, 1971.

Salomão SR, Ventura DF. **Large Sample Population Age Norms for Visual Acuties Obtained With Vistech-Teller Acuity Cards.** Investigative Ophthalmology & Visual Science, 36: 657-670, 1995.

Scharre JE, Cotter SA, Block SS, Kelly SA. **Normative contrast sensitivity data for young children.** Optometry and Vision Science, 67(11): 826-832, 1990.

Schiller PH. **The ON and OFF channels of the visual system.** Trends of Neuroscience, 15 (3): 86-92, 1992.

Schreiber JS, Hudnell HK, Geller AM, House DE, Aldous KM, Force MS, Langguth K, Prohonic EJ, Parker JC. **Apartment residents' and day care workers' exposures to tetrachloroethylene and deficits in visual contrast sensitivity.** Environmental Health Perspectives, 110(7): 655-664, 2002.

Scialfa CT, Tyrrell RA, Garvey PM, Deering LM, Leibowitz HW, Goebel CC. **Age differences in Vistech near contrast sensitivity.** American Journal of Optometry and Physiological Optics, 65(12): 951-956, 1988.

Shapley R, Enroth-Cugell C. **Visual Adaptation and Retinal Gain Controls.** Progress in Retinal Research, 3: 263-346, 1984.

Shapley R, Victor J. **Hyperacuity in cat retinal ganglion cells.** Science, 231(4741): 999-1002, 1986.

Silveira LCL, Pinheiro MCN, Damim EB, Moura AL, Rodrigues AR, Mello GA. **Visual dysfunction in Amazonian gold miners suffering from metallic mercury poisoning.** Investigative Ophthalmology & Visual Science, 40(S436), 1999.

Silveira LC, Saito CA, Lee BB, Kremers J, Da Silva Filho M, Kilavik BE, Yamada ES, Perry VH. **Morphology and physiology of primate M- and P-cells.** Progress in Brain Research, 144: 21-46, 2004a.

Silveira LCL, Ventura DF, Pinheiro MCN. **Toxicidade mercurial – Avaliação do sistema visual em indivíduos expostos a níveis tóxicos de mercúrio.** Ciência e Cultura, 56(1): 36-38, 2004b.

Simpson WA. **The step method: A new adaptive psychophysical procedure.** Perception and Psychophysics, 45(6): 572- 576, 1989.

Simons K. **Stereoacuity Norms in Young Children.** Archives of Ophthalmology, 99: 439-445, 1981.

Simons K. **Visual Acuity Norms in Young Children.** Survey of Ophthalmology, 27: 84-92, 1983.

Sincich LC, Horton JC. **The Circuitry of V1 and V2: Integration of Color, Form, and Motion.** Annual Review of Neuroscience, 28: 303-26, 2005.

Skoczenski AM, Norcia AM. **Neural noise limitations on infant visual sensitivity.** Nature, 391: 697-700, 1998.

Stevens SS. **Neural events and the psychophysical law.** Science, 170: 1043–1050, 1970.

Stromeyer III CF, Klein S. **Spatial frequency channels in human vision as asymmetric (edge) mechanisms.** Vision Research, 14: 1409-1420, 1974.

Thomas JP, Bagrash FM, Kerr LG. **Selective stimulation of two formsensitive mechanisms.** Vision Research, 9: 625-627, 1969.

Thomas JP. **Model of the function of receptive fields in human vision.** Psychology Review, 77: 121-134, 1970.

Tootell RBH, Dale AM, Sereno MI, Malach R. **New images from human visual cortex.** Trends in Neuroscience, 19: 481–489, 1998.

Ts'o DY, Frostig RD, Lieke EE, Grinvald A. **Functional organization of primate visual cortex revealed by high resolution optical imaging.** Science, 249: 417-420, 1990.

Van Nes FL, Bouman MA. **Spatial modulation transfer in the human eye.** Journal of Optical Society of America, 57: 401-406, 1967.

Vega-Bermudez F, Johnson KO. **SA1 and RA receptive fields, response variability, and population responses mapped with a probe array.** Journal of Neurophysiology, 81(6): 2701-2710, 1999.

Ventura DF, Silveira LCL, Nishi M, Costa MF, Gualtieri M, Dos Santos RMA, Pinto CT, De Moura ALA, Rodrigues AR, Sakurada C, Sauma MFLC, De Souza JM. **Color vision loss in patients treated with chloroquine.** Arquivos Brasileiro de Oftalmologia, 66: 9-15, 2003.

Ventura DF, Quiros P, Carelli V, Salomão SR, Gualtieri M, Oliveira AGF, Costa MF, Berezovsky A, Sadun F, de Negri AM, Sadun AA. **Chromatic and Luminance Contrast Sensitivities in Asymptomatic Carriers from a Large Brazilian Pedigree of 11778 Leber Hereditary Optic Neuropathy.** Investigative Ophthalmology & Visual Science, 46(12): 4809-4814, 2005.

Wässle H. **Parallel Processing In The Mammalian Retina.** Nature Reviews Neuroscience, 5: 1-11, 2004.

Watson AB , Ahumada Jr AJ. **A model of human visual motion sensing.** Journal of the Optical Society of America, 2: 322-342, 1985.

Weliky M, József F, Hunt RH, Wagner DN. **Coding of Natural Scenes in Primary Visual Cortex.** Neuron, 37: 703–718, 2003.

Werner G, Mountcastle VB. **Neural activity in mechanoreceptive cutaneous afferents: stimulus-response relations, Weber functions, and information transmission.** Journal of Neurophysiology, 28: 359–397, 1965.

Wetherill GB. **Sequential estimation of quantal response curves (with discussions).** Journal of the Royal Statistical Society (B), 25: 1-48, 1963.

Wetherill GB, Levitt H. **Sequential estimation of points on a psychometric function.** British Journal of Mathematical and Statistical Psychology, 18: 1-10, 1965.

Wetherill GB, Chen H, Vasudeva RB. **Sequential estimation of quantal response curves: A new method of estimation.** Biometrika, 53: 439-454, 1966.

Wright MJ, Johnston A. **Spatiotemporal Contrast Sensitivity And Visual Field Locus.** Vision Research, 23(10): 983-989, 1983.

Yang G, Masland RH. **Direct visualization of the dendritic and receptive fields of directionally selective retinal ganglion cells.** Science, 258(5090):1949-1952, 1992.

Zaghloul KA, Boahen K, Demb JB. **Different circuits for ON and OFF retinal ganglion cells cause different contrast sensitivities.** Journal of Neuroscience, 23(7): 2645-2654, 2003.

## ANEXOS

### ANEXO 1: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

#### **PROJETO: “MEDIDA DE SENSIBILIDADE AO CONTRASTE DE LUMINÂNCIA APLICADA ATRAVÉS DE TESTE PSICOFÍSICO COMPUTADORIZADO: DETERMINAÇÃO DE VALORES NORMATIVOS PARA USO CLÍNICO”**

Esta pesquisa pretende mostrar o padrão geral normal de aspectos da visão humana, principalmente em relação à sensibilidade ao contraste, de uma amostra da população da cidade de Belém do Pará, Brasil. Este padrão pode ser útil em pesquisas posteriores, permitindo a comparação de aspectos normais com aspectos alterados da visão humana nesta população.

Inicialmente, será realizada anamnese clínica, constando de uma entrevista com o(a) voluntário(a) através de um formulário próprio, com perguntas e respostas sobre seu estado de saúde atual. As informações contidas nos formulários serão analisadas, sendo essenciais para que o(a) voluntário(a) possa ser considerado apto ou não a participar da pesquisa.

Este trabalho não apresenta nenhum risco à saúde do(a) voluntário(a), pois os exames que serão utilizados não retiram amostras orgânicas do mesmo, e não é aplicado qualquer tipo de droga ou substância no(a) voluntário(a). Estes exames consistem apenas de testes visuais, à distância de 1 a 3 metros de um computador. Além disso, esses testes proverão benefícios aos voluntários, pois com os resultados revelando as condições de sua saúde visual, os mesmos poderão ser encaminhados a tratamento médico com especialistas clínicos (caso a visão apresente algum problema) e receberão orientações adequadas sobre o cuidado com seus olhos.

Os formulários de entrevista utilizados e os resultados dos exames dos voluntários serão arquivados sob os cuidados do pesquisador após a conclusão da pesquisa, havendo sigilo absoluto da identificação dos mesmos. Caso o(a) voluntário(a) solicite o resultado de algum dos exames, somente a ele(a) será fornecido o resultado.

O(a) voluntário(a) só participará da pesquisa por livre e espontânea vontade, não sendo obrigado a responder as perguntas do formulário nem dos testes visuais caso não queira, não havendo nenhuma forma de pressão ou represália ao mesmo.

#### **Pesquisador responsável:**

Cláudio Eduardo Corrêa Teixeira – CRBM 595

Endereço: Trav. Angustura, alameda Dr. Rocha, nº 54 – Bairro: Marco – CEP: 66087-110

Celular: (91) 8169 2204 / E-mail: cecteixeira@gmail.com.br

---

Assinatura do Pesquisador Responsável

Declaro que li as informações listadas acima sobre a pesquisa, e me sinto perfeitamente esclarecido sobre o conteúdo da mesma, assim como seus riscos e benefícios. Declaro ainda que, por minha livre e espontânea vontade, aceito participar da pesquisa respondendo e explicando as perguntas que serão a mim dirigidas durante a entrevista.

Belém, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

---

Assinatura do(a) Voluntário(a)



## **ANEXO 2: FICHA DE ANAMNESE**

**PROJETO: “MEDIDA DE SENSIBILIDADE AO CONTRASTE DE LUMINÂNCIA APLICADA ATRAVÉS DE TESTE PSICOFÍSICO COMPUTADORIZADO: DETERMINAÇÃO DE VALORES NORMATIVOS PARA USO CLÍNICO”**

**Pesquisador responsável:**

Cláudio Eduardo Corrêa Teixeira – CRBM 595

Endereço: Trav. Angustura, alameda Dr. Rocha, nº 54 – Bairro: Marco – CEP: 66087-110

Celular: (91) 8169 2204 / E-mail: cecteixeira@gmail.com.br

### **1 DADOS DE IDENTIFICAÇÃO**

**CÓDIGO:**

Sexo: F ( ) M ( )

Idade:

Cor: Amarelo ( ) Branco ( ) Índio ( ) Mestiço ( ) Negro ( )

Escolaridade:

Ocupação atual:

### **2 HISTÓRICO**

Faz uso de álcool: SIM ( ) NÃO ( ) Obs:

Contato com Cloroquina / Mercúrio / Agentes químicos: SIM ( ) NÃO ( ) Obs:

Diabético: SIM ( ) NÃO ( ) Obs:

Drogas psicotrópicas: SIM ( ) NÃO ( ) Obs:

Tabagismo: SIM ( ) NÃO ( ) Obs:

Traumas neurológicos/ofthalmológicos: SIM ( ) NÃO ( ) Obs:

### **3 DADOS COMPLEMENTARES**

**ANEXO 3: PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS DO NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL (Cópia)**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS

**PARECER DE ÉTICA DE PROJETO DE PESQUISA ENVOLVENDO SERES HUMANOS**

1. **Protocolo:** N.: 038/2004 -CEP/NMT
2. **Projeto de Pesquisa:** NÚCLEO DE EXCELÊNCIA EM NEUROPATOLOGIAS EMERGENTES – DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA MONITORAMENTO NEUROFISIOLÓGICO DA SAÚDE DE POPULAÇÃO AMAZÔNICAS.
3. **Pesquisador Responsável:** LUIZ CARLOS DE LIMA SILVEIRA
- 4-**Instituição / Unidade:** NMT/UFPA.
5. **Data de Entrada:** 10/04/2004
6. **Data do Parecer:** 30/04/2004

**PARECER**

O Comitê de Ética em Pesquisa do NMT/UFPA apreciou o protocolo em tela durante a reunião realizada no dia 30/04/2004. Considerando que foram atendidas as exigências da Resolução 196/96-CNS/MS, manifestou-se pela aprovação do parecer do relator.

Parecer: **APROVADO**

Belém, 30 de abril de 2004.

Profª Mª da Conceição Nascimento Pinheiro  
Coordenadora do CEP-NMT/UFPA

---



## APÊNDICES

### APÊNDICE A

**Tabela 5. Valores médios de sensibilidade ao contraste temporal de luminância para todos os indivíduos testados (n=34).**

Indivíduos	Teste de Sensibilidade ao Contraste Temporal de Luminância						
	Frequências Temporais (Hertz)						
	0,5	1,0	2,0	4,0	8,0	16,0	32,0
<b>AOM061204-113005</b>	95,44	94,47	74,16	82,45	117,30	42,89	21,82
<b>ARR060216-175106</b>	44,63	52,42	64,76	79,69	108,37	56,37	31,47
<b>AVG060916-153753</b>	90,87	93,03	94,31	111,92	121,83	63,41	29,25
<b>CBA060916-153902</b>	68,47	71,51	59,70	82,57	96,33	40,32	24,13
<b>CJD060921-162843</b>	73,06	82,27	88,64	110,50	102,00	73,36	28,06
<b>EMC060427-171956</b>	68,04	70,76	63,47	92,04	79,29	46,43	23,41
<b>IBT060424-174144</b>	39,71	54,90	53,73	86,21	82,17	77,87	26,54
<b>JC060920-165115</b>	63,20	47,01	56,67	72,86	93,50	45,04	26,88
<b>JS060916-165737</b>	67,02	91,37	100,58	111,92	133,17	69,05	32,38
<b>JTC060529-131724</b>	99,17	99,17	119,00	141,67	141,67	73,87	33,85
<b>LCM060327-135841</b>	63,14	59,90	64,63	91,37	110,50	52,76	25,66
<b>MFC060509-184056</b>	64,26	71,34	69,57	89,25	114,75	58,79	30,16
<b>ALL060818-170446</b>	77,92	76,90	80,95	90,67	96,33	53,91	26,11
<b>BNS061224-132114</b>	74,14	69,82	89,25	90,67	102,00	45,04	23,04
<b>CAM070110-161250</b>	61,39	59,50	71,78	76,90	104,83	40,95	21,72
<b>CLS060815-102957</b>	97,75	104,83	86,62	91,07	124,67	69,82	29,19
<b>ECA060831-160058</b>	127,50	133,17	127,50	110,50	141,67	72,86	35,84
<b>FVO060819-151535</b>	86,62	80,95	76,90	96,33	102,00	43,08	20,68
<b>GCP060819-152805</b>	61,62	69,27	80,90	90,46	97,75	44,88	24,59
<b>JLS061224-131812</b>	75,56	92,08	89,25	80,95	85,00	49,45	21,18
<b>JMR060819-133415</b>	72,86	100,79	104,83	96,33	102,00	57,14	44,36
<b>KVC061125-175640</b>	83,58	80,95	102,00	102,00	85,00	49,78	25,62
<b>LAC061224-113820</b>	141,67	141,67	127,50	141,67	104,83	58,41	25,99

<b>LPS061125-145449</b>	73,87	86,62	73,87	104,83	96,33	42,70	24,32
<b>LSS061219-174245</b>	73,87	76,90	90,67	102,00	102,00	46,13	25,14
<b>MAM060906-171644</b>	55,59	69,82	73,87	90,67	102,00	67,46	31,96
<b>NCS060830-151405</b>	69,15	71,17	76,70	83,79	78,93	38,68	20,98
<b>OAS061125-151720</b>	99,17	91,07	113,33	133,17	133,17	76,90	37,98
<b>SCC060426-172022</b>	87,55	98,60	89,37	89,37	112,20	61,37	24,60
<b>SVO060815-161254</b>	90,67	73,87	71,51	86,62	96,33	51,33	24,69
<b>TOM061126-172757</b>	90,67	79,54	76,50	96,33	102,00	56,67	30,05
<b>WDC060218-161852</b>	47,19	54,81	57,14	74,68	75,39	37,74	21,47
<b>MGL060427-165817</b>	78,32	86,74	93,90	90,34	82,57	55,94	29,97
<b>ERS060904-190636</b>	78,32	86,74	93,90	90,34	82,57	55,94	29,97
<b>Média</b>	<b>77,70</b>	<b>81,59</b>	<b>84,04</b>	<b>95,95</b>	<b>103,25</b>	<b>55,19</b>	<b>27,44</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>20,94</b>	<b>20,49</b>	<b>19,46</b>	<b>16,97</b>	<b>17,65</b>	<b>11,91</b>	<b>5,30</b>
<b>Limite de Confiança Superior</b>	<b>87,52</b>	<b>91,19</b>	<b>93,17</b>	<b>103,90</b>	<b>111,52</b>	<b>60,77</b>	<b>29,93</b>
<b>Limite de Confiança Inferior</b>	<b>67,89</b>	<b>71,98</b>	<b>74,92</b>	<b>87,99</b>	<b>94,98</b>	<b>49,60</b>	<b>24,96</b>
<b>Limite de Tolerância Superior</b>	<b>121,66</b>	<b>124,59</b>	<b>124,89</b>	<b>131,56</b>	<b>140,28</b>	<b>80,18</b>	<b>38,57</b>
<b>Limite de Tolerância Inferior</b>	<b>33,75</b>	<b>38,59</b>	<b>43,20</b>	<b>60,33</b>	<b>66,22</b>	<b>30,19</b>	<b>16,32</b>

APÊNDICE B

Tabela 6. Valores médios de sensibilidade ao contraste temporal de luminância para todos os homens testados (n=16).

<b>Teste de Sensibilidade ao Contraste Temporal de Luminância</b>							
<b>Indivíduos</b>	<b>Frequências Temporais (Hertz)</b>						
	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>8,0</b>	<b>16,0</b>	<b>32,0</b>
<b>ARR060216-175106</b>	44,63	52,42	64,76	79,69	108,37	56,37	31,47
<b>AVG060916-153753</b>	90,87	93,03	94,31	111,92	121,83	63,41	29,25
<b>JC060920-165115</b>	63,20	47,01	56,67	72,86	93,50	45,04	26,88
<b>LCM060327-135841</b>	63,14	59,90	64,63	91,37	110,50	52,76	25,66
<b>ALL060818-170446</b>	77,92	76,90	80,95	90,67	96,33	53,91	26,11
<b>CAM070110-161250</b>	61,39	59,50	71,78	76,90	104,83	40,95	21,72
<b>CLS060815-102957</b>	97,75	104,83	86,62	91,07	124,67	69,82	29,19
<b>ECA060831-160058</b>	127,50	133,17	127,50	110,50	141,67	72,86	35,84
<b>JMR060819-133415</b>	72,86	100,79	104,83	96,33	102,00	57,14	44,36
<b>LPS061125-145449</b>	73,87	86,62	73,87	104,83	96,33	42,70	24,32
<b>LSS061219-174245</b>	73,87	76,90	90,67	102,00	102,00	46,13	25,14
<b>MAM060906-171644</b>	55,59	69,82	73,87	90,67	102,00	67,46	31,96
<b>OAS061125-151720</b>	99,17	91,07	113,33	133,17	133,17	76,90	37,98
<b>TOM061126-172757</b>	90,67	79,54	76,50	96,33	102,00	56,67	30,05
<b>WDC060218-161852</b>	47,19	54,81	57,14	74,68	75,39	37,74	21,47
<b>ERS060904-190636</b>	78,32	86,74	93,90	90,34	82,57	55,94	29,97
<b>Média</b>	<b>76,12</b>	<b>79,57</b>	<b>83,21</b>	<b>94,58</b>	<b>106,07</b>	<b>55,99</b>	<b>29,46</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>21,45</b>	<b>22,63</b>	<b>20,11</b>	<b>15,67</b>	<b>17,38</b>	<b>11,75</b>	<b>6,04</b>
<b>Limite de Confiança Superior</b>	<b>91,92</b>	<b>96,24</b>	<b>98,02</b>	<b>106,13</b>	<b>118,87</b>	<b>64,64</b>	<b>33,91</b>
<b>Limite de Confiança Inferior</b>	<b>60,32</b>	<b>62,89</b>	<b>68,39</b>	<b>83,04</b>	<b>93,27</b>	<b>47,33</b>	<b>25,01</b>
<b>Limite de Tolerância Superior</b>	<b>128,38</b>	<b>134,72</b>	<b>133,08</b>	<b>132,77</b>	<b>148,42</b>	<b>84,61</b>	<b>44,18</b>
<b>Limite de Tolerância Inferior</b>	<b>23,86</b>	<b>24,41</b>	<b>33,34</b>	<b>56,40</b>	<b>63,73</b>	<b>27,36</b>	<b>14,74</b>

APÊNDICE C

**Valores médios de sensibilidade ao contraste temporal de luminância para as mulheres testadas (n=18)**

<b>Teste de Sensibilidade ao Contraste Temporal de Luminância</b>							
<b>Indivíduos</b>	<b>Frequências Temporais (Hertz)</b>						
	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>8,0</b>	<b>16,0</b>	<b>32,0</b>
<b>AOM061204-113005</b>	95,44	94,47	74,16	82,45	117,30	42,89	21,82
<b>CBA060916-153902</b>	68,47	71,51	59,70	82,57	96,33	40,32	24,13
<b>CJD060921-162843</b>	73,06	82,27	88,64	110,50	102,00	73,36	28,06
<b>EMC060427-171956</b>	68,04	70,76	63,47	92,04	79,29	46,43	23,41
<b>IBT060424-174144</b>	39,71	54,90	53,73	86,21	82,17	77,87	26,54
<b>JS060916-165737</b>	67,02	91,37	100,58	111,92	133,17	69,05	32,38
<b>JTC060529-131724</b>	99,17	99,17	119,00	141,67	141,67	73,87	33,85
<b>MFC060509-184056</b>	64,26	71,34	69,57	89,25	114,75	58,79	30,16
<b>BNS061224-132114</b>	74,14	69,82	89,25	90,67	102,00	45,04	23,04
<b>FVO060819-151535</b>	86,62	80,95	76,90	96,33	102,00	43,08	20,68
<b>GCP060819-152805</b>	61,62	69,27	80,90	90,46	97,75	44,88	24,59
<b>JLS061224-131812</b>	75,56	92,08	89,25	80,95	85,00	49,45	21,18
<b>KVC061125-175640</b>	83,58	80,95	102,00	102,00	85,00	49,78	25,62
<b>LAC061224-113820</b>	141,67	141,67	127,50	141,67	104,83	58,41	25,99
<b>NCS060830-151405</b>	69,15	71,17	76,70	83,79	78,93	38,68	20,98
<b>SCC060426-172022</b>	87,55	98,60	89,37	89,37	112,20	61,37	24,60
<b>SVO060815-161254</b>	90,67	73,87	71,51	86,62	96,33	51,33	24,69
<b>MGL060427-165817</b>	78,32	86,74	93,90	90,34	82,57	55,94	29,97
<b>Média</b>	<b>79,11</b>	<b>83,38</b>	<b>84,79</b>	<b>97,16</b>	<b>100,74</b>	<b>54,47</b>	<b>25,65</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>21,00</b>	<b>18,86</b>	<b>19,42</b>	<b>18,42</b>	<b>17,99</b>	<b>12,35</b>	<b>3,89</b>
<b>Limite de Confiança Superior</b>	<b>93,46</b>	<b>96,26</b>	<b>98,05</b>	<b>109,74</b>	<b>113,03</b>	<b>62,91</b>	<b>28,31</b>
<b>Limite de Confiança Inferior</b>	<b>64,77</b>	<b>70,50</b>	<b>71,52</b>	<b>84,58</b>	<b>88,45</b>	<b>46,04</b>	<b>23,00</b>
<b>Limite de Tolerância Superior</b>	<b>128,81</b>	<b>128,00</b>	<b>130,74</b>	<b>140,73</b>	<b>143,31</b>	<b>83,70</b>	<b>34,85</b>
<b>Limite de Tolerância Inferior</b>	<b>29,42</b>	<b>38,77</b>	<b>38,84</b>	<b>53,58</b>	<b>58,16</b>	<b>25,25</b>	<b>16,46</b>

**APÊNDICE D**

**Valores médios de sensibilidade ao contraste espacial de luminância para todos os indivíduos testados (n=30)**

Indivíduos	Teste de Sensibilidade ao Contraste Espacial de Luminância										
	Frequências Espaciais (ciclos / grau)										
	0,2	0,5	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	15,0	20,0	30,0
<b>ARR060216-175106</b>	6,49	37,68	163,26	175,82	376,75	452,11	301,40	175,82	37,68	22,61	7,12
<b>DLC050818-192215</b>	8,30	56,79	146,03	194,71	389,42	292,06	178,48	56,79	19,60	6,48	3,71
<b>GTS050817-190904</b>	8,15	27,23	64,90	121,69	227,16	389,42	194,71	146,03	73,01	20,88	10,33
<b>LDP050817-181237</b>	14,02	81,94	154,14	150,09	275,84	348,86	219,05	146,03	40,56	15,64	5,00
<b>RAA050812-174414</b>	6,15	44,62	137,92	210,93	389,42	486,78	243,39	121,69	27,23	12,08	6,42
<b>RAA050818-185158</b>	12,66	50,30	146,03	178,48	259,61	389,42	227,16	146,03	58,41	22,02	10,23
<b>ALL060818-170446</b>	5,58	40,82	94,19	113,03	175,82	200,94	150,70	50,24	19,20	12,26	6,01
<b>BNS061224-132114</b>	8,19	24,49	50,24	125,59	226,05	376,75	276,29	113,03	32,65	9,42	1,38
<b>CAM070110-161250</b>	10,86	75,35	125,59	138,14	226,05	301,40	175,82	106,75	36,78	5,96	1,18
<b>CLS060815-102957</b>	10,77	38,93	50,24	75,35	150,70	200,94	150,70	56,51	19,78	7,58	3,83
<b>ECA060831-160058</b>	5,81	43,96	113,03	125,59	301,40	376,75	200,94	50,24	10,44	3,79	1,44
<b>EMC060427-171956</b>	5,92	34,54	106,75	150,70	226,05	226,05	138,14	50,24	19,51	6,61	1,40
<b>FVO060819-151535</b>	4,02	16,96	37,68	75,35	175,82	226,05	175,82	138,14	43,96	8,64	1,54
<b>GCP060819-152805</b>	3,11	13,52	34,54	56,51	138,14	175,82	94,19	75,35	10,00	4,01	1,91
<b>JC060920-165115</b>	8,57	56,51	175,82	200,94	376,75	301,40	301,40	150,70	14,28	8,85	1,90
<b>JLS061224-131812</b>	6,53	37,68	113,03	163,26	376,75	376,75	452,11	226,05	50,24	26,38	1,30
<b>JMR060819-133415</b>	4,28	20,10	69,07	113,03	150,70	226,05	150,70	40,82	14,24	6,22	2,63
<b>JS060916-165737</b>	18,84	56,51	113,03	263,73	276,29	301,40	150,70	69,07	15,15	1,47	1,28
<b>KVC061125-175640</b>	11,55	37,68	106,75	75,35	276,29	376,75	301,40	175,82	40,82	6,41	1,34
<b>LAC061224-113820</b>	3,82	29,51	50,24	94,19	226,05	452,11	226,05	125,59	34,54	12,79	1,97
<b>LPS061125-145449</b>	7,23	29,51	113,03	94,19	263,73	200,94	188,38	106,75	23,24	17,90	5,43
<b>LSS061219-174245</b>	11,95	34,54	50,24	56,51	200,94	226,05	175,82	75,35	15,46	1,70	1,05
<b>MAM060906-171644</b>	10,24	56,51	94,19	163,26	376,75	452,11	226,05	131,86	43,96	9,40	1,13
<b>NCS060830-151405</b>	4,78	26,38	43,96	75,35	150,70	226,05	175,82	113,03	28,26	11,73	5,49
<b>OAS061125-151720</b>	9,45	65,93	163,26	175,82	452,11	452,11	200,94	125,59	32,97	7,10	2,48
<b>RRS070109-173500</b>	18,32	69,07	138,14	200,94	376,75	301,40	150,70	56,51	19,51	6,50	1,10



<b>SCC060426-172022</b>	5,50	69,07	138,14	200,94	452,11	452,11	301,40	138,14	37,68	13,00	4,11
<b>SVO060815-161254</b>	5,87	40,82	56,51	125,59	200,94	175,82	163,26	106,75	32,65	13,24	1,74
<b>TOM061126-172757</b>	4,59	38,93	94,19	138,14	226,05	226,05	200,94	125,59	32,65	22,61	2,86
<b>WDC060218-161852</b>	6,38	34,54	56,51	125,59	200,94	200,94	226,05	138,14	43,96	16,43	4,66
<b>Média</b>	<b>8,26</b>	<b>43,01</b>	<b>100,02</b>	<b>138,63</b>	<b>270,74</b>	<b>313,05</b>	<b>210,62</b>	<b>111,29</b>	<b>30,95</b>	<b>11,32</b>	<b>3,40</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>3,99</b>	<b>17,51</b>	<b>43,14</b>	<b>51,61</b>	<b>94,08</b>	<b>100,07</b>	<b>70,38</b>	<b>45,31</b>	<b>14,84</b>	<b>6,66</b>	<b>2,61</b>
<b>Limite de Confiança Superior</b>	<b>10,27</b>	<b>51,82</b>	<b>121,73</b>	<b>164,60</b>	<b>318,08</b>	<b>363,40</b>	<b>246,03</b>	<b>134,09</b>	<b>38,41</b>	<b>14,67</b>	<b>4,71</b>
<b>Limite de Confiança Inferior</b>	<b>6,26</b>	<b>34,20</b>	<b>78,31</b>	<b>112,65</b>	<b>223,39</b>	<b>262,69</b>	<b>175,20</b>	<b>88,49</b>	<b>23,48</b>	<b>7,97</b>	<b>2,08</b>
<b>Limite de Tolerância Superior</b>	<b>16,80</b>	<b>80,48</b>	<b>192,34</b>	<b>249,06</b>	<b>472,04</b>	<b>527,16</b>	<b>361,20</b>	<b>208,24</b>	<b>62,69</b>	<b>25,57</b>	<b>8,99</b>
	<b>1,00</b>								<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>Limite de Tolerância Inferior</b>	<b>(-0,27)</b>	<b>5,55</b>	<b>7,70</b>	<b>28,20</b>	<b>69,43</b>	<b>98,93</b>	<b>60,03</b>	<b>14,34</b>	<b>(-0,80)</b>	<b>(-2,92)</b>	<b>(-2,20)</b>

APÊNDICE E

Valores médios de sensibilidade ao contraste espacial de luminância para todos os homens testados (n=15)

Indivíduos	Teste de Sensibilidade ao Contraste Espacial de Luminância										
	Frequências Espaciais (ciclos / grau)										
	0,2	0,5	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	15,0	20,0	30,0
ARR060216-175106	6,49	37,68	163,26	175,82	376,75	452,11	301,40	175,82	37,68	22,61	7,12
RAA050812-174414	6,15	44,62	137,92	210,93	389,42	486,78	243,39	121,69	27,23	12,08	6,42
ALL060818-170446	5,58	40,82	94,19	113,03	175,82	200,94	150,70	50,24	19,20	12,26	6,01
CAM070110-161250	10,86	75,35	125,59	138,14	226,05	301,40	175,82	106,75	36,78	5,96	1,18
CLS060815-102957	10,77	38,93	50,24	75,35	150,70	200,94	150,70	56,51	19,78	7,58	3,83
ECA060831-160058	5,81	43,96	113,03	125,59	301,40	376,75	200,94	50,24	10,44	3,79	1,44
JC060920-165115	8,57	56,51	175,82	200,94	376,75	301,40	301,40	150,70	14,28	8,85	1,90
JMR060819-133415	4,28	20,10	69,07	113,03	150,70	226,05	150,70	40,82	14,24	6,22	2,63
LPS061125-145449	7,23	29,51	113,03	94,19	263,73	200,94	188,38	106,75	23,24	17,90	5,43
LSS061219-174245	11,95	34,54	50,24	56,51	200,94	226,05	175,82	75,35	15,46	1,70	1,05
MAM060906-171644	10,24	56,51	94,19	163,26	376,75	452,11	226,05	131,86	43,96	9,40	1,13
OAS061125-151720	9,45	65,93	163,26	175,82	452,11	452,11	200,94	125,59	32,97	7,10	2,48
RRS070109-173500	18,32	69,07	138,14	200,94	376,75	301,40	150,70	56,51	19,51	6,50	1,10
TOM061126-172757	4,59	38,93	94,19	138,14	226,05	226,05	200,94	125,59	32,65	22,61	2,86
WDC060218-161852	6,38	34,54	56,51	125,59	200,94	200,94	226,05	138,14	43,96	16,43	4,66
<b>Média</b>	<b>8,44</b>	<b>45,80</b>	<b>109,24</b>	<b>140,49</b>	<b>282,99</b>	<b>307,06</b>	<b>202,93</b>	<b>100,84</b>	<b>26,09</b>	<b>10,73</b>	<b>3,28</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>3,66</b>	<b>15,63</b>	<b>41,63</b>	<b>46,82</b>	<b>100,80</b>	<b>108,60</b>	<b>49,79</b>	<b>42,67</b>	<b>11,20</b>	<b>6,49</b>	<b>2,14</b>
<b>Limite de Confiança Superior</b>	<b>11,26</b>	<b>57,81</b>	<b>141,24</b>	<b>176,47</b>	<b>360,47</b>	<b>390,53</b>	<b>241,20</b>	<b>133,64</b>	<b>34,70</b>	<b>15,72</b>	<b>4,93</b>
<b>Limite de Confiança Inferior</b>	<b>5,63</b>	<b>33,79</b>	<b>77,25</b>	<b>104,50</b>	<b>205,52</b>	<b>223,60</b>	<b>164,66</b>	<b>68,04</b>	<b>17,49</b>	<b>5,74</b>	<b>1,64</b>
<b>Limite de Tolerância Superior</b>	<b>17,52</b>	<b>84,55</b>	<b>212,47</b>	<b>256,58</b>	<b>532,94</b>	<b>576,35</b>	<b>326,39</b>	<b>206,66</b>	<b>53,86</b>	<b>26,82</b>	<b>8,59</b>
<b>Limite de Tolerância Inferior</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
	<b>(-0,63)</b>	<b>7,05</b>	<b>6,02</b>	<b>24,39</b>	<b>33,05</b>	<b>37,78</b>	<b>79,47</b>	<b>(-4,98)</b>	<b>(-1,67)</b>	<b>(-5,36)</b>	<b>(-2,03)</b>

APÊNDICE F

Valores médios de sensibilidade ao contraste espacial de luminância para todas as mulheres testadas (n=15)

Indivíduos	Teste de Sensibilidade ao Contraste Espacial de Luminância										
	Frequências Espaciais (ciclos / grau)										
	0,2	0,5	0,8	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	15,0	20,0	30,0
<b>DLC050818-192215</b>	8,30	56,79	146,03	194,71	389,42	292,06	178,48	56,79	19,60	6,48	3,71
<b>GTS050817-190904</b>	8,15	27,23	64,90	121,69	227,16	389,42	194,71	146,03	73,01	20,88	10,33
<b>LDP050817-181237</b>	14,02	81,94	154,14	150,09	275,84	348,86	219,05	146,03	40,56	15,64	5,00
<b>RAA050818-185158</b>	12,66	50,30	146,03	178,48	259,61	389,42	227,16	146,03	58,41	22,02	10,23
<b>BNS061224-132114</b>	8,19	24,49	50,24	125,59	226,05	376,75	276,29	113,03	32,65	9,42	1,38
<b>EMC060427-171956</b>	5,92	34,54	106,75	150,70	226,05	226,05	138,14	50,24	19,51	6,61	1,40
<b>FVO060819-151535</b>	4,02	16,96	37,68	75,35	175,82	226,05	175,82	138,14	43,96	8,64	1,54
<b>GCP060819-152805</b>	3,11	13,52	34,54	56,51	138,14	175,82	94,19	75,35	10,00	4,01	1,91
<b>JLS061224-131812</b>	6,53	37,68	113,03	163,26	376,75	376,75	452,11	226,05	50,24	26,38	1,30
<b>JS060916-165737</b>	18,84	56,51	113,03	263,73	276,29	301,40	150,70	69,07	15,15	1,47	1,28
<b>KVC061125-175640</b>	11,55	37,68	106,75	75,35	276,29	376,75	301,40	175,82	40,82	6,41	1,34
<b>LAC061224-113820</b>	3,82	29,51	50,24	94,19	226,05	452,11	226,05	125,59	34,54	12,79	1,97
<b>NCS060830-151405</b>	4,78	26,38	43,96	75,35	150,70	226,05	175,82	113,03	28,26	11,73	5,49
<b>SCC060426-172022</b>	5,50	69,07	138,14	200,94	452,11	452,11	301,40	138,14	37,68	13,00	4,11
<b>SVO060815-161254</b>	5,87	40,82	56,51	125,59	200,94	175,82	163,26	106,75	32,65	13,24	1,74
<b>Média</b>	<b>8,08</b>	<b>40,23</b>	<b>90,80</b>	<b>136,77</b>	<b>258,48</b>	<b>319,03</b>	<b>218,31</b>	<b>121,74</b>	<b>35,80</b>	<b>11,91</b>	<b>3,51</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>4,42</b>	<b>19,34</b>	<b>44,05</b>	<b>57,60</b>	<b>88,62</b>	<b>94,19</b>	<b>87,49</b>	<b>46,88</b>	<b>16,73</b>	<b>7,00</b>	<b>3,09</b>
<b>Limite de Confiança Superior</b>	<b>11,48</b>	<b>55,09</b>	<b>124,66</b>	<b>181,04</b>	<b>326,59</b>	<b>391,43</b>	<b>285,55</b>	<b>157,77</b>	<b>48,66</b>	<b>17,29</b>	<b>5,89</b>
<b>Limite de Confiança Inferior</b>	<b>4,69</b>	<b>25,36</b>	<b>56,94</b>	<b>92,49</b>	<b>190,37</b>	<b>246,63</b>	<b>151,06</b>	<b>85,71</b>	<b>22,94</b>	<b>6,54</b>	<b>1,14</b>
<b>Limite de Tolerância Superior</b>	<b>19,03</b>	<b>88,19</b>	<b>200,04</b>	<b>279,61</b>	<b>478,22</b>	<b>552,59</b>	<b>435,25</b>	<b>237,98</b>	<b>77,30</b>	<b>29,27</b>	<b>11,18</b>
<b>Limite de Tolerância Inferior</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>38,74</b>	<b>85,46</b>	<b>1,36</b>	<b>5,50</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
	<b>(-2,86)</b>	<b>(-7,73)</b>	<b>(-18,44)</b>	<b>(-6,07)</b>	<b>38,74</b>	<b>85,46</b>	<b>1,36</b>	<b>5,50</b>	<b>(-5,69)</b>	<b>(-5,44)</b>	<b>(-4,15)</b>

## APÊNDICE 7

Que tamanho uma amostra deve ter para que se possa afirmar que com uma probabilidade  $\gamma$  o intervalo de tolerância limitará pelo menos uma proporção  $p$  da população? Uma aproximação matemática para um tamanho apropriado da amostra é dada por:

$$N \cong \frac{1}{4} \frac{(1+p)}{(1-p)} \chi_{1-\gamma,4}^2 + \frac{1}{2}$$

onde  $\chi_{1-\gamma,4}^2$  é o valor crítico da distribuição qui-quadrado com 4 graus de liberdade que é excedido com probabilidade de  $1 - \gamma$ . Sendo o valor  $\chi_{.05,4}^2 = 9.488$ , os cálculos para  $p = 0.90$  e  $0.99$  são:

$$p = .90, \gamma = .95$$

$$\Rightarrow N \cong \frac{1}{4} \frac{(1+.90)}{(1-.90)} \chi_{.05;4}^2 + \frac{1}{2} = .25(19)(9.488) + .5 = 45.57 = 46$$

$$p = .99, \gamma = .95$$

$$\Rightarrow N \cong \frac{1}{4} \frac{(1+.99)}{(1-.99)} \chi_{.05;4}^2 + \frac{1}{2} = .25(199)(9.488) + .5 = 472.5 = 473$$

Estes cálculos demonstram que com uma amostra de  $n = 46$  podem ser obtidos valores limites estáveis para um intervalo de tolerância que cubra 90% de uma população. Além disso, o requerimento de um intervalo de tolerância que cubra uma proporção muito grande da população (99%) pode levar a necessidade de uma amostra de tamanho inviável.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)