



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
NEUROCIÊNCIAS E BIOLOGIA CELULAR
(ÁREA DE CONCENTRAÇÃO NEUROCIÊNCIAS)**

MONICA GOMES LIMA

**Avaliação da Sensibilidade ao Contraste Espacial de Cores em
Humanos**

**Belém
2010**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

MONICA GOMES LIMA

**Avaliação da Sensibilidade ao Contraste Espacial de Cores em
Humanos**

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

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira

**Belém
2010**

MONICA GOMES LIMA

**Avaliação da Sensibilidade ao Contraste Espacial de Cores em
Humanos**

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

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira

Data da Avaliação: 18 de fevereiro de 2010.

Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira - Orientador

Departamento de Fisiologia, Instituto de Ciências Biológicas, UFPA
Núcleo de Medicina Tropical, UFPA – Presidente

Prof. Dra. Dora Fix Ventura

Instituto de Psicologia, USP – Membro titular

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa

Instituto de Psicologia, USP – Membro titular

Prof. Dr. Bruno Duarte Gomes

Faculdade de Biotecnologia, Instituto de Ciências Biológicas, UFPA – Membro titular

Dr. Anderson Raiol Rodrigues

Laboratório de Neurologia Tropical, Núcleo de Medicina Tropical, UFPA – Membro suplente

Lima, Monica Gomes

AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE
CORES EM HUMANOS. Belém, Pará, UFPA/ICB, 2010.

xx, 117 f

Dissertação: Mestre em Ciências (Neurociências)

1. Sensibilidade ao contraste. 2. Visão de cores. 3. Psicofísica Visual. 4. Visão
de Cores. 5. I. Universidade Federal do Pará / Instituto de Ciências Biológicas. II.

Título.



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



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA O MESTRADO

Programa: Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular
Área de concentração: Neurociências
Candidata: MONICA GOMES LIMA
Tema: "AVALIAÇÃO DA SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE CORES EM HUMANOS"
Data: 24 de fevereiro de 2010, às 8h
Local: Auditório do Centro de Tecnologia da Informação e Comunicação (CTIC), da Universidade Federal do Pará.

Após a candidata apresentar os resultados do seu estudo e responder às perguntas dos examinadores, a comissão examinadora reuniu-se e resolveu pela sua:

APROVAÇÃO

REPROVAÇÃO

Nada mais havendo a tratar, o Presidente da Banca Examinadora deu por encerrado os trabalhos e esta ata foi assinada por todos os membros da comissão examinadora.

Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira, UFPA
(Orientador, sem direito a voto)

Prof. Dr. Bruno Duarte Gomes, UFPA

Prof. Dra. Dora Selma Fix Ventura, USP

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa, USP

“Se você encontrar um caminho sem obstáculos,
ele provavelmente não leva a lugar nenhum.”.

(Frank Clark)

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível,
e de repente você estará fazendo o impossível”.

(São Francisco de Assis)

Dedico este trabalho a Caio Maximino de Oliveira.

“Justinho você”.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Luiz Carlos de Lima Silveira, pela orientação, compreensão, amizade e dedicação durante a realização deste trabalho.

À Eliza Maria da Costa Brito Lacerda, pela colaboração neste trabalho e pela inestimável amizade.

Aos amigos Bruno Duarte Gomes e Givago da Silva Souza, pelas preciosas sugestões, contribuições, além da amizade e companheirismo.

Ao Anderson Raiol Rodrigues por toda ajuda com o sistema computacional.

Ao Caio Maximino de Oliveira pelas sugestões, companheirismo, atenção e pelo exemplo de pessoa.

Aos colegas do Laboratório de Neurofisiologia Tropical Antonio José de Oliveira Castro, Cláudio Eduardo Teixeira, Izabela Frota de Almeida, Isabelle Christine Martins, Alodia Costa Brasil, Michel Garcia Maciel, Aline Correa Carvalho e Nelson Monte de Carvalho Filho por criarem um ambiente agradável para se discutir ciência, pelos momentos de descontração e por ter deixado seus afazeres para me ajudar sendo meus pacientes controles, num gesto de apoio.

A todas as pessoas que participaram deste trabalho, que tiveram paciência e disposição durante os testes. Sem eles este trabalho não seria possível.

Às instituições de fomento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Rede Instituto Brasileiro de Neurociências (IBNnet), pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

À Universidade Federal do Pará.

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

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a sensibilidade ao contraste espacial cromático (SCEC) humano em diferentes contrastes e faixas etárias, com o objetivo de criar dados normativos e conhecer o comportamento do sistema visual nessas condições. Para isso utilizou-se redes senoidais cromáticas estacionárias de $6,5^\circ$ por 5° , luminância média de 15 cd/m^2 , as quais foram construídas ao longo de três eixos cromáticos: vermelho-azul, vermelho-verde e azul-verde (vermelho: $x=0,576$, $y=0,382$; verde: $x=0,243$, $y=0,626$; azul: $x=0,141$, $y=0,067$). Foram avaliados 314 sujeitos distribuídos segundo a faixa etária (16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos) e o teste psicofísico empregado: SCEC-Verde-Vermelho - 16 a 30 anos ($n=50$), 31 a 45 ($n=40$), 46 a 60 anos ($n=31$); SCEC-Azul-Verde - 16 a 30 anos ($n=43$), 31 a 45 ($n=30$), 46 a 60 anos ($n=30$); SCEC-Azul-Vermelho - 16 a 30 anos ($n=30$), 31 a 45 ($n=30$), 46 a 60 anos ($n=30$). Foi realizado teste monocular em 4 frequências espaciais (0,1, 0,2, 0,5 e 1cpG) em 9 diferentes proporções de luminância que variavam em cor e uma proporção de luminância. As diferenças estatísticas foram avaliadas com o teste ANOVA de uma via ($p<0,05$), e análise post-hoc (Tukey test). Os resultados mostraram que a SCEC-Verde-Vermelho foi maior que a SCEC-Azul-Verde em todas as faixas etárias e frequências espaciais. A SCEC-Verde-Vermelho ainda foi maior que a SCEC-Azul-Vermelho em todas as frequências espaciais em 31 a 45 e 46 a 60 anos, em 16 a 30 anos foi maior em 0,1, 0,2 e 1,0 cpG. Em 16 a 30 anos, a SCEC-Azul-Verde diferiu da SCEC-Azul-Vermelho em 0,1, 0,2 e 1,0 cpG; 31 a 45 anos em 0,5 e 1,0 cpG; 46 a 60 anos em 0,1 e 0,2 cpG. Além destas diferenças entre os sub-testes, encontrou-se que as SCEC e sensibilidade espacial ao contraste de luminância foram maiores para faixas etárias mais jovens e menores para faixas etárias mais velhas em todas as frequências espaciais avaliadas. Assim, concluímos que o envelhecimento leva a uma diminuição da SCEC, e conseqüentemente na sensibilidade espacial ao contraste de luminância. Fatores neurais e ópticos podem contribuir para esse fenômeno.

Palavras-chave: Sensibilidade ao Contraste, Psicofísica Visual, Visão de Cores.

Apoio: CAPES, CNPq/FUNTEC PRONEX e FINEP IBN-Net.

ABSTRACT

This work evaluated the human chromatic spatial contrast sensitivity (CSCS) in different contrast levels and age ranges, purposing to create normative data and to know the behavior of the visual system at these conditions. It was used stationary chromatic sinusoidal gratings, $6.5^\circ \times 5^\circ$, mean luminance of 15 cd/m^2 , which were build up along of three chromatic axes: red-blue, red-green, and blue-green (red: $x= 0.576$, $y= 0.382$; green: $x= 0.243$, $y= 0.626$; blue: $x= 0.141$, $y= 0.067$). It was evaluated 314 subjects distributed in age ranges (16 to 30 years-old, 31 to 45 years-old e 46 to 60 years-old) and in performed psychophysics test: CSCS-Green-Red- 16 to 30 years-old ($n = 50$), 31 to 45 years-old ($n = 40$), 46 to 60 years-old ($n = 31$); CSCS-Blue-Green - 16 to 30 years-old ($n = 43$), 31 to 45 years-old ($n = 30$), 46 to 60 years-old ($n = 30$); CSCS-Blue-Red - 16 to 30 years-old ($n = 30$), 31 to 45 years-old ($n = 30$), 46 to 60 years-old ($n = 30$). It was performed monocular test 4 spatial frequencies (0.1, 0.2, 0.5 and 1cpd) in 9 different ratios of luminance that varied in chromaticity and one luminance contrast condition. Statistical analysis were evaluated using one-way ANOVA test ($p < 0.05$) and post-hoc comparisons (Tukey test). The results showed CSCS Green-Red higher than CSCS Blue-Green at all age ranges and spatial frequencies. CSCS Green-Red still was higher than CSCS Blue-Red at all spatial frequencies in 31 to 45 years-old and 46 to 60 years-old, but at 16 to 30 years-old was higher at 0.1, 0.2 and 1.0 cpd. In 16 to 30 years-old range, CSCS Blue-Green was different from CSCS Blue-Red at 0.1, 0.2 and 1.0 cpd; 31 to 45 years-old range was different at 0.5 and 1.0 cpd; 46 to 60 years-old range at 0.1 and 0.2 cpd. Further these differences between sub-tests, it was found CSCS and luminance spatial contrast sensitivity was higher for the younger group and smaller for the older group at all spatial frequencies. So, we concluded that the aging decrease the CSCS and the luminance spatial contrast sensitivity. Optical and neural factors could contribute to that phenomenon.

Keywords: Contrast Sensitivity, Visual Psychophysics, Color Vision.

Support: CAPES, CNPq/FUNTEC PRONEX and FINEP IBN-Net.

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xi
Lista de Tabelas	xv
Lista de Figuras	xvi
Lista de Abreviaturas	Xx
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 VISÃO DE CORES NA ERA MODERNA	4
1.1.1 Experimentos de Isaac Newton	4
1.1.2 A Tricromacia da Mistura de Cor	6
1.1.3 A Tricromacia e o Desenvolvimento da Reprodução de Três Cores	7
1.1.4 Tricromacia em Oposição à Ótica de Newton	8
1.1.5 Entendimento da Visão de Cores Moderna	9
1.1.6 O Período de Maior Progresso (1850-1931)	11
1.1.7 As Contribuições de Hurvich e Jameson	15
1.2 DIAGRAMA DE CROMATICIDADE DA CIE 1931	18
1.3 PSICOFÍSICA VISUAL	22
1.3.1 Medidas Psicofísicas do Limiar	24
1.3.2 Métodos Psicofísicos Clássicos	24
1.3.3 Métodos de Medidas de Luminância	26
1.4 A UTILIZAÇÃO DE REDES SENOIDAIS COMO ESTÍMULOS NO ESTUDO DA FUNÇÃO VISUAL	27
1.4.1 Visão Espacial de Luminância e a Sensibilidade ao Contraste Acromático de Redes Senoidais Isoluminantes	28
1.4.2 Visão Espacial de Cores e a Sensibilidade ao Contraste Cromático de Redes	31

Senoidais		
1.4.3	Visão e Envelhecimento	36
1.5	JUSTIFICATIVA	37
2	OBJETIVOS	38
2.1	OBJETIVO GERAL	38
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	38
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	SUJEITOS	39
3.2	INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA APRESENTAÇÃO DOS ESTÍMULOS	40
3.3	ESTIMULAÇÃO VISUAL	42
3.4	DETERMINAÇÃO DOS LIMIARES E SENSIBILIDADE AO CONTRASTE	45
3.5	ANÁLISE DE DADOS	46
3.6	NORMAS ESTATÍSTICAS	46
4	RESULTADOS	48
4.1	SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE LUMINÂNCIA (SCEL)	48
4.1.1	SCEL-Amarelo-Preto	48
4.1.2	SCEL-Ciano-Preto	50
4.1.3	SCEL-Violeta-Preto	53
4.1.4	SCEL-Amarelo-Preto x SCEL-Ciano-Preto x SCEL-Violeta-Preto	56
4.2	SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE CORES (SCEC)	59
4.2.1	SCEC-Verde-Vermelho	59
4.2.2	SCEC-Azul-Verde	61

4.2.3	SCEC-Azul-Vermelho	64
4.2.4	SCEC-Verde-Vermelho x SCEC-Azul-Verde x SCEC-Azul-Vermelho	67
5	DISCUSSÃO	70
5.1	A IGUALIZAÇÃO DO ESTÍMULO ESPACIAL	71
5.2	AS ABERRAÇÕES CROMÁTICAS	71
5.3	A ADOÇÃO DO CONTRASTE AZUL-VERDE E AZUL-VERMELHO	72
5.4	A SCEL E A SCEC: PSICOFÍSICA X FISILOGIA DO SISTEMA VISUAL	73
5.4.1	A SCEL	73
5.4.2	A SCEC	74
5.4.3	SCEL e SCEC x Envelhecimento	75
5.5	O USO DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DA VISÃO ESPACIAL DE COR	76
6	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
	APÊNDICE 1	97
	APÊNDICE 2	99
	APÊNDICE 3	100
	ANEXO 1	101
	ANEXO 2	102
	PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA GERADA POR ESTE TRABALHO	103
	VALORES DE SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE LUMINÂNCIA E DE CORES DOS SUJEITOS AVALIADOS	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de luminância amarelo-preto	48
Tabela 2	Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de luminância ciano-preto	51
Tabela 3	Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de luminância violeta-preto	54
Tabela 4	Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de verde-vermelho	59
Tabela 5	Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de azul-verde	62
Tabela 6	Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de azul-vermelho	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização e diposição das células na retina	1
Figura 2	Curvas de absorção espectral dos quatro tipos de fotorreceptores (três tipos de cones e um tipo de bastonete) presentes na retina humana	2
Figura 3	Esquema ilustrativo das conexões que dão origem às vias de processamento paralelo	4
Figura 4	Construção do círculo de cores de Newton	6
Figura 5	Triângulo de cores de Tobias Mayer	9
Figura 6	Espaço de cores de Helmholtz	12
Figura 7	Curvas de sensibilidade espectral determinadas por Maxwell	13
Figura 8	Diagrama de cromaticidade Maxwell	14
Figura 9	Canais de processamento de cores oponentes proposto por Hering	15
Figura 10	Rede de oponência de cores de Hurvich-Jameson	16
Figura 11	Diagrama representativo do modelo de ativação de células oponentes no processamento visual de estímulos cromáticos de Hurvich e Jameson	18
Figura 12	Funções de equiparação de cores CIE RGB e CIE XYZ	19
Figura 13	Esquema representativo, em três dimensões, do diagrama de cromaticidade CIE 1931 ou CIE XYZ	20
Figura 14	Plano isoluminante do Diagrama da CIE 1931	22
Figura 15	Modelo de uma função psicométrica aleatória, considerando a intensidade do estímulo pela percentagem do estímulo que foi visto	26
Figura 16	Curva de eficiência luminosa espectral $V(\lambda)$ para visão em condições fotópicas de iluminação	27
Figura 17	Ilustração da freqüência espacial como uma medida do número de	29

	ciclos por grau subtendido no olho	
Figura 18	Contraste e frequência espacial	30
Figura 19	Função de sensibilidade ao contraste espacial de luminância	30
Figura 20	Rede senoidal cromática isoluminante, de orientação vertical e frequência espacial de 5,5 ciclos / grau, gerada pela modulação de duas senóides (uma vermelha e outra verde) com 180° de diferença de fase	33
Figura 21	A função de sensibilidade ao contraste para a (A) rede vermelho-verde e uma rede monocromática verde, e para a (B) rede azul-amarelo e uma rede monocromática amarela.	35
Figura 22	Curvas de sensibilidade ao contraste cromático espacial em função da frequência espacial para grades vermelho-verde e para grades azul-amarelo	35
Figura 23	Placas com optotipos de Snellen e Pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara	39
Figura 24	Comparações das funções gama (linearizadas) para os três canais RGB da RISC IBM 6000	41
Figura 25	Superposição do canal verde ao vermelho	41
Figura 26	União de redes senoidais monocromáticas	43
Figura 27	Estímulos apresentados na tela do monitor CRT utilizado nos testes de SCEC	44
Figura 28	Exemplo da determinação da sensibilidade ao contraste de cor	46
Figura 29	SCEL-Amarelo-Preto para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos	49
Figura 30	Média de sensibilidade ao contraste espacial de luminância entre as	50

faixas etárias avaliadas na condição onde a rede senoidal correspondeu ao amarelo-preto

- Figura 31 SCEL-Ciano-Preto para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos 52
- Figura 32 Média de sensibilidade ao contraste espacial de luminância entre as faixas etárias avaliadas na condição onde a rede senoidal correspondeu ao ciano-preto 53
- Figura 33 SCEL-Violeta-Preto para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos 55
- Figura 34 Média de sensibilidade ao contraste espacial de luminância entre as faixas etárias avaliadas na condição onde a rede senoidal correspondeu ao violeta-preto 56
- Figura 35 Comparação entre os sub-testes de luminância em cada uma das faixas etárias estudadas 58
- Figura 36 SCEC-Verde-Vermelho para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos 60
- Figura 37 Média de sensibilidade ao contraste espacial de cores entre as faixas etárias avaliadas na condição onde as redes senoidais (em oposição de 180° de fase) corresponderam ao verde-vermelho 60
- Figura 38 SCEC-Azul-Verde para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos 63
- Figura 39 Média de sensibilidade ao contraste espacial de cores entre as faixas etárias avaliadas na condição onde as redes senoidais (em oposição de 180° de fase) corresponderam ao azul-verde 64
- Figura 40 SCEC-Azul-Vermelho para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos 66

anos e 46 a 60 anos

- Figura 41 Média de sensibilidade ao contraste espacial de cores entre as faixas etárias avaliadas na condição onde as redes senoidais (em oposição de 180° de fase) corresponderam ao azul-vermelho 67
- Figura 42 Comparação entre os sub-testes de cores em cada uma das faixas etárias estudadas 69
- Figura 43 Aplicação do método desenvolvido em sujeitos com discromatopsia hereditária 77
- Figura 44 Aplicação do método desenvolvido em um sujeito intoxicado por solvente orgânico 78

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variância
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
FSC	Função de Sensibilidade ao Contraste
FSCE	Função de Sensibilidade ao Contraste Espacial
NGL	Núcleo Geniculado Lateral
SCEC	Sensibilidade ao Contraste Espacial
SCEL	Sensibilidade ao Contraste Espacial de Luminância

1 INTRODUÇÃO

O sistema sensorial mais bem desenvolvido em primatas é o sistema visual. Uma das características do sistema visual de primatas é sua capacidade de discriminar comprimentos de onda de uma parte específica do espectro eletromagnético (aproximadamente de 400 a 700 nm), originando a visão de cores. A cor não é uma propriedade inerente aos objetos, e sim o atributo perceptual que nos permite identificar e localizar padrões ambientais de mesmo brilho sendo, portanto, uma dimensão adicional na identificação de objetos (BRINDLEY, 1953). A discriminação de cores possui um papel fundamental no auxílio para a busca de alimentos, além de funcionar como um sinalizador de perigo, de busca por território e parceiro (KAISER & BOYNTON, 1996).

A visão de cores corresponde a uma sensação produzida pelo cérebro iniciada logo após a captação de luz do ambiente pelos olhos. A absorção de luz pelos fotorreceptores da retina é o primeiro passo que leva à percepção visual. Existem dois tipos de fotorreceptores: os bastonetes (respondem pela visão noturna, com pouca participação na visão de cores) e os cones (ativados por luz com faixa mais elevada que a faixa que ativa os bastonetes, respondendo pela visão diurna e de fundamental importância para visão de cores) (Figura 1), e o que diferencia as respostas entre esses é o molécula pigmentada que cada um compõe: rodopsina (para bastonetes) e opsina (para cones) (KNIGHT & BUCK, 2002).

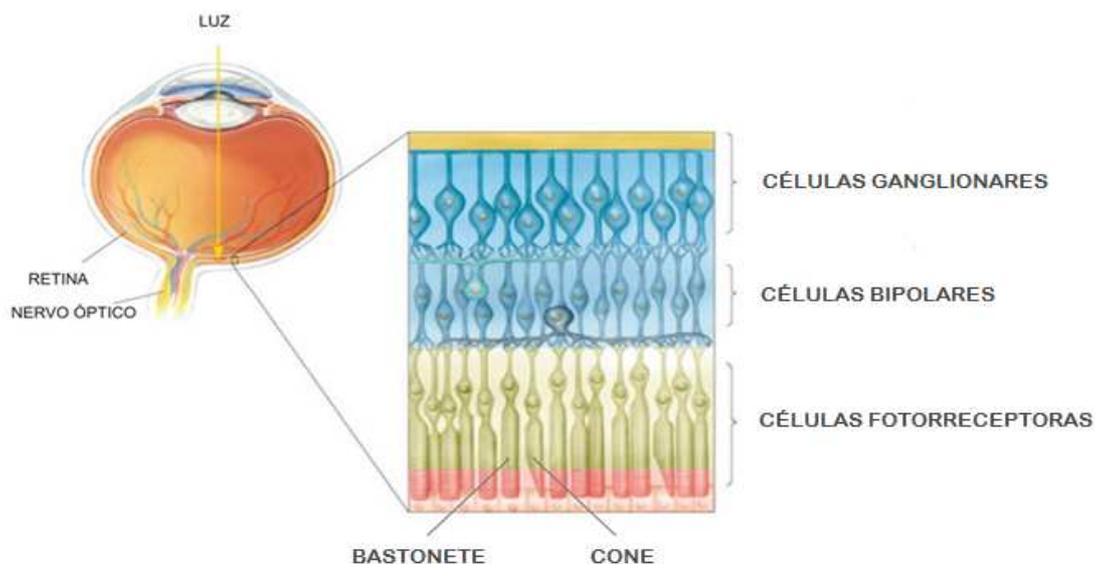


Figura 1. Localização e disposição das células na retina. A luz é absorvida pelos cones e bastonetes que a convertem em um sinal químico em um potencial graduado; esse gera a liberação quantal de neurotransmissor (glutamato), convertido em um sinal bioelétrico pelas células bipolares. Esse sinal é processado pelas células ganglionares e conduzido pelo nervo óptico (Modificado de Kandel, 2001).

A resposta do fotorreceptor ao comprimento de onda que atinge a retina é invariavelmente a mesma: uma hiperpolarização de membrana, cuja amplitude para um *quantum* de luz não varia em função do comprimento de onda desta, o que varia é a probabilidade dessa absorção ocorrer; este é o “Princípio da Univariância” proposto por Rushton em 1972. De acordo com a região do espectro com maior probabilidade de excitar seu fotopigmento (i.e., causar uma mudança conformacional no pigmento retinal, associado à opsina), os cones são classificados em:

- a) Cone S: cujo pigmento é mais sensível a comprimentos de onda curtos, com pico em 437 nm;
- b) Cone M: cujo pigmento é mais sensível a comprimentos de onda médios, com pico em 533 nm;
- c) Cone L: cujo pigmento é mais sensível a comprimentos de onda longos, com pico em 564 nm (Figura 2).

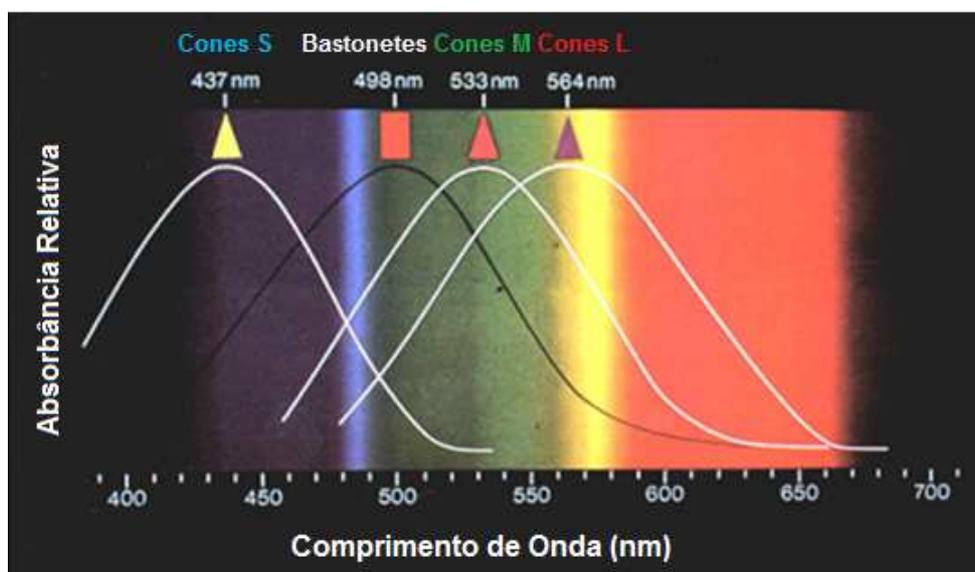


Figura 2. Curvas de absorção espectral dos quatro tipos de fotorreceptores (três tipos de cones e um tipo de bastonete) presentes na retina humana, considerando o comprimento de onda (abscissa) em função da absorbância relativa (de cada fotorreceptor). O pico de absorção dos fotorreceptores depende do tipo de opsina presente em cada um. Modificado de DOWLING, 1987.

A partir dos cones, a informação cromática é recebida pela retina e nos estágios neurais subsequentes tem início o processamento desse sinal. Este processo depende da relação entre atividades de excitação e inibição neural, que são a base para codificação espacial e cromática no sistema visual e da organização dos campos receptores. Estes mecanismos dão origem a respostas neurais diferenciadas para regiões diferentes do espaço ou para diferentes faixas do espectro visível.

Sabe-se que a informação visual que chega às células ganglionares na retina de primatas é enviada, através de seus axônios, para o núcleo talâmico denominado de núcleo geniculado lateral (NGL) e daí seguem para o córtex visual primário. Essas células ganglionares podem ser classificadas em várias classes segundo diferenças morfofuncionais (SILVEIRA *et al.*, 2004, 2005): células M (formam as camadas Magnocelulares), células P (formam as camadas Parvocelulares) e células K (formam as vias Koniocelulares). Cada uma dessas classes de células é responsável por algum tipo de oponência, baseado na Teoria da Oponência de Cores de Hering (Figura 42).

1) As células ganglionares M recebem conexões das bipolares que se ligam aos cones L e M, originando o antagonismo espacial entre centro e periferia do campo receptor. São responsáveis pela informação de branco e preto, ou seja, diferenças na intensidade luminosa que se traduzem em contraste acromático e estão envolvidas com a detecção de movimento (DE MONASTERIO & GOURAS, 1975; LEE *et al.*, 1988, 1989a, 1989b; SILVEIRA *et al.*, 2004, 2005).

2) As células ganglionares do tipo P originam a via envolvida na percepção de contraste cromático verde e vermelho (DE MONASTERIO & GOURAS, 1975; LEE *et al.*, 1989a, 1989b; SILVEIRA *et al.*, 2004, 2005). Seus campos receptores recebem sinais oponentes de cones L ou M no centro e M ou L na periferia, respectivamente, originando antagonismo tanto espacial quanto cromático entre o centro e a periferia do campo receptor. São sensíveis à forma e a detalhes finos dos estímulos, além da detecção de contrastes cromáticos (TOVÉE, 1996).

3) As células ganglionares K parecem estar envolvidas com a via oponente azul-amarela. Essas células recebem conexões de todos os três tipos de cones, mas os seus campos receptores organizam-se de modo que a ativação de cones S produza respostas antagônicas às respostas do somatório dos cones L e M.

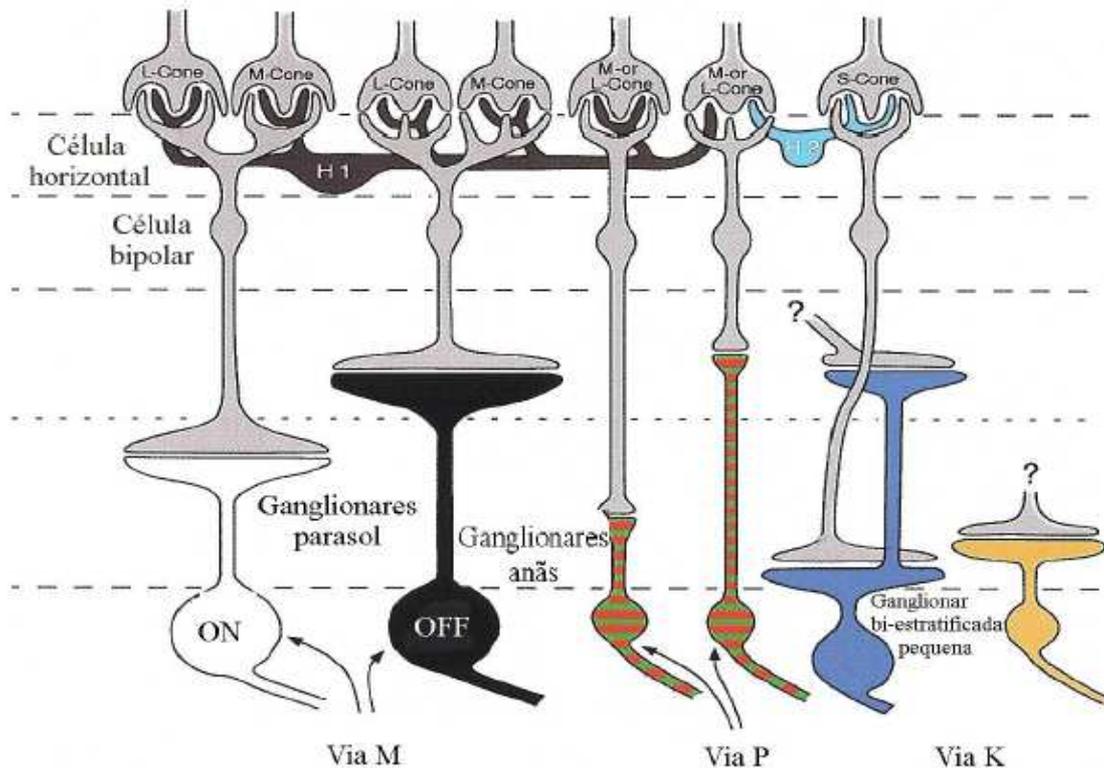


Figura 3. Esquema ilustrativo das conexões que dão origem às vias de processamento paralelo. Os fotorreceptores fazem conexões específicas com vários tipos de células horizontais e bipolares. Na retina interna, os sinais das bipolares são transmitidos à diferentes tipos de células ganglionares. Modificado de Lee, 2004.

1.1 VISÃO DE CORES NA ERA MODERNA

A evolução das idéias sobre a maneira como vemos as cores sempre esteve relacionada às teorias físicas da luz. Tanto os proponentes da teoria ondulatória quanto os defensores da teoria corpuscular da luz viam-na como um espectro contínuo. Este fato não era conciliado com a observação de que para o olho humano todas as cores podem ser igualizadas por uma mistura de três cores primárias. Neste capítulo temos a intenção de relatar as origens da ciência de cor moderna, com a finalidade de melhorar o entendimento acerca das teorias da visão de cores. Para tal, foram consultadas algumas revisões sobre o assunto.

1.1.1 Os Experimentos de Isaac Newton

A ciência de cor moderna tem sua origem no século dezessete, com a publicação de “New Theory of Colour” de Isaac Newton em 1671. No século 17 havia uma grande feira na Europa, em Stourbridge, cerca de 2 km do Trinity College de Cambridge; foi nesta feira que ele comprou dois prismas, que utilizou para a produção do trabalho mencionado anteriormente. Newton estava em uma sala escura que tinha uma pequena

fresta de luz entrava nesta sala, ele então colocou um prisma na frente de uma pequena abertura controlável, por onde parte dessa luz passava, e refratou os raios na parede oposta. Ele observou que o espectro colorido não se apresentava de maneira circular, como se esperava, mas sim com um formato oblongo (MOLLON, 2003).

Com o uso do segundo prisma, Newton foi levado para o que chamou de seu experimento crucial (*Experimentus crucis*). Alternando duas tábuas, cada uma com um pequeno furo, e os dois prismas; dessa maneira, ele esperava isolar parte daquele espectro de cor que havia visto anteriormente. O feixe de luz que passava pelo primeiro prisma era refletido na primeira tábua que, através de seu pequeno orifício, permitia a passagem de parte do espectro de cor que era projetado na segunda tábua, sendo novamente filtrado pelo orifício desta. Assim, pode ver que cada matiz estava relacionado com cada grau de refração: os raios menos refringentes exibiam cor vermelha e os mais refringentes exibiam uma cor violeta intensa, e entre esses dois extremos havia cores que correspondiam a feixes de refração intermediária. Newton argumentou que a cor branca era uma mistura homogênea de diferentes raios refratados (MOLLON, 2003; KAISER & BOYNTON, 1996).

Newton ainda propôs uma mistura de cores entre dois raios homogêneos, de refratibilidade simples. Assim, a mistura de um raio vermelho com um amarelo resultaria em um raio de cor laranja; laranja com verde amarelado resultaria em um amarelo. Assim, ele mostrou que, em uma mistura de cores, não era possível alterar as cores componentes, apenas o resultado final. Cores com a mesma aparência podem ser cores “primárias” ou compostas e o único modo de distingui-las seria através do prisma. Sabemos hoje que esta forma para explicar as misturas de cores não é adequada, porém mesmo no século XVII isso trouxe grandes problemas para os seus contemporâneos e sucessores.

Em 1704, Newton publicou obra (*Optiks*) em que apresentava um diagrama de cromaticidade, o qual mostrava quantitativamente os resultados de misturas específicas de cores – sete cores principais do espectro (vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta) – na circunferência de um círculo (Figura 4). O centro de gravidade de todas as cores em uma mistura representa a cor aparente desta mistura; se duas misturas de cores separadas apresentam um centro de gravidade comum, então elas iriam se equiparar. Se todas as sete cores principais do espectro forem misturadas nas proporções presentes na luz do sol, então o centro de gravidade estaria no centro do diagrama e representaria um branco puro. Cores que se localizam na circunferência estão mais

saturadas e cores que se localizam em uma linha conectada com o centro apresentam mesmo matiz, porém variam em saturação (MOLLON, 2003, YOUNG, 1802).

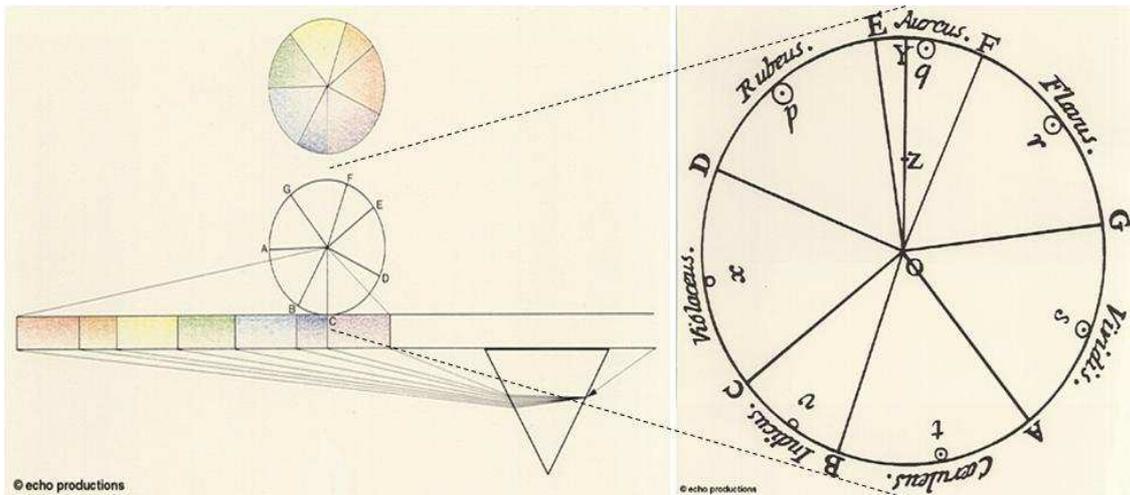


Figura 4. Construção do círculo de cores de Newton, introduzido em seu trabalho *Optiks* (1704), a partir do espectro de cores resultante da dispersão da luz pelo prisma. (Modificado de: www.colorsystem.com). Acessado em janeiro de 2010.

O diagrama de cromaticidade de Newton é imperfeito em vários pontos: 1) o espaço de Newton foi construído como uma analogia com a escala musical ao invés de estar de acordo com qualquer medida colorimétrica; 2) as duas pontas do espectro se encontram e assim não há como representar cores púrpuras (misturas de violetas e vermelhos); 3) a forma circular do diagrama proíbe uma boa equiparação entre laranja espectral e uma mistura de vermelho espectral e amarelo espectral, uma equiparação que um observador normal pode de fato fazer. Newton ainda desconsiderou um conjunto crítico de equiparações que seu diagrama permite: o círculo de cor implica que o branco pode ser equiparado pela mistura de cores que estão em oposição umas às outras na circunferência (MOLLON, 2003; PARAMEI, 2004).

1.1.2 A Tricromacia da Mistura de Cor

A noção básica de tricromacia surge no século XVII, 1680, quando Waller publica no “*Philosophical Transactions of the Royal Society*” um atlas com três cores primárias (ou simples). Um relato mais claro foi encontrado em uma publicação, em 1708, no anônimo *Traité de La Peinture em Mignature*: “No sentido exato há apenas três cores primitivas, que não podem ser construídas por outras cores, mas podem construir todas as outras cores. As três cores são amarelo, vermelho e azul; branco e preto não são considerado cores verdadeiras, branco é nada além da representação da luz e preto a ausência dessa mesma luz” (MOLLON, 2003).

A tricromacia é tida como a propriedade fundamental da visão de cores humana. Se considerarmos três cores de intensidades diferentes, é possível misturá-las de forma a compará-las com uma luz de teste de qualquer outra cor. Porém existem algumas limitações:

1) A mistura de luz e a luz de teste devem apresentar-se em um mesmo contexto; se a mistura apresenta uma periferia escura e a luz de teste apresenta uma periferia clara, talvez será impossível igualar suas aparências;

2) Não é possível misturar duas de três luzes variáveis para equiparar com a terceira;

3) O experimentador deve ser livre para poder misturar uma de três luzes variáveis com a luz de teste.

Com relação à luz variável não há nenhuma limitação, e ela pode ser uma luz monocromática ou ser uma mistura de comprimentos de onda. As três luzes variáveis são ditas primárias (MOLLON, 2003; KAISER & BOYNTON, 1996).

A tricromacia da mistura de cores é um fato que surge porque há três subtipos de fotorreceptores cones na retina. Os cones presentes na retina se arranjam de forma que cada um tenha uma absorbância relativa a uma faixa do espectro visível, havendo uma sobreposição entre essas faixas. A absorbância dos fótons é o único dado que os fotorreceptores conseguem fornecer (razão de captura de *quanta*, o número de fótons absorvidos por unidade de tempo). Para conseguir uma comparação entre duas faixas de luz adjacente, o experimentador precisa apenas igualar a quantidade de *quanta* a ser captada pelos três cones em duas áreas adjacentes observadas na retina – essa é a essência da teoria tricromática da visão de cores – sendo assim distinguida do fato da tricromacia (LEE, 2008).

1.1.3 A Tricromacia e o Desenvolvimento da Reprodução de Três Cores

A impressão colorida baseada em três cores foi desenvolvida muito antes da natureza real acerca da nossa tricromacia ter sido bem entendida. Após a publicação feita pelo autor anônimo (em *Traité de la Peinture en Mignature*), Jacques Christophe Le Blon, iniciou seus experimentos empíricos sobre a mistura de cores e assim conseguiu desenvolver uma técnica bem aprimorada de pintura que denominou de “pinturas em impressões” (*printings paintings*). Em 1725, Le Blon, publicou um volume intitulado “Coloritto”, no qual fala sobre o princípio da tricromacia da mistura de cor, e também afirma que as primárias são amarelo, vermelho e azul. Le Blon morreu sem

reconhecer suas contradições entre a prática da tricromacia e a óptica newtoniana (LILEN, 1985; MOLLON, 2003).

1.1.4 Tricromacia em Oposição à Ótica de Newton

A partir do século XVIII, publicações sobre a teoria tricromática cresceram consideravelmente e os autores destes trabalhos se dividiam entre pró-Newtonianos e anti-Newtonianos, em considerar sete cores primárias ou uma infinidade.

O padre jesuíta Louis Bertrand Castel (1688-1757) era um anti-Newtoniano declarado, e afirmava que existiam três cores primárias (azul, amarelo e vermelho) e a partir destas era possível se obter as demais. Apesar disso, ele mantinha algumas características do modelo newtoniano: apresentou um espaço de cor em forma de círculo com vinte cores distribuídas seguindo o modelo de escala musical. Castel sabia que existiam muito mais tonalidades de cores entre o vermelho e o azul que entre o azul e o amarelo, como ficou mais claramente mostrado (anos depois) no sistema de Munsell. Porém, mais tarde o modelo da distribuição de cores como uma escala musical foi colocado em “xeque”, principalmente por Rousseau, que argumentava que a música era uma arte seqüencial enquanto que as cores deveriam ser estáveis para serem apreciadas (MOLLON, 2003).

Um dos mais célebres tricromatistas do século XVIII foi Tobias Mayer, que argumentou, na obra póstuma “On the relationship of colors”, a favor da existência de três cores primárias - e não sete, como no espectro Newtoniano. Ele demonstrou que essas cores poderiam ser isoladas (se olhadas através de um prisma com um bastão contra o céu) em azul, amarelo e vermelho, sem qualquer mistura de verde entre elas. Mayer, como outros pesquisadores da época, não considerou a distinção que Newton fez acerca de cores simples e cores que apresentam uma mesma refringibilidade (LEE, 2008).

Mayer introduziu um triângulo de cores (Figura 5). Em cada canto do triângulo ficava uma das cores primárias (azul, amarelo e vermelho), e entre qualquer cor primária estavam onze cores intermediárias, cada uma descrita pela quantidade de duas cores primárias necessárias para produzi-la. Ele acreditava que onze era o número máximo de matizes distintos que poderiam ser discernidos entre dois matizes primários. Dessa forma, Mayer conseguiu obter um máximo de 91 cores (com cinza no meio) em seu triângulo, e ao adicionar branco e preto estendeu seu triângulo formando um diagrama de cor tridimensional em forma de dupla pirâmide (branco fica acima e preto

fica abaixo). Assim, ele forneceu um diagrama de cor e um sistema de ordenamento de cores. O diagrama de cromaticidade nos fornece apenas a informação acerca de que luz ou mistura de luzes é necessária para equiparar uma cor à outra; nesse caso, distâncias iguais no diagrama não correspondem a distâncias perceptuais iguais. Um sistema de ordenamento de cores tenta organizar as cores de maneira a formar um espaço uniforme, segundo a nossa experiência fenomenológica (FEITOSA-SANTANA, 2005, LEE, 2008).

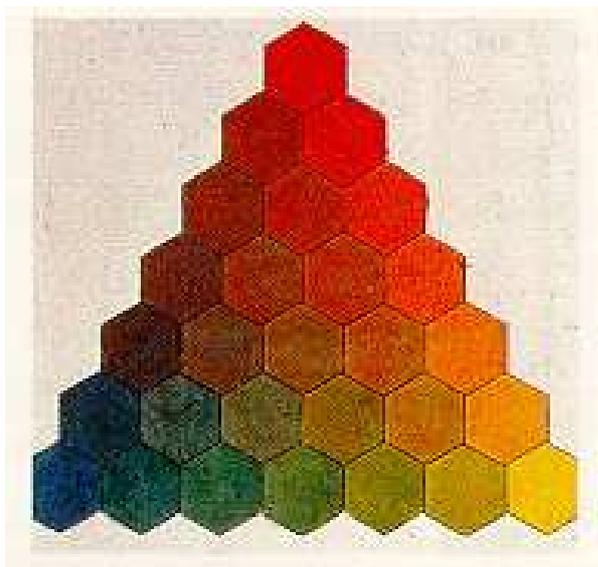


Figura 5. Triângulo de cores de Tobias Mayer (disponível em: www.colorsystm.com). Acessado em janeiro de 2010.

1.1.5 Entendimento da Visão de Cores Moderna

George Palmer foi um dos primeiros a escrever acerca da teoria moderna da visão tricromática, representando um estágio intermediário no entendimento da tricromacia. Em uma pequena publicação de 1777, ele supôs que havia três tipos de luzes e três partículas diferentes, e correspondentes, na retina. Em publicações posteriores, Palmer afirmou a existência de três tipos de “moléculas” ou “membranas”, e a vibração uniforme desses três tipos de partículas produziriam o branco; assim, foi instaurada a idéia da existência de um receptor sensorial (MOLLON, 1997). Em 1781, Palmer fez uma discussão sobre o daltonismo em uma revista de ciência alemã, dando uma explicação com relação ao nível de atividade dos receptores: se um ou dois dos três tipos de moléculas estão inativos ou com uma atividade intrínseca, esse desequilíbrio levaria ao daltonismo – o ideal seria haver diferenças entre a ativação dos receptores. Suas idéias passaram a ser bem aceitas na sociedade científica. Mais tarde (1786), Palmer sugeriu que efeitos pós-imagem (efeitos posteriores) às cores complementares

surtem quando os três tipos de moléculas são diferencialmente adaptadas à luz; para explicar a seqüência de matizes vista na pós-imagem de uma luz branca brilhante, Palmer propôs que essas fibras (via de ativação das moléculas) tinham diferentes tempos de recuperação. Palmer também sugeriu que a *Eigenlicht* (“auto-iluminação”) que vemos na escuridão total ocorre devido a uma atividade residual dessas fibras. Entretanto, ainda que tenha postulado que a resposta à cor apresenta o mesmo mecanismo da resposta ao som (isto é, a propagação de uma vibração), Palmer nunca percebeu que a variável física era uma variável contínua (comportamento da luz como onda) (MOLLON, 2003; LEE, 2008).

John Elliot propôs a existência de transdutores sensíveis a regiões restritas de um espectro físico contínuo, porém nunca restringiu o número de transdutores a três. Em sua obra “Philosophical Observations on the Senses” (1780) ele relata um experimento simples no qual estimulava mecanicamente seus olhos e ouvidos e a partir daí concluiu que esses órgãos sensoriais continham propriedades de ressonador (transdutor), que são estimulados por estímulos apropriados, mas também por estímulos mecânicos (a retina dependia de diferentes tempos de vibração para ser excitada). Em um trabalho posterior (1786), “Elements of Natural Philosophy”, Elliot aprimorou suas idéias e disse que diferentes cores se comportavam como diferentes notas musicais, com diferenciações de tons: vibrações produtoras de vermelho eram capazes de ativar uma parte específica da retina, devido a essa parte ser sensível a essa vibração, porém se essa vibração atingisse outra parte não sensível isso não ocorreria; se vibrações produtoras de azul e de amarelo atingissem uma parte da retina que fossem sensíveis a eles, a mesma ativação ocorreria, mas a sobreposição das vibrações faz com que se perceba uma mistura de cores ou o verde; se todos os raios estimulassem todo o olho, a mistura de cor percebida seria o branco – a cor resultaria de uma vibração de uma porção da retina e havia apenas três classes de ressonador (transdutor) na retina. Elliot considerava (como a maioria dos pesquisadores da época) que cada uma dessas vibrações na retina estava conectada com uma fibra do nervo óptico e essa informação seguia para o sensorio, onde a cor era percebida (MOLLON, 2003).

Considerando os achados de pesquisadores anteriores, todos os conceitos fundamentais para a elaboração da Teoria Tricromática já estavam disponíveis, mas sua elaboração só foi alcançada em 1801-02 (mesmo ainda não adquirindo o nome de tricromacia), por Thomas Young, em uma palestra na Royal Society de Londres. Não havia evidências de que o próprio Young tenha feito experimentos de mistura de cores,

porém ele estava familiarizado com os achados do século XVIII, principalmente sobre os trabalhos desenvolvidos por Tobias Mayer. Adotando a teoria ondulatória da luz, ele entendeu que a variável física era o comprimento de onda e que esta era contínua, enquanto que a tricromacia da equiparação de cores era imposta pela fisiologia do sistema visual. Dessa maneira, a retina possui três tipos de sensores ou ressonadores e cada um destes possui um pico em um ponto diferente do espectro, mas respondendo a uma faixa de comprimentos de onda. Com os conhecimentos adquiridos em suas pesquisas no campo da acústica, sua teoria sobre as cores foi ganhando firmeza e se apresentou de forma sólida, em 1817, em um artigo de sua autoria, “Chromatics”. Neste, Young concluiu que diferentes comprimentos de onda correspondiam a diferentes matizes (os mais curtos se apresentavam em violeta e os mais longos em vermelho) (YOUNG, 1802). Demonstrou, ainda, com bastante precisão, um mapa de distribuição dos matizes do espectro visível e, quando convertemos as frações de polegadas para nanômetros, vemos que suas estimativas eram próximas das reais dimensões que hoje conhecemos (KAISER & BOYNTON, 1996). De acordo com Mollon (2003), alguns autores atribuem a Young a compreensão e descrição do fenômeno da constância de cores.

1.1.6 O Período de Maior Progresso (1850-1931)

A história da visão de cores tem revelado que muitos conceitos da visão de cores moderna foram introduzidos em meados do século XIX e as décadas posteriores foram consideradas como “A Era de Ouro”, com o surgimento da colorimetria como ciência quantitativa e quando a percepção de cor ganha lugar na discussão científica e no debate público.

Em meados do século XIX (1853), começam a emergir os fundamentos básicos para a compreensão de que, uma vez que a luz chega aos olhos, existem três classes de fotorreceptores cones responsáveis pela visão de cores, especialmente graças aos trabalhos de Hermann von Helmholtz (1821-1894) e James Clerk Maxwell (1831-1879). Helmholtz (que contribuiu imensamente para a oftalmologia, otologia, neurologia e física) foi o introdutor de um conceito fundamental para os espaços de cores a serem criados no século XX que considerando a demonstração das diferenças nas misturas de cores provenientes de luz (cores-luz) e de cores provenientes de pigmentos (cores-pigmento) originou a terminologia: mistura aditiva para as cores-luz e mistura subtrativa para as cores-pigmento. Helmholtz foi favorecido pela publicação da

teoria da mistura de cores de Hermann Gunter Grassmann, em 1853, que incluía um conceito fundamental para os sistemas de cores concebidos posteriormente: a complementaridade das cores, por meio da qual cada ponto em um círculo de cores tem, dentro deste, um complementar (KAISER & BOYNTON, 1996). O espaço de Helmholtz (Figura 6) se diferencia dos anteriores também pelo fato de apresentar a gama de púrpuras originada perceptualmente pela combinação das cores situadas nas extremidades do espectro (VON HELMHOLTZ, 1856-1866; MOLLON, 2003). O seu diagrama de cromaticidade (primeiro a ter uma forma moderna) exerceu forte influência na construção do diagrama de cromaticidade CIE 1931 (KAISER & BOYNTON, 1996).

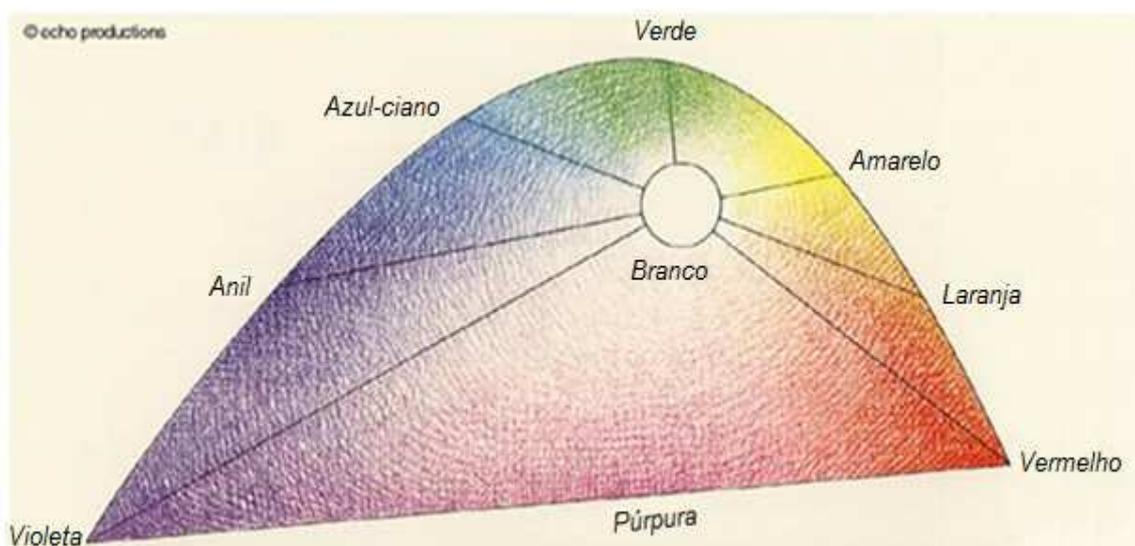


Figura 6. Espaço de cores de Helmholtz (www.colorsystem.com). Acessado em janeiro de 2010.

Maxwell foi responsável pelas primeiras curvas empíricas de misturas de cores-luzes. Seus trabalhos iniciaram com um experimento onde, munido de um aparato com dois discos (um maior com proporções de cores – vermelhão (V), verde esmeralda (VE), azul-marinho (AM)-, e um menor com proporções de preto (P) e branco gelo (BG) e ao girar o disco menor ele produzia uma tonalidade de cinza que podia ser reproduzido com o disco maior (com as três cores). Assim, ele conseguiu fazer uma equação para esta igualdade:

$$.37 V + .27 AM + .36 VE = .28 BG + .72 P$$

Se considerasse outras três cores, ainda assim, era possível criar outra equação que demonstrasse a igualdade entre cores e branco-preto. Substituindo uma das cores por uma cor de teste, Maxwell obtinha uma série de equações que continha dois dos

padrões de cor e a cor de teste. Então ele podia considerar a cor teste como um centro de gravidade de três massas. Em 1860 Maxwell construiu um dispositivo que permitiu igualar a luz do dia com uma mistura de três luzes monocromáticas, dessa forma foi possível expressar o espectro da luz visível considerando três primárias e construir um gráfico onde essas cores se opunham ao comprimento de onda, assim para um dado comprimento de onda era possível saber os valores de primária requerida (Figura 6). Essas curvas foram precursoras da ‘função de mistura de cores’ (*color matching functions*). Maxwell criou um modelo baseado em um sistema prismático com três fendas, cujas aberturas podiam ser variadas, utilizando várias combinações de comprimentos de onda para a aquisição do branco e, dessa forma, poder obter as curvas de misturas de cores para a reprodução dos comprimentos de onda do vermelho ao violeta. Baseado nessas curvas, Maxwell criou um diagrama de cromaticidade no qual o locus espectral foi determinado pelas proporções das primárias obtidas por seu método psicofísico (Figura 8). Esse método para estimar a sensibilidade espectral dos fotorreceptores da retina foi reproduzido por Helmholtz e Arthur König (1856-1901). O experimento de König, juntamente com Dieterici, foi feito com a participação de indivíduos tricromatas, protanopes e deuteranopes e, a partir desses dados, apresentaram as curvas de sensibilidade espectral dos fotorreceptores de um indivíduo tricromata normal: as três curvas de absorção das opsinas dos cones (1886) e a curva de absorção da rodopsina dos bastonetes (1894) (MOLLON, 2003; FISHER, 1999).

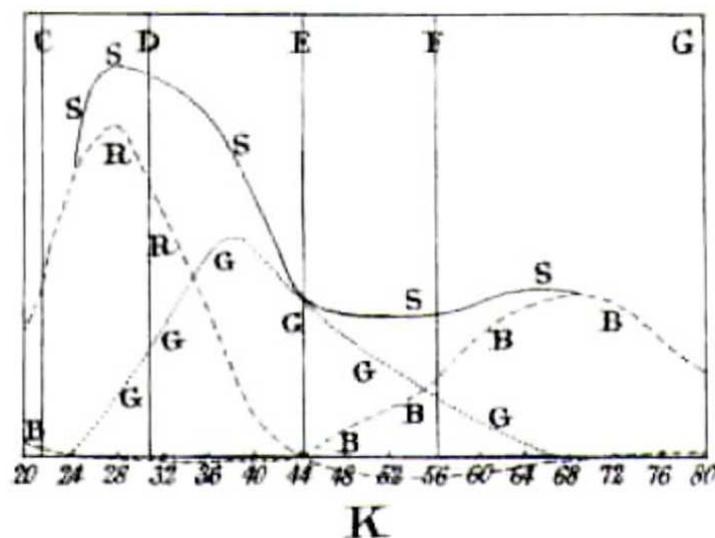


Figura 7. Curvas de sensibilidade espectral determinadas por Maxwell. As curvas representam as proporções de vermelho (R), verde (G) e azul (B) de um dado comprimento de onda (SHEVELL, 2003).

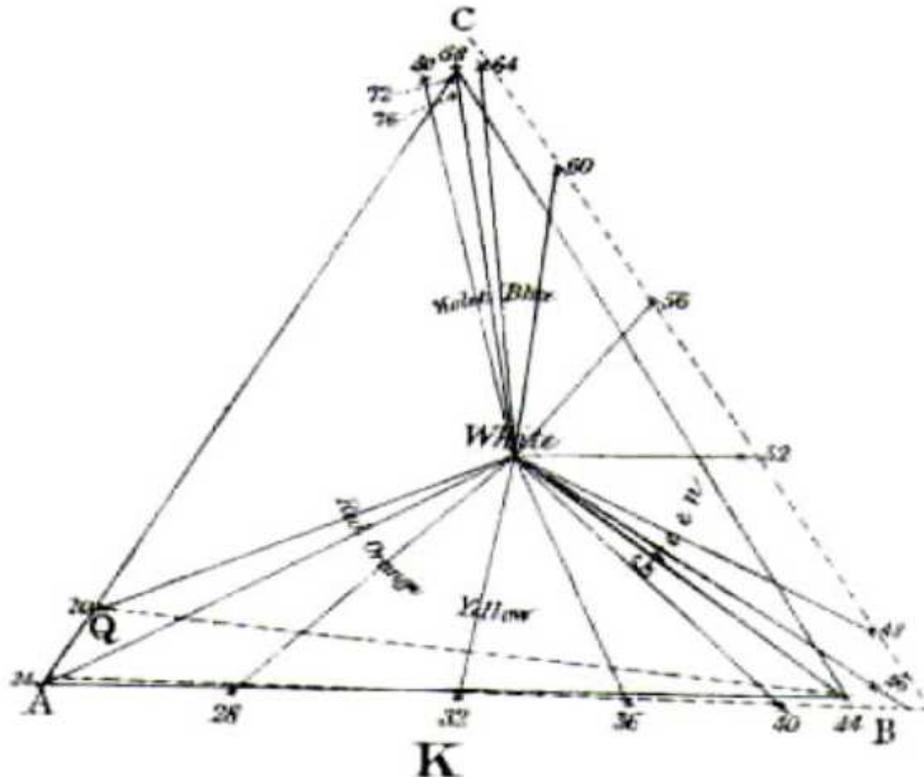


Figura 8. Diagrama de cromaticidade Maxwell, construídos a partir dos dados de proporções das três primárias para cada comprimento de onda (no locus espectral) (SHEVELL, 2003).

Os trabalhos de Helmholtz, Maxwell e Köning não conseguiam aceitação universal sobre a teoria de três receptores, as coisas só começaram a ser esclarecidas com os trabalhos do fisiologista Ewald Hering (sobre sensação das cores), ainda no século XIX. Ele desenvolveu a teoria das cores oponentes e através desta conseguiu explicar o porquê de não sermos capazes de enxergar verdes avermelhados ou azuis amarelados (uma contradição na teoria tricromática). De acordo com o achado de que a existência de seletividade na resposta a diferentes comprimentos de onda, por outro lado, é que permite a formação de canais de oponência de cores, Hering propôs que, no sistema visual, as informações são organizadas em três canais de processamento oponente: um canal vermelho(R)/verde(G), um azul(B)/amarelo(Y) e outro branco(W)/preto(B) (Figura 9). As informações codificadas por cada canal seguem por trajetórias distintas em direção ao sistema nervoso central, formando as vias paralelas de processamento neural. Sua teoria e a teoria tricromática foram consideradas antagônicas por um longo período. Em um de seus ensaios “*Outlines of a Theory of the Light Sense*”, Hering indica a co-existência desses dois modelos, a oponência de cores e a tricromacia, no sistema visual humano (KAISER & BOYTON, 1996; MOLLON, 2003).

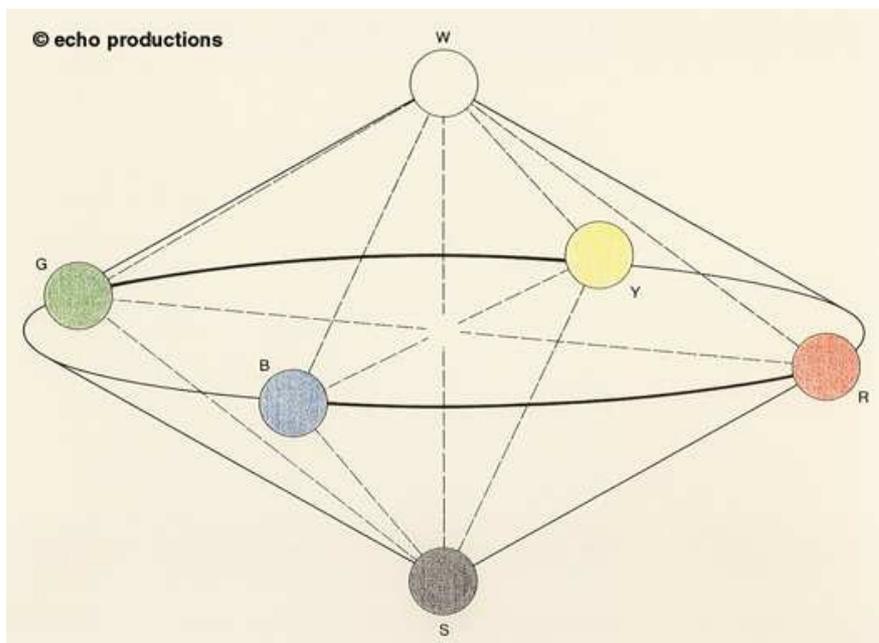


Figura 9. Canais de processamento de cores oponentes proposto por Hering (disponível em: www.colorsistem.com). Acessado em janeiro de 2010.

Todas essas descobertas científicas contribuíram para a consolidação dos conceitos básicos da visão de cores e da representação dos mesmos nos espaços a serem concebidos ao longo do século XX. Esses futuros espaços tiveram como referência, em sua, o sistema de cores conhecido como CIE 1931, apresentado pela Comissão Internationale de l'Eclairage (CIE) em 1931.

1.1.7 As Contribuições de Hurvich e Jameson

Ainda no final do século XIX, o fisiologista alemão Ewald Hering (1834-1918) desenvolveu a teoria de oponência das cores na qual afirmava existirem três pares de cores elementares, que são formados por duas cores opostas no sentido de que não existe uma descrição de cor tipo verde-avermelhada ou azul-amarelada. O modelo de cor mais conhecido, por pares de cores oponentes, é originário da teoria do processo oponente descrito nos trabalhos de Hurvich e Jameson (KAISER & BOYTON, 1996). Hurvich e Jameson elaboraram um método experimental de cancelamento de cores com a finalidade de avaliar psicofisicamente a natureza dos processos oponentes da visão colorida (FEYMMAN *et al*, 1967). A teoria de cores oponentes considera que os sinais provindos dos três tipos de cones são combinados em um segundo estágio do processamento neural da visão da cor, para alimentar três canais de cores oponentes. Um canal branco-preto ou acromáticos é obtido pela soma dos sinais vindos dos cones (vermelho, verde e azul). Um canal vermelho-verde é excitado com sinais vindos dos

cones L (absorvem preferencialmente comprimentos de onda longo) e inibido pelos sinais vindos dos cones M (absorvem preferencialmente comprimentos de onda médios), e o terceiro canal amarelo-azul que é excitado pelos sinais vindos dos cones S (absorvem preferencialmente comprimentos de onda curtos) e inibido por uma combinação de sinais vindos dos cones L e M (Figura 10) (HURVICH, 1981).

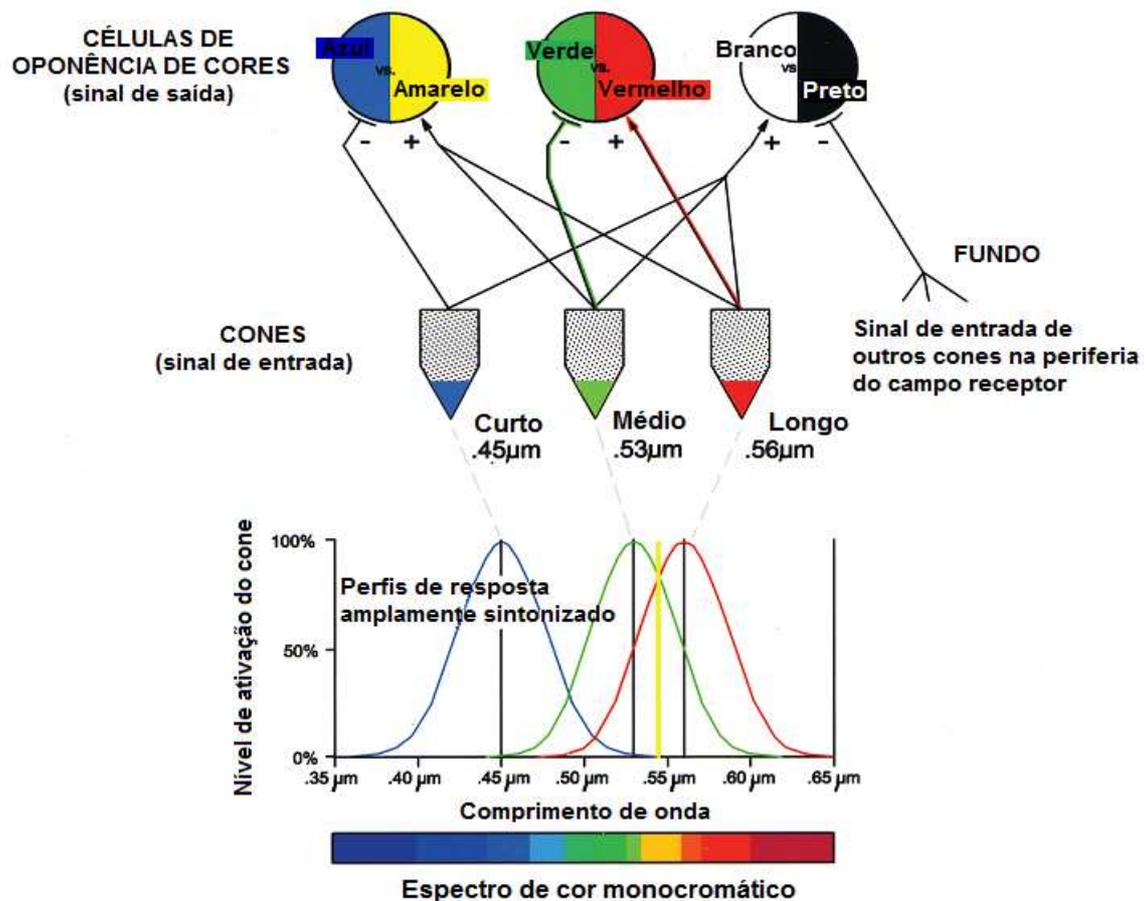


Figura 10. Rede de oponência de cores de Hurvich-Jameson, maiores detalhes ver texto descrito acima. Modificado de Churchland (2005).

Hurvich e Jameson conseguiram com esse método registrar as quantidades relativas de cada uma das quatro cores básicas presentes em qualquer estímulo espectral, considerando a atividade fisiológica do sistema visual. Verificaram que o vermelho e o verde não são vistos simultaneamente no mesmo lugar, ao mesmo tempo; quando misturados produzem o amarelo; não há o verde-avermelhado. Analogicamente, também o azul e o amarelo não são vistos simultaneamente; quando misturados produzem o branco; não há azul-amarelado. O vermelho e o verde se cancelam mutuamente; da mesma forma, o amarelo e o azul. Se a partir de uma mistura verde-azulada, por exemplo, se quiser obter o verde, é necessário adicionar-se o amarelo puro de modo a cancelar o azul (HURVICH, 1981).

Nesse modelo considera-se com atividade elétrica máxima do sinal de saída dos três cones como 100% e a mínima como zero, porém as células de segunda ordem (que recebem esses sinais dos cones e desenvolvem a oponência de cor) apresentam uma atividade basal de 50% da sua ativação total, logo qualquer valor acima ou abaixo dessa atividade basal é resultante do recebimento dos cones, ativação ou inibição, respectivamente. As células chamadas vermelho-verde recebem o sinal proveniente dos cones M e L, se seu nível de ativação fica acima de 50% significa dizer que a célula vermelho-verde está sofrendo uma excitação (o sinal de entrada possui maior contribuição dos cones L) e isso é interpretado como algo na direção de um vermelho mais saturado, porém se a situação se inverte e a célula passa a ser inibida, este evento é interpretado como algo na direção de um verde mais saturado. A oposição azul-amarela é quase idêntica, o que muda é o fato de que quem faz a oposição ao sinal de saída dos cones S são os cones M e L, que juntam suas forças para sintonizarem a metade mais longa do espectro visível, assim, se a célula oponente azul-amarela apresenta uma atividade basal abaixo de 50% (indicando inibição) isso é interpretado como um azul mais saturado, e se a atividade basal estiver acima de 50% (indicando excitação) – considerando que os sinais de saída dos cones M e L são aproximadamente iguais– isso é interpretado como um amarelo mais saturado. Já as células de oponência branco-preto respondem a diferenças de brilho (luminosidade) – considerando todos os comprimentos de onda que chegam a uma pequena área da retina (que sobrem atuação dos três cones) com uma área periférica à essa área central–, se essa pequena área for mais brilhante que a periferia, a célula oponente terá sua atividade ficará acima de 50% e isso será interpretado como um branco mais brilhante, se a situação se inverter (inibição: periferia mais brilhante que o centro) o resultado será um preto cada vez mais escuro (Figura 11) (CHURCHLAND, 2005).

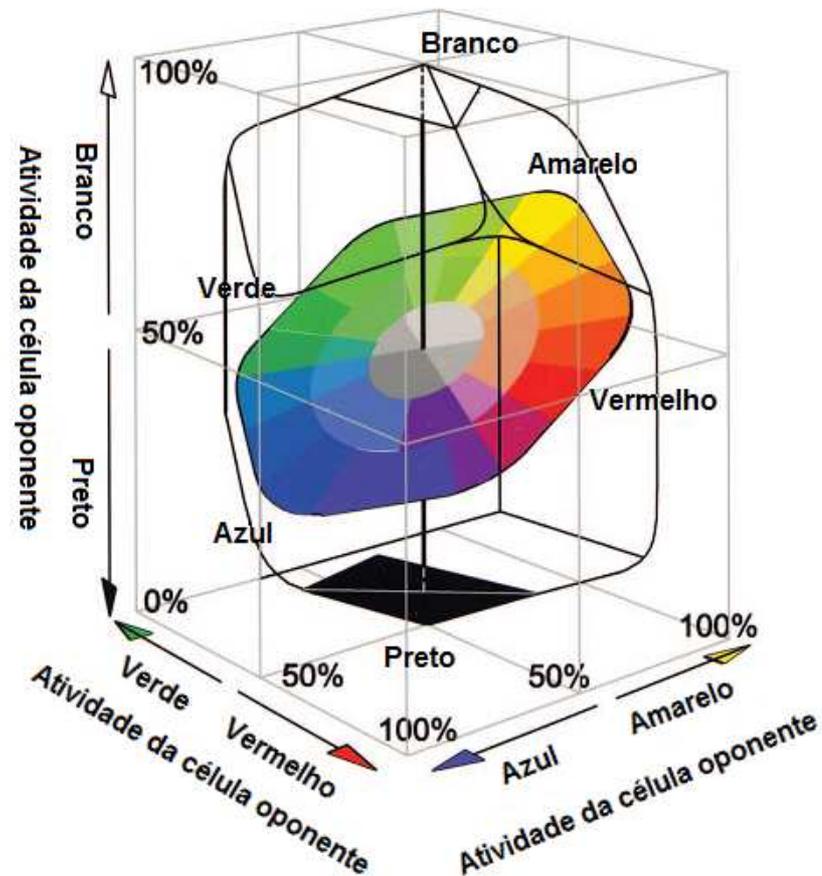


Figura 11. Diagrama representativo do modelo de ativação de células oponentes no processamento visual de estímulos cromáticos de Hurvich e Jameson (HURVICH, 1981). Os vetores apresentam níveis relativos de atividade nos eixos oponentes (branco-preto, vermelho-verde, azul-amarelo) e a topologia do espaço cromático subjetivo resultante dessas relações. Modificado de Churchland (2005).

1.2 DIAGRAMA DE CROMATICIDADE DA CIE 1931

A colorimetria tornou-se tecnicamente possível quando foram apresentadas as recomendações oficiais da “Comission Internationale de l’Eclairage” (CIE) em 1931. A CIE elaborou um diagrama onde a determinação das cores é feita relacionando-se as proporções de três cores primárias (vermelho, verde e azul) necessárias para a composição de qualquer cor, sendo que esta proporção de cor é fornecida por funções de equiparação de cores (*Colour Matching Functions*) obtidas por experimentos psicofísicos aplicados em pessoas normais (WYSZECKI & STILES, 1982).

O diagrama da CIE 1931 deriva do sistema de cores RGB (baseado nas três primárias vermelho, verde e azul). Utilizando as três luzes primárias, através de funções de equiparação de cores, foi possível definir um valor tri-estímulo para as coordenadas RGB, assim foi possível gerar o diagrama da CIE RGB. No monitor de computador as três cores primárias emitidas por cada um dos tubos de raios catódicos (vermelho a 700 nm, verde a 546 nm e azul a 436 nm) não correspondem às cores detectadas pelo olho

humano, assim, é necessário modificar as proporções de intensidade de cor aplicadas a cada uma das componentes primárias emitidas. Estas novas proporções podem assumir valores tri-estímulo negativos (Figura 12) em alguns gamas de comprimento, o que significa que, com um monitor, não é possível reproduzir todos os comprimentos de onda de luz visível, isto é, não é possível reproduzir todas as cores do espectro visível pela combinação ponderada de luzes vermelha, verde e azul. Existem, portanto cores que não podem ser simplesmente reproduzidas em monitores (a cores) pela adição ponderada das cores vermelha, verde e azul.

Devido a esses problemas, em 1931 a CIE resolveu adotar um novo modelo de representação padrão X, Y, Z, cujas cores primárias não correspondem a cores visíveis, mas suas componentes de cor são positivas (valores de tri-estímulos positivos) sendo possível então reproduzir no monitor todos os comprimentos de ondas de luz visível (Figura 12) (WRIGHT, 1941; WYSZECKI & STILES, 1982).

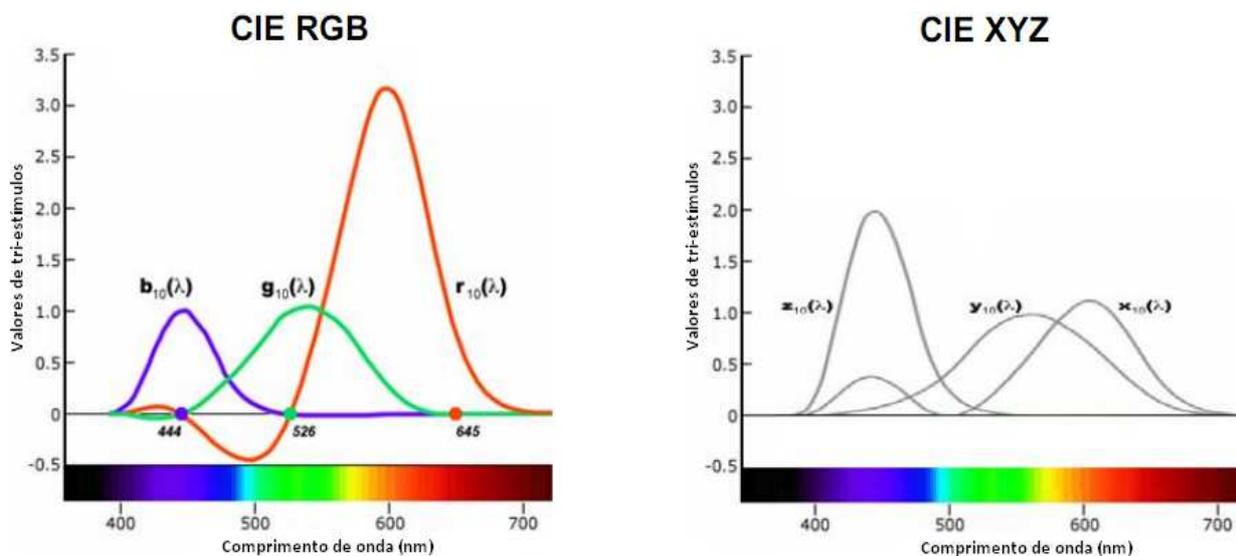


Figura 12. Funções de equiparação de cores CIE RGB e CIE XYZ. De forma a não utilizar valores negativos presentes no CIE RGB, a CIE (em 1931), definiu padrões primários - X, Y e Z, derivados das cores RGB, para representar o espectro de uma cor. Modificado de: <http://handprint.com/HP/WCL/color 6.html>.

Essas funções foram modificadas para produzir valores de triestímulo positivos designados por X, Y e Z, com cada um sendo uma função do espaço RGB, construídos segundo a relação a seguir:

$$X = 0,49R + 0,31G + 0,20B$$

$$Y = 0,17697R + 0,81240G + 0,01063B$$

$$Z = 0,00R + 0,01G + 0,99B$$

Assim, para uma fonte com uma dada distribuição espectral heterogênea, os valores tri-estímulo são calculados para cada intervalo infinitesimal de comprimento de onda a partir das integrais:

$$X = Km \int P(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = Km \int P(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = Km \int P(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

onde $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ e $z(\lambda)$ são os valores de tri-estímulo somados em toda distribuição espectral para cada valor de comprimento de onda; $P(\lambda)$ é a radiância espectral dada em Watts / sr . m² . nm; e Km é uma constante que converte a unidade física (radiância) em unidade psicofísica, dada em candela por metro quadrado (cd / m²).

Com relação ao espaço XYZ da CIE (Figura 13) é importante destacar: as seguintes:

- É possível representar qualquer cor perceptível por seres humanos em termos dessas primárias;
- Para produzir o branco, quantidades iguais de X, Y e Z são produzidas;
- O espaço está arranjado de modo que um único parâmetro Y determine a luminância da cor;
- A posição das cores está relacionada à sensibilidade do olho humano pelo uso das funções de equiparação de cor.

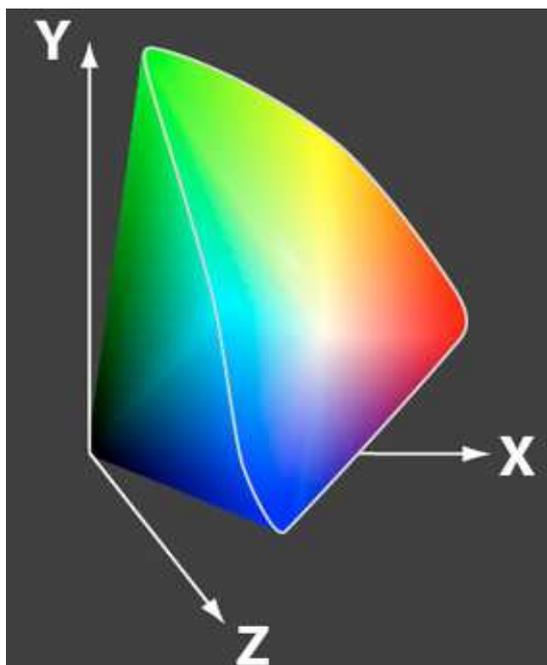


Figura 13. Esquema representativo, em três dimensões, do diagrama de cromaticidade CIE 1931 ou CIE XYZ (disponível em: http://pages.infinit.net/graxx/img/CIE_XYZ.jpg).

Porém, os valores de tri-estímulo são raramente utilizados para especificar uma cor específica, e sim são utilizadas para esse propósito as coordenadas de cromaticidade x e y (Figura 14), as quais são dadas pela relação abaixo que envolve os valores de tri-estímulo:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \qquad y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

As propriedades de cor presentes no diagrama de cromaticidade são: matiz, saturação e brilho (presente na Figura 13 como o vetor Z). O matiz é o atributo da percepção de cor, é a mudança de aspecto percebida com a alteração da composição espectral da luz (com seu comprimento de onda, caso seja uma luz monocromática, ou comprimento de onda dominante, no caso de misturas) (WYSZECKI & STILES, 1982); matiz é o conceito mais intimamente ligado à noção do senso comum de cor, mas o termo técnico “cor” é um conceito mais amplo, que inclui matiz, saturação e brilho (SCHWARTZ, 2004). A saturação diz respeito à “tonalidade” da cor, ou seja, o quanto ela parece mais viva ou mais pálida; o atributo físico com o qual a saturação se relaciona, a pureza colorimétrica, descreve a proporção de luz branca misturada com o comprimento de onda dominante, assim, quanto mais pura (quanto menos branco houver), menos saturada será uma cor; as cores colorimetricamente puras, também denominadas cores espectrais (ASHDOWN, 2002; SCHWARTZ, 2004). O brilho diz respeito à intensidade de luz (quantidade de luz - luminância) percebida em um estímulo visual. O matiz e a saturação compõem o termo cromaticidade.

Esse sistema vem sendo utilizado, desde a sua concepção, sem alterações substanciais. Alguns pontos foram interpolados ou aprimorados, seus valores numéricos receberam a fixação de sete dígitos, mas os fundamentos continuam os mesmos (SCHANDA, 1998).

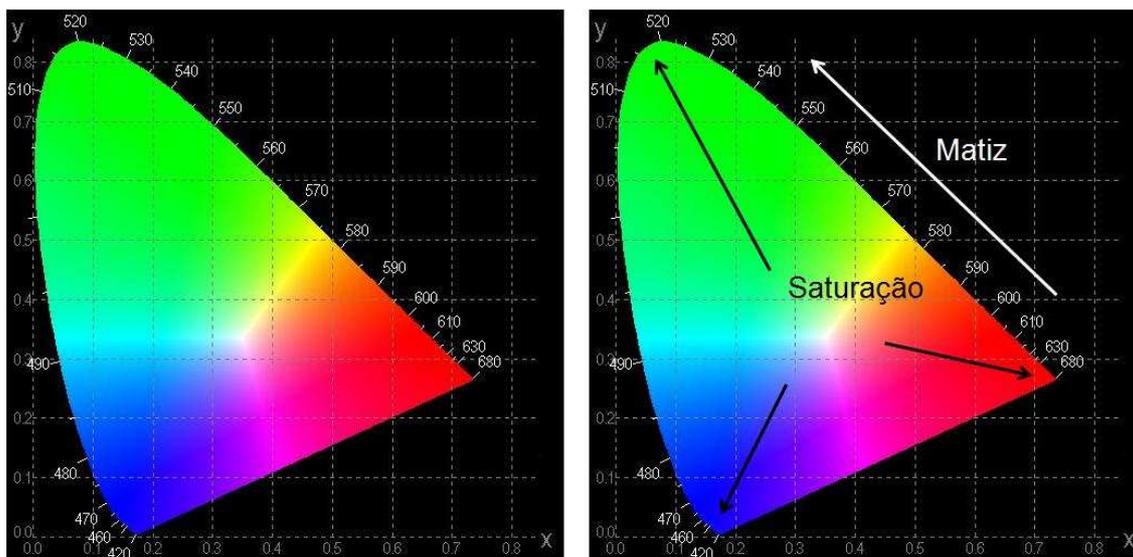


Figura 14. (A) Plano isoluminante do Diagrama da CIE 1931, as coordenadas de cromaticidade x , y e z são calculadas a partir de X , Y e Z . (B) Em evidência as principais qualidades perceptuais distinguíveis pela visão humana. As setas no interior do diagrama apontam na direção de menor saturação e a seta que percorre parte da borda do diagrama indica que a variação de matiz é mostrada percorrendo-se o contorno do diagrama onde os números representam a variação de comprimento de onda. Modificado de Werner (1998).

1.3 PSICOFÍSICA VISUAL

Pesquisas que estudam a percepção se depararam com alguns entraves, principalmente no que diz respeito do quão precisa é esta percepção (a relação entre o que está “aqui” e o que está “lá”) e o quanto ela representa a realidade externa. Na tentativa de solucionar este problema, a partir da segunda metade do século XIX, Ernst Weber, Gustav Fechner, Wilhelm Wund (este último atuando mais no campo da fisiologia sensitiva) deram início aos fundamentos teóricos sobre métodos psicofísicos. A psicofísica visual necessita ser entendida como um cenário com atores principais: 1) o estímulo visual presente para o sujeito; 2) pessoas que detectam, discriminam, identificam, classificam ou descrevem os estímulos visuais; 3) a resposta do sujeito perante o estímulo apresentado. Para tal, é necessário ter bem definido os pontos de partida para a pesquisa moderna dos processos mentais: a sensação e a percepção. A sensação é o processo que envolve a detecção do estímulo no meio, e a percepção é o processo de interpretação, pelo sujeito, das informações adquiridas e processadas pelos sentidos, sendo assim a percepção é dependente da sensação (COREN, 2003; LEVINE, 2000; EHRENSTEIN & EHRENSTEIN, 1999).

O fisiologista Ernst Heinrich Weber (1795-1871) estabeleceu uma relação quantitativa entre as propriedades de estímulos físicos e a experiência sensorial causada por eles. Com um trabalho sobre o estudo da sensação tátil, ele aplicou a técnica de

definição do limiar entre dois pontos para construir o mapa de sensibilidade cutânea humana, definindo o conceito de diferença mínima perceptível através da razão entre a quantidade de estimulação que deve ser adicionada para que alguma diferença possa ser percebida e o valor da estimulação inicial, e através desta razão se obtém uma constante. A partir dessa relação é proposta a chamada “Lei de Weber”, a qual diz que incrementos iguais de estimulação são proporcionais a iguais incrementos de sensação (GIBSON, 1979).

O psicólogo alemão Wilhelm Max Wundt (1832-1920), pai da Psicologia Experimental e fundador da Psicologia Moderna, acreditava que todas as interações em um organismo aconteciam devido a processos psicofísicos, onde uma resposta orgânica é mediada tanto por fatores fisiológicos quanto por psicológicos. Assim, Wundt escreveu um artigo intitulado “*Tridimensional Theory of Feeling*”, onde descreve os resultados de estudos sobre introspecção (COREN, 2003; GIBSON, 1979).

Gustav Theodor Fechner (1860-1912), considerado o fundador da psicofísica, publicou (em 1860) um livro intitulado “*Elements of Psychophysics*”, que apresenta uma abordagem matemática para as relações elaboradas na época sobre percepção e estimulação física. Embora contemporâneo de Weber, conseguiu chegar às mesmas conclusões sobre a medida de percepção (utilizando uma abordagem mais matemática), mas sem o conhecimento prévio de seu trabalho (COREN, 2003; FECHNER, 1960; EHRENSTEIN & EHRENSTEIN, 1999).

A partir destes trabalhos é possível definir a Psicofísica como a subárea da Psicologia preocupada com o estudo quantitativo da relação entre eventos físicos de estimulação sensorial (comprimento de onda, frequência e energia) e a resposta comportamental resultante desta estimulação (sua transformação em sinais que levam a informação até o cérebro e geram a experiência consciente de visão), que se encontra fortemente baseada em aportes matemáticos, onde (como em toda a Psicologia Experimental) as investigações envolvem a relação entre variáveis independentes (luz, som ou pressão mecânica) e variáveis dependentes (respostas comportamentais relacionadas com sensação e percepção) (COREN, 2003).

No estudo do sistema visual, o emprego de métodos psicofísicos de análise fornece-nos meios não invasivos de caracterização das vias de processamento, com relação à decomposição da função visual, possibilitando o estudo isolado de suas propriedades (detecção de bordas, visão estereoscópica e percepções de movimento, cor, forma e textura). Tão importante quanto escolher o estímulo ideal a ser utilizado no

estudo de uma característica da visão é a escolha do método psicofísico que mais se enquadre à pergunta experimental a ser respondida.

1.3.1 Medidas Psicofísicas do Limiar

A maioria dos estudos psicofísicos está centrada na determinação de quão sensível é um dado sistema sensorial. Esta medida é conhecida como **limiar**, sendo claramente entendida como o limite entre a percepção ou não do estímulo físico (FARELL & PELLI, 1999). O limiar poder ser classificado de duas maneiras: a medida pode ser feita quantificando-se o quanto de um estímulo físico particular é necessário para que o sistema o detecte, sendo então classificado como *limiar absoluto*; ou quanto o estímulo deve mudar para que seja detectada esta mudança, sendo então classificado como *limiar de diferença* ou, como dito por Weber, como *diferença mínima percebível*. Se a sensibilidade a um determinado estímulo físico é estável, ela pode ser mensurada através da construção de escalas de medição do limiar de percepção, onde a sensibilidade é definida como a recíproca do limiar:

$$\text{Sensibilidade} = \frac{1}{\text{Limiar}}$$

Existem dois tipos de tarefas utilizadas para a medição de limiar (o ajuste e a classificação), mas para este trabalho é interessante discorrer sobre a tarefa de ajuste. Nas tarefas de ajuste o próprio sujeito avaliado controla a mudança do parâmetro dependente do estímulo físico ao longo de um contínuo de valores do parâmetro independente do estímulo físico (verbalmente ou manualmente), esta mudança permite que o sujeito atinja seu próprio limiar. A função resultante representa os valores da variável dependente (encontrados pelo sujeito) para cada valor da variável independente (e. g., limiar de contraste em função da frequência espacial do estímulo) (TREUTWEIN, 1995; EHRENSTEIN & EHRENSTEIN, 1999).

1.3.2 Métodos Psicofísicos Clássicos

Fechner descreveu três métodos clássicos utilizados, até hoje, em medidas do limiar absoluto e do limiar de diferença: método do ajuste, método dos limites e método dos estímulos constantes. No método do ajuste o sujeito testado detém controle direto sobre a variação da intensidade de estimulação. O teste pode ser iniciado em condição

sublimiar, incrementando-se a intensidade até que o estímulo seja percebido, sendo esta medida chamada de limite ascendente. Ele também pode ser iniciado em condição supralimiar, com a intensidade sendo decrementada até que o estímulo deixe de ser percebido, desta vez chamado de limite descendente (LEVINE, 2000; EHRENSTEIN & EHRENSTEIN, 1999).

No método dos limites, como no método anterior, o limite ascendente e descendente também é avaliado, porém de forma indireta, visto o sujeito não ter mais controle sobre a intensidade do estímulo. A tarefa durante o teste consiste apenas em responder se o padrão visual é visto ou não, com o estímulo sendo modulado em passos iguais de intensidade. O limiar é considerado como a média aritmética dos limiares estimados pelos vários limites ascendentes e descendentes medidos em seqüência. Quando as medidas alternadas dos limites ascendentes e descendentes são realizadas em uma mesma tentativa, o método dos limites passa a ser chamado de método em escada (*staircase method*). A partir de então, o limiar é considerado como a média aritmética dos pontos de reversão registrados entre os progressivos aumentos e decrementos da intensidade do estímulo (TREUTWEIN, 1995; RODRIGUES, 2003).

Com relação ao método dos estímulos constantes, o limiar é representado por um conceito estatístico, onde a detecção do sinal é relacionada à intensidade do estímulo. Esta medida de desempenho psicofísico é denominada de *função psicométrica* e demonstra que há uma maior probabilidade de acerto na detecção do sinal físico em pontos de maior intensidade de estimulação e uma menor probabilidade em pontos de menor intensidade. Esta relação entre estimulação física e percepção não segue o comportamento de uma função degrau, onde a detecção do sinal salta de 0% para 100% a partir de um determinado momento, representando o limiar como um ponto de transição precisa entre a percepção e a não percepção. A função psicométrica comporta-se como uma função sigmóide (Figura 15), sendo o limiar definido como a intensidade de estimulação que produz resposta correta em 50% das tentativas (BI & ENNIS, 1998; LEVINE, 2000; EHRENSTEIN & EHRENSTEIN, 1999).

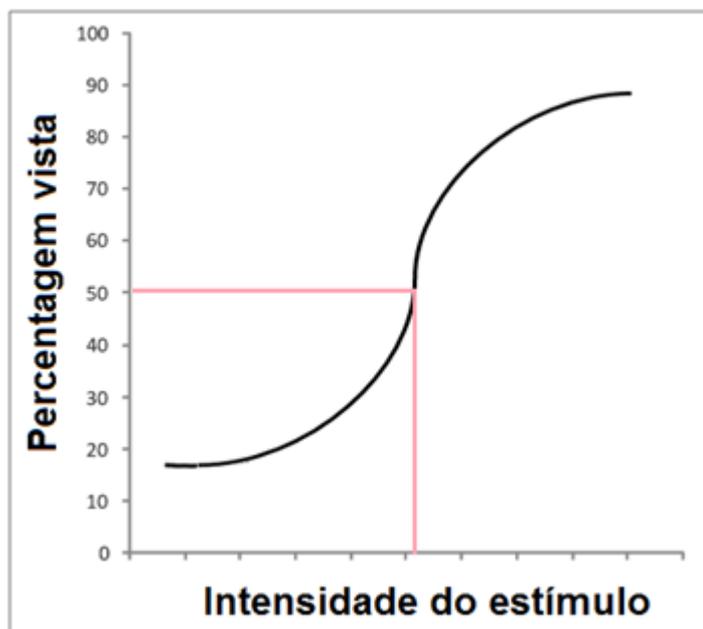


Figura 15. Modelo de uma função psicométrica aleatória, considerando a intensidade do estímulo (abscissas) pela percentagem do estímulo que foi visto (ordenadas), com comportamento sigmóide e limiar em aproximadamente em 50% do nível visto.

1.3.3 Métodos de Medidas de Luminância

Existem dois diferentes métodos para se mensurar a luz que chega aos olhos, o método radiométrico e o método fotométrico. A radiometria é a ciência de medição da radiação em todo o espectro eletromagnético. Suas unidades estão relacionadas com a energia transportada pelas ondas eletromagnéticas sendo a principal delas a radiância espectral, medida em watts por metro quadrado por esterradiano por unidade de comprimento de onda ($W / m^2 \cdot sr \cdot nm$), que fornece a quantidade de energia por unidade de área e por unidade de ângulo sólido na direção da medição para uma fonte com distribuição espectral heterogênea (ASHDOWN, 2002; ZALEWSKI, 1995).

A fotometria é a ciência de medição da radiação eletromagnética visível, a luz, em unidades que são ponderadas de acordo com a sensibilidade do olho humano, que fornece as unidades de medida utilizadas nos estudos do sistema visual, incluindo a visão de cores. Em 1924, a Comissão Internacional de Iluminação (*Comission Internationale de l'Eclairage*, CIE) estudou o desempenho visual de centenas de pessoas em um paradigma experimental chamado fotometria com estimulação heterocromática (*heterochromatic flicker photometry* - HFP), o qual foi realizado em condição fotópica (WYSZECKI & STILES, 1982). Nesse paradigma, o sujeito igualava fontes de luz monocromática de diferentes comprimentos de onda em condições fotópicas de iluminação. As fontes luminosas eram observadas em um campo bipartido

onde as projeções eram postas lado a lado, com cada uma ocupando a metade de um campo, e as duas permaneciam em uma oscilação (maior que 15 Hz) que tornava a discriminação de cores impossível, mas mantinha a discriminação de intensidade. O resultado desse experimento é a curva fotópica de eficiência luminosa, que mostra a sensibilidade do olho humano como uma função do comprimento de onda – com a máxima sensibilidade ocorrendo em 555 nm (Figura 16). Essa função dá origem às unidades fotométricas e pode ser usada como um mecanismo de conversão a partir das unidades radiométricas. A unidade fotométrica padrão é a luminância, medida em candelas por metro quadrado (cd / m^2) (WYSZECKI & STILES, 1982).

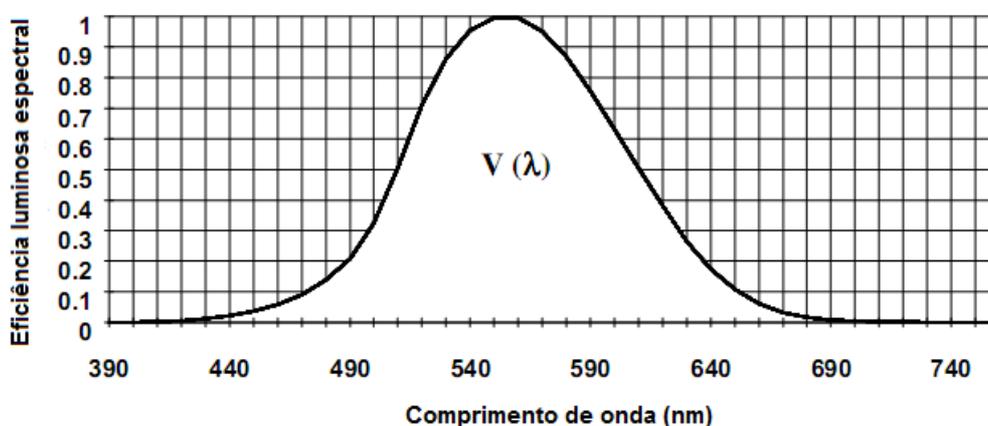


Figura 16. Curva de eficiência luminosa espectral $V(\lambda)$ para visão em condições fotópicas de iluminação. O pico de sensibilidade da visão humana ocorre em 555 nm. Modificado de Ashdown (2002).

1.4 A UTILIZAÇÃO DE REDES SENOIDAIS COMO ESTÍMULOS NO ESTUDO DA FUNÇÃO VISUAL

A visão espacial é o campo da fisiologia que estuda como as diferentes distribuições espaciais de luz são interpretadas pelo sistema visual. Devido a existência de células retinianas com antagonismo centro-periferia nos seus campos receptores somos capazes de perceber objetos e superfícies. Se esse antagonismo não existisse as coisas seriam vistas como um campo uniformemente iluminado, tornando possível apenas a determinação relacionada à presença ou ausência de algo, sem discriminar as características espaciais dos objetos.

A sensibilidade de um sistema sensorial é diretamente proporcional à sua capacidade de detectar diferenças, ou seja, de discriminar contrastes. Quanto menor a diferença energética de uma entidade física ou química percebida por um sistema, maior será sua sensibilidade. O sistema visual humano apresenta um conjunto de elementos

ópticos e neurais que o permite a distinguir tais diferenças com eficiência variada dependendo das características do estímulo. O estudo da sensibilidade ao contraste contribui fortemente na compreensão de como o sistema visual utiliza a informação luminosa do ambiente para gerar a consciência visual do mundo exterior.

1.4.1 Visão Espacial de Luminância e a Sensibilidade ao Contraste Acromático de Redes Senoidais Isoluminantes

Luminância é uma medida fotométrica de luz por unidade de área. Esse tipo de medida leva em consideração o efeito do estímulo físico sobre o sistema visual e está intimamente ligada à definição de contraste de luminância. Neste caso, contraste pode ser definido como a relação entre a luminância de uma área mais clara de interesse e a de uma área mais escura próxima (DE VALOIS, 1988; CAMPBELL & MAFFEI, 1974; KAPLAN & SHAPLEY, 1986). Essa definição é chamada de contraste de Michelson:

$$C = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}}$$

onde C é o contraste, L_{\max} é a luminância máxima e L_{\min} é a luminância mínima do padrão de estímulo.

A definição do contraste de Michelson (contraste pico-a-pico) é usada na teoria de processamento de sinais para determinar a qualidade de um sinal em relação ao seu nível de ruído. No contexto do estudo da visão este ruído pode ser causado pela luz espalhada que entra na cena por um meio translúcido, tornando a cena parcialmente escura (DE VALOIS, 1974).

Existem quatro parâmetros bem utilizados que descrevem completamente as propriedades espaciais das redes senoidais: frequência espacial, contraste (amplitude), orientação e fase espacial (CAMPBELL & ROBSON, 1968). A frequência espacial de uma rede refere-se à variação de luminância no decorrer do espaço. O conjunto que se forma pela variação entre um pico de luminância máxima e um vale de luminância mínima é correspondente à unidade do ciclo (Figura 16) e é comumente usada como em número de ciclos contidos em um grau de ângulo visual (cpg).

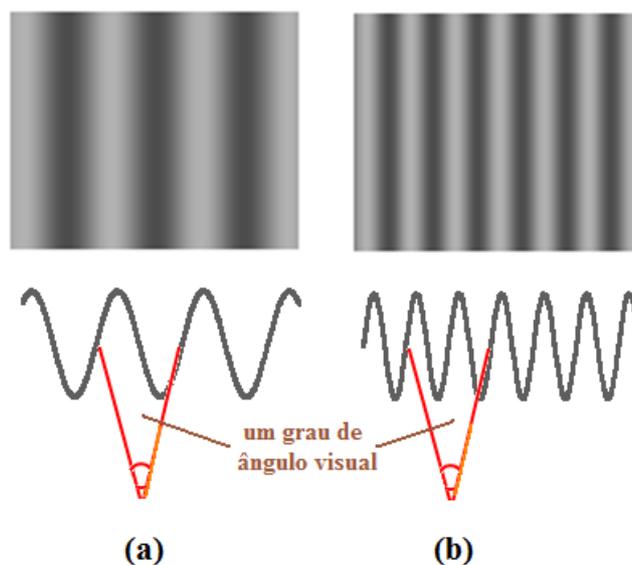


Figura 17. Frequência espacial é uma medida do número de ciclos por grau subtendido no olho. A unidade de ciclos por centímetro (uma barra branca e outra preta), presente no estímulo, apresentam um correspondente (frequência espacial) em graus de ângulo visual que é projetada sobre a retina.

A utilização de redes senoidais na pesquisa visual está intimamente ligada com o início dos estudos de sensibilidade ao contraste espacial. A sensibilidade ao contraste espacial pode ser definida como a capacidade de um observador em discriminar padrões que variam espacialmente, e este conceito está relacionado com os conceitos de contraste (visto acima) e de frequência espacial. A frequência espacial é o número de vezes que um padrão espacial é repetido por grau de ângulo visual, assim quanto menor forem as distâncias entre áreas de contrastes diferentes, maior será a frequência espacial (Figura 18) (CAMPBELL & MAFFEI, 1974; KAPLAN & SHAPLEY, 1986). Para se investigar a sensibilidade ao contraste espacial de luminância é necessário que seja mostrado ao sujeito imagens com diferentes contrastes até que se atinja o mínimo de contraste perceptível dele, ou o contraste limiar. O valor da função inversa do contraste limiar é tido como a sensibilidade ao contraste:

$$\text{Sensibilidade} = \frac{1}{\text{Contraste limiar}}$$

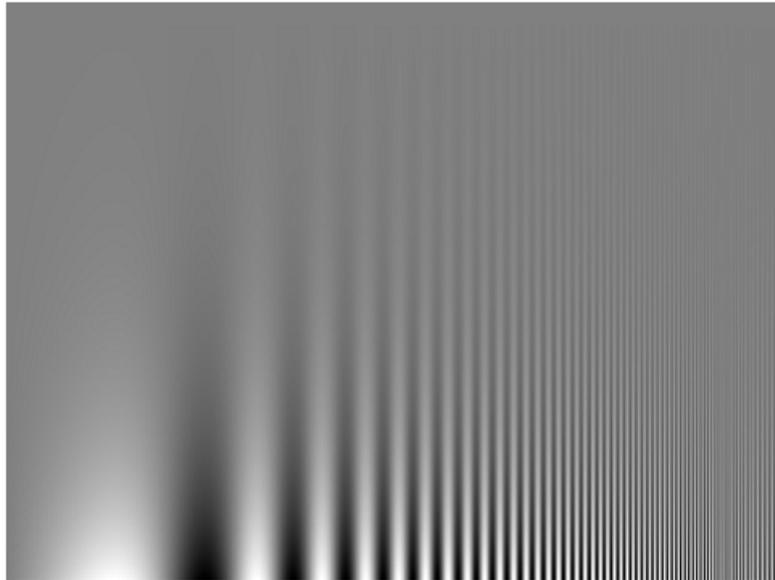


Figura 18. Contraste e freqüência espacial. Na imagem, o contraste entre duas áreas adjacentes diminui no sentido inferior-superior e a freqüência aumenta no sentido esquerda-direita.

A função de sensibilidade ao contraste (FSC) espacial de luminância expressa a sensibilidade ao contraste em diferentes freqüências espaciais, assim, para se determinar a FSC espacial de luminância é necessário apresentar um estímulos espaciais com diminuição do contraste em diferentes freqüências espaciais, até que seja determinado o contraste limiar para cada freqüência espacial (Figura 19). Este procedimento se tornou possível graças a um trabalho desenvolvido na década de 1940 por E. W. H. Selwyn (ROBSON, 1993).

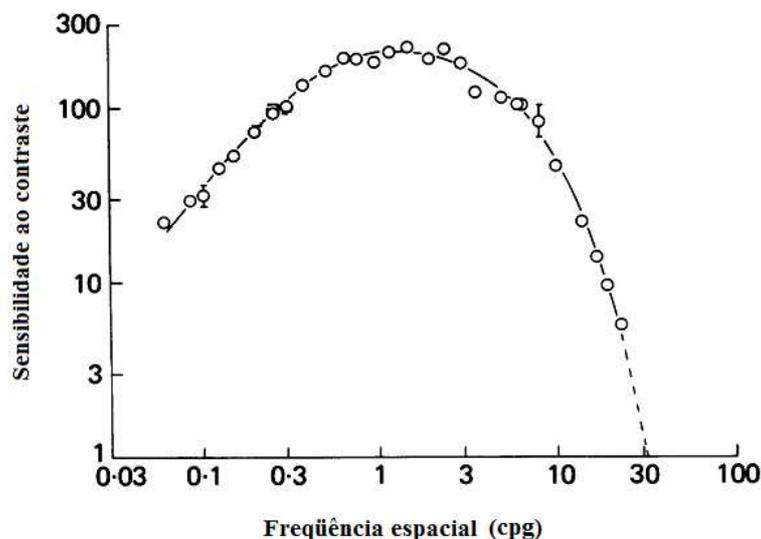


Figura 19. Função de sensibilidade ao contraste espacial de luminância, considerando a freqüência espacial (eixo das abscissas) e sensibilidade ao contraste (eixo das ordenadas). Para se obter a FSC é preciso chegar ao contraste limiar em diversas freqüências espaciais (maiores detalhes ver o texto). Modificado de Mullen (1985).

A FSC espacial de luminância pode ser vista com um o pico de sensibilidade em frequências espaciais médias, apresentando característica passa-banda, e o ponto de corte no eixo das abscissas encontra-se em alta frequência espacial. É possível ver um declínio mais abrupto na sensibilidade para frequências espaciais mais altas, se comparado com as frequências mais baixas (MULLEN, 1985; GREEN, 1965). A explicação para a diminuição da sensibilidade nas frequências espaciais maiores é dada pelo tamanho do fotorreceptor, que limita o tamanho mínimo de uma barra à sua largura, além dos meios ópticos que, como qualquer lente, funcionam como filtros passa-baixa (distorcem padrões apresentados com altas frequências espaciais (SCHADE, 1956). A diminuição da FSC em frequências espaciais menores se dá por conta do antagonismo centro-periferia do campo receptor das células (SHADE, 1956). Uma característica marcante da FSC advém do fato que ela descreve o desempenho do sistema visual em diferentes níveis de contrastes. Isso a difere de medidas clássicas como a acuidade visual, que geralmente descreve o desempenho do sistema visual em contraste muito alto (SANTOS, 2001).

Dentre os primeiros estudos psicofísicos que mediram a sensibilidade ao contraste espacial de luminância humana estão os de Schade (1956), Westheimer (1960) e Campbell e Westheimer (1960). A partir desses estudos pioneiros, uma série enorme de trabalhos foi feita em humanos ao longo da década de 1960 e nas décadas subsequentes (CAMPBELL & GREEN, 1965; ROBSON, 1966; CAMPBELL & ROBSON, 1968; MULLEN, 1985). Uma das conclusões mais importantes destes trabalhos foi a de que o sistema nervoso visual apresentava mecanismos ou canais independentes que operam linearmente entre si e são seletivamente sensíveis a uma faixa limitada de parâmetros do estímulo. Paralelamente aos estudos psicofísicos em humanos, havia outro grande grupo de trabalhos que investigava a sensibilidade ao contraste através de métodos invasivos eletrofisiológicos em animais (ENROTH-CUGELL & ROBSON, 1966; GOURAS, 1968; CAMPBELL et al., 1969a,b).

1.4.2 Visão Espacial de Cores e a Sensibilidade ao Contraste Cromático de Redes Senoidais

O início dos trabalhos sobre a sensibilidade ao contraste espacial de cores foi muito difícil, pois encontrava o problema de não haver uma definição adequada de contraste de cor disponível que pudesse ser utilizada para todas as combinações de cores, e que não dependesse de suposições teóricas sobre as interações pós-receptorais

de cones. Isso dificultava estudos que tentassem fazer uma comparação entre a sensibilidade ao contraste de cor e a de luminância. Foram poucos os pesquisadores que se preocuparam com essa fase inicial dos estudos da sensibilidade ao contraste de cores, seja ele utilizando redes senoidais isoluminantes vermelho-verde (SCHADE, 1958; VAN DER HORST & BOUMAN, 1969; GRANGER & HEURTLEY, 1973; KELLY, 1983) ou azul-amarelo (VAN DER HORST & BOUMAN, 1969). Havia ainda outras dificuldades associadas com essas investigações, como as aberrações cromáticas longitudinal (a distância focal do olho é efetivamente alterada em função do comprimento de onda) e transversal (os raios não estão exclusivamente focados no eixo óptico) do olho que produzem artefatos de luminância nas redes coloridas em frequências espaciais médias e altas (MULLEN, 1985). O primeiro estudo que visou a correção das aberrações cromáticas nesses experimentos foi feito por Kathy T. Mullen (1985).

Em 1967, Van der Horst e colaboradores realizaram um trabalho pioneiro utilizando métodos psicofísicos semelhantes aos utilizados com redes acromáticas para calcular a FSC espacial cromática usando redes senoidais isoluminantes verde-vermelha e azul-amarela. Assim, passou-se a adotar esse tipo de medida para testar a capacidade do indivíduo em discriminar um determinado padrão de cores em diferentes contrastes para várias frequências espaciais, partindo-se do princípio de que há um limite espacial perceptual para discriminação de cores assim como para discriminação de luminância.

O contraste cromático isoluminante entre duas cores pré-determinadas pode ser representado em um espaço de cor como o diagrama de cromaticidade CIE 1931, assim, convencionou-se que 100% de contraste é a distância mais longa possível entre as duas coordenadas que representam as cores escolhidas no diagrama de cores em questão. Os contrastes de cores intermediários repousam em uma semi-reta formada pelos dois pontos supracitados e a ausência de contraste ocorre quando as duas coordenadas são iguais. Porém, o sistema visual deixa de perceber a diferença entre as duas cores bem antes de alcançar a situação de contraste 0%. O contraste limiar cromático pode ser obtido através de métodos psicofísicos e eletrofisiológicos e representa a situação em que dois estímulos cromáticos diferentes são perceptualmente idênticos (BOYTON, 1979).

A construção do estímulo no domínio espacial das redes cromáticas pode ser representada pela superposição de duas redes senoidais cromáticas (com comprimentos de onda diferentes) com uma diferença de fase de 180° (Figura 20). Como as redes

cromáticas são isoluminantes, o contraste pode ser calculado a partir de uma modificação do contraste de Michelson, onde os valores L_{max} e L_{min} (usados para luminância no cálculo do contraste acromático) são substituídos por valores de cromaticidade, usualmente utilizados nos diagramas CIE (VAN DER HORST *et al.*, 1967).

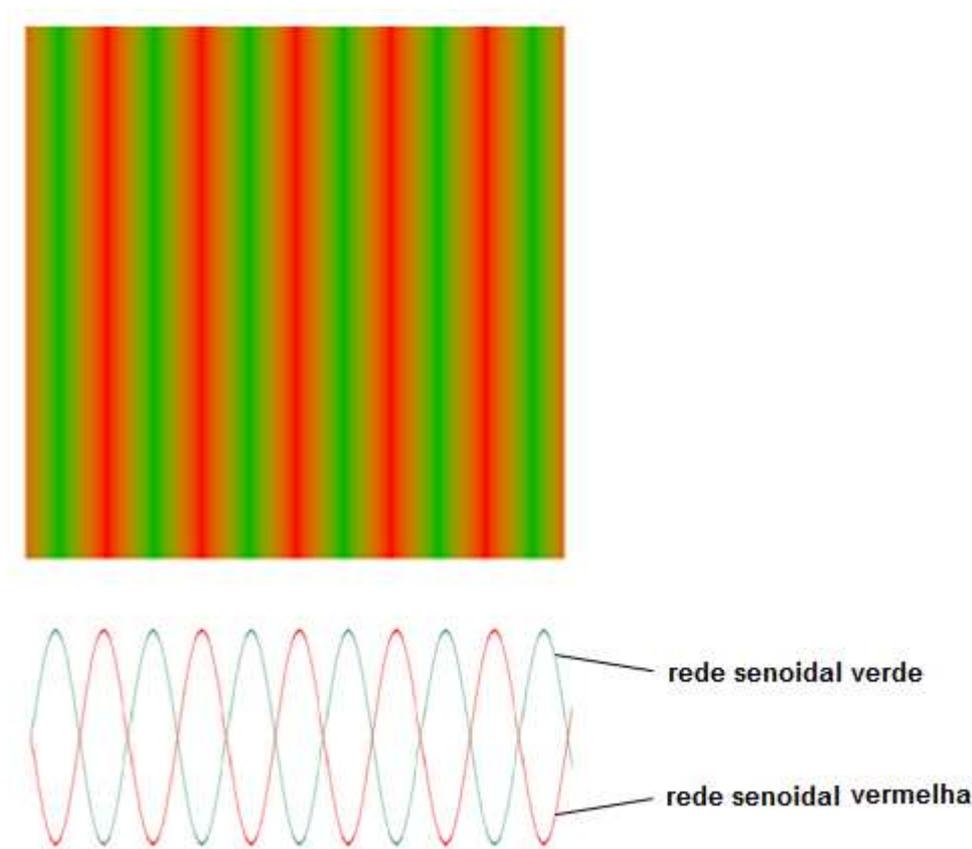


Figura 20. Rede senoidal cromática isoluminante, de orientação vertical e frequência espacial de 5,5 ciclos / grau, gerada pela modulação de duas senóides (uma vermelha e outra verde) com 180° de diferença de fase. Os pontos que se localizam imediatamente entre uma barra verde e vermelha, possuem uma cromaticidade correspondente a uma mistura das duas cores.

A sensibilidade ao contraste espacial para padrões que variam somente em cor difere da sensibilidade ao contraste de luminância em dois aspectos importantes: curva de sensibilidade cai mais rapidamente em frequências espaciais altas e há uma atenuação muito baixa da sensibilidade para frequências espaciais baixas, demonstrando que enquanto a FSC de luminância possui característica passa-banda, a FSC de cores possui característica passa-baixa (VAN DER HORST & BOUMAN, 1969; GRANGER, 1973; GRANGER & HEURTLEY, 1973; MULLEN, 1985).

- **O Método Utilizado por Kathy Mullen (1985)**

O trabalho feito por K. Mullen (1985) tinha como principal objetivo examinar as características espaciais da visão de cores em humanos. Isso já havia sido feito em poucos estudos anteriores que utilizaram estímulos consistindo em redes senoidais isoluminantes vermelho-verde (SCHADE, 1958; VAN DER HORST & BOUMAN, 1969; GRANGER & HEURTLEY, 1973; KELLY, 1983) e azul-amarelo (VAN DER HORST & BOUMAN, 1969), porém nesses estudos não foram corrigidas aberrações cromáticas longitudinais (uma diferença de foco entre cores no estímulo) e transversais (diferença cromática de magnificação) ao mesmo tempo. Com o auxílio de um telescópio Zeiss foi possível criar campos que variassem em tamanho (2,2 a 23,5° de ângulo visual), tornando possível a avaliação da sensibilidade ao contraste de cores em frequências espaciais muito baixas (menor que 0,1 cpg) com um número máximo de ciclos por centímetros no estímulo.

Para chegar a um valor quantitativo e passível de comparações entre a sensibilidade ao contraste de luminância de contraste de cor, Mullen fez uma avaliação da sensibilidade ao contraste de luminância (rede senoidal monocromática – por exemplo: vermelho-preto) e determinou que a razão de luminância na qual a sensibilidade ao contraste para a rede cromática mais diferisse da sensibilidade ao contraste para as redes monocromáticas como seria então a sensibilidade ao contraste de cores (utilizando redes senoidais cromáticas que variavam em proporção de luminância). Assim, Mullen conseguiu mostrar que para frequências espaciais baixas (abaixo de 0,1 cpg) o sistema visual humano era menos sensível para redes monocromáticas, e em frequências espaciais altas o sistema visual humano era mais sensível a redes monocromáticas, determinando que a visão de luminância possui maior acuidade visual (Figura 21); e também que a função de sensibilidade ao contraste de cores apresentava uma característica passa-baixa, com maior sensibilidade para o sistema vermelho-verde que para azul-amarelo (Figura 22).

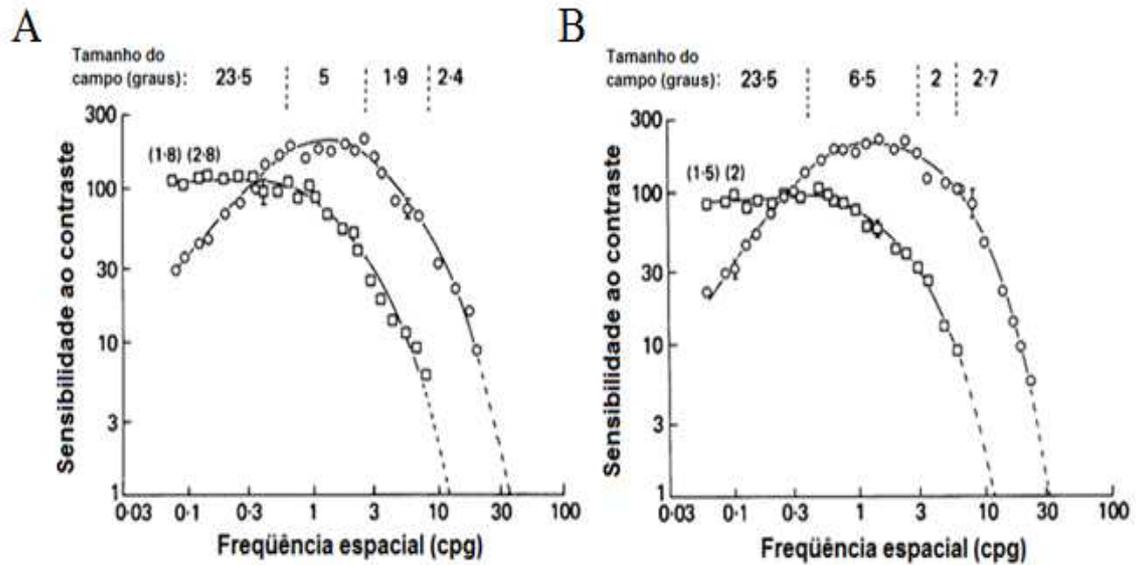


Figura 21. A função de sensibilidade ao contraste em função da frequência espacial para a (A) rede vermelho-verde e uma rede monocromática verde, e para a (B) rede azul-amarelo e uma rede monocromática amarela. É possível observar as diferenças entre as sensibilidades ao contraste de cores e luminância (ver o texto) e que a função de sensibilidade ao contraste de luminância possui maior acuidade visual em comparação com a de cores. Modificado de Mullen (1985).

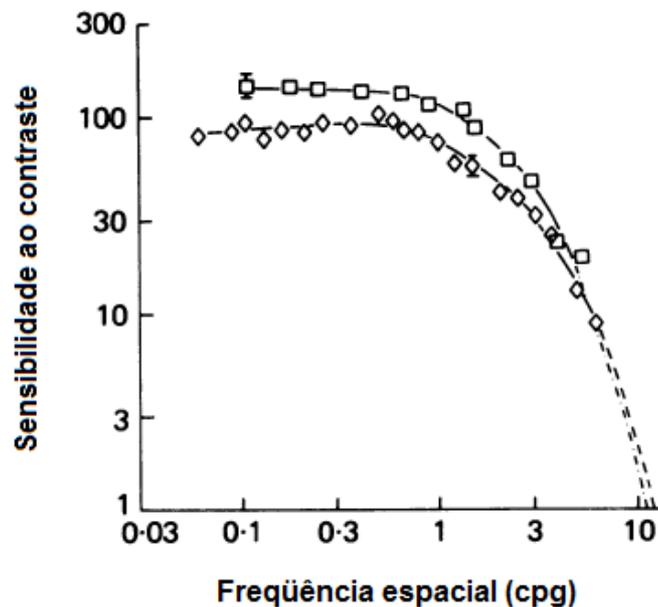


Figura 22. Curvas de sensibilidade ao contraste cromático espacial em função da frequência espacial para grades vermelho-verde (indicado pelos quadrados) e para grades azul-amarelo (indicado pelos losangos). Modificado de Mullen (1985).

Este método foi o pioneiro na avaliação concisa da sensibilidade ao contraste de cores, porém sua aplicabilidade na prática oftalmológica não é tão flexível devido a todo o aparato necessário para realização do teste.

1.4.3 Visão e Envelhecimento

O envelhecimento tem um impacto global na função sensorial do indivíduo idoso. O processo de envelhecimento pode ter impactos em muitos sistemas, como: visão, audição, tato, olfação, além de poder ocorrer em outras modalidades sensoriais. Essas mudanças também podem ocorrer em indivíduos que apresentam boa saúde, mas nesse caso a perda ocorre ao longo do tempo de maneira mais sutil. O declínio na visão pode ocorrer em qualquer momento, ao longo do processo entre estímulo e percepção. As causas potenciais para isto se estendem desde a catarata, glaucoma, perdas na visão central com a degeneração macular (relacionada à idade), até mesmo apenas o próprio envelhecimento dióptricos do olho (NUSBAUM, 1999).

Sempre com os processos de envelhecimento, normal, é possível ver uma variedade de mudanças nas funções visuais, como a adaptação ao escuro. Às vezes esses problemas são controlados por mudanças simples como evitar dirigir a noite. Um problema comum no estudo da fisiologia do envelhecimento está em distinguir mudanças fisiológicas normais (de um envelhecimento saudável) de mudanças superimpostas por processos patológicos que ocorrem comumente com o avanço da idade. Um exemplo disto está no estudo para a detecção de movimentos no campo visual, o qual apresenta um declínio não apenas no envelhecimento normal, mas também em pacientes que tem glaucoma (WOJCIECHOWSKI *et al.*, 1995).

Testes psicofísicos podem ser uma importante ferramenta para detectar essas mudanças relacionadas ao glaucoma, por exemplo, tanto no campo visual central (GLASCHI *et al.*, 1996) quanto periférico (BAEZ *et al.*, 1995). Tais testes devem chamar atenção para mostrar a patologia quando déficits visuais globais não tenham ainda se manifestado. Esses processos patológicos relacionados à idade podem se manifestar em outros componentes da experiência visual. Testes psicofísicos em pacientes com parkinsonianos, em pacientes contaminados por metil mercúrio e em pacientes intoxicados por solventes orgânicos podem detectar uma perda sutil na habilidade em detectar contraste de cores (VENTURA *et al.*, 2005; HAUG *et al.*, 1995; CÔRTEZ, 2008; LACERDA, dados não publicados). O declínio na habilidade em detectar contraste de cor pode ser sugerido como um breve sinal na degeneração macular.

A sensibilidade ao contraste de luminância também declina, normalmente, com a idade, e o fator inicial parece estar relacionado com a diminuição da luminância retinal (OWSLEY, 1983; HEMENGER, 1984; WRIGHT & DRASDO, 1985). As alterações

ópticas são primariamente detectadas, principalmente decorrentes da miose senil, e esta é mais comumente observada em frequências espaciais altas (CAMPBELL & GREEN, 1965; KULIKOWSK, 1971; PARDHAN, 2004).

A sensibilidade ao contraste de cor também diminui principalmente em frequências espaciais altas. Numerosos estudos psicofísicos examinaram mudanças na sensibilidade relacionadas à idade para as três classes de fotorreceptores cone, e mostraram que a sensibilidade aumenta na infância (AMBRAMOV, 1984) continua na adolescência (KNOBLAUCH, 2001) mas começa a diminuir principalmente após os 60 anos (HARDY, 2005). Essas mudanças no processo de envelhecimento ocorrem principalmente quando comparado a sensibilidade entre crianças (ou adolescentes) com idosos. Apenas com os trabalhos de Hardy, Delahunt e Werner (2004) esses efeitos começaram a ser estudados, satisfatoriamente, em frequências espaciais baixas, e mostraram que a sensibilidade ao contraste de cor também diminui com a idade (principalmente considerando os mecanismos que avaliavam os cones S).

1.5 JUSTIFICATIVA

A justificativa para este trabalho pode ser descrita em três pontos principais:

- i) Avaliação precisa da função visual através da sensibilidade ao contraste de cor, fornecendo um método robusto e de fácil aplicação à prática da clínica oftalmológica.
- ii) Desenvolver um método sensível para a verificação das alterações visuais decorrentes de diversas neuropatologias.
- iii) Complementar os exames oftalmológicos de rotina fornecendo assim diagnósticos de maior confiabilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a sensibilidade ao contraste cromático espacial no sistema visual humano, em condições fotópicas, em uma versão computadorizada do modelo psicofísico experimental proposto por Mullen (1985).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i) Estimar limiares de discriminação de cores através de um método psicofísico usando como estímulos redes senoidais cromáticas.
- ii) Construir funções de sensibilidade ao contraste de cor segundo o paradigma de Mullen (1985), para redes senoidais verde-vermelho, azul-verde e azul-vermelho em três grupos etários.
- iii) Determinar normas estatísticas para as sensibilidades ao contraste de cor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SUJEITOS

Os sujeitos foram esclarecidos sobre os objetivos da avaliação psicofísica e antes de todos os testes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice 1). Todos os participantes apresentaram valor de acuidade visual de no máximo 20/25. Foram considerados como critérios de exclusão a intercorrência de alterações oftalmológicas, (neuro-oftalmológicas ou neurológicas decorrentes ou não de doenças sistêmicas, traumas ou fatores hereditários, avaliados através de anamnese (Apêndice 2). Os sujeitos a partir de 40 anos, ou que levantaram suspeita de baixa acuidade visual, foram avaliados por um médico oftalmologista a fim de descartar qualquer alteração oftalmológica. Amétropes que apresentaram refração corrigida a partir de uma avaliação clínica recente, realizada a menos de um ano, também foram incluídos nos grupos controle. Para a confirmação da história clínica, todos foram submetidos a uma avaliação visual monocular compreendendo dois procedimentos oftalmológicos rotineiros, o teste com optotipos de Snellen e o teste com placas pseudoisocromáticas de Ishihara (Figura 23) (ver documento de resultado no Apêndice 3), para a determinação da acuidade visual e discriminação de cores, respectivamente.

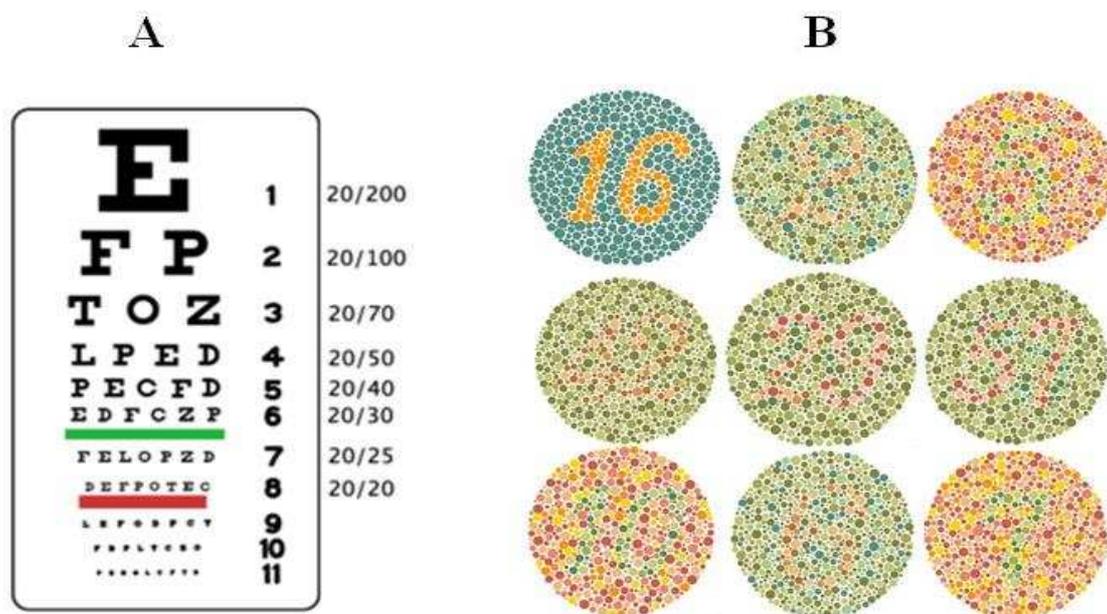


Figura 23. (A) Placas com optotipos de Snellen, usadas para medida da acuidade visual (disponível em: http://www.productwiki.com/upload/images/example_snellen_chart.jpg, acessado em janeiro de 2010); (B) Pranchas pseudoisocromáticas de Ishihara utilizadas para identificação de possíveis deficiências de visão de cores, principalmente em casos de daltonismo. Os estímulos seguem o princípio de Stiling (alvo a ser discriminado embtido em um ruído espacial de luminância (STILING, 1883; REGAN, 1994). Disponível em: <http://colorvisiontesting.com/ishihara.htm>, acessado em janeiro de 2010).

Foram avaliados 240 sujeitos (148 sujeitos do sexo feminino e 92 do sexo masculino), que realizaram um total de 314 testes, distribuídos segundo a faixa etária (16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos) e o teste psicofísico empregado – SCEC-Verde-Vermelho, SCEC-Azul-Verde e SCEC-Azul-Vermelho (detalhado adiante). Da faixa etária mais jovem, 21 sujeitos realizaram dois dos três testes; da faixa etária de 31 a 45 anos, 17 sujeitos realizaram dois dos três testes e três sujeitos realizaram os três testes; da faixa etária mais velha, 21 sujeitos realizaram dois testes e dois sujeitos realizaram dos três testes. Segundo o número de testes realizados tivemos: SCEC-Verde-Vermelho: 16 a 30 anos (n = 50), 31 a 45 (n = 40), 46 a 60 anos (n = 31); SCEC-Azul-Verde: 16 a 30 anos (n = 43), 31 a 45 (n = 30), 46 a 60 anos (n = 30); SCEC-Azul-Vermelho: 16 a 30 anos (n = 30), 31 a 45 (n = 30), 46 a 60 anos (n = 30). Os testes eram iniciados de maneira aleatória.

Este trabalho encontrou-se incluso em dois projetos aprovados pelo comitê de ética em pesquisa do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará (Anexo 1 e 2).

3.2 INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA APRESENTAÇÃO DOS ESTÍMULOS

Foi utilizado um computador da plataforma RISC, da linha POWERStation da IBM, suportado por sistema operacional Unix proprietário da IBM, o AIX 3.x. O modelo a ser usado será o RISC 6000 370, com 32 MB de RAM e disco rígido de 1 GB, munido de placa gráfica IBM POWER GT4-24bits-3D, com paleta de cores de 24 bits (8 bits por canhão).

Os estímulos visuais foram exibidos em um monitor de vídeo modelo IBM 6091 19i, de 19 polegadas, com resolução espacial de 1280 x 1024 pixels, frequência horizontal de 81,32 kHz e frequência de varredura vertical de 77 Hz.

Os monitores CRT possuem três canhões de cores (azul, verde e vermelho) que garantem 256 tonalidade de cores (índices de cores) diferentes. Devido à relação direta entre as voltagens dos canhões e o fluxo de elétrons ocorre uma não-linearidade entre os três canhões de cores, a função gama. A não-linearidade da função gama dificulta a obtenção de estímulos que tenham uma variação isoluminante (BRAINARD, 1989), como foi o nosso objetivo, então o primeiro passo foi fazer a linearização da função gama para cada canhão de cor (Figura 24) e assim ter estímulos senoidais cromáticos que variem apenas em cor e não em luminância (RODRIGUES, 1996).

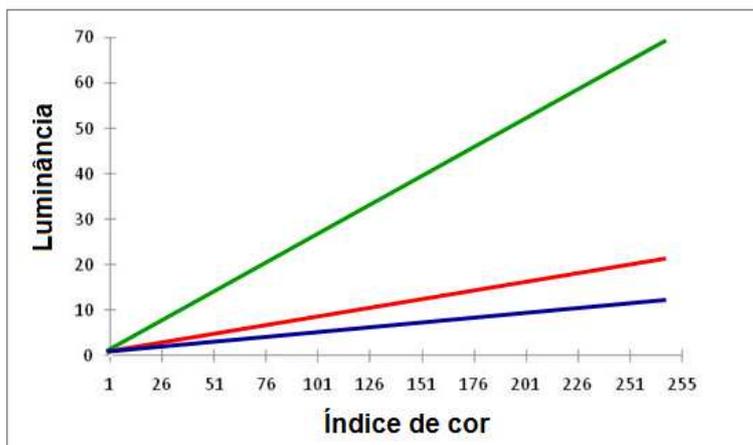


Figura 24. Comparações das funções gama (linearizadas) para os três canais RGB da RISC IBM 6000. Observando as três retas referente a cada canal (reta verde=canhão verde e assim por diante) podemos ter uma idéia do quanto diferentes são as três funções (elas nunca se superpõem).

Como é possível ver na Figura 24 essas curvas nunca se sobrepõem (os monitores CRT não apresentam a mesma faixa de saída de luminância para os três canais), o que causa um problema no momento de somar as luminâncias (como: canais verde e vermelho são somados para gerar amarelo). Porém, essa sobreposição (entre canal verde e canal vermelho) pode ser conseguida alterando-se a voltagem de saída dos canais, feita através de uma alteração no hardware: alteram-se os potenciômetros de voltagem dos canais (Figura 25). No caso das máquinas IBM RISC/6000, optou-se pela alteração da voltagem do canal verde (diminuindo-a) e do azul (aumentando-a), de maneira que se sobrepusessem ao vermelho, considerada numa faixa ideal para o experimento (RODRIGUES, 1996).

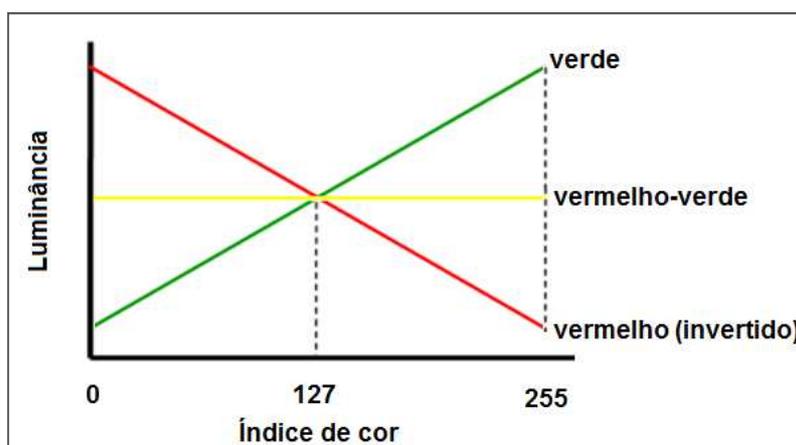


Figura 25. Superposição do canal verde ao vermelho. Aqui a curva verde é somada à vermelha (que está invertida) para se obter um espaço de cor correspondente à soma dos espaços verde e vermelho em oposição de fase de 180°. A soma algébrica assim obtida é a curva isoluminante, paralela ao eixo das abscissas, rotulado como verde-vermelho na figura. O eixo das ordenadas não foi representado com seus valores de luminância.

A razão de tais alterações deve-se à necessidade da obtenção de valores similares de luminância para cada um dos fósforos vermelho, verde e azul. Este artifício permite a geração de redes senoidais cromáticas com valores equiparados em luminância.

As características de exibição de estímulos pelo monitor são medidas e o monitor calibrado através do uso de um colorímetro digital, modelo CS-100A (Konica Minolta Sensing, Inc), com área de medida de 1° de ângulo visual. O processo de linearização da função gama para cada um dos canais do monitor IBM foi realizado com $\gamma = 2,4$, valor este indicado no manual da biblioteca gráfica da IBM.

3.3 ESTIMULAÇÃO VISUAL

Todos os testes foram realizados monocularmente, sendo escolhido o olho de melhor acuidade visual, de acordo com o teste com os optótipos de Snellen. Os testes foram realizados em condições fotópicas de estimulação visual, cuja iluminação presente na sala de teste era oriunda do monitor de vídeo (luminância média de 15 cd/m^2). Para cada um dos testes psicofísicos aplicados foram realizadas quatro medidas da função visual e a média aritmética destas, junto com a média dos desvios padrões, estavam presentes no resultado final para o sujeito testado como a sensibilidade ao contraste para uma dada frequência espacial. Os estímulos foram exibidos a 1,5 metros do monitor de vídeo.

Os testes foram aplicados para a determinação da sensibilidade ao contraste cromático espacial, para redes senoidais verde-vermelho (SCEC-Verde-Vermelho), azul-verde (SCEC-Azul-Verde) e azul-vermelho (SCEC-Azul-Vermelho), nas frequências espaciais de 0,1, 0,2, 0,5 e, 1 ciclo por grau. A escolha do par de comprimentos de onda (que compunha o teste) foi realizada com base em conhecimentos prévios sobre as respostas pós-receptorais para cores a diferentes comprimentos de onda. As redes cromáticas foram criadas de forma a estimular maximamente um sistema de cores oponentes – considerando a gama de cores que o sistema de vídeo era capaz de gerar –, e desse modo causar pouca modulação no outro sistema de cores oponentes (RAIOL, 2003).

As coordenadas de cromaticidade utilizadas foram baseadas no diagrama CIE 1931. Os estímulos empregados apresentavam coordenadas de cromaticidade: vermelho: $x=0,576$, $y=0,382$; verde: $x=0,243$, $y=0,626$; azul: $x=0,141$, $y=0,067$. A partir destas foi possível fazer a união de duas redes senoidais monocromáticas em oposição de 180° de fase – gerando redes verde-vermelho, azul-verde e azul-vermelho (Figura 26

e Figura 27) – para a criação do estímulo cromático, que se apresentava em nove proporções de luminância na rede cromática (i.e. proporções de vermelho na mistura verde-vermelho: 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%).

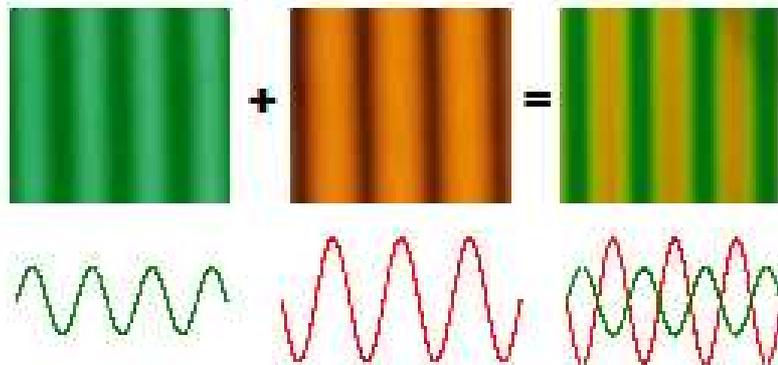


Figura 26. União de redes senoidais monocromáticas. Os estímulos monocromáticos verde e vermelho se somam (as redes senoidais estão em oposição de 180° de fase) formando um único padrão senoidal verde-vermelho.

As coordenadas para os estímulos de luminância foram obtidas considerando uma cor intermediária entre um determinado eixo de cor no diagrama da CIE 1931 (i. e. para o eixo verde-vermelho a cor intermediária seria o amarelo; para o eixo azul-verde a intermediária seria o ciano; para o azul-vermelho a intermediária seria o violeta), e esta rede monocromática variava em uma proporção de luminância apenas.

A sensibilidade ao contraste de cor foi definida como a resposta (do sujeito) ao contraste cromático (redes senoidais em oposição de 180° de fase) que mais diferiu da resposta em luminância (contraste monocromático: amarelo-preto, ciano-preto e violeta-preto), assim, pode se considerar que o sujeito responde apenas ao contraste de cor presente no estímulo.

Como tivemos que fazer essa medida de luminância para poder chegar à medida de sensibilidade ao contraste espacial de cor, resolvemos fazer a análise desses dados de sensibilidade ao contraste de luminância dividindo-os segundo a rede monocromática empregada: contraste amarelo-preto foi chamado como o sub-teste SCCL-Amarelo-Preto, contraste ciano-preto foi chamado de sub-teste SCCL-Ciano-Preto e por fim, contraste violeta-preto foi chamado de SCCL-Violeta-Preto.

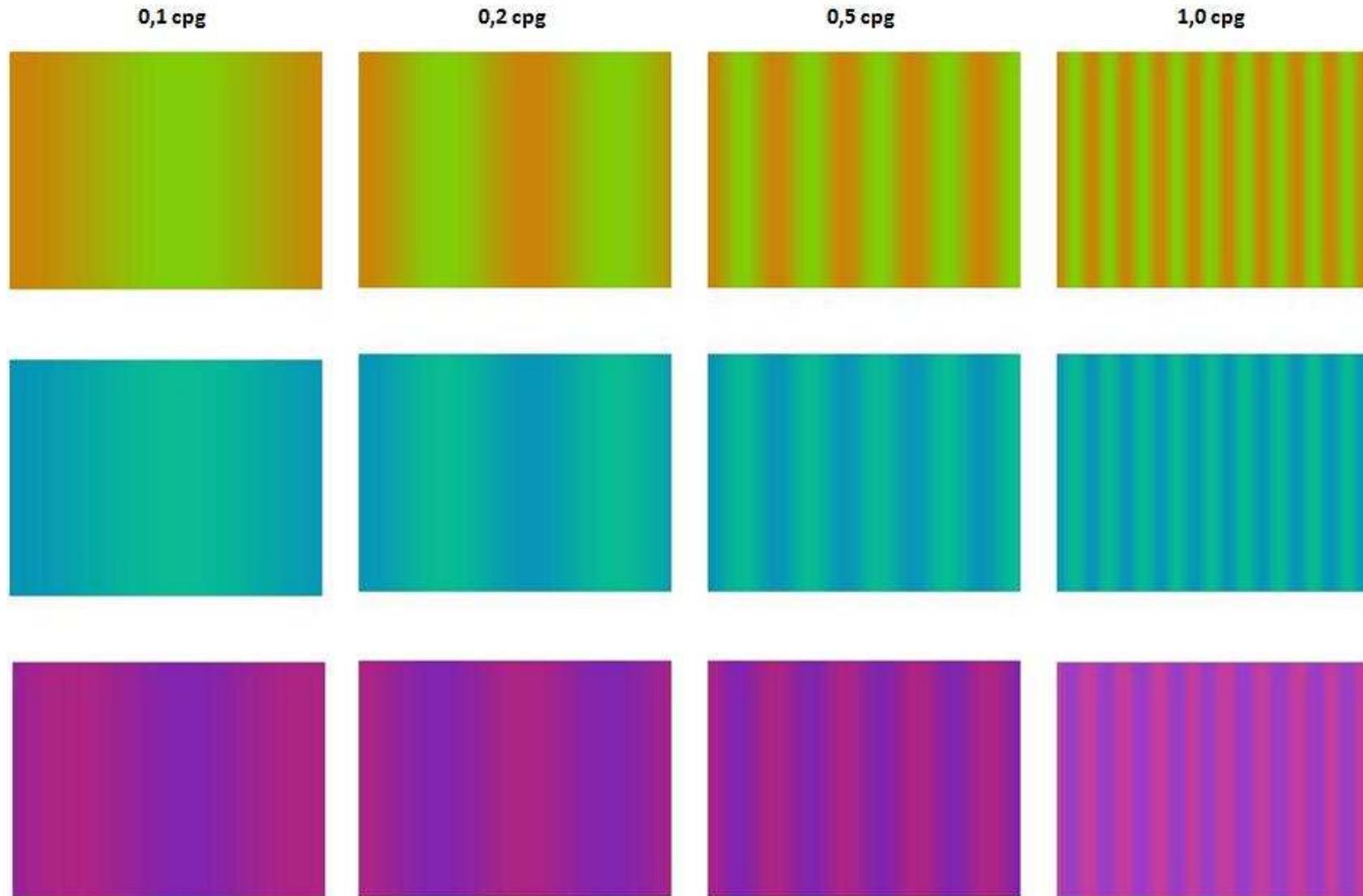


Figura 27. Estímulos apresentados na tela do monitor CRT utilizado nos testes de SCEC. A partir da união de duas redes senoidais monocromáticas, em oposição de fase, foi possível criar um único padrão senoidal. Da esquerda para a direita temos as frequências espaciais de 0,1, 0,2, 0,5 e 1,0 cpg. De cima para baixo temos os padrões: verde-vermelho, azul-verde e vermelho-azul.

3.4. DETERMINAÇÃO DOS LIMIARES E SENSIBILIDADE AO CONTRASTE

Dentre os diferentes métodos que determinam os limiares de percepção, este trabalho utilizou o do método dos limites, onde o estímulo é mostrado em um contraste sublimiar (ou supralimiar), e gradualmente aumentado (ou diminuído) até que o indivíduo o perceba (ou não o perceba mais).

A técnica dos limites é comumente utilizada para a medida da sensibilidade ao contraste de cor. Os limiares de sensibilidade ao contraste para as redes cromáticas são avaliados para um conjunto de percentagens de vermelho na formação das redes vermelho-verde, de verde na formação das redes azul-verde e de vermelho na formação das redes vermelho-azul (30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, 60%, 65%, 70%). O contraste é calculado através da fórmula de Michelson, com base nas luminâncias máxima e mínima da rede monocromática vermelha que forma a rede vermelho-verde, da rede monocromática verde que forma a rede azul-verde, e da rede monocromática vermelha que forma a rede vermelho-azul. A fórmula de Michelson é definida por:

$$C = (L_{máx} - L_{mín}) / (L_{máx} + L_{mín})$$

onde C é o contraste, $L_{máx}$ é a luminância máxima e $L_{mín}$ é a luminância mínima do padrão de estímulo.

Depois de medidos os limiares para as proporções cromáticas em determinadas frequências espaciais (0,1, 0,2, 0,5 e 1,0 cpg), foi então avaliada a sensibilidade ao contraste de luminância para o mesmo conjunto frequências espaciais, utilizando desta vez apenas a rede com variação de luminância amarelo-preto, ciano-preto ou lilás-preto. Em seguida, dentre as possibilidades de proporção cromática, foi selecionado o valor no qual a sensibilidade ao contraste cor que mais diferiu do valor da sensibilidade ao contraste em luminância (Figura 28) e esta foi tomada como a resposta de sensibilidade ao contraste de cor para este sujeito. Foram realizadas quatro sessões de teste e os resultados foram registrados e avaliados como a média aritmética destas sessões. Os resultados foram apresentados em valores de sensibilidade ao contraste, correspondente ao inverso do contraste limiar. A razão de usar-se apenas frequências espaciais baixas deve-se a uma limitação do *hardware* disponível, que não permite a correção de todas as aberrações cromáticas e estas têm efeito menor na determinação do limiar de contraste em frequências espaciais baixas.

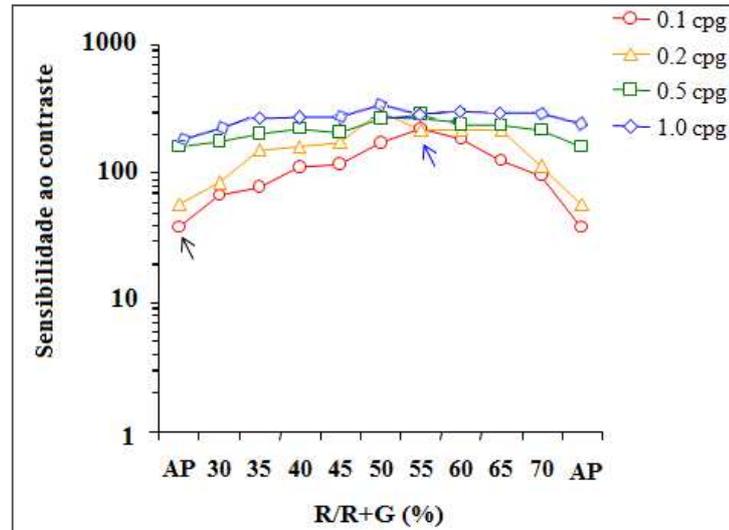


Figura 28. Exemplo da determinação da sensibilidade ao contraste de cor para o estímulo verde-vermelho, em função da proporção de vermelho (R) na mistura vermelho-verde (R+G). Notar que (para a frequência espacial de 0,1 cp/g) a sensibilidade ao contraste de cor foi definida como o ponto que mais diferiu (seta azul) da sensibilidade ao contraste de luminância (AP: amarelo-preto; seta preta).

3.5 ANÁLISE DE DADOS

O aplicativo de estimulação visual utilizado (RAIOL, 2003) possibilitou o armazenamento e a apresentação gráfica dos dados de teste de modo automático. Os dados puderam ser exportados em arquivo de texto no formato ASCII (do inglês: *American Standard Code for Information Interchange*) e posteriormente tratados a partir de rotinas em código de macro, escritas na linguagem de programação Visual Basic para o Microsoft Excel.

Os dados referentes às SCEC de cores foram analisados utilizando-se de análises de variância (ANOVA – que compara a magnitude das variações de mais de duas amostras) para cada frequência espacial em estímulo apresentado, utilizando como variáveis inter-sujeitos a faixa etária (16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos) e o sub-teste aplicado (SCEC-Verde-Vermelho, SCEC-Azul-Verde e SCEC-Azul-Vermelho). O pacote estatístico empregado nestas análises foi o BioEstat 5.0 (BioEstat Inc, 2007).

3.6 NORMAS ESTATÍSTICAS

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).

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 de uma população. Por sua vez, o intervalo de tolerância apresenta os valores extremos no qual se espera isolar uma proporção da população, sendo esses valores determinados a partir dos valores obtidos da amostra durante seu estudo. Neste trabalho, os valores normativos definidos pelo cálculo dos limites de tolerância (detalhado abaixo) 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 2007.

As normas controle para os testes de avaliação psicofísica foram obtidas pela determinação dos limites de tolerância, de acordo com o descrito por Dixon e Massey (1969). Assim, as normas são definidas para um valor de cobertura $p = 0,90$ e valor gama = 0,95. O intervalo calculado representa a faixa de valores na qual se espera que um percentual de cobertura p da população em estudo esteja contido, com um dado grau de confiança γ (DIXON & MASSEY, 1969). No cálculo do intervalo de tolerância, não se pode ter 100% de certeza de que o intervalo obtido conterá de fato a proporção p especificada, e além de p deve-se também levar em consideração o grau de confiança γ (ARANGO, 2005). Dados p e γ , os valores extremos (limites) do intervalo de tolerância podem ser calculados da seguinte forma:

$$LT = \bar{X} \pm ks,$$

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 γ :

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

onde $\chi_{\gamma, N-1}^2$ é o valor crítico da distribuição qui-quadrado com $N-1$ graus de liberdade e probabilidade γ , e $z_{(1-p)/2}$ é o valor crítico da distribuição normal com probabilidade $(1-p)/2$.

4 RESULTADOS

4.1 SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE LUMINÂNCIA (SCEL)

4.1.1 SCEL-Amarelo-Preto

Neste sub-teste foram avaliados 121 sujeitos (os mesmos que foram avaliados no sub-teste SCEC-Verde-Vermelho, descrito posteriormente) distribuídos nas seguintes faixas etárias: 16 a 30 anos (n = 50), 31 a 45 anos (n = 40) e 46 a 60 anos (n = 31).

A Tabela 1 mostra os valores referentes à média, desvio-padrão e limites de tolerância para cada frequência espacial (0,1, 0,2, 0,5, 1,0 cpg) segundo a faixa etária analisada. A Figura 29 nos mostra os dados da Tabela 1 graficamente.

Tabela 1. Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de luminância amarelo-preto.

Valores de Média, Desvio Padrão e Limites de Tolerância (LT), em LOG10, para					
Sensibilidade ao Contraste Espacial Luminância Amarelo-Preto					
Faixa etária	Freq. espacial (cpg)	Média	Desvio Padrão	LT Superior	LT Inferior
16 a 30 anos	0,1	1,18	0,24	1,67	0,69
	0,2	2,04	0,15	2,35	1,73
	0,5	2,24	0,13	2,51	1,97
	1,0	2,33	0,13	2,59	2,08
31 a 45 anos	0,1	1,02	0,13	1,30	0,75
	0,2	1,90	0,22	2,36	1,45
	0,5	2,16	0,16	2,49	1,82
	1,0	2,26	0,15	2,57	1,96
46 a 60 anos	0,1	1,03	0,13	1,30	0,76
	0,2	1,90	0,20	2,33	1,48
	0,5	2,16	0,14	2,46	1,86
	1,0	2,28	0,14	2,58	1,98

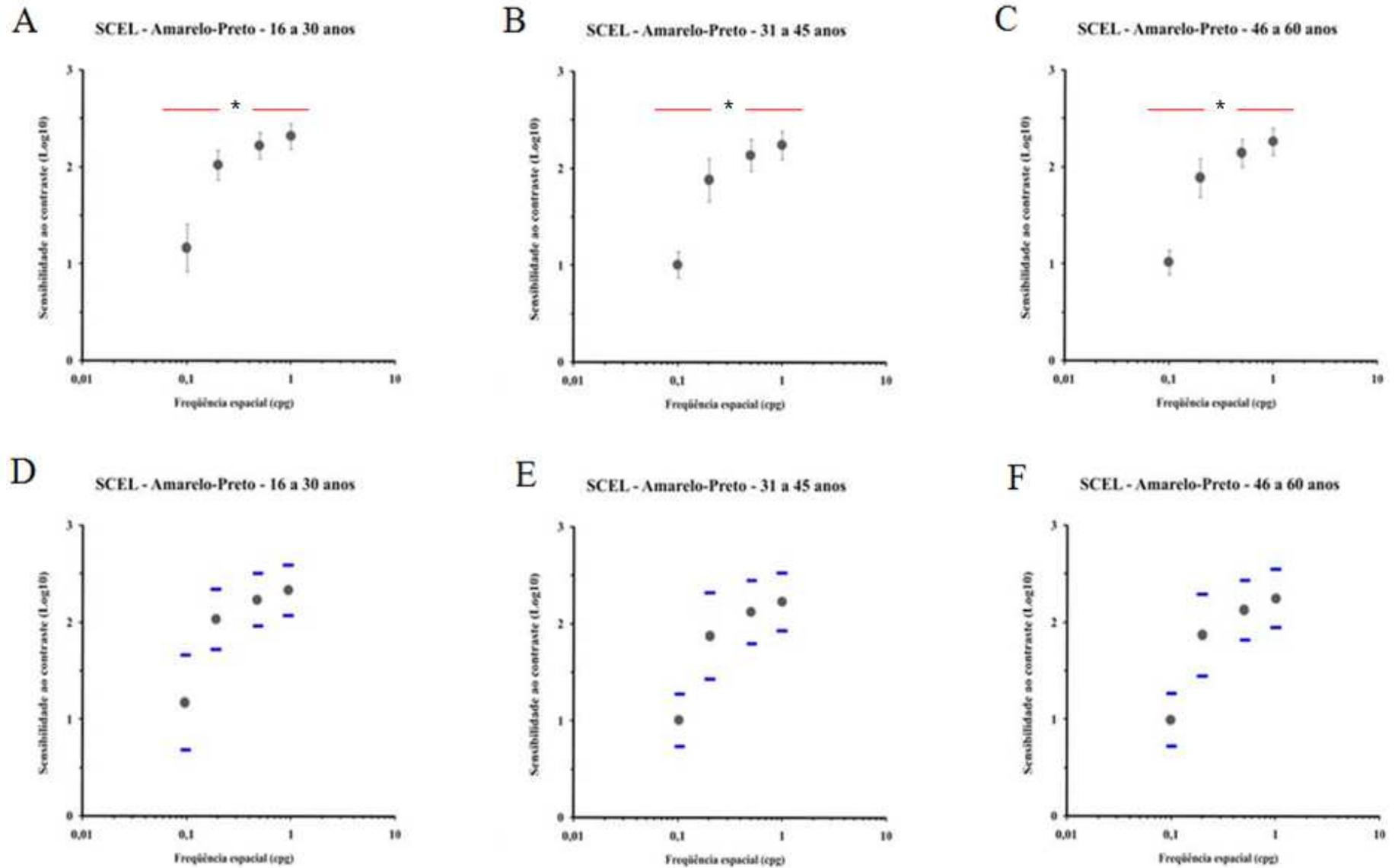


Figura 29. A, B e C mostram o SCEL-Amarelo-Preto (indicando média e desvio padrão) para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, respectivamente. D, E e F mostram os limites de tolerância (barras azuis), para essa mesma condição. A sensibilidade ao contraste está em Log10 (ordenadas) em função da frequência espacial (abscissas).

Os resultados da análise estatística através da ANOVA mostraram que todas as frequências espaciais (0,1, 0,2, 0,5 e 1,0 cpg) são diferentes entre si, quando analisada cada faixa etária separadamente (por exemplo, dentro da faixa etária de 16 a 30 anos, todas as quatro frequências espaciais são diferentes). Através da própria Tabela 1 é possível ver esta diferença (de forma crescente) entre as frequências espaciais de uma mesma faixa etária. Comparando as faixas etárias entre si foi possível encontrar que: 1) a SCEL para 16 a 30 anos foi maior em todas as frequências espaciais que a SCEL para 31 a 45 anos; 2) 16 a 30 anos ainda teve maior SCEL – Amarelo-Preto que 46 a 60 anos nas frequências de 0,1, 0,2 e 0,5 cpg; 3) a SCEL, para esta condição, não diferiu entre 31 a 45 anos e 46 a 60 anos (Figura 30). Assim, a faixa etária mais jovem teve maior sensibilidade que as demais (ANOVA uma via, $P < 0.05$).

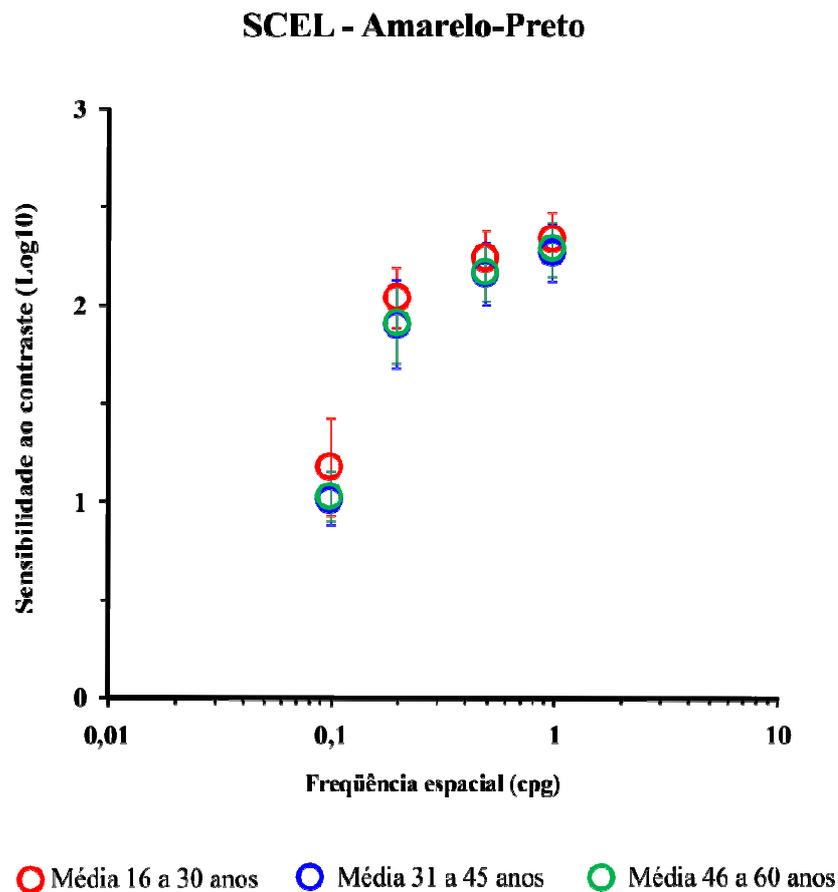


Figura 30. Média de sensibilidade ao contraste espacial de luminância entre as faixas etárias avaliadas na condição onde a rede senoidal correspondeu ao amarelo-preto. Para as três faixas etárias, o pico de máxima sensibilidade foi em 1,0 cpg e a sensibilidade da SCEL –Amarelo-Preto foi maior para a faixa etária mais jovem.

4.1.2 SCEL-Ciano-Preto

Para esta condição de avaliação foram avaliados 103 indivíduos (assim como no SCEC-Azul-Verde) distribuídos da seguinte maneira: 16 a 30 anos: 43 sujeitos; 31 a 45 anos: 30 sujeitos; 46 a 60 anos. A Tabela 2 e a Figura 31 mostram os dados referentes à média, desvio padrão e limites de tolerância (numericamente e graficamente, respectivamente) para cada faixa etária, considerando cada frequência espacial.

Os resultados estatísticos revelam que na faixa etária de 16 a 30 anos, os valores das frequências espaciais foram iguais apenas entre 0,5 e 1,0 cpg, o mesmo aconteceu para 31 a 45 anos, porém na faixa etária de 46 a 60 anos todas as frequências espaciais tiveram valores diferentes entre si. Quando comparado as faixas etárias, foi possível observar: 1) a SCEL para 16 a 30 anos foi maior que 31 a 45 anos em 0,1, 0,2 e 0,5 cpg; 2) o mesmo se repetiu quando se comparou 16 a 30 anos com 46 a 60 anos; 3) Não houve diferença entre 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, para esta condição (ANOVA uma via, $P < 0.05$) (Figura 32).

Tabela 2. Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de luminância ciano-preto.

Valores de Média, Desvio Padrão e Limites de Tolerância (LT), em LOG10, para					
Sensibilidade ao Contraste Espacial Luminância Ciano-Preto					
Faixa etária	Freq. espacial (cpg)	Média	Desvio Padrão	LT Superior	LT Inferior
16 a 30 anos	0,1	1,10	0,14	1,39	0,81
	0,2	2,14	0,15	2,45	1,83
	0,5	2,24	0,09	2,42	2,05
	1,0	2,27	0,10	2,47	2,07
31 a 45 anos	0,1	0,97	0,16	1,31	0,63
	0,2	1,90	0,26	2,46	1,34
	0,5	2,15	0,17	2,52	1,79
	1,0	2,25	0,16	2,60	1,91
46 a 60 anos	0,1	0,94	0,15	1,27	0,60
	0,2	1,77	0,24	2,29	1,24
	0,5	2,07	0,18	2,48	1,66
	1,0	2,20	0,14	2,51	1,89

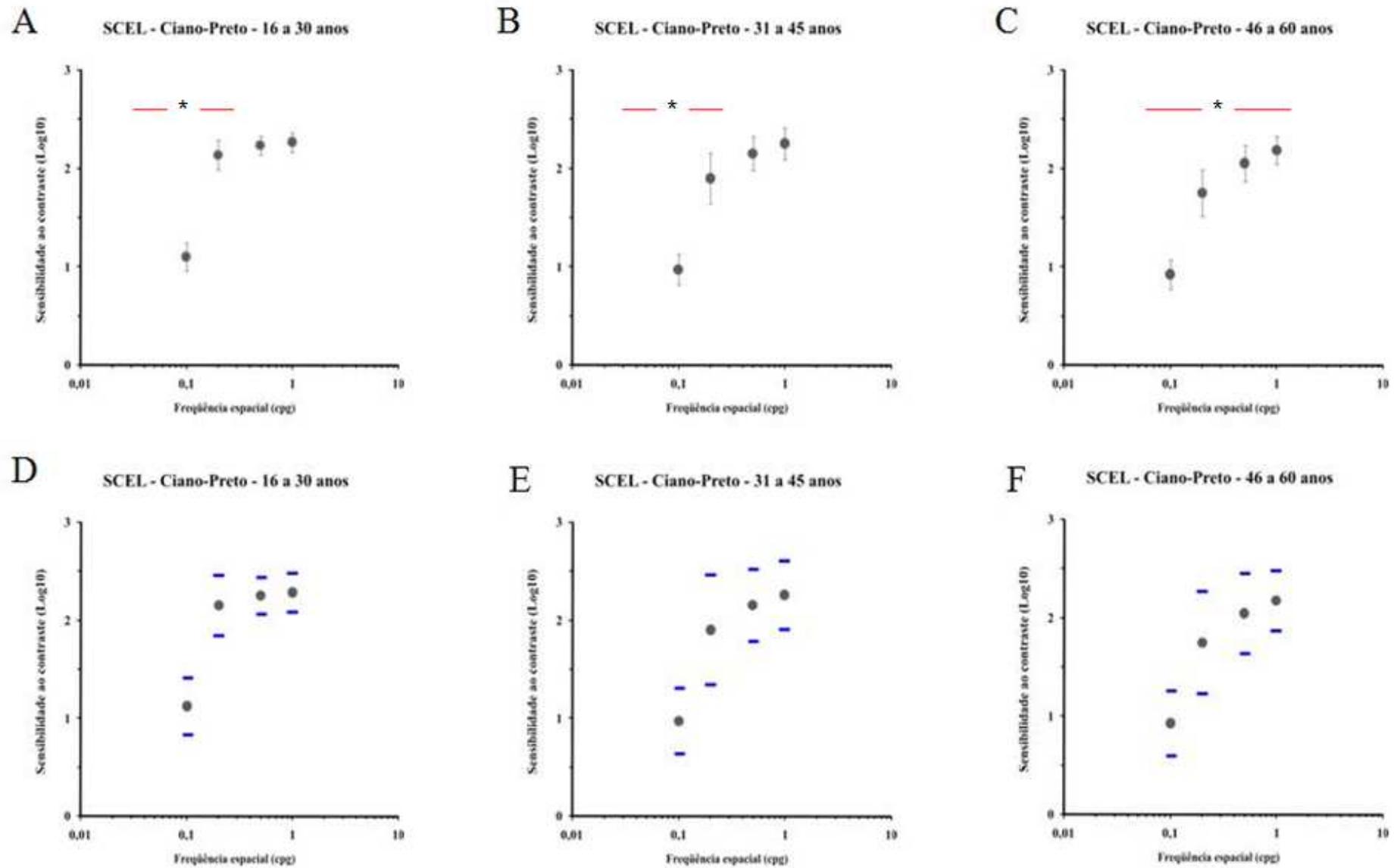


Figura 31 A, B e C mostram o SCEL-Ciano-Preto (indicando média e desvio padrão) para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, respectivamente. D, E e F mostram os limites de tolerância (barras azuis), para essa mesma condição. A sensibilidade ao contraste está em Log10 (ordenadas) em função da frequência espacial (abscissas).

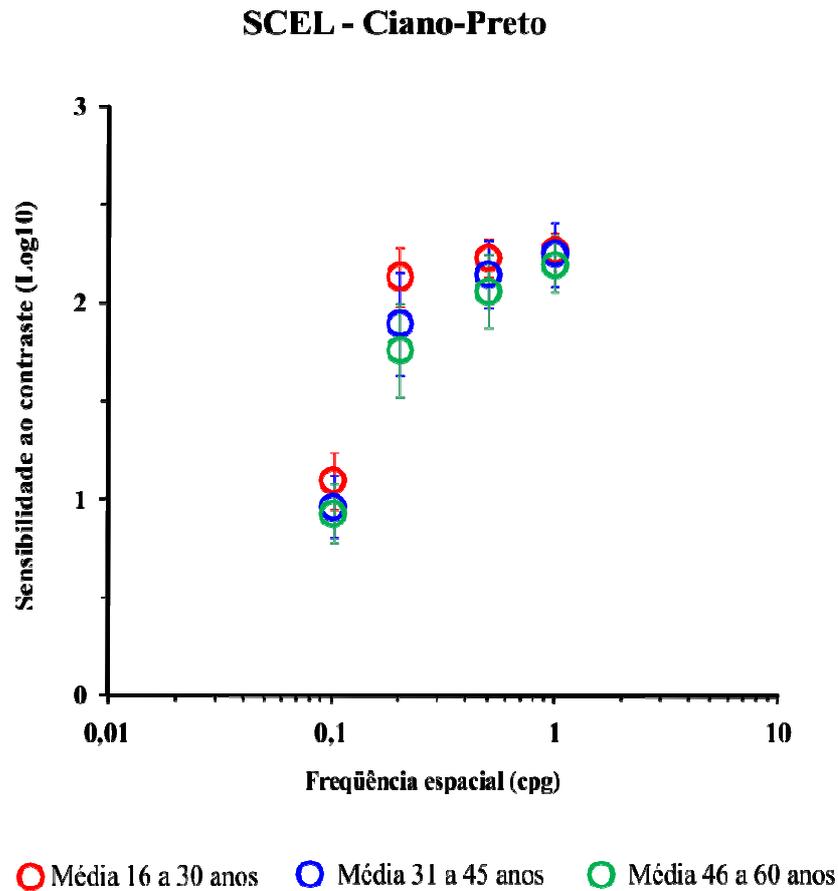


Figura 32. Média de sensibilidade ao contraste espacial de luminância entre as faixas etárias avaliadas na condição onde a rede senoidal correspondeu ao ciano-preto. Para as três faixas etárias, o pico de máxima sensibilidade foi em 1,0 cpg e a sensibilidade da SCEL -Ciano-Preto foi maior para a faixa etária mais jovem.

4.1.3 SCEL-Violeta-Preto

Nesta condição foram avaliados 90 sujeitos (por sinal, os mesmos avaliados na SCEC-Azul-Vermelho – descrita mais na seção posterior) distribuídos de acordo com a faixa etária: 30 sujeitos em 16 a 30 anos, 30 sujeitos em 31 a 45 anos e 30 sujeitos em 46 a 60 anos.

Os dados numéricos referentes a média, desvio padrão e limites de tolerância dessas faixas etárias estão disponíveis na Tabela 3, já esses dados exibidos em forma de gráficos são exibidos na Figura 33.

Tabela 3. Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de luminância violeta-preto.

Valores de Média, Desvio Padrão e Limites de Tolerância (LT), em LOG10, para					
Sensibilidade ao Contraste Espacial Luminância Violeta-Preto					
Faixa etária	Freq. espacial (cpg)	Média	Desvio Padrão	LT Superior	LT Inferior
16 a 30 anos	0,1	1,05	0,13	1,33	0,77
	0,2	1,64	0,20	2,05	1,23
	0,5	2,05	0,18	2,42	1,67
	1,0	2,23	0,13	2,50	1,95
31 a 45 anos	0,1	1,03	0,14	1,32	0,74
	0,2	1,60	0,15	1,92	1,29
	0,5	1,96	0,19	2,35	1,56
	1,0	2,16	0,11	2,41	1,92
46 a 60 anos	0,1	1,01	0,10	1,22	0,81
	0,2	1,54	0,12	1,79	1,29
	0,5	1,90	0,14	2,19	1,60
	1,0	2,11	0,11	2,36	1,87

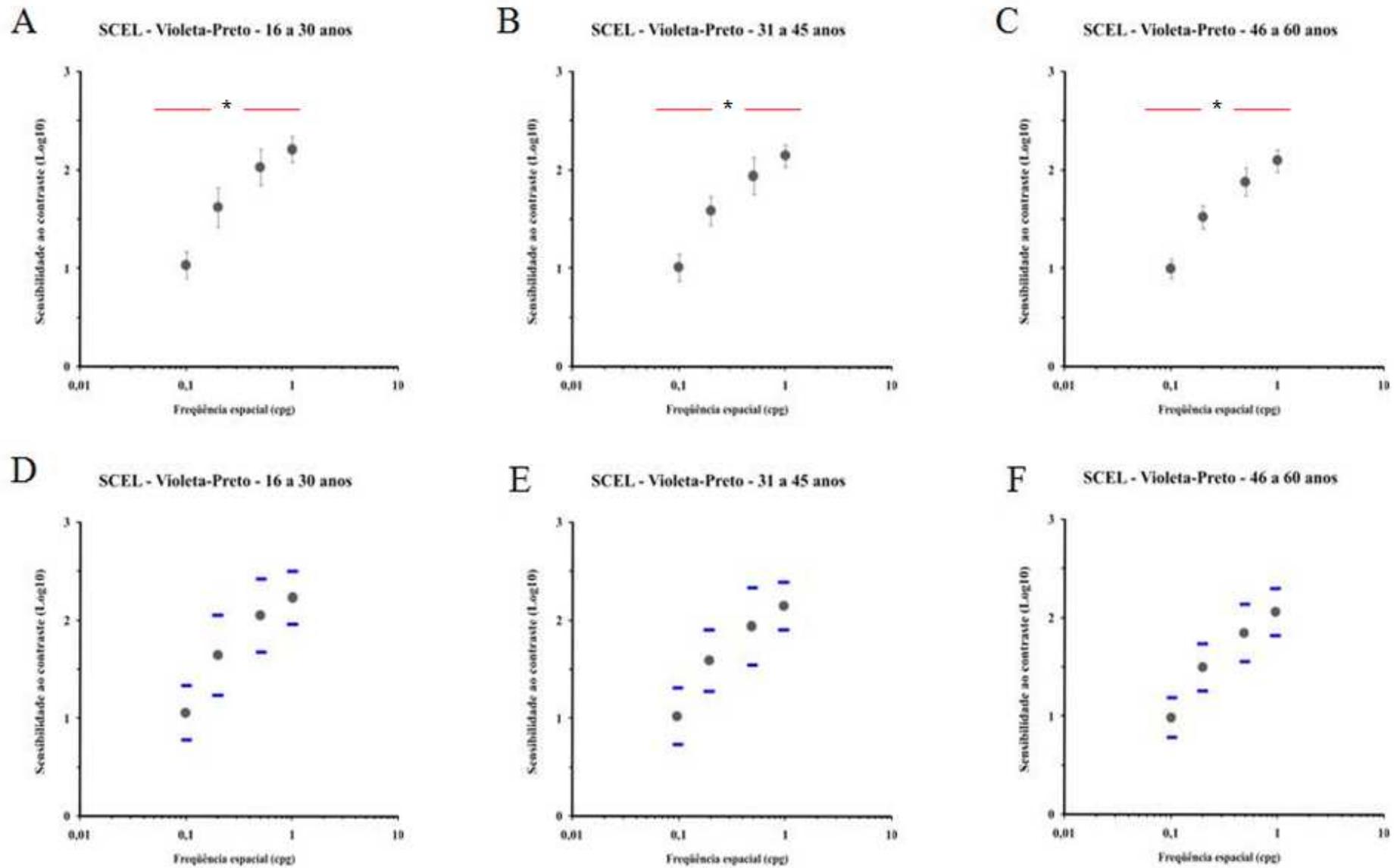


Figura 33. A, B e C mostram o SCEL-Violeta-Preto (indicando média e desvio padrão) para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, respectivamente. D, E e F mostram os limites de tolerância (barras azuis), para essa mesma condição. A sensibilidade ao contraste está em Log10 (ordenadas) em função da frequência espacial (abscissas).

A análise estatística desses dados revelou que, assim como na SCEL-Amarelo-Preto, todos os valores das frequências espaciais (0,1, 0,2, 0,5 e 1,0 cpg) são diferentes entre si, quando analisada cada faixa etária separadamente. Já em uma comparação entre as faixas etárias foi possível observar que: 1) não houve diferença entre a SCEL entre 16 a 30 anos e 31 a 45 anos; 2) a SCEL para 16 a 30 anos foi maior que para 46 a 60 anos nas frequências espaciais de 0,2, 0,5 e 1,0 cpg; 3) a SCEL para 31 a 45 anos e 46 a 60 anos foi estatisticamente semelhante. Dessa forma apenas a faixa etária de 16 a 30 anos teve SCEL-Violeta-Preto maior em comparação à faixa etária de 46 a 60 anos (ANOVA uma via, $P < 0.05$) (Figura 34).

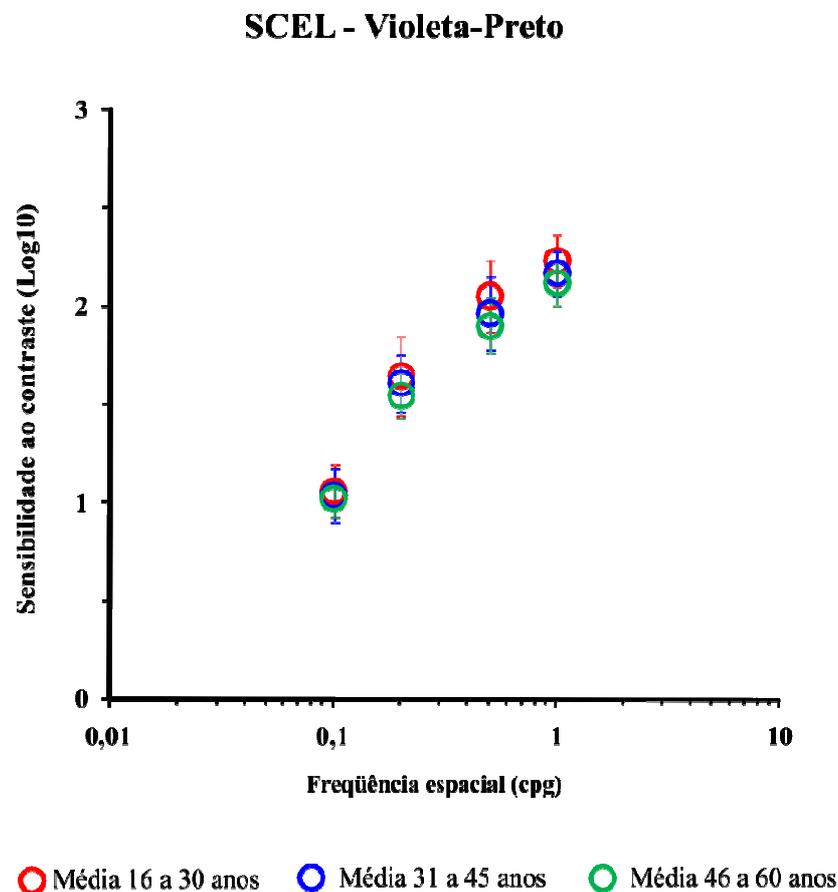


Figura 34. Média de sensibilidade ao contraste espacial de luminância entre as faixas etárias avaliadas na condição onde a rede senoidal correspondeu ao violeta-preto. Para as três faixas etárias, o pico de máxima sensibilidade foi em 1,0 cpg e a sensibilidade da SCEL -Violeta-Preto.

4.1.4 SCEL-Amarelo-Preto x SCEL-Ciano-Preto x SCEL-Violeta-Preto

Uma primeira observação com relação aos dados da SCEL mostra que nos sub-testes SCEL-Amarelo-Preto e SCEL-Ciano-Preto a sensibilidade para a faixa etária de 16 a 30 anos é sempre maior com relação às demais – o que não ocorreu na SCEL-Violeta-Preto – e não foi

encontrada nenhuma diferença significativa entre as SCEL das faixas etárias mais velhas (considerando os sub-testes isoladamente). Outra característica marcante em todos os dados obtidos para SCEL é que existe um aumento no valor de sensibilidade conforme aumenta a frequência espacial testada (ver Tabelas 1, 2 e 3 e Figuras 30, 32 e 34), o resultado deste aumento progressivo é o comportamento passa-alta (conforme se aumenta a frequência espacial, ocorre um aumento no valor de sensibilidade) das curvas de SCEL. Possivelmente, se um número maior de frequências espaciais fosse analisado obter-se-ia uma curva de sensibilidade com característica passa-banda (conforme aumenta a frequência espacial, ocorre um aumento no valor de sensibilidade que tende a diminuir em frequências mais altas ainda), conforme visto na literatura, mas nosso objetivo foi apenas obter a SCEL em frequências espaciais abaixo de 1,0 cpg.

Na comparação estatística feita entre os sub-testes considerando uma mesma faixa etária (por exemplo: faixa etária de 16 a 30 anos do sub-teste SCEL-Amarelo-Preto e a faixa de 16 a 30 anos do sub-teste SCEL-Ciano-Preto) foi possível chegar aos seguintes resultados:

1) nas faixas etárias de 16 a 30 anos, a SCEL-Amarelo-Preto foi maior que a SCEL-Ciano-Preto nas frequências espaciais de 0,2 e 1,0 cpg, e maior que a SCEL-Violeta-Preto em todas as frequências espaciais, ao passo que a SCEL-Ciano-Preto foi maior que a SCEL-Violeta-Preto nas frequências espaciais de 0,2 e 0,5 cpg (Figura 35A) (ANOVA uma via, $P < 0.05$);

2) nas faixas etárias de 31 a 45 anos, a SCEL-Amarelo-Preto foi maior, estatisticamente, que a SCEL-Ciano-Preto (em 0,2, 0,5 e 1,0 cpg) e que a SCEL-Violeta-Preto (em todas as frequências espaciais), e a SCEL-Ciano-Preto foi maior que a SCEL-Violeta-Preto em todas as frequências espaciais (Figura 35B) (ANOVA uma via, $P < 0.05$);

3) nas faixas etárias de 46 a 60 anos, a SCEL-Amarelo-Preto foi maior que a SCEL-Ciano-Preto em 0,1 e 0,2 cpg, e maior que a SCEL-Violeta-Preto em 0,2, 0,5 e 1,0 cpg, já a SCEL-Ciano-Preto foi maior que a SCEL-Violeta-Preto apenas em todas as frequências espaciais (Figura 35C) (ANOVA uma via, $P < 0.05$).

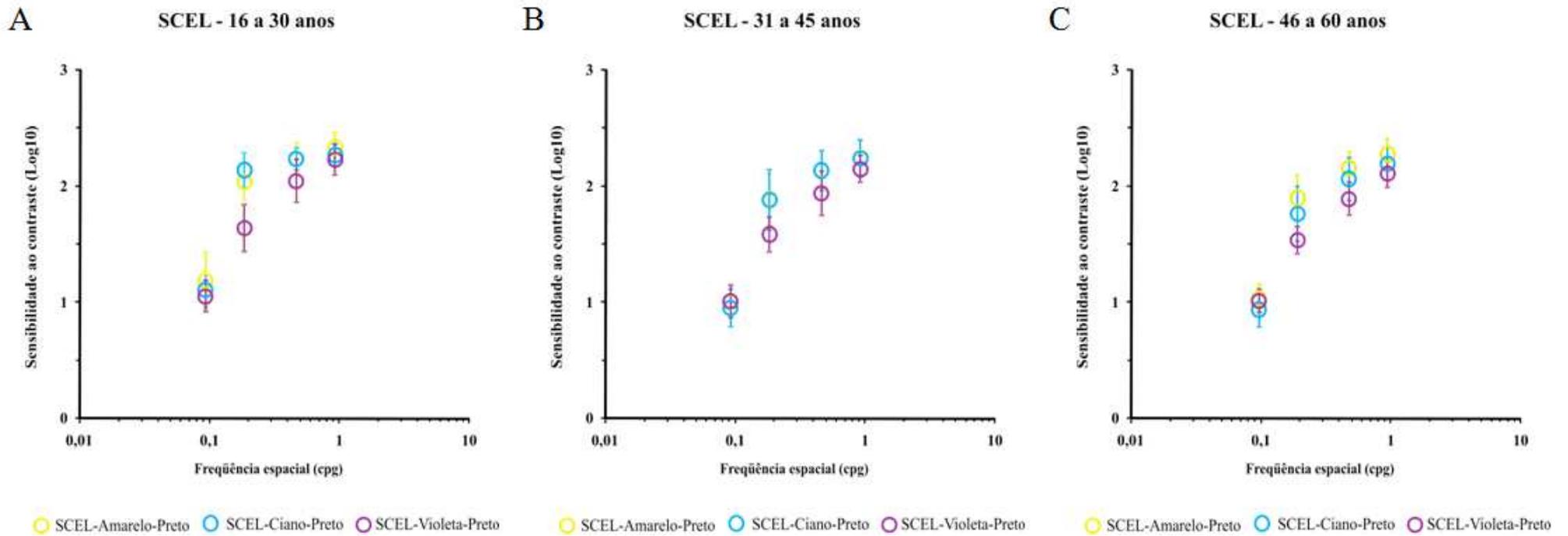


Figura 35. Comparação entre os sub-testes de luminância em cada uma das faixas etárias estudadas (**A**, **B** e **C**). A sensibilidade ao contraste na SCEL-Amarelo-Preto costumou ser maior que nos demais sub-testes (ver o texto). A SCEL foi expressa em Log10 (ordenadas) em função da freqüência espacial (abscissas). Apesar de em **B** mostrar quase uma superposição entre SCEL-Amarelo-Preto e SCEL-Ciano-Preto, a análise estatística mostrou diferença entre essas sensibilidades (ver texto).

4.2 SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE CORES (SCEC)

4.2.1 SCEC-Verde-Vermelho

Neste sub-teste foram avaliados os mesmos 121 sujeitos submetidos ao sub-teste SCEL-Amarelo-Preto. A Tabela 4 mostra os valores referentes à média, desvio-padrão e limites de tolerância para cada frequência espacial (0,1, 0,2, 0,5, 1,0 cpg) segundo a faixa etária analisada. A Figura 36 nos mostra os dados da Tabela 4 graficamente.

Tabela 4. Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de verde-vermelho.

Valores de Média, Desvio Padrão e Limites de Tolerância (LT), em LOG10, para					
Sensibilidade ao Contraste Espacial Verde-Vermelho					
Faixa etária	Freq. espacial (cpg)	Média	Desvio Padrão	LT Superior	LT Inferior
16 a 30 anos	0,1	2,34	0,11	2,57	2,11
	0,2	2,46	0,11	2,68	2,25
	0,5	2,54	0,13	2,79	2,28
	1,0	2,47	0,13	2,73	2,20
31 a 45 anos	0,1	2,25	0,17	2,60	1,90
	0,2	2,42	0,10	2,62	2,22
	0,5	2,51	0,12	2,75	2,26
	1,0	2,39	0,11	2,62	2,17
46 a 60 anos	0,1	2,22	0,14	2,53	1,91
	0,2	2,39	0,09	2,58	2,20
	0,5	2,46	0,10	2,68	2,25
	1,0	2,37	0,08	2,53	2,20

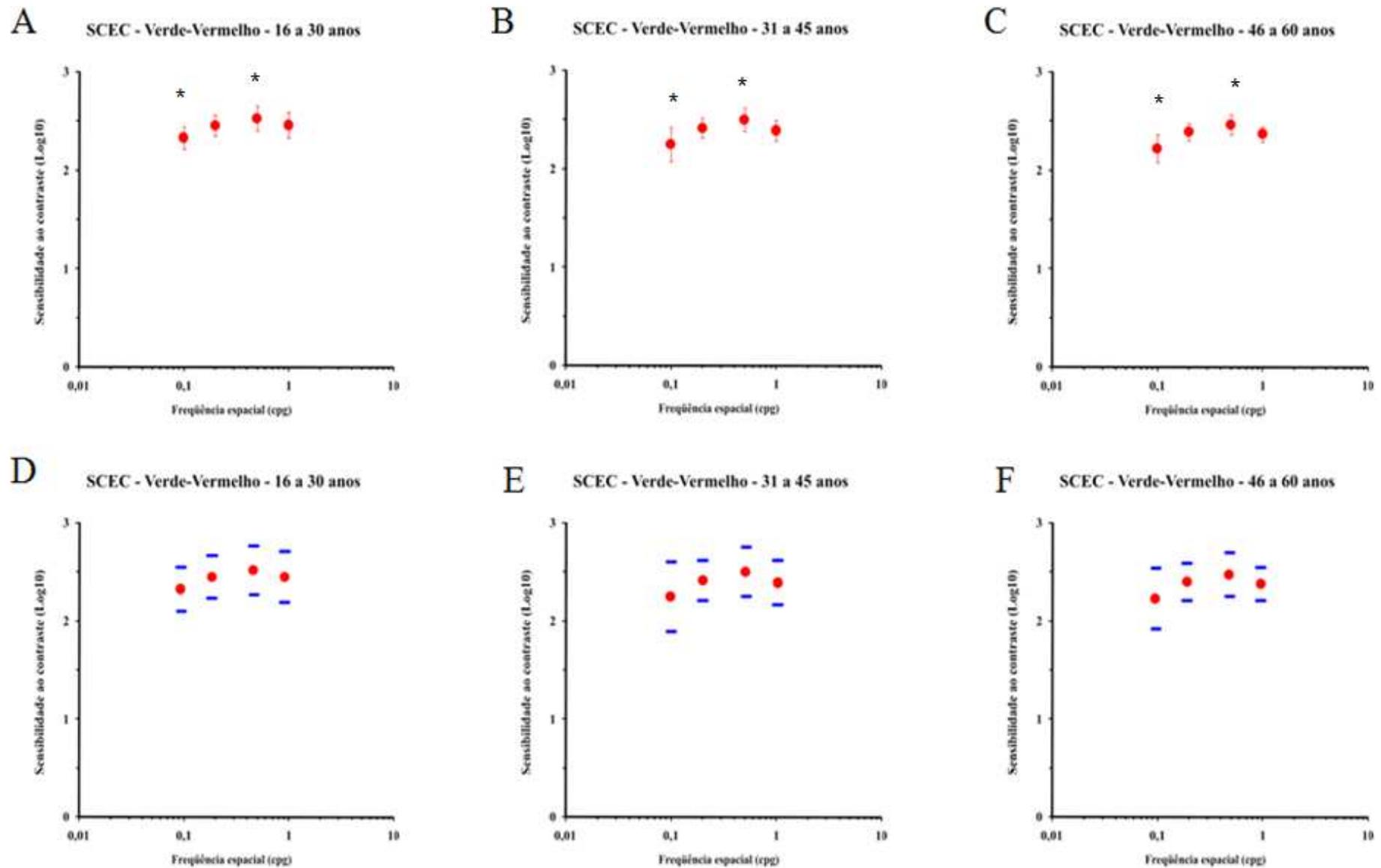


Figura 36. A, B e C mostram o SCEC-Verde-Vermelho (indicando média e desvio padrão) para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, respectivamente. D, E e F mostram os limites de tolerância (barras azuis), para essa mesma condição. A sensibilidade ao contraste está em Log10 (ordenadas) em função da frequência espacial (abscissas).

Os resultados da análise estatística através da ANOVA mostraram que para todas as faixas etárias (analisadas independente uma da outra) a SCEC foi menor em 0,1 cpg e maior em 0,5 cpg – em comparação com as demais frequências espaciais analisadas (0,2, 0,5 e 1,0 cpg). Comparando as faixas etárias entre si foi possível encontrar que: 1) a SCEC para 16 a 30 anos foi maior apenas em 0,1 e 1,0 cpg em comparação à SCEC para 31 a 45 anos; 2) 16 a 30 anos ainda teve maior SCEC que 46 a 60 anos em todas as frequências espaciais; 3) a SCEC não diferiu entre 31 a 45 anos e 46 a 60 anos (ANOVA uma via, $P < 0.05$) (Figura 37).

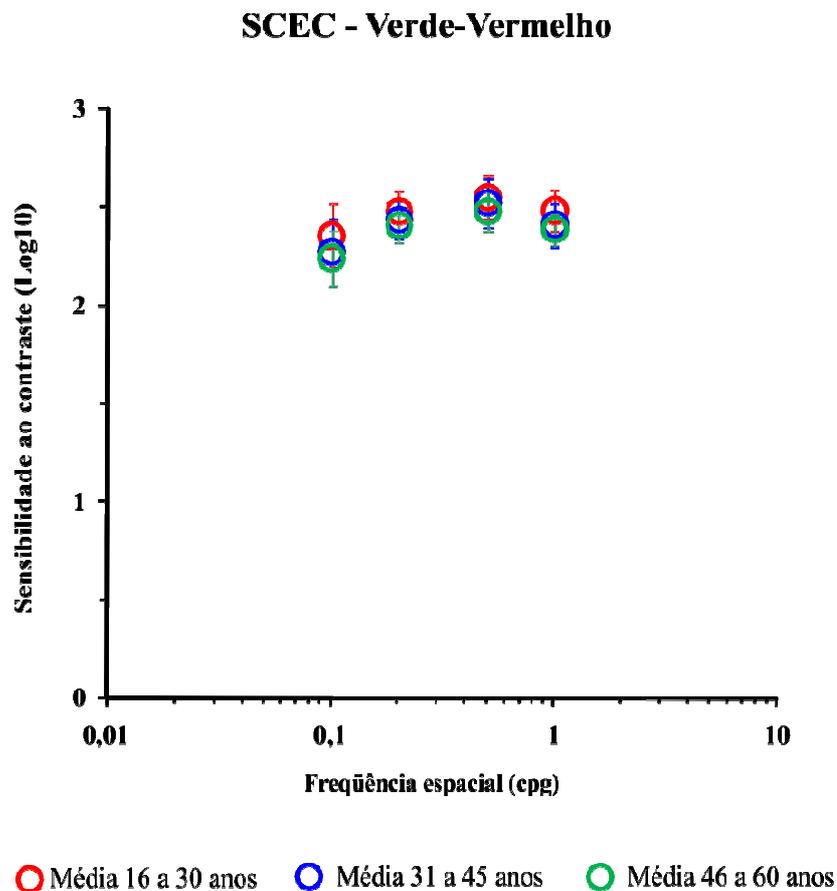


Figura 37. Média de sensibilidade ao contraste espacial de cores entre as faixas etárias avaliadas na condição onde as redes senoidais (em oposição de 180° de fase) corresponderam ao verde-vermelho. Para as três faixas etárias o pico de máxima sensibilidade foi em 0,5 cpg. A faixa etária de 16 a 30 anos ainda teve maior SCEC que a de 46 a 60 anos em todas as frequências espaciais.

4.2.2 SCEC-Azul-Verde

Para esta condição foram avaliados 103 indivíduos distribuídos da seguinte maneira: 43 sujeitos na faixa etária de 16 a 30 anos; 30 sujeitos na faixa etária de 31 a 45 anos; 30 sujeitos na faixa etária de 46 a 60 anos.

A Tabela 5 e a Figura 38 mostram os dados referentes à média, desvio padrão e limites de tolerância (numericamente e graficamente, respectivamente) para cada faixa etária, considerando cada frequência espacial.

Os resultados estatísticos revelaram que nas três faixas etárias estudadas a sensibilidade foi menor em 0,1 cpg. Já nas demais frequências espaciais analisadas (0,2, 0,5 e 1,0) a sensibilidade não diferiu estatisticamente entre as faixas etárias, com exceção de 31 a 45 anos, onde houve diferença de sensibilidade entre 0,2 e 0,5 cpg. Quando comparado as faixas etárias, foi possível observar: 1) a SCEC para 16 a 30 anos foi maior que 31 a 45 anos em todas as frequências espaciais; 2) o mesmo se repetiu quando se comparou 16 a 30 anos com 46 a 60 anos; 3) Não houve diferença entre 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, para esta condição (ANOVA uma via, $P < 0.05$) (Figura 39).

Tabela 5. Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de azul-verde.

Valores de Média, Desvio Padrão e Limites de Tolerância (LT), em LOG10, para					
Sensibilidade ao Contraste Espacial Azul-Verde					
Faixa etária	Freq. espacial (cpg)	Média	Desvio Padrão	LT Superior	LT Inferior
16 a 30 anos	0,1	2,24	0,16	2,57	1,91
	0,2	2,40	0,11	2,62	2,18
	0,5	2,44	0,10	2,65	2,22
	1,0	2,37	0,10	2,58	2,17
31 a 45 anos	0,1	1,93	0,25	2,47	1,39
	0,2	2,17	0,19	2,57	1,77
	0,5	2,32	0,13	2,61	2,03
	1,0	2,21	0,17	2,58	1,83
46 a 60 anos	0,1	1,87	0,31	2,53	1,20
	0,2	2,14	0,20	2,57	1,71
	0,5	2,28	0,13	2,56	1,99
	1,0	2,16	0,16	2,51	1,82

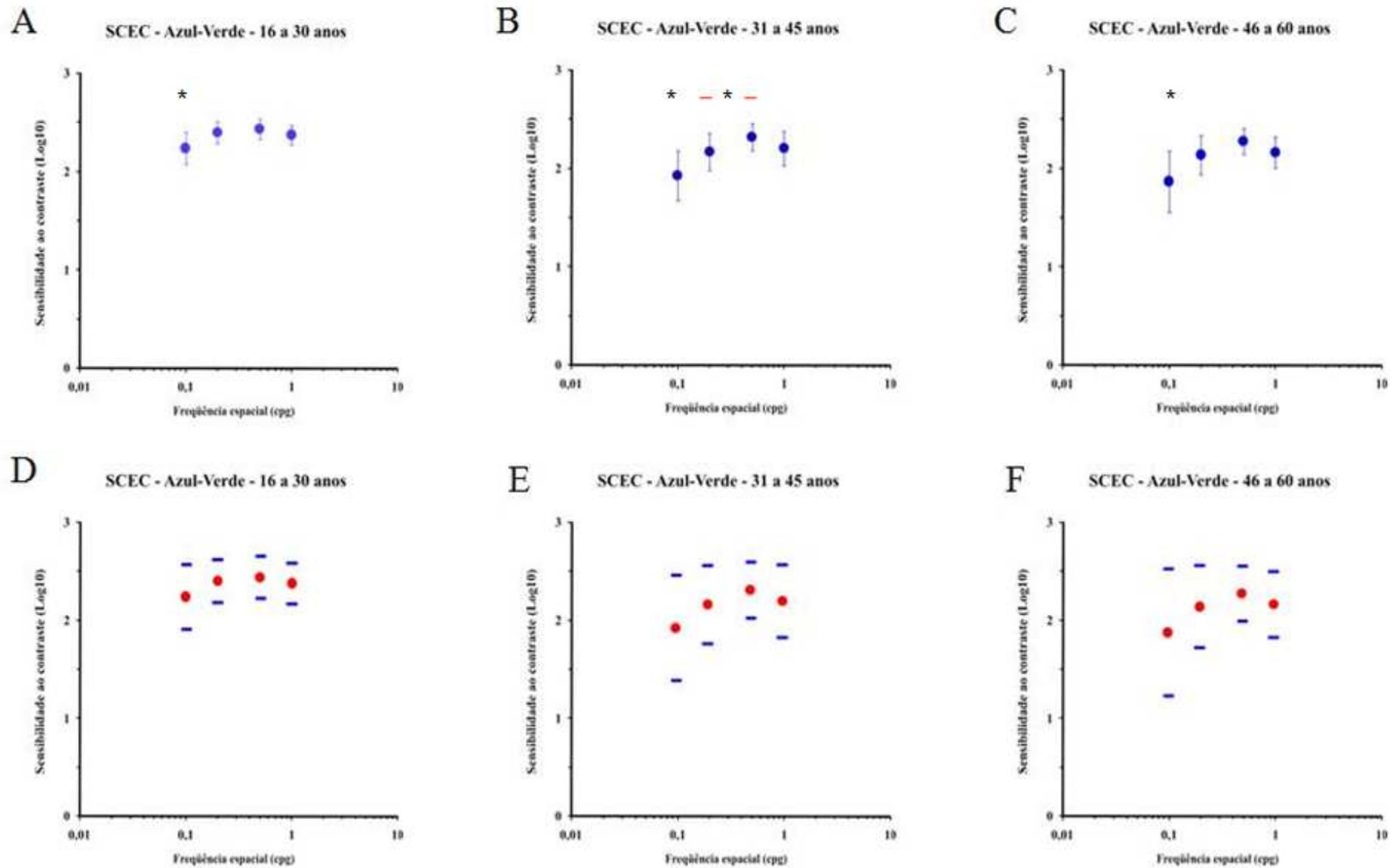


Figura 38. A, B e C mostram o SCEC-Azul-Verde (indicando média e desvio padrão) para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, respectivamente. D, E e F mostram os limites de tolerância (barras azuis), para essa mesma condição. A sensibilidade ao contraste está em Log10 (ordenadas) em função da freqüência espacial (abscissas).

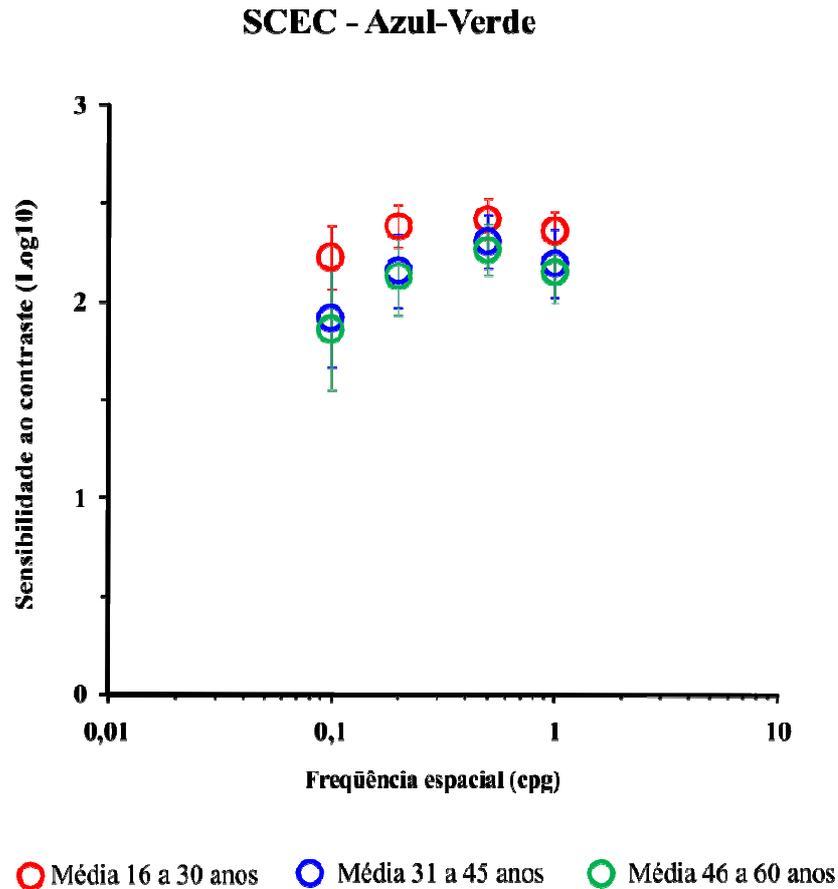


Figura 39. Média de sensibilidade ao contraste espacial de cores entre as faixas etárias avaliadas na condição onde as redes senoidais (em oposição de 180° de fase) corresponderam ao azul-verde. Para as três faixas etárias o pico de máxima sensibilidade foi em 0,5 cpg. A faixa etária de 16 a 30 anos teve maior SCEC que as demais faixas etárias em todas as frequências espaciais.

4.2.3 SCEC-Azul-Vermelho

Nesta condição foram avaliados 90 sujeitos distribuídos de acordo com a faixa etária: 30 sujeitos em 16 a 30 anos, 30 sujeitos em 31 a 45 anos e 30 sujeitos em 46 a 60 anos.

Os dados numéricos referentes a média, desvio padrão e limites de tolerância dessas faixas etárias estão disponíveis na Tabela 6, e a Figura 40 disponibiliza esses dados graficamente.

A análise estatística desses dados revelou que todos os valores das frequências espaciais (0,1, 0,2, 0,5 e 1,0 cpg) são diferentes entre si, quando analisada cada faixa etária separadamente. Em uma comparação entre as faixas etárias foi possível observar que: 1) A SCEC na faixa de 16 a 30 anos foi maior que em 31 a 45 anos, em todas as frequências espaciais; 2) a SCEC para 16 a 30 anos também foi maior que para 46 a 60 anos em todas as frequências espaciais; 3) a SCEC para 31 a 45 anos foi maior que para 46 a 60 anos (Figura

41). Dessa forma é possível ver, nitidamente, que conforme aumenta a idade a SCEC diminui significativamente (ANOVA uma via, $P < 0.05$).

Tabela 6. Valores de média, desvio padrão e limites de tolerância das frequências espaciais estudados na condição de azul-vermelho.

Valores de Média, Desvio Padrão e Limites de Tolerância (LT), em LOG10, para					
Sensibilidade ao Contraste Espacial Azul-Vermelho					
Faixa etária	Freq. espacial (cpg)	Média	Desvio Padrão	LT Superior	LT Inferior
16 a 30 anos	0,1	1,99	0,14	2,28	1,69
	0,2	2,28	0,10	2,49	2,07
	0,5	2,53	0,13	2,80	2,25
	1,0	2,38	0,09	2,56	2,19
31 a 45 anos	0,1	1,84	0,18	2,22	1,46
	0,2	2,18	0,12	2,45	1,91
	0,5	2,42	0,13	2,70	2,15
	1,0	2,29	0,10	2,51	2,08
46 a 60 anos	0,1	1,66	0,11	1,91	1,42
	0,2	2,03	0,12	2,29	1,76
	0,5	2,30	0,06	2,43	2,18
	1,0	2,18	0,09	2,38	1,97

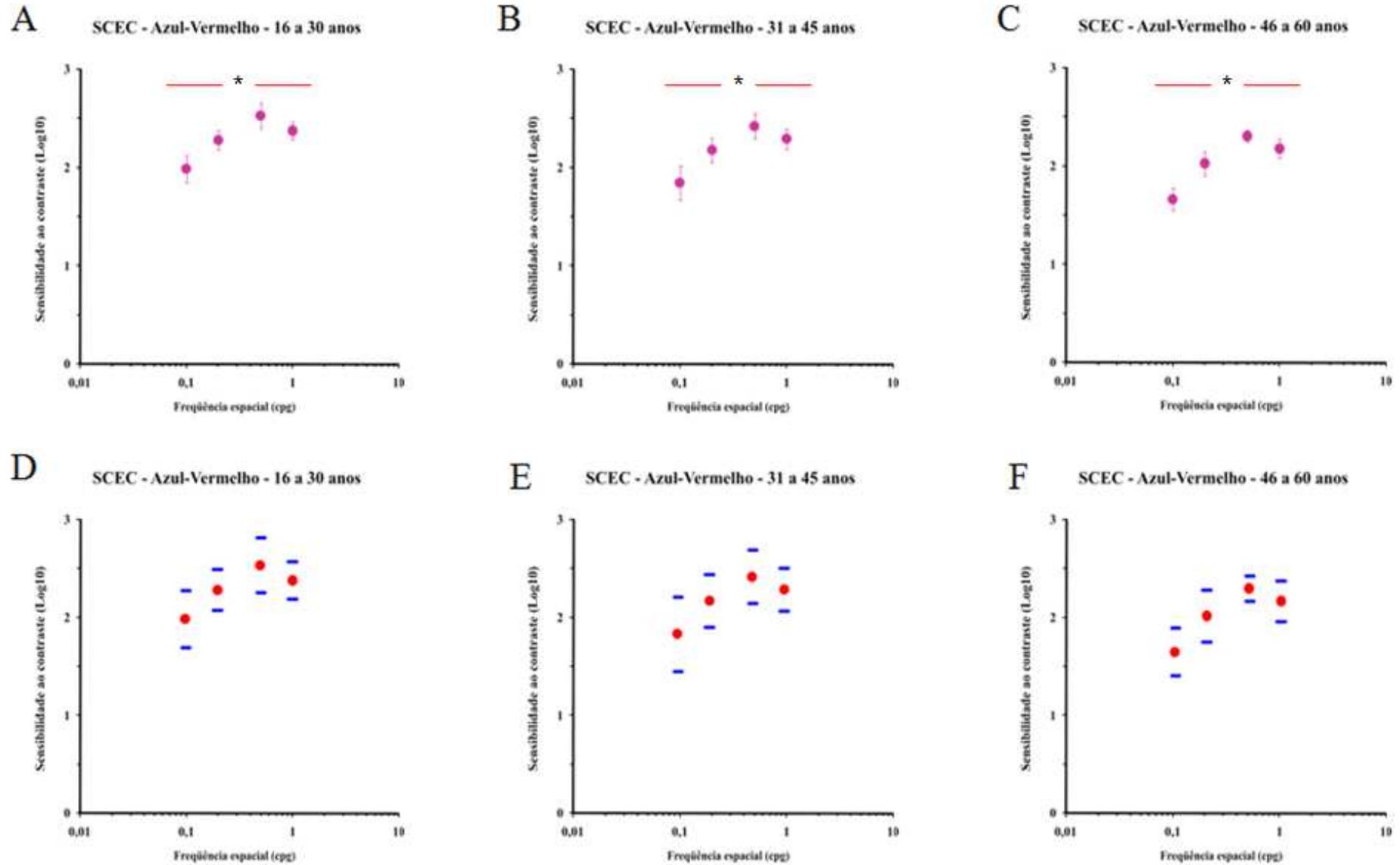


Figura 40. A, B e C mostram o SCEC-Azul-Vermelho (indicando média e desvio padrão) para as faixas etárias de 16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos, respectivamente. D, E e F mostram os limites de tolerância (barras azuis), para essa mesma condição. A sensibilidade ao contraste está em Log10 (ordenadas) em função da freqüência espacial (abscissas).

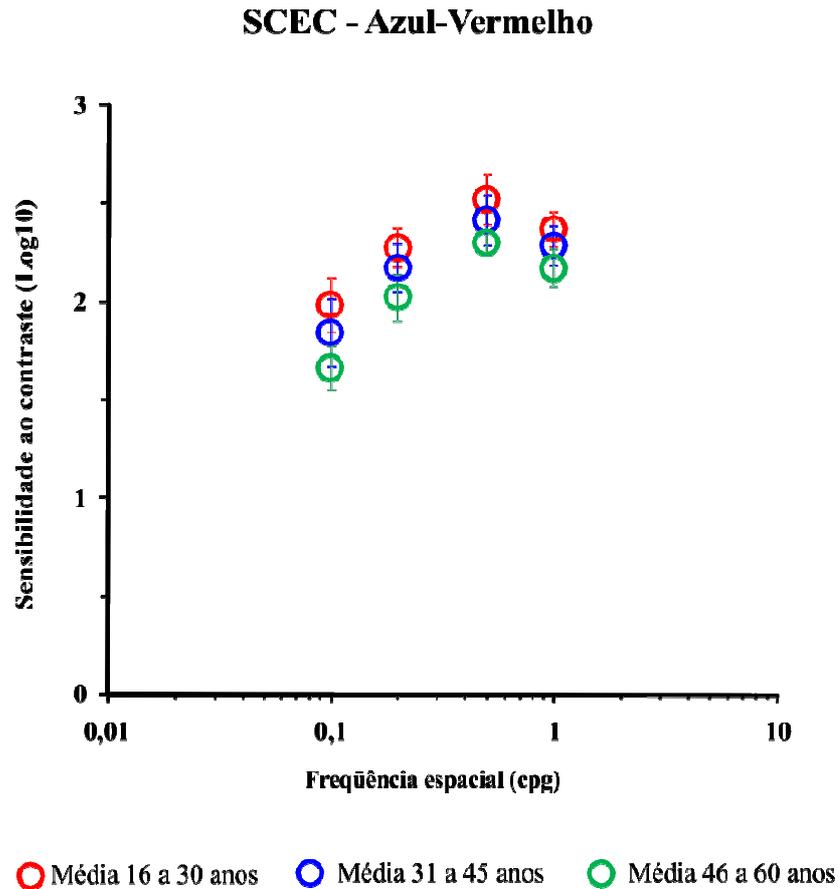


Figura 41. Média de sensibilidade ao contraste espacial de cores entre as faixas etárias avaliadas na condição onde as redes senoidais (em oposição de 180° de fase) corresponderam ao azul-vermelho. Para as três faixas etárias o pico de máxima sensibilidade foi em 0,5 cpg. Aqui dói possível observar que o aumento da idade (faixa etária de 31 a 45anos e 46 a 60 anos) contribui para a diminuição da SCEC em todas as frequências espaciais analisadas.

4.2.4 SCEC-Verde-Vermelho x SCEC-Azul-Verde x SCEC-Azul-Vermelho

Nos sub-testes SCEC-Azul-Verde e SCEC-Azul-Vermelho, a sensibilidade para a faixa etária de 16 a 30 anos é sempre maior com relação às demais, enquanto que na SCEC-Verde-Vermelho isso ocorreu apenas entre 16 a 30 anos e 46 a 60 anos. Ainda foi possível observar que na SCEC existe um pico de sensibilidade em 0,5 cpg (ver Tabelas 4, 5 e 6, e Figuras 37, 39 e 41). Sabe-se que a ocorrência de aberrações cromáticas (longitudinais – uma diferença de foco entre os raios luminosos–, e transversais – raios luminosos não estão focados no eixo óptico) em frequências espaciais baixas (neste caso 0,1 e 0,2) é maior que em frequências espaciais altas, assim a SCEC diminuída em 0,1 e 0,2 cpg deve-se a este fato, porém ainda assim o método de avaliação mostrado neste trabalho mostrou-se altamente eficiente por mostrar que nestas frequências espaciais muito baixas foi possível mostrar diferença de SCEC entre as faixas etárias.

A comparação estatística feita entre os sub-testes considerando uma mesma faixa etária foi possível chegar aos seguintes resultados:

1) nas faixas etárias de 16 a 30 anos, a SCEC-Verde-Vermelho foi maior que a SCEC-Azul-Verde em todas as frequências espaciais e diferiu da SCEC-Azul-Vermelho em 0,1, 0,2 e 1,0 cpg, ao passo que a SCEC-Azul-Verde diferiu da SCEC-Azul-Vermelho nas frequências espaciais de 0,1, 0,2 e 0,5 cpg (Figura 42A) (ANOVA uma via, $P < 0.05$);

2) nas faixas etárias de 31 a 45 anos, a SCEC-Verde-Vermelho foi maior que a SCEC-Azul-Verde e que a SCEC-Azul-Vermelho em todas as frequências espaciais, porém a SCEC-Azul-Verde diferiu da SCEC-Azul-Vermelho apenas em 0,5 e 1,0 cpg (Figura 42B) (ANOVA uma via, $P < 0.05$);

3) nas faixas etárias de 46 a 60 anos, a SCEC-Verde-Vermelho foi maior que a SCEC-Azul-Verde e que a SCEC-Azul-Vermelho em todas as frequências espaciais, já a SCEC-Azul-Verde foi maior que a SCEC-Azul-Vermelho apenas em 0,1 e 0,2 cpg (Figura 42C) (ANOVA uma via, $P < 0.05$).

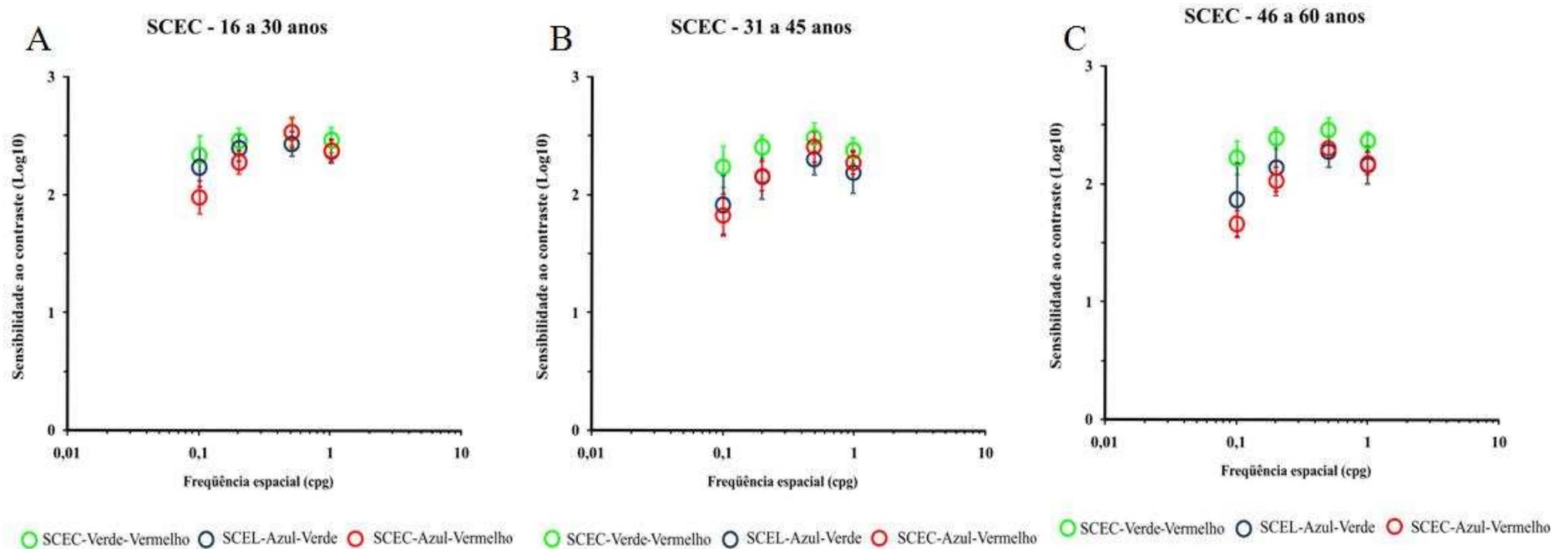


Figura 42. Comparação entre os sub-testes de cores em cada uma das faixas etárias estudadas (**A**, **B** e **C**). A sensibilidade ao contraste na SCEC-Verde-Vermelho costumou ser maior que nos demais sub-testes. A SCEL foi expressa em Log10 (ordenadas) em função da freqüência espacial (abscissas).

5 DISCUSSÃO

O estudo que analisa os padrões espaciais que variam em luminância é mais antigo que os estudos dos padrões espaciais que variam em cores, sendo esta uma das causas que refletem a menor quantidade de trabalhos que tratam da psicofísica relacionada à visão de cores. Entre outros obstáculos encontra-se a dificuldade na utilização de modelos animais que possam fornecer dados sobre os quais seja possível fazer deduções a cerca da tricromacia visual humana, que atualmente são obtidos quase que exclusivamente de dados obtidos em experimentos invasivos nos primatas do velho mundo, que assim como outros primatas do velho mundo (WIESEL, 1966; TOOTELL *et al.*, 1982; TOVÉE, 1996), além do desenvolvimento de monitores que pudessem gerar uma gama de cores para a investigação adequada do sistema visual.

Estudos apontam que a função de sensibilidade ao contraste está relacionada com os aspectos críticos da percepção visual da forma e de detalhes ou resolução espacial, pois a FSC é um bom indicador, tantos dos fatores ópticos como dos fatores neurais da visão (AKUTSU & LEGGE, 1995; ARTAL *et al.*, 1993; BOUR & APKARIAN, 1996; ELLIOTT & SITU, 1998; KIPER *et al.*, 1995; KIPER & KIORPES, 1994; POLAT *et al.*, 1997; ROSS *et al.*, 1984; SUTER *et al.*, 1994; VLEUGELS *et al.*, 1998). A FSC pode caracterizar mecanismos ou canais sintonizados para frequências espaciais dentro do campo da pesquisa psicofísica e eletrofisiológica básica (BLAKEMORE & CAMPBELL, 1969a; BLAKEMORE & CAMPBELL, 1969b; BLAKEMORE *et al.*, 1970; CAMPBELL & MAFFEI, 1970; CAMPBELL & ROBSON, 1968; GRAHAM & NACHMIAS, 1971; KELLY & MAGNUSKI, 1975; SACHS *et al.*, 1971; SANTOS, 1996, 1999; SIMAS & DODWELL, 1990; SIMAS & SANTOS, 1997, 1998). Além disso, essa forma de avaliação também pode avaliar prejuízo na percepção visual de forma provocado por doenças degenerativas, desmielinização das vias visuais ou lesões corticais, como por exemplo, esclerose múltipla (REGAN, SILVER & MURRAY, 1977), estrabismo (KIPER *et al.*, 1995; KIPER & KIORPES, 1994), catarata (ELLIOTT & SITU, 1998) e doenças de Alzheimer e de Parkinson (AKUTSU & LEGGE, 1995; ARTAL *et al.*, 1993; BOUR & APKARIAN, 1996; ELLIOTT & SITU, 1998). Em 1984, Ross *et al.*, relataram que a FSC parece ser o método mais sensível para mensurar o prejuízo de pacientes com glaucoma.

A principal contribuição deste trabalho foi a obtenção da curva de sensibilidade ao contraste de cores (e conseqüentemente a de sensibilidade de luminância), em freqüências muito baixas, através de um método e uma estação de trabalho simples, o que possibilita sua aplicabilidade na clínica oftalmológica. Além disso, com a obtenção dos dados normativos é possível fazer uso dos valores obtidos de desta amostra normal na avaliação de amostras possivelmente alteradas. Para que sejam estabelecidos valores normais a partir dos de uma amostra, cálculos de intervalos de tolerância devem resultar em uma distribuição normal, cujo comportamento e valores podem ser utilizados em posteriores avaliações qualitativas e quantitativas.

5.1 A IGUALIZAÇÃO DO ESTÍMULO ESPACIAL

Nos estudos da visão de cores pode ser citada uma controvérsia relacionada com as propriedades inerentes à ótica do olho, que podem resultar em variações de luminância em estímulos isoluminantes. Uma igualização de luminância entre as duas cores de um estímulo era feito através da utilização da fotometria com *flicker* heterocromático, em uma freqüência temporal e espacial (VAN DER HORST & BOUMAN, 1969; GRANGER & HEURTLEY, 1973), e se assumia que essa igualização era apropriada para todas as outras freqüências espaciais e temporais utilizadas. Porém, as igualizações de brilho vermelho-verde poderiam alterar com a freqüência temporal (IVES, 1922; BÖRNSTEIN & MARKS, 1972), e tais mudanças dependentes de freqüência temporal e, possivelmente, espacial da igualização de brilho poderiam ter produzido artefatos nos estudos isoluminantes anteriores. Nós resolvemos esse problema a partir do momento em que se submetia o sujeito a um estímulo de luminância (redes senoidais amarelo-preto para a condição de SCEC-Verde-Vermelho, ciano-preto para a condição SCEC-Azul-Verde e violeta-preto para a condição SCEC-Azul-Vermelho), para cada freqüência espacial em questão (0,1, 0,2, 0,5 e 1,0 cpg), e a resposta – nas diferentes proporções cromáticas – que fosse mais diferente do valor em luminância era tida como sendo a resposta cromática (MULLEN, 1985; MULLEN & LOSADA, 1994).

5.2 AS ABERRAÇÕES CROMÁTICAS

O risco da ocorrência de aberrações cromáticas torna a escolha do estímulo um ato minucioso, de modo a não produzir, por exemplo, estimativas psicofísicas duvidosas. No trabalho realizado por Kathy Mullen (1985) os problemas das aberrações

cromáticas foram solucionados com a utilização de um banco de lentes óticas (telescópio Zeiss) que era posicionado em frente ao olho do indivíduo a ser testado e com isso era possível alterar o tamanho do campo do estímulo. No presente trabalho foi utilizado um sistema computadorizado, de simples emprego na clínica oftalmológica (principalmente quando comparado com a utilização de um telescópio), onde ainda persistem algumas aberrações cromáticas, mas nada que venha comprometer a qualidade dessa forma de avaliação visual empregada, como foi possível ver nos resultados obtidos, onde foi possível diferenciar a SCEC ou a SCEL entre as faixas etárias em frequências espaciais bem baixas. A diferenciação entre essas faixas etárias foi a principal contribuição deste trabalho, assim o uso desse sistema computacional se faz uma ferramenta que pode ser inserida mais facilmente na clínica oftalmológica.

5.3 A ADOÇÃO DO CONTRASTE AZUL-VERDE E AZUL-VERMELHO

Devido o monitor CRT não ser capaz de gerar um amarelo puro que possa ser utilizado para avaliação do sistema de cores oponentes azul-amarelo, a utilização da rede senoidal azul-verde se deve ao fato da adoção de cromaticidades coincidentes com a dos fósforos do monitor CRT. Dessa forma, utilizando esse tipo de tecnologia foi possível criar um número de contrastes suficiente para a realização do teste de avaliação da sensibilidade ao contraste, sendo diferente do proposto por Mullen (1985), a qual utilizou um sistema ótico para a projeção de redes azul-amarelo. Porém, a rede azul-verde utilizada nos testes apresenta uma porção significativa de amarelo no verde em questão, possibilitando uma avaliação do sistema azul-amarelo. Assim, obtiveram-se valores de sensibilidade equivalentes aos encontrados em estudos prévios (MULLEN, 1985).

A adoção do contraste azul-vermelho foi considerada como relevante para este trabalho, 1) por não se conhecer pelo do sistema oferecer essa possibilidade (através dos canhões vermelho e azul presentes no monitor CRT utilizado), 2) por não se conhecer o comportamento da SCEC nessa condição, e principalmente 3) por possivelmente fornecer um resumo sobre o funcionamento geral da visão de cores humana. Nossos dados comprovam isso apenas na faixa etária de 31 a 45 anos, nas frequências espaciais de 0,5 e 1,0 cpg, quando os dados da SCEC-Azul-Vermelho ficou entre os dados da SCEC-Azul-Verde e SCEC-Verde-Vermelho. Mas ainda assim esta avaliação do contraste azul-vermelho foi importante, pois conseguiu mostrar diferenças de sensibilidade ao contraste entre diferentes faixas etárias. Assim, em situações onde

apenas este tipo de contraste possa ser empregado, ele se mostra sim, como uma boa forma de avaliação da SCEC.

5.4 A SCEL E A SCEC: PSICOFÍSICA X FISIOLOGIA DO SISTEMA VISUAL

5.4.1 A SCEL

Os dados de luminância obtidos neste trabalho encontram-se concordantes com trabalhos anteriores que mostram uma sensibilidade ao contraste menor em frequências espaciais baixas e seu aumento progressivo em frequências espaciais mais altas (MULLEN, 1985; DE VALOIS, 1988; CAMPBELL & ROBSON, 1968). O estímulo monocromático contribui fortemente para a detecção de detalhes grosseiros na imagem (como a forma), logo a diminuição em frequências espaciais baixas se deve ao fato do número de faixas que estavam presentes no campo receptor das células ganglionar, como este número era pequeno, a célula não foi maximamente ativada e o resultado disso é a baixa sensibilidade ao contraste de luminância nessas frequências espaciais baixas. As diferenças encontradas na sensibilidade ao contraste de luminância entre as faixas etárias devem-se a uma série de mudanças que ocorrem com o envelhecimento (DEREFELDT *et al.*, 1979; AKUTSU *et al.*, 1991; LORD *et al.*, 1994; ANSTEY *et al.*, 1997), supondo a ausência de patologias neurológicas, as principais causas para esta diminuição de sensibilidade é a são os envelhecimentos dos meios ópticos do olho, como córnea e cristalino, além da perda de elasticidade dos músculos ciliares. Este trabalho foi o primeiro a mostrar a SCEL no em várias épocas da vida adulta (principalmente que adultos jovens são mais sensíveis em relação aos demais), e conseguiu mostrar que essas diferenças de SCEL são significativas e que devem ser consideradas.

Outro ponto pioneiro deste trabalho com relação à medida da SCEL foi a sua avaliação nos diferentes sub-testes (SCEL-Amarelo-Preto x SCEL-Ciano-Preto x SCEL-Violeta-Preto). A princípio pensamos encontrar uma SCEL com diferenças não significativas, mas nossa análise estatística mostrou que para algumas frequências espaciais há diferença de sensibilidade ao contraste dependendo do sub-teste utilizado. Essa diferença poderá ser explicada através da análise que considera cada componente exigido dos cones L, M e S (contraste de cones), que será o próximo passo deste trabalho.

5.4.2 A SCEC

A nossa investigação acerca da SCEC em frequências espaciais baixas (abaixo de 1,0 cpg) mostrou-se concordante com os principais trabalhos descritos na literatura (MULLEN, 1985; ROVAMO *et al.*, 1999; MULLEN & KINGDOM, 2002; GRANGER & HEURTLEY, 1973; KELLY, 1983; HUMANSKI & WILSON, 1992; McKEEFRY *et al.*, 2001; VENTURA, 2005), mostrando uma característica um pico de sensibilidade em 0,5 cpg e uma diminuição a partir de 1,0 cpg, embora tenham sido analisadas poucas frequências espaciais. Mas ressalta-se que este trabalho vem propor a aplicabilidade desse modo de avaliação na clínica oftalmológica a um custo bem mais baixo, quando comparado com a aquisição de um banco óptico. O banco óptico permite uma análise da SCEC em diversas frequências espaciais, mas as frequências espaciais estudadas neste trabalho são o suficiente para mostrar o comportamento da SCEC no sistema visual.

A maioria dos estudos anteriores ao de K. Mullen (1985) não investigaram satisfatoriamente a sensibilidade cromática para frequências espaciais baixas. Esse trabalho avaliou a SCEC em frequências espaciais baixas, e a sensibilidade diminuída na frequência de 0,1 cpg foi resultante da quantidade de ciclos espaciais gerados no monitor, que foi inferior dois. Trabalhos como o de Tyler (1974), Rogers & Graham (1982), De Valois (1988) e Bradshaw & Rogers (1999), mostram que a sensibilidade ao contraste diminui quando se trabalha com frequências espaciais abaixo de 0,1 cpg ou acima de 1 cpg. De Valois (1988) propõem que isso também pode ocorrer por conta de uma relação com o campo receptor das células ganglionares e do núcleo geniculado lateral: na frequência espacial de 0,1 cpg é gerado um estímulo que não atinge se quer 2 ciclos na tela do monitor, e quando esse estímulo chega no campo receptor das células, uma faixa inteira pode ocupar o centro e a periferia do campo receptor, e nesse caso a célula não é ativada maximamente.

Em uma comparação entre os sub-testes de cores avaliados encontramos uma sensibilidade diminuída, para a condição azul-verde e azul-vermelho. Isso pode ser explicados segundo de De Monasterio *et al.* (1981), Curcio *et al.* (1991) e Hofer *et al.* (2005), que falam da existência de um número de cones S (mais sensíveis para a cor azul) bem inferior, quando comparado aos cones M ou aos cones L. Além disso, Hart (1987) e Gobba & Cavalleri (1993) disseram em seus trabalhos que os cones S estão mais sujeitos às ações nocivas do ambiente. Além disso, as propriedades ópticas da luz, a refração sofrida pelos comprimentos de onda curtos (quando entram no olho) é maior, logo, a imagem chega mais distorcida na retina. Nós acreditamos que ambos os fatores

relatados nessas explicações possam agir juntos e assim causar essa SCEC diminuída para a condição azul-verde e para a condição azul-vermelho.

5.4.3 SCEL e SCEC x Envelhecimento

No presente trabalho foram medidos valores de sensibilidade ao contraste espacial de luminância e cores em sujeitos, adultos jovens, adultos e maturidade, divididas em três faixas etárias (16 a 30 anos, 31 a 45 anos e 46 a 60 anos), de ambos os sexos. Como uma diferença significativa de sensibilidade ao contraste espacial 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 (SKOCZENSKI & NORCIA, 1998; BENEDEK *et al.*, 2003); ROSS, 1992; LORD *et al.*, 1994; ANSTEY *et al.*, 1997; HARDY *et al.*, 2005; DELAHUNT *et al.*, 2005), 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.

Em nossos resultados ficou claro que existe uma diferença de sensibilidade ao contraste espacial entre as faixas etárias, independente do sub-teste empregado. Assim é possível afirmar que a sensibilidade ao contraste espacial, tanto de luminância (ROSS, 1992; LORD *et al.*, 1994; ANSTEY *et al.*, 1997) quanto de cores (HARDY *et al.*, 2005; DELAHUNT *et al.*, 2005; WERNER *et al.*, 2004; BEIRNE *et al.*, 2008; PARDHAN, 2004; NGUYED-TRI *et al.*, 2003), diminui conforme o avanço da idade, estando este trabalho em acordo com outros dados encontrados na literatura. Como os sujeitos avaliados neste trabalho eram sadios e tiveram as possibilidades de doenças oftalmológicas ou neuro-oftalmológicas afastadas (através de anamnese – aplicada em todos os pacientes – e avaliação oftalmológica completa – em pacientes da faixa etária de 46 a 60 anos) a justificativa para essa diferença de sensibilidade entre as faixas etária está relacionada com o envelhecimento (natural) dos meios dióptricos do olho. Mas existem outras causas potenciais para essas diferenças, que se estendem desde a catarata, glaucoma e perdas na visão central com a degeneração macular relacionada à idade (NUSBAUM, 1999).

5.5 O USO DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DA VISÃO ESPACIAL DE COR

O sistema de avaliação da SCEC desenvolvido neste trabalho já se encontra apto para ser utilizado na clínica oftalmológica. Mostraremos abaixo alguns exemplos dessa aplicação em dois sujeitos com discromatopsia hereditária ou tricromacia anômala do tipo deutan (engloba problemas relativos aos cones M) e dois sujeitos protan (engloba problemas relativos aos cones L) e em um sujeito intoxicado por solventes orgânicos (menor sensibilidade de cores relacionada aos cones S), todos estão inclusos na faixa-etária de 31 a 45 anos (Figura 44 e Figura 45). Os sujeitos deutan serão identificados pelos códigos EBN090506E 42 e AMC081219D 40 e possuem respectivamente 42 e 40 anos, ao passo que os sujeitos protan serão identificados pelos códigos (ACM080716E 42 e EMR080407 33) e possuem respectivamente 42 e 33 anos. O sujeito intoxicado por solvente possui 38 anos. A SCEC foi expressa em Log10 (ordenadas) em função da frequência espacial (abscissas) e na Figura 44A é possível ver a baixa SCEC dos sujeitos deutan e protan de forma clara e concisa, assim como na Figura 45B, onde o indivíduo intoxicado por solvente mostra uma baixa SCEC para a condição que avalia oposição de cores azul-amarela, afirmando este como um método quantitativo eficaz para avaliação da SCEC.

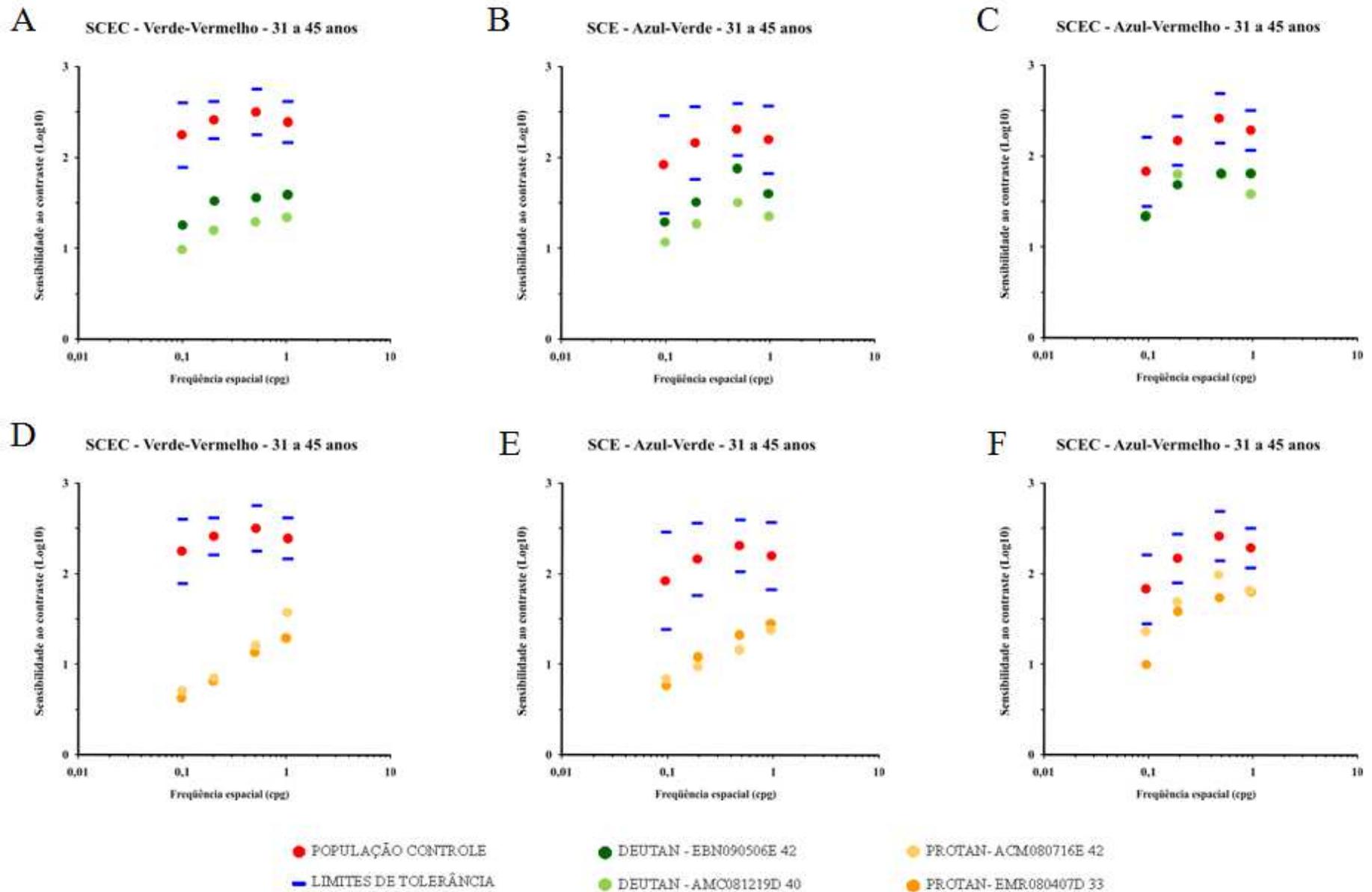


Figura 44. Aplicação do método desenvolvido em sujeitos Deutan e Protan. A, B e C mostram a SCEC-Verde-Vermelho (A), SCEC-Azul-Verde (B) e SCEC-Azul-Vermelho(C) para sujeitos deutan (EBN090506E 42 e AMC081219D 40) em comparação com a população controle (bolas vermelhas) e os limites de tolerância (barras azuis). D, E e F mostra as mesmas condições só que desta vez para sujeitos protan (ACM080716E 42 e EMR080407D 33). Todos os sujeitos estão na faixa etária de 31 a 45 anos.

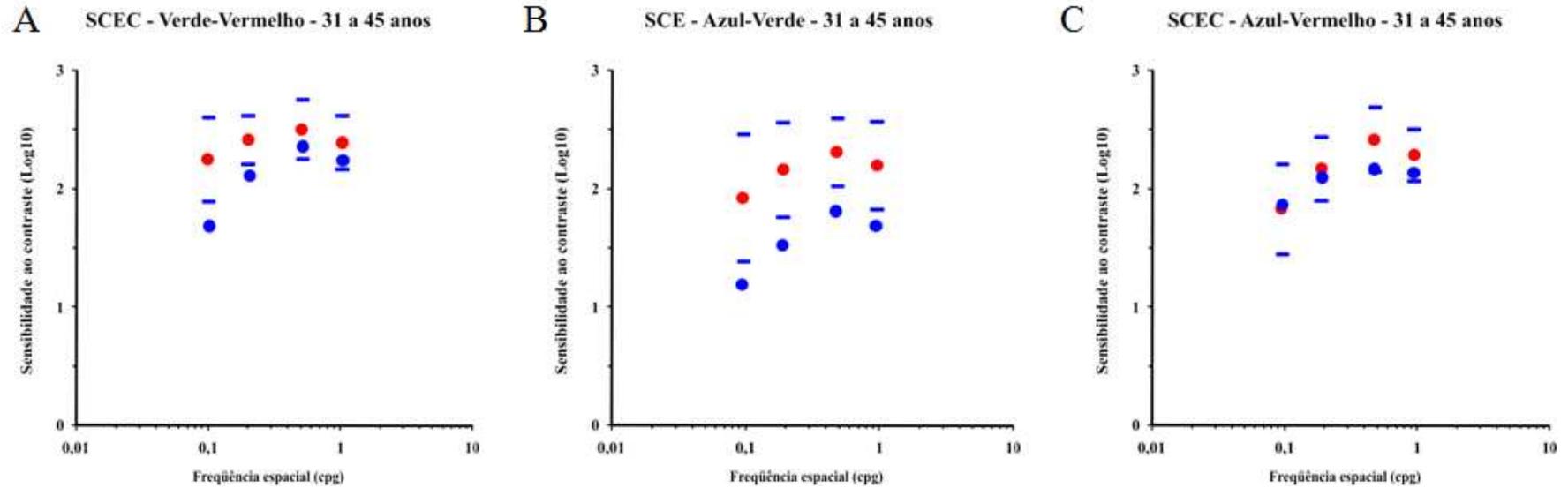


Figura 45. Aplicação do método desenvolvido em um sujeito intoxicado por solvente orgânico. A, B e C mostram a SCEC-Verde-Vermelho (A), SCEC-Azul-Verde (B) e SCEC-Azul-Vermelho(C) para o sujeito intoxicado por solvente orgânico (bolas azuis) em comparação com a população controle (bolas vermelhas) e os limites de tolerância (barras azuis). Todos os sujeitos estão na faixa etária de 31 a 45 anos.

6 CONCLUSÃO

Assim como ocorre no sistema visual, o processamento paralelo parece ser uma regra geral dos sistemas sensoriais e motor nas espécies animais. A visão espacial de primatas combina a informação fornecida pela vias magnocelular, parvocelular e koniocelular para resolver as necessidades da percepção, planejamento e controle motor, incluindo informações refinadas de localização de alvo, tempo de ocorrência de eventos e discriminação de frequências espaciais em diferentes graus para cada tarefa (SILVEIRA, 2004). Cada via subcortical converge para o córtex visual à informação visual com diferentes graus de precisão em cada dimensão. No córtex visual primário a informação é conjugada e enviada para diferentes vias corticais quando é necessário construir representações visuais para percepção e ação (MILNER & GOODALE, 2008; SILVEIRA, 2004; SILVEIRA *et al.*, 2008).

Nossos resultados seguem a mesma linha de evidências de trabalhos anteriores (MULLEN, 1985; ROVAMO *et al.*, 1999; MULLEN & KINGDOM, 2002; GRANGER & HEURTLEY, 1973; KELLY, 1983; HUMANSKI & WILSON, 1992; McKEEFRY *et al.*, 2001; HARDY *et al.*, 2005; DELAHUNT *et al.*, 2005). Uma considerável quantidade de informação foi acumulada nos últimos cinquenta anos sobre morfologia e fisiologia de neurônios localizados ao longo das vias magnocelular e parvocelular (SILVEIRA *et al.*, 2005). Isto inclui alguns aspectos chaves da fisiologia das células magnocelulares e parvocelulares. As células magnocelulares são muito sensíveis para baixos contrastes acromáticos, enquanto as células parvocelulares somente respondem para altos contrastes acromáticos, mas são muito sensíveis para o contraste isoluminante de cores verde-vermelho, assim como as células koniocelulares parecem ser sensíveis à contrastes isoluminantes azul-amarelo (KAPLAN & SHAPLEY, 1982, 1986; LEE *et al.*, 1989a).

Com este trabalho conseguimos realizar nossos objetivos e assim avaliar a sensibilidade ao contraste cromático espacial no sistema visual humano ao longo da idade adulta, em redes senoidais verde-vermelho, azul-verde e azul-vermelho através do uso de um sistema computadorizado. Os resultados psicofísicos relatados aqui são relevantes para a neurofisiologia da visão de cores de primatas. Os protocolos de avaliação da visão de cores mostrados neste trabalho se afirmam como um ótimo método para avaliação do funcionamento das vias parvocelulares e koniocelulares. Além disso, com a conclusão deste estudo, associado ao emprego de um sistema

computacional que se encontra ao alcance com facilidade, a clínica oftalmológica contará com uma importante ferramenta para a verificação das alterações visuais decorrente de diversas neuropatologias que acometem o sistema visual no decorrer da vida. Dentre essas patologias podem ser inclusas as que são emergentes na Amazônia, fornecendo assim meios adicionais que venham a complementar os diagnósticos elaborados com base nos exames de rotina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMOV, I.; HAINLINE, L.; TURKEL, J.; LEMERISE, E.; SMITH, H.; GORDON J.; PETRY, S. Rocket-ship psychophysics: assessing visual functioning in young children. **Investigative Ophthalmology and Visual Science**, v. 25, p. 1307-1315, 1984.

AKUTSU, H.; LEGGE, G.E. Discrimination of compound gratings: Spatial-frequency channels or local features. **Vision Research**, v. 35, p. 2685-2695, 1995.

AKUTSU, H.; LEGGE, G.E.; ROSS, J.A.; SCHUEBEL, K.J. Psychophysics of reading-X. Effects of age-related changes in vision. **Journal of Gerontology**, v. 46, p. 325-331, 1991.

ANSTEY, K.J.; LORD, S.R.; WILLIAMS, P. Strength in the lower limbs, visual contrast sensitivity, and simple reaction time predict cognition in older women. **Psychology of Aging**, v. 12, p. 137-144, 1997.

ARANGO, H.G. **Bioestatística Teórica e Computacional**. 2ª edição, Guanabara Koogan, 2005.

ARTAL, P., FERRO, M., MIRANDA, I.; NAVARRO, R. Effects of aging in retinal image quality. **Journal of the Optical Society of America A**, v. 10, p. 1656-1662, 1993.

ASHDOWN, I. Photometry and radiometry: a tour guide for computer graphics enthusiasts, 2002. Disponível em: www.helios32.com/Measuring%20Light.pdf. Acesso em 25 de janeiro de 2010.

BAEZ, K.A.; McNAUGHT, A.I.; DOWLER, J.G.F. Motion detection threshold and field progression in normal tension glaucoma. **British Journal Ophthalmology**, v. 79, p. 125-128, 1995.

BEIRNE, R.O.; ZLATKOVA, M.B.; CHANG, C.; CHAKRAVARTHY, U.; ANDERSON, R.S. How does the short-wavelength-sensitive contrast sensitivity function for detection and resolution change with age in the periphery? **Vision Research**, v. 48, p. 1894-1901, 2008.

BENEDEK, G.; BENEDEK, K.; KERI, S.; LETOHA, T.; JANAKY, M. Human scotopic spatiotemporal sensitivity: a comparison of psychophysical and electrophysiological data. **Documenta Ophthalmologica**, v. 106, p. 201-207, 2003.

BI, J.; ENNIS, D.M. Sensory thresholds: concepts and methods. **Journal of Sensory Studies**, v. 13, p. 133-148, 1998.

BLAKEMORE, C.; NACHMIAS, J.; SUTTON, P. The perceived spatial frequency selective neurones in the human brain. **Journal of Physiology**, v. 210, p. 727-750, 1970.

BLAKEMORE, C.; CAMPBELL, F.C. Adaptation to spatial stimuli. **Journal of Physiology**, v. 200, p. 11-12, 1969a.

BLAKEMORE, C.; CAMPBELL, F.C. On the existence of neurons in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. **Journal of Physiology**, v. 203, p. 237-260, 1969b.

BLAKEMORE, C.; CAMPBELL, F.W. On the existence of neurones in the human visual system selectively sensitive to the orientation and size of retinal images. **Journal of Physiology (London)**, v. 213, p. 237-260, 1969.

BÖRNSTEIN, M.H.; MARKS, L.E. 1972 Photopic luminosity measured by the method of critical frequency. **Vision Research**, v. 12, p. 2023-2033, 1972.

BOUR, L.J.; APKARIAN, P. Selective broad-band spatial frequency loss in contrast sensitivity functions. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, 37, p. 2475-2484, 1996.

- BOYTON, R.M. **Human Color Vision**. New York: Rinehart & Winston, 1979.
- BRADSHAW, M.F.; ROGERS, B.J. Sensitivity to horizontal and vertical corrugations defined by binocular disparity. **Vision Research**, v. 39, p. 3049-3056, 1999.
- BRAINARD, D.H.; PELLI, D.G.; ROBSON, T. Display characterization. In: Hornay, J. (ed.) **The Encyclopedia of Imaging Science and Technology**, p. 172-188. Wiley, 2002.
- BRINDLEY, G.S. The effects on colour vision of adaptation to very bright lights. **Journal of Physiology**, v. 50, p. 122-132, 1953.
- CAMPBELL, F.W.; MAFFEI, L. Contrast and spatial frequency. **Scientific America**, v. 231, p. 106-114, 1974.
- CAMPBELL, F.W.; MAFFEI, L. Electrophysiological evidence for the existence of orientation and size detectors in the human visual system. **Journal of Physiology**, v. 207, p.635-652, 1970.
- CAMPBELL, F.W.; ROBSON, J.G. Application of fourier analysis to the visibility of gratings. **Journal of Physiology**, v. 187, p. 551-566, 1968.
- CAMPBELL, F.W.; GREEN, D.G. Optical and retinal factors affecting visual resolution. **Journal of Physiology (London)**, v. 181, p. 576-593, 1965.
- CAMPBELL, F.W.; WESTHEIMER, G. Dynamics of accommodation responses of the human eye. **Journal of Physiology**, v. 151, p. 285-295, 1960.
- CHURCHLAND, P.M. Chimerical colors: some phenomenological predictions from cognitive neuroscience. **Philosophical Psychology**, v. 18, p. 527-560, 2005.
- COREN, S. Sensation and Perception. In: FREEDHEIN, D.K.; WEINER, I.B. (eds.) **Handbook of Psychology: History of Psychology**. New Jersey: John Wiley & Sons, cap. 5, p. 85-108, 2003.

CÔRTEZ, M.I.T. **Avaliação psicofísica do sistema visual em habitantes de duas comunidades ribeirinhas da amazônia expostas ao mercúrio: comparação com normas estatísticas.** Dissertação de Doutorado em Ciências. Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Área de Concentração Neurociências). Belém, Pará, Brasil: Universidade Federal do Pará, Centro de Ciências Biológicas, 2008, 168pp.

CURCIO, C.A.; SLOAN, K.R.; PACKER, O.; HENDRICKSON, A.E.; KALINA, R.E. Distribution of cones in human and monkey retina: individual variability and radial asymmetry. **Science**, v. 236, p. 579-582, 1987.

DE MONASTERIO, F.M.; GOURAS, P. Functional properties of ganglion cells of the rhesus monkey retina. **Journal of Physiology**, v. 251, p. 167-95, 1975.

DE MONASTERIO, F.M.; SCHEIN, S.J.; McCRANE, E.P. Staining of blue-sensitive cones of the macaque retina by a fluorescent dye. **Science**, v. 213, p. 1278–1281, 1981.

DE VALOIS, R.L.; MORGAN, H.; SNODDERLY, D.M. Psychophysical studies of monkey vision. III - Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers. **Vision Research**, v. 14, p. 75-81, 1974.

DE VALOIS, R.L.; DE VALOIS, K.K. **Spatial Vision.** Oxford University Press, New York, 1988.

DELAHUNT, P.B.; HARDY, J.L.; OKAJIMA, K.; WERNER, J.S. Senescence of spatial chromatic contrast sensitivity. II. Matching under natural viewing conditions. **Journal of the Optical Society of America A**, v. 22, p. 60-67, 2005.

DEREFELDT, G.; LENNERSTRAND, G.; LUNDH, B. Age variations in normal human contrast sensitivity. **Acta Ophthalmologica (Copenh)**, v. 57, p. 679-690, 1979.

DIXON, W.J.; MASSEY, F.J.Jr. **Introduction to Statistical Analysis**, 3rd Ed. McGraw-Hill Co., New York, 1969.

DOWLING, J.E. **The Retina: An Approachable Part of the Brain**. Cambridge, MA: Harvard, University Press, 1987.

EHRENSTEIN, W.H.; EHRENSTEIN, A. **Psychophysical methods**. In: **Modern Techniques in Neuroscience Research**. WINDHORST, U.; JOHANSSON, H. (eds.) Berlin/New York, 1999.

ELLIOTT, D.B.; SITU, P. Visual acuity versus letter contrast sensitivity in early cataract. **Vision Research**, v. 38, p. 2047-2052, 1998.

ENROTH-CUGELL, C.; ROBSON, J.M. The contrast sensitivity of retinal ganglion cells of the cat. **Journal of Physiology**, v. 187, p. 512-552, 1966.

FARELL, B.; PELLI, D.G. Psychophysics methods, or how to measure a threshold, and why. In: CARPENTER, R. H. S., ROBSON, J. G. (eds.) **Vision Research: A Practical Guide to Laboratory Methods**. Oxford: Oxford University Press, p. 129-136, 1999.

FECHNER, G.T. **Elements of psychophysics**. New York: Holt, Rinehart and Winston. 1960 (Original work published 1860).

FEITOSA-SANTANA, C. **Reconstrução do espaço de cores em pacientes com discromatopsia adquirida: diabéticos tipo 2 e intoxicados por vapor de mercúrio**. Dissertação de mestrado. São Paulo. Universidade de São Paulo, 2005, 161p.

FEYNMAN, R.P.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M. **The Feynman Lectures on Physics Mainly Mechanics, Radiations and Heat**. Addison-Wesley Pub. Co., Reading, 1967.

FISCHER, E. Colour order systems in art and science, 1960. Disponível em <http://www.colorsystm.com>. Acessado em 25 de janeiro de 2010.

GIBSON, J.J. **The Ecological Approach to Visual Perception**. Boston: Houghton Mifflin, 1979.

GLASCHI, D.F.; TROPE, G.E.; KOTHE, A.C. Loss of sensitivity to motion-defined from in patients with primary open-angle glaucoma and ocular hypertension. **Journal Ophthalmologica Society America A**, v. 13, p. 707-716, 1996.

GOBBA, F.; CAVALLERI, A. Kinetics of urinary and effects on colour vision after exposure to styrene. **International Agency for Research on Cancer**, 79-88, 1993.

GOURAS, P. Identification of cone mechanisms in monkey ganglion cells. **Journal Physiology**, v. 199, p. 533-547, 1968.

GRAHAM, N.; NACHMIAS, J. Detection of grating patterns containing two spatial frequencies: a comparison of single-channel and multiple channel models. **Vision Research**, v. 11, p. 251-259, 1971.

GRANGER, E.M. **Specification of color image quality**. Doctoral dissertation, University of Rochester, Rochester, New York, 1973.

GRANGER, E.M., HEURTLEY, J.C. Visual chromaticity-modulation transfer function. **Journal of the Optical Society of America**, v. 63, p. 1173-1174, 1973.

HARDY, J.L.; DELAHUNT, P.B.; OKAJIMA, K.; WERNER, J.S. Senescence of spatial chromatic contrast sensitivity. I. Detection under conditions controlling for optical factors. **Journal of the Optical Society of America A**, v. 22, p. 49-59, 2005.

HART JR, W.M. The temporal responsiveness of vision. In: **Adler's physiology of the eye. Clinical application**. MOSES & HART (eds.) St Louis, The C. V. Mosby Company, 1987.

HAUG, B. A.; KOLLE, R. U.; TRENKWALDER, C. Predominant affection of the blue cone pathway in Parkinson's disease. **Brain**, v. 118, p. 771-778, 1995.

HEMENGER, R.P. Intraocular light scatter in normal vision loss with age. **Applied Optics**, v. 23, p. 1972-1974, 1984.

HOFER, H.; CARROLL, J.; NEITZ, J.; NEITZ, M.; WILLIAMS, D.R. Organization of the human trichromatic cone mosaic. **Journal Neuroscience**, v. 25, p. 9669–9679, 2005.

HOWE, W.G. Two-sided Tolerance Limits for Normal Populations – Some Improvements. **Journal of the American Statistical Association**, v. 64, p. 610-620, 1969.

HUMANSKI, R.A.; WILSON, H.R. Spatial frequency mechanisms with short-wavelength-sensitive cone inputs. **Vision Research**, v. 32, p. 549–560, 1992.

HURVICH, L.M. **Color vision**. Sunderland, MA: Sinauer, 1981.

ISHIHARA, S. **The Series of Plates Designed as a Test for Colour-Deficiency. Ishihara's Tests for Colour Deficiency**. Tokyo: Kanehara, 1997.

IVES, H.E. Critical frequency relations in scotopic vision. **Journal of the Optical Society of America**, v. 6, p. 254-268, 1922.

KAISER, P.K.; BOYNTON, R.M. **Human Color Vision**. Washington, DC: Optical Society of America, 1996.

KANDEL, E.; SCHWARTZ, J.; JESSELL, T. **Princípios da Neurociência**, 4^o ed. Barueri: Manole, 2001.

KAPLAN, E.; SHAPLEY, R.M. The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v. 83, p. 2755-2757, 1986.

KELLY, D.H. Luminous and chromatic flickering patterns have opposite effects. **Science**, v. 188, p. 371-372, 1975.

KELLY, D.H. Spatiotemporal variation of chromatic and achromatic contrast thresholds. **Journal of the Optical Society of America**, v. 73, p. 742-750, 1983.

KIPER, D.C.; GEGENFURTNER, K.R.; KIORPES, L. Spatial frequency channels in experimentally strabismic monkeys revealed by oblique masking. **Vision Research**, v. 35, p. 2737-2742, 1995.

KIPER, D.C.; KIORPES, L. Suprathreshold contrast sensitivity in experimentally strabismic monkeys. **Vision Research**, v. 34, p. 1575-1583, 1994.

KNIGHT, R.; BUCK, S.L. Time dependent changes of rod influence on hue perception, **Vision Research**, v. 42, 115-122, 2002.

KNOBLAUCH, K.; VITAL-DURAND, F.; BARBUR, J.L. Variation of chromatic sensitivity across the life span. **Vision Research**, v. 41, p.23–36, 2001.

KULIKOWSKI, J.J. Some stimulus parameters affecting spatial and temporal resolution of human vision. **Vision Research**, v. 11, p. 83-93, 1971.

LEE, B.B. The evolution of concepts of color vision. *Neurociências*, v. 4, p. 209-223, 2008.

LEE, B.B. Paths to colour in retina. **Clinical and Experimental Optometry**, v. 87, p. 239-248, 2004.

LEE, B.B.; MARTIN, P.R.; VALBERG A. Amplitude and phase of responses of macaque retinal ganglion cells to flickering stimuli. **Journal Physiology**, v. 414, p. 245-263, 1989b.

LEE, B.B.; MARTIN, P.R.; VALBERG, A. Sensitivity of macaque retinal ganglion cells to chromatic and luminance flicker. **Journal Physiology**, v. 414, p. 223-243, 1989a.

LEE, B.B.; MARTIN, P.R.; VALBERG, A. The physiological basis of heterochromatic flicker photometry demonstrated in the ganglion cells of the macaque retina. **Journal Physiology**, v. 404, p. 323-347, 1988.

LEVINE, M.E. **Fundamentals of Sensation and Perception**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

LILIEN, O.M. **Jacob Christoph Le Blon**. Stuttgart: Anton Hiersemann, 1985.

LORD, S.R.; WARD, J.A.; WILLIAMS, P.; ANSTEY, K.J. Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. **Journal of American Geriatric Society**, v. 42, p. 1110-1117, 1994.

MAYER, D.L.; BEISER, A.S.; WARNER, A.F.; PRATT, E.M.; RAYE, K.N.; LANG J.M. Monocular acuity norms for the teller acuity cards between ages one month and four years. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 36, p. 671-685, 1995.

McKEEFRY, D.J.; MURRAY, I.J.; KULIKOWSKI, J.J. Red-green and blue-yellow mechanisms are matched in sensitivity for temporal and spatial modulation. **Vision Research**, v. 41, p. 245-255, 2001.

MILNER, A.D.; GOODALE, M.A. Two visual systems re-viewed. **Neuropsychologia**, v. 46, p. 774-785, 2008.

MOLLON, J. The origins of modern color science. In: SHEVELL, S. (ed.), **The Science of Color**. Oxford: Optical Society of America, 2003.

MOLLON, J.D.; DULAI, K.S.; HUNT, D.M. **Dalton's colour blindness: an essay in molecular biography**. **John Dalton's Colour Vision Legacy**. London: Taylor and Francis, pp.15–33, 1997.

MULLEN, K.T. The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue yellow chromatic gratings. **Journal Physiology**, v. 359, p. 381-400, 1985.

MULLEN, K.T.; KINGDOM, F.A.A. Differential distributions of red-green and blue-yellow cone opponency across the visual field. **Visual Neuroscience**, v. 19, p. 109-118, 2002.

MULLEN, K.T.; LOSADA, M.A. Evidence for separate pathways for color and luminance detection mechanisms. **Journal of the Optical Society of America A**, v. 11, p. 3136-3151, 1994.

NGUYED-TRI, D.; OVERBURY, O.; FAUBERT, J. The role of lenticular senescence in age-related color vision changes. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 44, p. 3689-3704, 2003.

NUSBAUM, N. Aging and sensory senescence. **Southern Medical Journal**, v. 92, p. 267-275, 1999.

OWSLEY, C.; SEKULER, R.; SIEMSEN, D. Contrast sensitivity throughout adulthood. **Vision Research**, v. 23, p. 689-699, 1983.

PARAMEI, G. **Singing the russian blues: an argument for culturally basic color terms**. In: 7th Biennial Conference Cross-Cultural Research, Workshop "Anthropology of colour: Colour as a phenomenon of culture", v. 39, p. 10-34, 2004.

PARDHAN, S. Contrast sensitivity loss with aging: sampling efficiency and equivalent noise at different spatial frequencies. **Optical Society of America**, v. 21, p. 169-175, 2004.

POLAT, U.; SAGI, D.; NORCIA, A.M. Abnormal long-range spatial interactions in amblyopia. **Vision Research**, v. 37, p. 737-744, 1997.

REGAN, B.C.; REFFIN, J.P.; MOLLON, J.D. Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses on colour deficiency. **Vision Research**, v. 34, p. 1279-1299, 1994.

REGAN, D.; SILVER, R.; MURRAY, T.J. Visual acuity and contrast sensitivity in multiple sclerosis-hidden visual class. **Brain**, v. 100, p. 563-579, 1977.

ROBSON, C. **Real World Research**. Oxford: Blackwells, 1993.

ROBSON, J.G. Spatial and temporal contrast sensitivity functions of the visual system. **Journal of the Optical Society of America**, v. 56, p. 1141-1142, 1966.

RODRIGUES, A.R. **Desenvolvimento de Aplicativos de Avaliação Psicofísica Visual em Estações de Trabalho IBM RISC 6000**. Dissertação de Mestre em Ciências. Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Área de Concentração Neurociências). Belém, Pará, Brasil: Universidade Federal do Pará, Centro de Ciências Biológicas, 2003, 111 pp.

ROGERS, B.; GRAHAM, M. Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision Research*, v. 22, p. 261-70, 1982.

ROSS, H.E. Orientation anisotropy: some caveats in interpreting group differences and developmental changes. **Ophthalmic and Physiologic Optics**, v. 12, p. 215-219, 1992.

ROSS, J.E.; BRON, A.J.; CLARKE, D.D. Contrast sensitivity and visual disability in chronic simple glaucoma. **British Journal of Ophthalmology**, v. 68, p. 821-827, 1984.

ROVAMO, J.M.; KANKAANPÄÄ, M.I.; KUKKONEN, H. Modelling spatial contrast sensitivity functions for chromatic and luminance-modulated gratings. **Vision Research**, v. 39, p. 2387-2389, 1999.

RUSHTON, W.A.H. Pigments and signals in colour vision. **Journal of Physiology**, v. 220, p. 131, 1972.

SACHS, M.B.; NACHMIAS, J.; ROBSON, J.G. Spatial frequency channels in human vision. **Journal of the Optical Society of America**, v. 61, p. 1176-1186, 1971.

SALOMÃO, S.R.; VENTURA, D.F. Large sample population age norms for visual acuities obtained with Vistech – Teller acuity cards. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 36, p. 657-70, 1995.

SANTOS, N. A. **Sistema visual humano: Curvas de sensibilidade e filtragem de frequências angulares, radiais e radial/angulares acopladas**. Tese de Doutorado não-

publicada, Curso de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 1999.

SANTOS, N.A. **Sistema visual humano: Filtragem de frequências radiais moduladas por perfis de Bessel j₀, j₁, j₂, j₄, j₈ e j₁₆**. Dissertação de Mestrado não-publicada, Curso de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 1996.

SANTOS, N.A.; SIMAS, M.L.B. Função de sensibilidade ao contraste: indicador da percepção visual da forma e da resolução espacial. **Psicologia: Reflexão e Crítica**, v. 14, p. 589-597, 2001.

SCHADE, O. Optical and photoelectric analog of the eye. **Journal of the Optical Society of America**, v. 46, p. 721-739, 1956.

SCHANDA, J. Current CIE work to achieve physiologically-correct color metrics. In: BACKHAUS, W.G.K.; KLIEGL, R.; WERNER, J.S. (eds.), **Color Vision: Perspectives from different disciplines**. Berlin; New York: de Gruyter, p. 307-3180, 1998.

SCHWARTZ, S.H. **Visual perception: a clinical orientation**. McGraw-Hill Companies, 2004.

SHEVELL, S. **The science of color**. Oxford: Optical Society of America, 2003.

SILVEIRA, L.C.L.; GRÜNERT, U.; KREMERS, J.; LEE, B.B.; MARTIN, P.R. Comparative anatomy and physiology of the primate retina. In: KREMERS, J. (ed.) **Structure, Function, and Evolution of the Primate Visual System**. Chichester, England: John Wiley & Sons, p. 127-160, 2005.

SILVEIRA, L.C.L.; SAITO, C.A.; de MELLO JR., H.D.; SILVEIRA, V.A.; SOUZA, G.S.; RODRIGUES, A.R.; da SILVA-FILHO, M. Division of labour between the M and P visual pathways: different visual pathways minimize joint entropy differently. **Psychology & Neuroscience**, v. 1, p. 3-14, 2008.

SILVEIRA, L.C.L.; SAITO, C.A.; LEE, B.B.; KREMERS, J.; DA SILVA FILHO, M.; KILAVIK, B.E.; YAMADA, E.S.; PERRY, V. H. Morphology and physiology of primate M and P cells. In: MILNER, A.D.; BLAKEMORE, C.; HEYWOOD, C. A. (eds.) **The Root of Visual Awareness**. Progress in Brain Research. Amsterdam. The Netherlands: Elsevier Science BV, v. 144, p. 21-46, 2004.

SIMAS, M.L.B.; DODWELL, P.C. Angular frequency filtering: A basis for pattern decomposition. **Spatial Vision**, v. 5, p. 59-74, 1990.

SIMAS, M.L.B.; SANTOS, N.A. Human frequency response functions of harmonic 2, 4, 8, and 16 cycle angular frequency filters. **Proceedings of the Internacional Symposium on Computer Graphics, Image Processing and Vision**, IEEE Computer Science, p. 312-319, 1998.

SIMAS, M.L.B.; SANTOS, N.A. Human visual contrast detection of radial frequency stimuli defined by Bessel profiles j_0 , j_1 , j_2 , j_4 , j_8 and j_{16} and its relation to angular frequency. **Proceedings of the II Workshop on Cybernetic Vision**, IEEE Computer Science, p. 219-224, 1997.

SIMONS, K. Stereoacuity Norms in Young Children. **Archives of Ophthalmology**, v. 99, p. 439-445, 1981.

SIMONS, K. Visual Acuity Norms in Young Children. **Survey of Ophthalmology**, v. 27, p. 84-92, 1983.

SKOCZENSKI, A.M.; NORCIA, A.M. Neural noise limitations on infant visual sensitivity. **Nature**, v. 391, p. 697-700, 1998.

STILLING, J. **Pseudo-isochromatische Tafeln für die Prüfung des Farbennsinnes**. Kassel: Theodor Fischer, 1883. Original em alemão. Citado por Regan (1994).

SUTER, P.S.; SUTER, S.; ROESSLER, J.S.; PARKER, K.L.; ARMSTRONG, C.A.; POWERS, J.C. Spatial-frequency-tuned channels in early infancy: VEP evidence. **Vision Research**, v. 34, p. 737-745, 1994.

TOOTELL, R.B.; SILVERMAN, M.S.; SWITKES, E.; DE VALOIS, R.L. Deoxyglucose analysis of retinotopic organization in primate striate cortex. **Science**, v. 218, p. 902-904, 1982.

TOVÉE, M. J. **An introduction to the visual system**. London, Cambridge: Cambridge University Press, 1996, 202p.

TREUTWEIN, B. Adaptive Psychophysical Procedures. **Vision Research**, v. 17, p. 2503-2522, 1995.

TYLER, C. W. Depth perception in disparity gratings. **Nature**, v. 251, p. 140 – 142. 1974.

VAN DER HORST, G.J.C.; BOUMAN, M.A. Spatiotemporal chromaticity discrimination. **Journal of the Optical Society of America**, v. 59, p. 1482-1488, 1969.

VAN DER HORST, G.J.C.; DE WEERT, C.M.M.; BOUMAN, M.A. Transfer of spatial chromaticity-contrast at threshold in the human eye. **Journal of the Optical Society of America**, v. 57, p. 1260-1266, 1967.

VENTURA, D.F.; SIMÕES, A.L.A.C.; DO CANTO PEREIRA, L.H.M.; TOMAZ, S.; LAGO, M.; COSTA, M.T.V.; COSTA, M.F.; DE SOUZA, J.M.; FARIA, M.A.M.; SILVEIRA, L.C.L. Colour vision and contrast sensitivity losses of mercury contaminated industry workers in Brazil. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 19, p. 523-529, 2005.

VLEUGELS, L.; VAN NUNEN, A.; LAFOSSE, C.; KETELAER, P.; VANDENBUSSCHE, E. Temporal and spatial resolution in foveal vision of multiple sclerosis patients. **Vision Research**, v. 38, p. 2987-2997, 1998.

VON HELMHOLTZ, H. **Handbuch der physiologischen Optik**. L. Voss, Hamburg, 1866. English translation in MACADAM, D. L. **Sources of Color Science**, MIT Press, Cambridge MA, 1970.

VON HELMHOLTZ, H. On the interaction of natural forces Königsberg, February 7, 1954, **Philosophical Magazine**, v. 11, p. 489, 1856.

WERNER, J.S. Aging through the eyes of Monet. In: Backhaus, W.G.K.; KLIEGL, R.; WERNER, J.S (eds.). **Color Vision: Perspectives from different disciplines**. Berlin; New York: de Gruyter, 1998.

WERNER, J.S.; DELAHUNT, P.B.; HARDY, J.L. Chromatic-spatial vision of the aging eye. **Optical Review**, v. 11, p. 226-234, 2004.

WESTHEIMER, G. Modulation thresholds for sinusoidal light distributions on the retina. **Journal of Physiology**, v. 151, p. 285, 1960.

WIESEL, T.N.; HUBEL, D.H. Spatial and chromatic interactions in the lateral geniculate body of the rhesus monkey, **Journal of Neurophysiology**, v. 29, p. 1115–1156, 1966.

WOJCIECHOWSKI, R.; TRICK, G.E.; STEINMAN, S.B. Topography of the age-related decline in motion sensitivity. **Optometric Vision Science**, v. 72, p. 67-74, 1995.

WRIGHT, C.E.; WILLIAMS, D.E.; DRASDO, N.; HARDING, G.F. The influence of age on the electroretinogram and visual evoked potential. **Documenta Ophthalmologica**, v. 59, p. 365-384, 1985.

WRIGHT, W.D. The sensitivity of the eye to small colour differences. **Proceedures of Physical Society (London)**, v. 53, 1941.

WYSZECKI, G.; STILES, W.S. **Color Science: Concepts and methods, quantitative data and formulae**. John Wiley & Sons, New York, 1982.

YOUNG, T. The Bakerian Lecture: on the theory of lights and colours. **Philosophical Transactions of the Royal Society (London), Series B.**, v. 92, p. 12-48, 1802.

ZALEWSKI, E. F. Radiometry and Photometry. Chapter 24. In: **Handbook of Optics**, v. II, McGraw-Hill, 1995.

APÊNDICE 1

TERMO DE LIVRE CONSENTIMENTO
Universidade Federal do Pará
Centro de Ciências Biológicas
Núcleo de Medicina Tropical
Laboratório de Neurofisiologia Eduardo Oswaldo Cruz

Termo de Consentimento

Título do Projeto: Avaliação Psicofísica da Sensibilidade ao Contraste Espacial Cromático em Humanos.

Responsável: Professor Doutor Luiz Carlos de Lima Silveira.

A visão é uma função muito importante na vida de cada pessoa, por isso os problemas na visão podem atrapalhar várias atividades do dia-a-dia, além disso, podem atingir outras atividades relacionadas à memória, atenção e comando dos movimentos.

Estes problemas podem ser causados por fatores genéticos (aqueles com os quais a pessoa já nasce); por doenças como diabetes, pressão alta; por causa de alguns remédios; ou ainda, por causa de contaminação por mercúrio, zinco, agrotóxicos, solventes, etc.

Para verificar como está a visão de cada pessoa, existem exames que avaliam como cada um vê o mundo, e ainda, como o cérebro dessa pessoa funciona quando ela está vendo as coisas no seu dia. Estes exames **não** são invasivos (ou seja, **não** têm **nada** relacionado a cortes, injeções, colheita de sangue; **nada** desse tipo!).

O objetivo deste trabalho é pesquisar a cerca de como o sistema visual humano funciona em condições normais diante da sensibilidade ao contraste entre cores. Os testes serão de **avaliação psicofísica** e métodos comuns na **rotina das consultas de visão**.

Será realizada uma avaliação de voluntários que não possuam qualquer doença relacionada à visão.

Todos estes exames serão explicados detalhadamente antes de sua realização e conforme a pessoa a ser testada apresente dúvidas durante ou após os testes.

Os exames serão realizados colocando a pessoa sentada em frente de um computador que mostra listras coloridas. A resposta do paciente é registrada com a pessoa respondendo se vê ou não.

O possível desconforto do projeto para a pessoa que será testada está em ela ter que comparecer em média duas vezes no local do teste para realizar os exames

psicofísicos necessários e ainda fazer a consulta com o oftalmologista (médico que cuida da visão), isto pode ser difícil por exigir transporte e ausência no trabalho.

Para diminuir estes problemas garantimos atestado médico para justificar as possíveis faltas.

Os benefícios para a pessoa que participará voluntariamente da pesquisa é que ela terá uma avaliação visual completa e será acompanhada por um médico.

Para a ciência, o benefício será o de ter conhecimento do comportamento da visão humana diante do contraste entre cores.

Deixamos claro que as pessoas testadas serão voluntárias (ou seja, não receberão dinheiro, que não seja para transporte, e nem serão obrigadas a participar da pesquisa) e poderão desistir em qualquer parte do processo de avaliação visual.

Esclarecemos que todos os dados dos pacientes serão usados em uma pesquisa que servirá para a melhoria de métodos de diagnóstico de doenças que acometem o ser humano.

Garantimos a privacidade e o anonimato das pessoas testadas no uso dos dados na pesquisa científica.

Diante do que foi esclarecido à pessoa a ser testada, esta declara que concorda participar dos testes, e assina o termo de consentimento.

Belém, de _____ de 2009.

APÊNDICE 2

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL
LABORATÓRIO NEUROLOGIA TROPICAL
Av. Generalíssimo Deodoro, 92 – Belém/PA

Anamnese

1 Dados de Identificação

Código:

Procedência –

Nome:

Sexo: F() M()

Idade:

Fone:

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

Estado Civil : Solteiro () Casado () Viúvo () Divorciado ()

Residência atual:

Residência anterior:

Escolaridade:

Profissão atual:

Profissão anterior:

2-Histórico

Dificuldade em discriminar cores: sim () não () (S.I.C)

Famíliares com problemas em discriminar cores: sim () não ()

Doenças oculares:

Doenças neurológicas:

3-Doenças da fase adulta e infantil
--

4 – Observações

APÊNDICE 3

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL
LABORATÓRIO NEUROLOGIA TROPICAL
Av. Generalíssimo Deodoro, 92 – Belém/PA

Teste das Lâminas Pseudoisocromáticas de Ishihara

Tabela 1 – Planilha para acompanhamento do teste de Ishihara							
Placa	Normal	Discriminação				Resposta do Sujeito	
		Deficiente		Ausente	D	E	
1	12	12		12			
2	8	3		X			
3	6	5		X			
4	29	70		X			
5	57	35		X			
6	5	2		X			
7	3	5		X			
8	15	17		X			
9	74	21		X			
10	2	X		X			
11	6	X		X			
12	97	X		X			
13	45	X		X			
14	5	X		X			
15	7	X		X			
16	16	X		X			
17	73	X		X			
18	X	5		X			
19	X	2		X			
20	X	45		X			
21	X	73		X			
		Protan		Deutan			
		grave	leve	Grave	leve		
22	26	6	(2) 6	2	(2) 6	X	
23	42	2	(4) 2	4	(4) 2	X	
24	35	5	(3) 5	3	(3) 5	X	
25	96	6	(9) 6	9	(9) 6	X	

Conclusão:

ANEXO 1



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

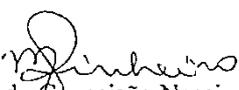
1. Protocolo: N.: 038/2004 -CEP/NMT
2. Projeto de Pesquisa: NÚCLEO DE EXCELÊNCIA EM NEUROPATOLOGIAS EMERGENTES
– DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA PARA
MONITORAMENTO NEUROFISIOLÓGICO DA SAÚDE DE
POPULAÇÃO AMAZÔNICAS.
3. Pesquisador Responsável: LUIZ CARLOS DE LIMA SILVEIRA
- 4-Instituição / Unidade: NMT/UFPA.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

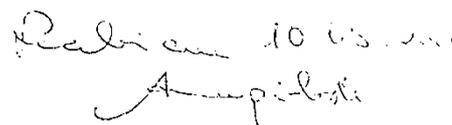
PARECER

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


Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira

ANEXO 2



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°076/2006-CEP/NMT
2. **Projeto de Pesquisa:** CONSOLIDAÇÃO DE GRUPO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E DOENÇAS TROPICAIS.
3. **Pesquisador Responsável:** LUIZ CARLOS DE LIMA SILVEIRA.
4. **Instituição / Unidade:** NMT/UFPA.
5. **Data de Entrada:** 03/11/2006.
6. **Data do Parecer:** 28/11/2006.

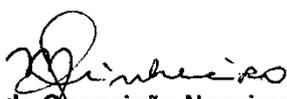
PARECER

O Comitê de Ética em Pesquisa do NMT/UFPA apreciou o protocolo em tela durante a reunião realizada no dia 28/11/2006. Considerando que, embora tenham sido atendidas as exigências da Resolução 196/96-CNS/MS, é importante acatar às seguintes recomendações :

- a) O cronograma de execução necessita de atualização em relação a data de início da coleta de dados.
- b) considerar no projeto, aspectos de interesse institucionais referentes a propriedade intelectual e patentes.

Parecer: **APROVADO COM RECOMENDAÇÃO.**

Belém, 28 de novembro de 2006.


Profª Dra. Maria da Conceição Nascimento Pinheiro.
Coordenadora do CEP-NMT/UFPA.


Ana Carolina Pinheiro Nascimento
SECRETARIA EXECUTIVA DE NUTRIÇÃO
PORT. N. 144/2006 NUTRIÇÃO

PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA GERADA POR ESTE TRABALHO***TRABALHOS PUBLICADOS EM ANAIS DE EVENTOS (RESUMO)***

1. LIMA, M.G.; LACERDA, E.M.C.B.; GOMES, B.D.; SOUZA, G.S.; CORTES, M.I.T.; RODRIGUES, A.R.; SILVEIRA, L.C.L. Avaliação da Sensibilidade ao Contraste Espacial de Cores em Humanos. Em: Resumos do I Congresso IBRO/LARC de Neurociências da América Latina, Caribe e Península Ibérica (Neurolatam), 2008, Búzios.

2. LIMA, M.G.; LACERDA, E.M.C.B.; GOMES, B.D.; CORTES, M.I.T.; RODRIGUES, A.R.; SILVEIRA, L.C.L. The Chromatic Contrast Sensitivity Function: A Comparison Spanning Different Age-Control Groups. In: 19th Symposium of the International Colour Vision Society (ICVS). Abstracts Books. EDUFPA, p. 203-204, 2007, Belém.

3. LIMA, M.G.; SILVEIRA, L.C.L., Determinação de Dados Normativos Etários em Testes de Avaliação da Sensibilidade ao Contraste Espacial Cromático. Em: Livro de Resumos do XVIII Seminário de Iniciação Científica da UFPA. EDUFPA, p.188, 2007, Belém.

Submetido:

1. LIMA, M.G.; LACERDA, E.M.C.B.; SOUZA, G.S.; GOMES, B.D.; RODRIGUES, A. R.; SILVEIRA, L.C.L. The Spatial Color Contrast Sensitivity In Normal Trichromats and Colourblind Patients. In: Association for Research in Vision and Ophthalmology Meeting - ARVO 2010, Fort Lauderdale, 2010.

VALORES DE SENSIBILIDADE AO CONTRASTE ESPACIAL DE LUMINÂNCIA E DE CORES DOS SUJEITOS AVALIADOS:

LUMINÂNCIA:

1. SCEL-Amarelo-Preto

-16 a 30 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AAB011215	1.36385	2.23268	2.35196	2.35196
ABB021112	1.07353	2.17021	2.51526	2.59052
AGR011220	1.12963	2.05093	2.26391	2.35196
AJM010606	1.12018	2.13898	2.24547	2.62176
ALM021110	1.01036	2.06372	2.24547	2.26391
AMR011205	1.40788	2.17021	2.23268	2.27670
ANR011221	1.19746	2.13898	2.35196	2.30794
BMM011211	1.05403	1.98846	2.13898	2.27670
CAS960918	1.42568	1.75131	1.90183	2.13898
CCM011213	1.17566	2.13898	2.30794	2.39598
CGA011209	1.53112	2.12619	2.36475	2.47124
CTP000330	1.53112	2.12619	2.36475	2.47124
DMR011205	1.10783	1.86918	2.17021	2.17021
ECS011202	1.10113	1.85639	2.06372	2.17021
FAF010605	0.96658	2.06372	2.13898	2.17021
FLM011022	1.24149	2.06372	2.27670	2.23268
FNR010605	0.89247	2.09495	2.62176	2.54650
GBS011212	1.11072	2.13898	2.38320	2.27670
JFM011117	1.32817	2.01969	2.13898	2.39598
JIL011130	1.18845	2.20145	2.27670	2.35196
JPC011201	1.17975	2.09495	2.17021	2.17021
JTL021215	1.00073	1.91320	2.20145	2.32073
KNG021119	0.98833	2.13898	2.20145	2.32073
KRM011206	1.42019	1.88897	2.13898	2.20145
LAR010611	1.10677	2.23268	2.62176	2.66578
LCL021122	1.00297	1.86918	2.17021	2.27670
LGS000121	1.74989	2.21423	2.06372	2.27670
LMN021203	1.01943	1.94444	2.13898	2.20145
LSC021205	0.98267	1.91320	2.13898	2.26391
MBS011206	1.16756	2.09495	2.27670	2.32073
MIT000615	1.29608	2.26391	2.39598	2.51526
MJL010602	1.36385	2.05093	2.20145	2.30794
MKH051213	1.26698	1.98846	2.21423	2.35196
OBP981118	1.97567	2.09495	2.35196	2.50248
PTS 021210	1.01943	1.94444	2.17021	2.30794
RAO000113	0.87862	1.57514	2.06372	2.20145
RCC020212	0.97019	2.09495	2.28949	2.27670
RMA010602	0.89720	1.98846	2.28949	2.42722
RNS010613	1.17701	2.13898	2.20145	2.21423
RRC020201	1.00297	2.01969	2.24547	2.26391
SJL011219	1.76969	2.24547	2.30794	2.47124
SLB020214	1.06183	2.20145	2.35196	2.35196

SVO011214	1.09642	2.06372	2.23268	2.30794
TOC010822	0.89586	1.94444	2.17021	2.23268
VPO11204	1.35239	1.83794	2.06372	2.20145
VRC010606	1.06273	2.06372	2.11340	2.23268
IBT06030824	0.89247	1.74989	2.13898	2.44001
GSS060216	0.89247	1.64340	2.13898	2.39598
MGL051124	1.45827	2.20145	2.30794	2.54650
ABRD 16	1.36385	2.23268	2.35196	2.35196

– 31 a 45 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AMF040714	0.98327	1.83794	2.13898	2.13898
ACS040727	1.04368	1.78113	2.13898	2.23268
AJO010830	1.10873	2.20145	2.09495	2.17021
CAP040726	0.94866	1.98846	2.13898	2.26391
DBS00710	1.03758	1.86918	2.17021	2.20145
DSB000710	0.98518	2.13898	2.17021	2.20145
ESC040627	0.90457	1.61917	2.06372	2.27670
GMS020304	1.23025	2.28949	2.27670	2.35196
JCR031222	0.96368	1.88897	2.06372	2.17021
JFL060209	0.68200	1.31281	1.57515	1.94444
JNC031222	0.95568	1.98846	2.13898	2.17021
LAM040725	0.95707	1.82515	2.20145	2.20145
MCF011127	1.10113	1.85639	2.06372	2.17021
MLS020126	1.09333	2.17021	2.26391	2.23268
MOB031211	1.07948	1.74990	2.17021	2.23268
MSC031223	1.05173	2.06372	2.17021	2.17021
MSC040721	0.98742	2.01969	2.17021	2.20145
OVR040810	0.99379	1.74990	2.28949	2.20145
RGM06009	1.12854	2.13898	2.21423	2.27670
SNS990322	1.21432	2.13898	2.39598	2.54650
VJA000907	1.00878	1.91320	2.17021	2.27670
VMM011127	1.24699	2.01969	2.23268	2.35196
CEC060105	0.72279	1.34406	1.83794	2.17021
RCM060502	0.93298	1.90041	2.17021	2.54650
RAF060511D	0.81074	1.81371	2.09495	2.13898
DAF060630	0.92997	2.05093	2.24547	2.35196
MAS060825	0.89213	1.97566	2.51526	2.66578
SMM061107	1.16422	1.99546	2.24547	2.54650
RML070416	1.14355	2.06372	2.27670	2.36475
SWO070409	1.14472	1.98846	2.28949	2.35196
ARS070606	1.04598	1.59937	2.09495	2.20145
FAF070702	1.10873	2.06372	2.17021	2.42722
KCS070522	1.06579	1.71866	1.94444	2.28949
LSO070619	1.20581	1.79392	2.21423	2.21423
DAMIBS	0.98574	1.98846	2.20145	2.27670
DORABS	0.98518	2.13898	2.17021	2.20145
DRABS	0.94256	1.98846	2.17021	2.17021
IMJ080215	1.03099	1.74990	2.13898	2.17021
RCA080311	0.83580	1.46865	1.79392	1.98846
SMP080211	1.30410	1.98846	2.42722	2.51526

– 46 a 60 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
TOG040728	1.01166	1.94444	2.23268	2.23268
AJB020124	1.12963	2.20145	2.35196	2.44001
AMF040713	0.96108	1.91320	2.20145	2.23268
AMR040104	1.00943	1.94444	2.17021	2.20145
BMR040722	0.93506	1.94444	2.13898	2.24547
EAG040711	1.10783	1.76268	2.17021	2.13898
EMN040114	1.03952	2.01969	2.17021	2.20145
HLS060503	0.91984	1.49988	1.82515	2.13898
FAG060126	0.86163	1.64340	1.74990	1.98846
FLF030115	0.98574	1.91320	2.20145	2.26391
IF040804	0.96317	1.74990	2.17021	2.17021
JBM040803	1.03563	2.06372	2.13898	2.26391
LGB000711	1.03423	2.09495	2.13898	2.27670
LHC051130	1.28351	1.78113	2.01969	2.50248
MER031228	0.88304	1.49988	2.06372	2.17021
MFR030426	1.10982	2.06372	2.20145	2.23268
MGM010224	1.23754	2.17021	2.23268	2.17021
MMC031222	0.93506	1.74990	2.06372	2.13898
MPS970611	1.16331	2.17021	2.42722	2.54650
MVB010229	1.27408	2.13898	2.17021	2.23268
MCL060405	0.82592	1.83794	2.17021	2.38320
MGS060724	0.83754	1.70587	2.06372	2.39598
FSS060520	1.07154	1.82515	2.09495	2.17021
MGS051209	1.23945	2.12619	2.30794	2.39598
ISN060928	1.19426	2.17021	2.30794	2.39598
JPC990405	0.96512	1.86918	2.13898	2.24547
ESS061016	1.03009	2.01969	2.39598	2.59052
AFC070604	0.89586	1.74990	2.32073	2.47124
RFB070529	0.97291	1.67464	2.01969	2.20145
TLB070525	1.12427	2.06372	2.21423	2.44001
BMS070626	1.03783	1.74990	2.13898	2.24547
TOG040728	1.01166	1.94444	2.23268	2.23268
AJB020124	1.12963	2.20145	2.35196	2.44001
AMF040713	0.96108	1.91320	2.20145	2.23268
AMR040104	1.00943	1.94444	2.17021	2.20145
BMR040722	0.93506	1.94444	2.13898	2.24547
EAG040711	1.10783	1.76268	2.17021	2.13898
EMN040114	1.03952	2.01969	2.17021	2.20145
HLS060503	0.91984	1.49988	1.82515	2.13898
FAG060126	0.86163	1.64340	1.74990	1.98846

2. SCCL-Ciano-Preto

–16 a 30 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0

AAB011215	1.06183	2.09495	2.17021	2.24547
ACB021217	0.93940	1.98846	2.17021	2.20145
AGQ021112	0.99638	1.98846	2.23268	2.35196
AGR011220	1.09838	2.13898	2.17021	2.13898
ALS020118	1.08567	2.06372	2.17021	2.23268
ANR011121	1.01102	2.01969	2.17021	2.20145
BLN020627	1.03618	2.21423	2.24547	2.20145
BMC010606	1.06912	2.06372	2.20145	2.17021
CGA011209	1.36915	2.39598	2.44001	2.47124
DMR011205	1.17872	2.17021	2.26391	2.30794
FAF010605	1.12292	2.27670	2.42722	2.39598
FLM011022	1.12854	2.23268	2.23268	2.26391
FLV021126	1.05403	2.06372	2.23268	2.35196
FNR010605	1.05522	2.24547	2.47124	2.51526
GFL020619	0.98742	2.17021	2.13898	2.17021
GNT020227	0.98083	2.09495	2.21423	2.24547
JAS020619	1.09502	2.17021	2.17021	2.17021
JCB010605	1.15891	2.23268	2.30794	2.35196
JFM011117	1.12866	2.24547	2.32073	2.27670
JFS020619	0.99547	2.06372	2.17021	2.13898
JIL011130	1.21605	2.24547	2.12619	2.27670
JPC011201	1.27934	2.13898	2.20145	2.13898
KS020627	1.01748	2.13898	2.20145	2.23268
LHS020607	1.05173	2.13898	2.17021	2.20145
LVM021122	1.04292	2.09495	2.23268	2.30794
MBS011206	1.07218	2.35196	2.35196	2.35196
MJL010602	1.50737	2.13898	2.27670	2.32073
MKH051213	1.03366	1.66319	2.06372	2.28949
NJB021215	1.03563	1.91320	2.20145	2.21423
RKN020621	1.05403	2.13898	2.13898	2.27670
RML020621	1.05403	2.13898	2.09495	2.06372
RNS010613	1.06183	2.24547	2.24547	2.30794
ROL021208	0.99687	1.73845	2.09495	2.13898
SBL020215	0.98518	2.20145	2.26391	2.23268
SJL011219	1.49545	2.42722	2.35196	2.39598
SPS020212	1.00193	2.24547	2.27670	2.32073
TOC011129	1.03203	1.94444	2.23268	2.17021
VPO011204	1.38059	2.32073	2.26391	2.35196
WOB020215	0.99492	2.17021	2.23268	2.30794
EHC020621	0.98574	2.06372	2.20145	2.20145
MIT000615	1.43999	2.27670	2.39598	2.39598
ESV020122	1.13328	2.23268	2.35196	2.39598
OGM020619	0.97824	2.01969	2.20145	2.23268

– 31 a 45 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AGM020304	1.23247	2.27670	2.44001	2.39598
AJO010830	0.99427	1.91320	2.13898	2.17021
ARS090319	1.02174	1.68742	2.06372	2.06372
CAL060809	0.80614	1.91320	2.17021	2.47124
CEC060105	0.55881	1.58263	1.88897	2.24547

DAF060630	0.88107	2.09495	2.28949	2.24547
DBS000712	0.98574	1.98846	2.20145	2.27670
DSB000710	0.94256	1.98846	2.17021	2.17021
EFF090325	0.99045	1.66185	1.90041	2.13898
GMS020201	1.05173	2.06372	2.20145	2.24547
HME090710	1.02174	1.68742	2.06372	2.06372
JCR031222	1.00998	1.98846	2.27670	2.23268
JFL060209	0.59735	1.33791	1.65041	1.86918
JSS090416	1.02174	1.68742	2.06372	2.06372
KCS070522	1.00167	1.74989	2.01969	2.06372
MAS060825	0.97016	1.97567	2.32073	2.44001
MLS020126	1.14441	2.23268	2.23268	2.27670
MOB060328	0.77850	1.56814	2.13898	2.59052
MR090411	0.92146	1.74990	1.98846	2.28949
MRB090819	0.92146	1.74990	1.98846	2.28949
MSC031223	0.87267	1.82515	2.30794	2.30794
MSC090716	1.02174	1.68742	2.06372	2.06372
RCM060502	0.86462	1.83794	2.17021	2.30794
RGM060109	1.05403	2.36475	2.24547	2.44001
RJB090319	0.95048	1.66185	2.13898	2.13898
SMM061107	1.22608	2.05093	2.20145	2.27670
SNS990322	1.04120	2.39598	2.44001	2.51526
SWO070409	1.24149	2.20145	2.35196	2.44001
VMM011127	1.08023	2.17021	2.26391	2.30794

– 46 a 60 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
ACF061024	0.854759	1.531119	1.837944	2.06372
AJB020124	1.051732	2.201446	2.351961	2.30794
AMR040104	0.753487	1.531119	1.913202	2.24547
BSM070626	1.229996	1.79392	2.276703	2.44001
EMN040114	1.009983	1.975671	2.170211	2.17021
ESS061016	0.913039	1.69443	2.063718	2.13898
FAG060126	0.889385	1.444418	1.661849	1.83794
FLF030115	0.928046	1.913202	2.201446	2.23268
FSS060520	1.085281	1.749896	1.79392	1.91320
HLS060503	0.697905	1.661849	1.837944	1.98846
ISN060928	1.013327	1.913202	2.201446	2.32073
JJA061011	1.016366	2.063718	2.395984	2.30794
JPC040106	0.96512	1.869178	2.138976	2.24547
LGB000711	1.036183	2.170211	2.170211	2.20145
LHC051130	0.769414	1.40788	1.913202	2.13898
LLG060922	0.682144	1.524109	1.837944	2.23268
MCL060405	0.790127	1.749896	2.214234	2.35196
MFR030426	1.011665	2.063718	2.201446	2.15742
MGS051209	1.088672	1.749896	2.063718	2.35196
MGS060724	0.720422	1.551397	1.98846	2.13898
MMC030122	0.949147	1.674636	2.138976	2.13898
MPS970611	1.120177	2.245468	2.276703	2.30794
MVB020129	1.071537	1.913202	2.201446	2.23268
RJC060829	0.889972	1.79392	2.214234	2.44001

TLB070525	1.13053	1.913202	2.019695	2.23268
HP091014	0.90903	1.749896	2.138976	2.13898
JLM090803	0.697905	1.339618	1.749896	1.98846
MCR090309	0.862326	1.550917	1.98846	2.26391
MHS090326	1.176755	1.749896	2.138976	2.26391
RCR090722	0.862326	1.550917	1.98846	2.26391

3. SCEL-Violeta-Preto

–16 a 30 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
ALS080511	1.16926	1.71866	2.05093	2.35196
ARC080417	1.06077	1.71866	2.13898	2.28949
GMC080312	1.06957	1.88897	2.32073	2.30794
GSS080327	0.95707	1.40788	1.86918	2.09495
HTC080411	1.13494	1.65041	1.98846	2.24547
ISN080424	1.14946	1.79392	2.20145	2.27670
JMM080304	1.30137	1.98846	1.94444	2.12619
JMS080208	1.04732	1.76969	2.12619	2.32073
JTC080509	1.02325	1.55092	2.13898	2.17021
LCA071004	1.20825	1.64340	1.98846	2.09495
MGL070925	1.30308	1.98846	2.51526	2.59052
PLS080410	1.04241	1.86918	2.13898	2.35196
RAL071010	1.11377	1.46865	2.06372	2.23268
RCC080505	0.99492	1.56814	1.91320	1.98846
RLS080402	1.17898	1.38059	2.06372	2.17021
SBP071006	1.02258	1.71866	2.21423	2.39598
YGM080407	1.19148	1.94444	2.21423	2.35196
YSR080413	1.19874	1.97567	2.27670	2.39598
MFC080526	0.95352	1.31587	1.82515	2.01969
BDG080528	0.95965	1.49287	2.17021	2.27670
ACB081008	1.08897	1.40345	1.94444	2.20145
ALC080812	0.94866	1.51267	1.91320	2.23268
CHC081022	0.88003	1.40482	1.74990	2.13898
CMO081015	0.84318	1.59938	1.83794	2.01969
EMC080716	0.81687	1.36691	1.70587	2.06372
IBT081022	0.77679	1.49288	2.13898	2.23268
JMT80528	1.01684	1.56814	2.17021	2.30794
LSS080818	0.91524	1.67464	1.91320	2.17021
MGL090725	0.96269	1.53690	1.79392	2.13898
MQJ091105	1.16926	1.71866	2.05093	2.23268

– 31 a 45 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AMC090427	0.90315	1.56814	2.17021	2.20145
AML090924	1.14046	1.45586	2.01969	2.06372
ARS090319	1.00934	1.48844	1.83794	2.13898

BM080805	0.80625	1.40345	1.79392	2.06372
DAA090916	1.00878	1.40037	1.98846	2.20145
EAA090914	0.86051	1.53690	1.90041	2.13898
EFF090325	1.02489	1.60638	1.83794	2.13898
EPS090320	0.97067	1.59938	1.79392	2.20145
ESG090831	0.90278	1.42019	1.66185	1.79392
FGM080115	0.80625	1.40345	1.79392	2.06372
GFG090921	1.29384	1.98846	2.13898	2.26391
HPS090921	1.15143	1.68742	2.13898	2.23268
JBS080515	0.90315	1.56814	2.17021	2.20145
JOC090915	1.04378	1.56985	2.06372	2.06372
JSS090416	1.11039	1.59938	1.66185	2.13898
KCS090318	1.01313	1.51267	1.79392	2.13898
KFP090922	1.29384	1.74990	2.20145	2.35196
MCF080221	1.15143	1.68742	2.13898	2.23268
MCS090326	1.13889	1.79392	2.17021	2.26391
MLS090327	0.99323	1.53690	1.66185	2.13898
MR090411	0.83760	1.36080	1.83794	2.20145
MRS090901	1.29384	1.74990	2.20145	2.35196
MSO090407	1.00934	1.56814	1.79392	2.06372
RGM080324	1.15033	1.83794	2.23268	2.39598
RJB080319	0.95616	1.56814	1.83794	2.13898
RMR090922	1.09199	1.73845	2.06372	2.17021
RMS091006	0.97155	1.59938	2.13898	2.20145
RRT090505	0.93548	1.70587	1.98846	2.06372
SSS090908	0.90083	1.60638	1.74990	2.13898
VNF090916	1.08189	1.74990	2.13898	2.20145

– 46 a 60 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
ACS091006	1.14107	1.48844	1.74990	2.13898
AMF091029	0.91514	1.57515	1.74990	2.13898
APA091006	1.15342	1.53690	2.13898	2.23268
ARA090917	0.95048	1.63896	1.74990	2.13898
CFJ090904	0.95048	1.49545	1.74990	2.13898
FCG091030	1.06576	1.54391	1.91320	2.13898
FRX090928	1.04292	1.56814	2.13898	2.23268
HLS060503	1.15033	1.76268	2.13898	2.23268
HP091014	1.00878	1.59938	2.06372	2.24547
IAN090917	1.22475	1.67464	2.01969	2.12619
JPR091027	1.03009	1.56814	1.91320	2.13898
LAB090916	0.97769	1.38584	1.78113	2.13898
LSF090902	0.72855	1.21023	1.66185	1.83794
MBM091013	0.93403	1.47614	1.91320	1.98846
MCR090309	1.02749	1.52411	1.83794	1.98846
MFO090916	1.00018	1.31476	1.98846	2.17021
MFP090924	1.12842	1.79392	1.98846	2.20145
MGS091029	1.06912	1.53690	1.68742	2.13898
MHS090326	1.04647	1.53690	1.90041	1.90041
MLS091029	1.06576	1.54391	1.91320	2.13898
MNA090918	1.06118	1.63896	2.13898	2.28949

MRM091028	1.04065	1.59938	1.91320	2.17021
MRS091028	0.95566	1.51267	1.91320	1.98846
MSS090324	0.98768	1.42768	1.83794	1.83794
OMM091030	1.02917	1.49545	1.74990	2.06372
RBR091030	1.09199	1.46422	1.83794	2.06372
STS090923	1.08298	1.56814	1.79392	2.13898
TCB090930	0.90083	1.60638	1.74990	2.13898
TSS091027	0.89585	1.48844	1.98846	2.20145
VAC091027	0.92146	1.55092	1.83794	2.13898

CORES:**1. SCEC-Verde-Vermelho****-16 a 30 anos**

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AAB011215	2.47922	2.58878	2.60114	2.53196
ABB021112	2.37108	2.61079	2.63458	2.56605
AGR011220	2.41774	2.58392	2.59165	2.55755
AJM010606	2.17875	2.32048	2.67803	2.86949
ALM021110	2.31898	2.42746	2.45086	2.37372
AMR011205	2.40198	2.54089	2.45959	2.48186
ANR011221	2.43311	2.53217	2.54763	2.50361
BMM011211	2.35220	2.41275	2.50738	2.45778
CAS960918	2.35220	2.41275	2.50738	2.45778
CCM011213	2.60344	2.59999	2.71283	2.67177
CGA011209	2.33057	2.45156	2.49656	2.43203
CTP000330	2.33057	2.45156	2.49656	2.43203
DMR011205	2.13523	2.28973	2.37272	2.34437
ECS011202	2.32670	2.39088	2.33912	2.24878
FAF010605	2.21062	2.34513	2.39630	2.36301
FLM011022	2.28973	2.47907	2.63665	2.43212
FNR010605	2.40243	2.66394	2.85283	2.64280
GBS011212	2.28681	2.34822	2.63281	2.57378
JFM011117	2.27702	2.61064	2.56556	2.38344
JIL011130	2.22327	2.52121	2.78332	2.72670
JPC011201	2.26623	2.41633	2.39117	2.48200
JTL021215	2.26425	2.49136	2.53538	2.41774
KNG021119	2.28289	2.38046	2.45086	2.41048
KRM011206	2.39125	2.47556	2.38352	2.36886
LAR010611	2.59970	2.72807	2.76445	2.70369
LCL021122	2.36136	2.36588	2.39746	2.36301
LGS000121	2.24638	2.32186	2.34536	2.33148
LMN021203	2.28289	2.32256	2.39424	2.32672
LSC021205	2.23986	2.35200	2.37551	2.34437
MBS011206	2.44070	2.49079	2.57012	2.42348
MIT000615	2.49588	2.61780	2.65025	2.64054
MJL010602	2.36767	2.40641	2.48071	2.41633
MKH051213	2.28289	2.53723	2.63152	2.47325
OBP981118	2.36767	2.40641	2.48071	2.41633
PTS 021210	2.37872	2.38324	2.43505	2.33356
RAO000113	2.28775	2.35022	2.42448	2.30639

RCC020212	2.38017	2.48695	2.51352	2.46256
RMA010602	2.17611	2.32568	2.51640	2.33376
RNS010613	2.28973	2.39723	2.65026	2.50280
RRC020201	2.44313	2.50579	2.38145	2.36886
SJL011219	2.49806	2.71580	2.73444	2.65918
SLB020214	2.47922	2.53097	2.55953	2.52324
SVO011214	2.40198	2.43519	2.56241	2.45549
TOC010822	2.04502	2.48416	2.58472	2.41448
VPO11204	2.28604	2.36450	2.40396	2.31412
VRC010606	2.34398	2.43212	2.45959	2.41553
IBT06030824	2.10029	2.38839	2.67495	2.48229
GSS060216	2.28604	2.36450	2.40396	2.31412
MGL051124	2.48443	2.60820	2.73444	2.73421
ABRD 16	2.47922	2.58878	2.60114	2.53196

– 31 a 45 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AMF040714	2.33356	2.45959	2.49951	2.39424
ACS040727	2.35979	2.41147	2.51674	2.36281
AJO010830	2.27883	2.41862	2.46058	2.32870
CAP040726	2.31978	2.40010	2.50361	2.33762
DBS00710	2.31412	2.50658	2.53882	2.36886
DSB000710	2.36002	2.46177	2.51918	2.38244
ESC040627	2.05531	2.34234	2.49179	2.46058
GMS020304	2.44313	2.53891	2.61516	2.58184
JCR031222	2.41410	2.55567	2.65975	2.59190
JFL060209	2.27883	2.41862	2.46058	2.32870
JNC031222	2.40198	2.42548	2.46058	2.41475
LAM040725	2.29062	2.39036	2.43321	2.30520
MCF011127	2.32670	2.33912	2.39088	2.24878
MLS020126	2.51429	2.54476	2.54741	2.44412
MOB031211	2.35309	2.49965	2.54731	2.43826
MSC031223	2.37451	2.50972	2.55942	2.41655
MSC040721	2.37924	2.48335	2.47922	2.41288
OVR040810	2.42941	2.50361	2.70885	2.48814
RGM06009	2.34447	2.48964	2.64371	2.43539
SNS990322	2.47615	2.68919	2.76717	2.64530
VJA000907	2.29062	2.38838	2.44412	2.34536
VMM011127	2.33857	2.36993	2.45850	2.47922
CEC060105	1.74997	2.22486	2.16738	2.22013
RCM060502	2.16941	2.42338	2.72969	2.52610
RAF060511D	2.21260	2.40297	2.38532	2.28775
DAF060630	1.74997	2.30130	2.32384	2.29062
MAS060825	2.17346	2.54068	2.68346	2.58779
SMM061107	2.17661	2.38532	2.54312	2.39523
RML070416	2.39901	2.48349	2.62214	2.39901
SWO070409	2.12657	2.55455	2.60291	2.46808
ARS070606	1.97263	2.24522	2.26138	2.18126
FAF070702	2.18547	2.36130	2.44490	2.37560
KCS070522	2.04338	2.26358	2.47813	2.19076
LSO070619	2.03724	2.25352	2.37551	2.29548

DAMIBS	2.29747	2.37659	2.48614	2.31690
DORABS	2.36002	2.46177	2.51918	2.38244
DRABS	2.31125	2.39990	2.43827	2.35994
IMJ080215	2.27709	2.31110	2.38037	2.32384
RCA080311	2.17661	2.38532	2.54312	2.39523
SMP080211	2.10899	2.34437	2.52602	2.58105

– 46 a 60 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
TOG040728	2.37272	2.45005	2.47723	2.39216
AJB020124	2.50467	2.59165	2.65918	2.51551
AMF040713	2.40396	2.45507	2.60542	2.47922
AMR040104	2.32870	2.44293	2.52765	2.39424
BMR040722	2.31898	2.42548	2.46950	2.31412
EAG040711	2.32384	2.49555	2.51352	2.48715
EMN040114	2.38004	2.39125	2.44112	2.41774
HLS060503	1.89079	2.11747	2.13905	2.22263
FAG060126	2.02573	2.23693	2.38299	2.34785
FLF030115	2.21712	2.35508	2.44013	2.38046
IF040804	2.32870	2.43011	2.43420	2.31006
JBM040803	2.29548	2.42467	2.43519	2.32672
LGB000711	2.25731	2.36686	2.36866	2.28289
LHC051130	2.28567	2.38564	2.55140	2.42548
MER031228	2.05017	2.27881	2.32404	2.28289
MFR030426	2.33158	2.49417	2.47413	2.51773
MGM010224	2.29062	2.38225	2.39117	2.31898
MMC031222	2.31006	2.40010	2.53217	2.42627
MPS970611	2.26623	2.45877	2.57976	2.45662
MVB010229	2.28387	2.32870	2.36301	2.29062
MCL060405	2.02257	2.34536	2.53439	2.43212
MGS060724	2.10836	2.41366	2.53088	2.31412
FSS060520	2.04780	2.38987	2.47163	2.33922
MGS051209	2.29838	2.44912	2.47100	2.35041
ISN060928	2.12322	2.44004	2.53767	2.40780
JPC990405	2.29062	2.33644	2.40396	2.34130
ESS061016	2.27759	2.43019	2.53616	2.34749
AFC070604	2.03679	2.45861	2.59135	2.47394
RFB070529	2.03958	2.40573	2.52150	2.31412
TLB070525	2.19977	2.33621	2.39260	2.28200
BMS070626	2.05017	2.27881	2.32404	2.28289

2. SCEC-Azul-Verde

–16 a 30 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AAB011215	2.25731	2.32464	2.38324	2.30520
ACB021217	2.15238	2.37273	2.39910	2.36886
AGQ021112	2.29062	2.39817	2.49407	2.36886

AGR011220	2.20763	2.34130	2.40010	2.31006
ALS020118	2.22715	2.29548	2.37253	2.30520
ANR011121	2.09708	2.30639	2.36767	2.30639
BLN020627	2.23014	2.36866	2.39117	2.31412
BMC010606	2.24051	2.31412	2.36767	2.32384
CGA011209	2.38145	2.56845	2.57619	2.53196
DMR011205	2.27397	2.43519	2.47029	2.38225
FAF010605	2.34880	2.43539	2.47535	2.36002
FLM011022	2.31006	2.35795	2.46177	2.41556
FLV021126	2.28289	2.35220	2.37659	2.34536
FNR010605	2.28775	2.52443	2.61615	2.58006
GFL020619	2.15745	2.29548	2.33644	2.29062
GNT020227	2.13553	2.33644	2.38046	2.33762
JAS020619	2.28289	2.33644	2.35101	2.32186
JCB010605	2.29062	2.53990	2.56845	2.48695
JFM011117	2.33644	2.48695	2.54168	2.39117
JFS020619	1.98155	2.28289	2.28289	2.26623
JIL011130	2.19342	2.42062	2.48814	2.51588
JPC011201	2.28476	2.31412	2.36886	2.34248
KS020627	2.26425	2.34130	2.37253	2.35022
LHS020607	2.21712	2.37659	2.41774	2.38532
LVM021122	2.29548	2.50837	2.49588	2.45878
MBS011206	2.39809	2.46058	2.50199	2.44293
MJL010602	2.43321	2.55755	2.56726	2.49588
MKH051213	1.51040	2.26132	2.26095	2.11273
NJB021215	2.23986	2.30520	2.31770	2.25652
RKN020621	2.14416	2.28289	2.31492	2.28289
RML020621	2.13294	2.35022	2.37451	2.29062
RNS010613	2.34734	2.44412	2.42746	2.38064
ROL021208	2.22018	2.31006	2.32464	2.30015
SBL020215	2.29548	2.41127	2.40010	2.38433
SJL011219	2.37716	2.50379	2.50280	2.52243
SPS020212	2.37372	2.51152	2.51539	2.39891
TOC011129	2.05617	2.37230	2.47800	2.42746
VPO011204	2.29062	2.41774	2.43321	2.34616
WOB020215	2.34893	2.39102	2.52569	2.38919
EHC020621	2.19097	2.35309	2.42548	2.32186
MIT000615	2.59165	2.81743	2.80970	2.69914
ESV020122	2.32186	2.45878	2.48695	2.35793
OGM020619	2.03640	2.25850	2.29062	2.28289

– 31 a 45 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AGM020304	2.25731	2.51053	2.56726	2.51551
AJO010830	2.25731	2.30520	2.38433	2.29548
ARS090319	1.79315	2.04610	2.25731	1.96015
CAL060809	1.83064	2.01043	2.32812	2.23644
CEC060105	1.90183	2.02451	2.17804	2.05913
DAF060630	1.83559	2.16915	2.31833	2.19377
DBS000712	2.27109	2.37659	2.48614	2.31690
DSB000710	2.31125	2.39990	2.43827	2.35994

EFF090325	1.73484	2.06485	2.21537	1.98959
GMS020201	2.27516	2.33842	2.36886	2.37108
HME090710	1.90183	2.02451	2.17804	2.05913
JCR031222	2.27109	2.41556	2.43438	2.40882
JFL060209	1.81350	1.99008	2.18513	2.06636
JSS090416	1.67048	1.91925	2.14508	1.90155
KCS070522	1.63057	2.03038	2.23212	1.96920
MAS060825	1.75398	2.07875	2.30941	2.23585
MLS020126	2.25731	2.49587	2.51045	2.45185
MOB060328	1.67048	2.03594	2.26138	2.25136
MR090411	1.66926	1.94571	2.25731	2.12464
MRB090819	1.66926	1.94571	2.25731	2.12464
MSC031223	1.72471	2.14165	2.14715	2.01631
MSC090716	1.61706	1.94992	2.11893	1.95043
RCM060502	1.75858	2.07400	2.27088	2.22200
RGM060109	2.25308	2.37310	2.50918	2.39601
RJB090319	1.65763	2.03318	2.13179	2.14011
SMM061107	1.83397	2.25144	2.43336	2.37102
SNS990322	2.13676	2.45520	2.56275	2.48186
SWO070409	2.07080	2.29261	2.45120	2.22013
VMM011127	2.17530	2.28268	2.36767	2.29548

– 46 a 60 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AJB020124	2.38651	2.57806	2.59271	2.42167
AMR040104	1.96049	2.11120	2.26623	2.25076
FLF030115	2.26425	2.40560	2.39712	2.30034
JPC040106	2.29062	2.33644	2.40396	2.34130
LGB000711	2.17872	2.30520	2.33364	2.29062
MFR030426	2.23378	2.30520	2.31412	2.28289
MGS051209	1.47016	2.05323	2.18412	2.17897
MMC030122	2.26425	2.37074	2.40396	2.32870
MPS970611	2.30520	2.44392	2.40684	2.39990
MVB020129	2.22013	2.35795	2.46729	2.28962
MCL060405	1.67605	1.99437	2.28803	2.14593
HLS060503	1.51248	1.87036	2.02257	1.93667
LHC051130	1.52552	1.97243	2.23687	2.14222
FAG060126	1.63294	1.90910	2.08568	1.92454
MGS060724	1.62802	2.05119	2.21184	1.95821
FSS060520	2.01880	2.16280	2.28289	1.94891
ISN060928	1.90183	2.12122	2.34350	2.19829
LLG060922	1.52552	1.97111	2.03638	1.92146
RJC060829	1.90183	2.28646	2.35587	2.27064
ACF061024	1.96430	2.08765	2.22169	2.09357
ESS061016	1.78616	2.20286	2.25458	2.08648
JJA061011	1.78254	2.09462	2.27516	2.18303
BSM070626	1.90183	2.25322	2.36744	2.32848
EMN040114	2.30798	2.35994	2.43497	2.30520
TLB070525	1.82657	2.08248	2.31212	2.29062
HP091014	1.48154	1.90183	2.21085	1.88608
JLM090803	1.51248	1.73858	2.02257	1.87884

MCR090309	1.53872	1.97071	2.22786	2.14011
MCR090722	1.57759	1.97071	2.16510	2.11373
MHS090326	1.54758	1.96430	2.22399	2.12464

3. SCEC-Azul-Vermelho

–16 a 30 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
ACB081008	1.98959	2.32186	2.37660	2.30639
ALC080812	1.85471	2.18490	2.50361	2.35309
ALS080511	2.06961	2.32186	2.51271	2.41981
ARC080417	2.10406	2.29062	2.47964	2.42096
BDG080528	1.92097	2.28289	2.54763	2.33436
CHC081022	1.81231	2.06485	2.29062	2.11373
CMO081015	1.84087	2.15737	2.36599	2.27397
EMC080716	1.78019	2.18513	2.54763	2.38433
GMC080312	1.98959	2.29062	2.59165	2.46464
GSS080327	1.84206	2.06591	2.38919	2.29062
HTC080411	1.88489	2.27516	2.47723	2.35022
IBT081022	1.94557	2.29062	2.48814	2.34536
ISN080424	1.95628	2.29062	2.53217	2.36886
JMM080304	2.16637	2.32742	2.58254	2.37243
JMS080208	2.00514	2.21150	2.51640	2.28289
JMT80528	1.92097	2.28289	2.54763	2.33436
JTC080509	1.98959	2.32186	2.41475	2.34536
LCA071004	2.08447	2.30312	2.56845	2.42865
LSS080818	1.83115	2.29062	2.38145	2.37074
MFC080526	1.76837	2.20466	2.43321	2.35309
MGL070925	2.29062	2.58392	2.89269	2.59165
MGL090725	1.97152	2.29062	2.59165	2.41556
MQJ091105	2.06961	2.32186	2.51271	2.41981
PLS080410	2.09255	2.31412	2.71863	2.41774
RAL071010	1.93684	2.26425	2.41556	2.35309
RCC080505	1.95866	2.30034	2.58392	2.37273
RLS080402	1.98959	2.29062	2.54682	2.35994
SBP071006	2.17089	2.35171	2.60415	2.39683
YGM080407	2.29062	2.42249	2.65596	2.47723
YSR080413	2.07319	2.35498	2.82447	2.56528

– 31 a 45 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
AMC090427	1.87186	2.29062	2.42860	2.31562
AML090924	1.66454	2.07735	2.38064	2.28289
ARS090319	1.79804	2.01935	2.36113	2.29866
BM080805	1.84979	2.20466	2.36113	2.27516
DAA090916	1.66510	2.11560	2.33762	2.29062
EAA090914	1.75057	2.18311	2.37809	2.29062

EFF090325	1.96313	2.28289	2.41556	2.31412
EPS090320	1.68404	2.07889	2.29062	2.26623
ESG090831	1.69202	2.03958	2.26742	2.21150
FGM080115	1.84979	2.20466	2.36113	2.27516
GFG090921	1.79520	2.16510	2.50361	2.29062
HPS090921	2.15295	2.32384	2.56683	2.38145
JBS080515	1.87186	2.29062	2.42860	2.31562
JOC090915	1.78711	2.27397	2.52126	2.29062
JSS090416	1.79804	2.01459	2.33762	2.26742
KCS090318	1.60679	2.03958	2.30034	2.22013
KFP090922	2.06689	2.29062	2.56390	2.36281
MCF080221	2.15295	2.32384	2.56683	2.38145
MCS090326	2.04987	2.34062	2.58417	2.35309
MLS090327	1.68857	2.00209	2.29062	2.21537
MR090411	1.79804	2.02708	2.35795	2.22786
MRS090901	2.06689	2.29062	2.56390	2.36281
MSO090407	1.68857	1.91539	2.29062	1.93784
RGM080324	2.27516	2.41048	2.81721	2.62289
RJB080319	1.73855	2.15150	2.33176	2.30639
RMR090922	1.64459	2.23806	2.35022	2.28289
RMS091006	1.78257	2.23787	2.50361	2.29062
RRT090505	1.65843	2.07553	2.29062	2.23471
SSS090908	1.86384	2.22697	2.39683	2.33139
VNF090916	2.04348	2.22241	2.57619	2.30034

– 46 a 60 anos

Sujeito	Frequência Espacial (cpg)			
	0,1	0,2	0,5	1,0
ACS091006	1.62838	2.05274	2.31412	2.19140
AMF091029	1.79195	2.08504	2.27397	2.19697
APA091006	1.74443	2.20939	2.38433	2.25969
ARA090917	1.74534	2.10234	2.32186	2.21571
CFJ090904	1.70768	2.10234	2.34685	2.26425
FCG091030	1.59493	1.94557	2.27397	2.16262
FRX090928	1.63581	2.05303	2.31412	2.26742
HLS060503	1.91925	2.11484	2.29062	2.19154
HP091014	1.64435	1.94081	2.32186	2.18303
IAN090917	1.56869	1.88653	2.23378	2.08835
JPR091027	1.66739	2.01459	2.37809	2.25969
LAB090916	1.58505	1.93684	2.33762	2.29062
LSF090902	1.49284	1.82435	2.16510	1.98959
MBM091013	1.64114	1.97749	2.29062	2.07597
MCR090309	1.65306	2.10007	2.26868	2.25352
MFO090916	1.60284	2.02460	2.32186	2.05712
MFP090924	1.70314	2.10679	2.30639	2.29866
MGS091029	1.52602	1.86364	2.17440	2.06545
MHS090326	1.97152	2.34062	2.39726	2.20213
MLS091029	1.59493	1.94557	2.27397	2.16262
MNA090918	1.78616	2.19241	2.43539	2.29062

MRM091028	1.58392	1.89282	2.25652	2.11656
MRS091028	1.58240	1.98532	2.29062	2.12664
MSS090324	1.55079	2.09955	2.32186	2.07735
OMM091030	1.63107	1.92439	2.26623	2.06485
RBR091030	1.57500	1.95747	2.28289	1.96520
STS090923	1.66632	1.94862	2.33922	2.24579
TCB090930	1.86384	2.22697	2.39683	2.33139
TSS091027	1.67952	2.11235	2.29062	2.22241
VAC091027	1.55834	1.85277	2.29062	2.16368

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](#)