



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E BIOLOGIA CELULAR

LETÍCIA MIQUILINI DE ARRUDA FARIAS

**O EFEITO DO RUÍDO ESPACIAL DE COR SOBRE A DISCRIMINAÇÃO
LIMAR DE LUMINÂNCIA: INVESTIGAÇÃO BÁSICA E APLICADA EM
POPULAÇÕES EXPOSTAS AO MERCÚRIO**

BELÉM

2018

LETÍCIA MIQUILINI DE ARRUDA FARIAS

**O EFEITO DO RUÍDO ESPACIAL DE COR SOBRE A DISCRIMINAÇÃO
LIMIAR DE LUMINÂNCIA: INVESTIGAÇÃO BÁSICA E APLICADA EM
POPULAÇÕES EXPOSTAS AO MERCÚRIO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia Celular da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de doutora em Neurociências e Biologia Celular.
Área de concentração: Neurociências.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza.
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Izabel Tentes Côrtes

BELÉM

2018

LETÍCIA MIQUILINI DE ARRUDA FARIAS

**O EFEITO DO RUÍDO ESPACIAL DE COR SOBRE A DISCRIMINAÇÃO
LIMAR DE LUMINÂNCIA: INVESTIGAÇÃO BÁSICA E APLICADA EM
POPULAÇÕES EXPOSTAS AO MERCÚRIO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia Celular da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para a obtenção do título de doutora em Neurociências e Biologia Celular.
Área de concentração: Neurociências.

Data da avaliação: 22 de maio de 2018.

Comissão avaliadora:

Prof. Dr. Givago da Silva Souza – Orientador

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará.

Prof.^a Dr.^a Maria Izabel Tentes Côrtes - Coorientadora

Departamento de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Amapá.

Prof. Dr. Andrés Martín - Membro titular

Faculdade de Luminotecnica, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa – Membro titular

Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo.

Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart – Membro titular

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento, Universidade de São Paulo.

Prof. Dr. Anderson Manoel Herculano Oliveira da Silva – Membro titular

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará.

Prof.^a Dr.^a Karen Renata Matos Oliveira – Membro suplente

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará.

BELÉM

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular

ATA DE DEFESA DE TESE PARA O DOUTORADO



Programa: Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular

Área de concentração: Neurociências

Discente: Leticia Miquilini de Arruda Farias

Tema: "INTERAÇÃO ENTRE COR E LUMINÂNCIA SOB OS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA: INVESTIGAÇÃO BÁSICA E APLICAÇÃO EM EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO"

Data: 22 de maio de 2018, às 9h

Local: Sala 1 do Núcleo de Medicina Tropical/ NMT/ UFPA.

Após a discente 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 encerrados os trabalhos e esta ata foi assinada por todos os membros da comissão examinadora.

Prof. Dr. Givago da Silva Souza, UFPA.

(Presidente da banca examinadora e orientador, sem direito a voto).

Prof. Dr. Anderson Manoel Herculano Oliveira da Silva, UFPA.

(Membro Titular)

Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart, UFPA.

(Membro Titular)

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa, USP.

(Membro titular)

Prof. Dr. Andres Martin, UNT.

(Membro Titular)

Profa. Dra. Karen Renata Matos Oliveira, UFPA.

(Membro Suplente)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F224e Farias, Leticia Miquilini de Arruda
O efeito do ruído espacial de cor sobre a discriminação limiar de luminância: investigação básica e aplicada em populações expostas ao mercúrio / Leticia Miquilini de Arruda Farias. — 2018
138 f. : il. color
- Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia celular (PPGNBC), Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Givago da Silva Souza
Coorientação: Profa. Dra. Maria Izabel Tentes Côrtes .
1. Interação de cor e luminância. 2. Estímulos pseudoisocromáticos. 3. Imagens naturais. 4. Psicofísica visual. 5. Exposição ao mercúrio. I. Souza, Givago da Silva, *orient.* II. Título
-

À Analice, João Tomé, Camila, Lucas,
João, David, Giovanna, Ana Clara, Givago
e Zeus.

AGRADECIMENTOS

A Deus, força natural ou divina que me auxiliou e me deu suporte nesta jornada.

A minha família por ser o meu porto seguro, por me acalantar em meus momentos de angústias e vibrar em meus momentos de alegrias e sucessos.

Ao Prof. Dr. Givago da Silva Souza pela orientação, paciência exigida, compreensão, dedicação a ciência, parceria e companheirismo. Desde a época de iniciação científica durante a graduação, a sua admiração e paixão pela ciência me inspiraram a seguir esta jornada.

A Prof.^a Dr.^a Maria Izabel Tentes Cortes pela orientação, amizade, ajuda, esforço e coragem.

A equipe do projeto Pró-Amazônia por ter proporcionado a oportunidade de desvendar uma realidade amazônica não conhecida, a qual foi engrandecedora para a minha formação pessoal e profissional.

Ao Laboratório de Toxicologia Humana e Ambiental do Núcleo de Medicina Tropical, coordenado pela Prof.^a Dr.^a Maria da Conceição Nascimento Pinheiro, por ter proporcionado as medidas de mercúrio do grupo amostral desta tese.

Ao Laboratório da Visão da Universidade de São Paulo, coordenado pela Prof.^a Dr.^a Dora Fix Ventura, por ter feito a análise genotípica do grupo amostral desta tese.

Ao Laboratório de Neurologia Tropical pela parceria e contribuição para a minha formação pessoal e profissional desde 2011.

Aos amigos e voluntários que participaram dos experimentos desta tese, principalmente a Patrícia Seixas, Luana Alves, Jaciney Cunha, Terezinha Loureiro, Bruna Sousa, Ramon Lisboa, Leonardo Miranda, Thiago Cunha, Yuri Campos, Apio Dias e Carolina Paranhos que aceitaram participar dos testes sem pestanejar.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro através do projeto Pró-Amazônia.

Ao CNPq pelo apoio financeiro através do projeto Universal (# 431748/2016-0).

Muito obrigada a todos que ajudaram de forma direta ou indireta na realização desta tese. Sou eternamente grata.

*Sou um guardador de rebanhos.
O rebanho é os meus pensamentos
E os meus pensamentos são todos sensações.
Penso com os olhos e com os ouvidos
E com as mãos e os pés
E com o nariz e a boca.*

*Pensar uma flor é vê-la e cheirá-la
E comer um fruto é saber-lhe o sentido.*

*Por isso quando num dia de calor
Me sinto triste de gozá-lo tanto,
E me deito ao comprido na erva,
E fecho os olhos quentes,*

*Sinto todo o meu corpo deitado na realidade,
Sei a verdade e sou feliz.*

Alberto Caeiro

RESUMO

As imagens naturais são um conjunto complexo de padrões de contraste de cor e de luminância que quando combinados na cena visual ajudam a criar a discriminação de objetos em relação ao ambiente visual ao seu redor. Diversas propostas têm sido feitas para estudar como o sistema visual processa estímulos que combinam contrastes de cor e luminância. Esta tese tem como proposta principal apresentar um novo estímulo para ser usado em tarefas de discriminação de luminância sob o mascaramento de um ruído de cor. Sendo assim, cinco experimentos foram executados utilizando como foco principal esse novo paradigma com o intuito de explorar questões básicas e aplicadas de seu uso. O estudo 1 investigou o efeito da saturação do ruído de cor sobre a discriminação limiar do contraste de luminância. O estudo 2 investigou como o arranjo de mosaico contribuiu para os valores de contraste limiares de luminância sob o mascaramento do ruído de cor. O estudo 3 investigou a influência do conteúdo cromático do ruído espacial de cor sobre a discriminação limiar de luminância. O estudo 4 investigou a influência da polaridade do contraste de luminância sob o mascaramento do ruído espacial de cor sobre os contrastes limiares estimados. O estudo 5 comparou os valores de contrastes limiares de luminância sob o mascaramento de cor em duas populações ribeirinhas de diferentes bacias hidrográficas da Amazônia paraense e sob diferentes níveis de exposição alimentar ao mercúrio. O principal achado desta tese foi que os contrastes limiares de luminância variaram em função do comprimento do vetor do ruído espacial cromático. Quanto mais elevado fosse o comprimento do vetor do ruído espacial cromático, maior seria o contraste limiar de luminância. O contraste limiar estimado pelo estímulo sem mosaico exibiu valores significativamente menores que os estimados com estímulos com mosaico ($p < 0,01$). Não foi observada diferença estatística entre os contrastes limiares estimadas em torno das cinco cromaticidades de referência nas distintas condições de saturação ($p >$

0,05). Os contrastes limiares de luminância estimados no protocolo de decremento de luminância foram significativamente menores em todos os níveis de saturação quando comparados aos estimados por meio do protocolo de incremento de luminância ($p < 0,05$). Não há diferença estatística entre os limiares de discriminação de luminância estimados entre as comunidades ribeirinhas que foram diferentemente expostas ao mercúrio ($p > 0,05$). Os contrastes limiares de luminância estimados através do novo estímulo, descrito nesta tese, foram influenciados pelo ruído espacial cromático, ruído espacial de tamanho, e pela polaridade do contraste de luminância do estímulo. No entanto, as distintas composições do ruído espacial cromático não exibiram nenhuma influência sobre a discriminação de luminância. A presença de uma ou mais vias visuais sensíveis a cores e à luminância pode ser o substrato fisiológico do mecanismo que está subjacente à percepção de contraste de luminância desse novo estímulo.

Palavras-chave: Interação de cor e luminância; Estímulos pseudoisocromáticos; Contraste limiar de luminância; Visão de cores; Imagens naturais; Psicofísica visual; Exposição ao mercúrio.

ABSTRACT

Natural images are a complex set of color and luminance contrast that when combined in visual scene helps to create the discrimination of objects from the surrounding visual environment. A series of neural streams transmits the color and luminance information from the retina to the higher cortical centers. Several proposals have been made to study how the visual system processes the stimuli that combining color and luminance contrasts. This thesis has as main proposal to introduce a new stimulus to be used luminance discrimination task under chromatic noise masking. Thus, five experiments were carried out with focus this new paradigm to explore basic and applied questions about its use. Study 1 investigated the effect of color noise saturation on the threshold discrimination of luminance contrast. Study 2 investigated how the mosaic arrangement contributed to the contrast values of luminance contrast thresholds under the chromatic noise masking. Study 3 investigated the influence of the color content of the noise on the threshold discrimination of the luminance contrast. Study 4 investigated the influence of the polarity of the luminance contrast under the chromatic noise masking on the estimated threshold contrasts. Study 5 compared the values of threshold luminance contrasts under chromatic noise masking of two riverine populations of different Amazonian regions of the Pará State and exposed to different levels of mercury by feeding. The main finding of this thesis was that the luminance contrast thresholds varied as a function of the vector length of the chromatic noise values. The higher chromatic noise length, the higher luminance contrast threshold. The contrast threshold estimated by the non-mosaic stimulus exhibited significantly lower values than those estimated with mosaic stimuli ($p < 0.01$). No statistical difference was observed between the contrasts threshold estimated around the five reference chromaticities at different saturation conditions ($p > 0.05$). The luminance contrasts thresholds estimated in the luminance decrement protocol were

significantly lower at all saturation levels than those estimated using the luminance increase protocol ($p < 0.05$). There is no statistical difference between the thresholds of estimated luminance discrimination among riverine communities that were differently exposed to mercury ($p > 0.05$). The luminance contrast threshold estimated by the new stimulus, described in this thesis, were influenced by chromatic and spatial noise, and by the polarity of the stimulus of luminance contrast. However, the different chromatic noise compositions did not exhibit any influence on the luminance discrimination. The presence of one or more color-sensitive visual pathways and luminance may be the physiological substrate of the mechanism underlying the luminance contrast perception of this new stimulus.

Keywords: Color and luminance interaction; Pseudoisochromic stimuli; Luminance contrast threshold; Color vision, Natural images; Visual psychophysics; Mercury exposure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Imagens naturais com domínio de contraste de cor ou de luminância.	24
Figura 2	Curvas de sensibilidade espectral dos fotorreceptores cones da retina de humanos.	25
Figura 3	Representação esquemática dos tipos celulares da retina de mamíferos.	28
Figura 4	Circuito esquemático das vias ON e OFF na retina de mamíferos.	29
Figura 5	Vias retinogeniculoestriatas do sistema visual.	30
Figura 6	Exemplos de estímulos pseudoisocromáticos utilizados na literatura científica.	34
Figura 7	Exemplos de estímulos exibidos no teste Freiburg Visual Acuity Test.	46
Figura 8	Teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara.	48
Figura 9	Estímulo do teste de discriminação de luminância mascarado por ruído espacial de cor.	52
Figura 10	Cromaticidade de referência utilizadas no ruído espacial cromático no diagrama de cromaticidade da CIE 1976 com saturação de 0,06 unidades.	53
Figura 11	Estímulos utilizados no estudo 1.	54
Figura 12	Exemplos dos estímulos com diferentes contrastes de Weber entre as luminâncias do alvo e do campo de fundo.	56
Figura 13	Estímulo utilizado no estudo 2.	58
Figura 14	Estímulos utilizados no estudo 3.	60
Figura 15	Estímulos utilizados no estudo 4.	62
Figura 16	Mapa do Brasil indicando com marcadores as localizações das comunidades estudadas nas bacias do rio Tapajós e do Rio Tocantins.	68

- Figura 17** Estímulos apresentados nos testes de discriminação de cor e 71
luminância.
- Figura 18** Cromaticidades utilizadas no teste de discriminação de cor no 72
diagrama de cor da CIE 1976 com saturação de 0,06 unidades.
- Figura 19** Média do contraste limiar de luminância ($n = 40$) como uma função do 77
comprimento do vetor do ruído espacial cromático.
- Figura 20** Comparação dos contrastes limiares em função do comprimento do 78
ruído espacial cromático obtido em três sessões consecutivas (círculos
brancos, primeira sessão, círculos negros, segunda sessão, círculos
vermelhos, terceira sessão).
- Figura 21** Comparação dos contrastes limiares de luminância obtidos usando 81
estímulos com mosaico (barras cinza) e estímulo sem mosaico (barra
branca).
- Figura 22** Comparação do contraste limiar estimado usando cinco mosaicos com 82
diferentes composições cromáticas ($n = 7$).
- Figura 23** Comparação do contraste limiar de luminância ($n = 7$) estimados a 83
partir de estímulos apresentados em LCD (barras brancas) e CRT
(barras pretas) e ruído espacial cromático gerados ao redor C2.
- Figura 24** Contraste limiar de luminância em função do comprimento do vetor 86
do ruído espacial cromático para os protocolos de contraste com
polaridade positiva e negativa.
- Figura 25** Contraste limiar de luminância médio em função do comprimento do 87
vetor do ruído espacial cromático para os protocolos de contraste com
polaridade positiva (CP) e negativa (CN).

Figura 26 Média da razão entre o contraste limiar de luminância em função do 88 comprimento do vetor do ruído espacial cromático estimados através dos protocolos de contraste com polaridade positiva (CP) e negativa (CN).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Coordenadas das cromaticidade utilizadas no ruído espacial cromático no espaço de cor da CIE 1976 para cada uma das condições de saturação aplicadas neste estudo	55
Tabela 2	Valores de p da análise de variância comparando o contraste limiar de luminância obtido usando estímulos com diferentes comprimentos dos vetores do ruído espacial cromático apresentados em LCD (10 subgrupos escolhidos aleatoriamente com 7 observadores) e CRT (7 observadores).	84
Tabela 3	Estatística descritiva dos valores de contraste limiar de luminância estimados em cinco diferentes saturações nos protocolos (i) e (ii).	85
Tabela 4	Característica etária e de concentração de mercúrio total no cabelo das comunidades ribeirinhas dos Rios Tocantins e Tapajós.	90
Tabela 5	Distribuição da amostra em relação à frequência semanal de consumo de peixe das comunidades das bacias hidrográficas estudadas na presente tese.	92
Tabela 6	Estatística descritiva da discriminação de cores sobre os eixos de confusão de cores para os participantes residentes na bacia do Rio Tocantins.	93
Tabela 7	Estatística descritiva da discriminação de cores sobre os eixos de confusão de cores para os participantes residentes na bacia do Rio Tapajós.	94
Tabela 8	Estatística descritiva dos valores de discriminação limiar de luminância obtidos das populações ribeirinhas do Rio Tocantins e Rio Tapajós.	95

LISTA DE ABREVIATURAS

[Hg]	Concentração de mercúrio
ANOVA	Análise de variância
AMPA	α -amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazolepropionic acid
Best PEST	Best Parameter Estimation by Sequential Testing
cd/m ²	Candela por metro quadrado
Células K	Células Koniocelulares
Células M	Células Magnocelulares
Células P	Células Parvocelulares
CRT	Cathode Ray Tube
CW	Contraste de Weber
DNA	Deoxyribonucleic acid
FAT	<i>Freiburg Visual Acuity Test</i>
FrACT	<i>Freiburg Vision Test</i>
Hg	Mercúrio
L	Long-wavelength
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
M	Medium-wavelength
MeHg	Metil-mercúrio
mGluR6	Metabotropic glutamate receptor 6
MST	Temporal médio superior
MT	Médio-temporal
N	Tamanho amostral
NGL	Núcleo Geniculado Lateral

S	Short-wavelength
V1	Córtex visual primário
V2	Córtex visual secundário
V3	Córtex visual terciário
V4	Córtex visual quaternário
V5	Córtex visual quinário
Vias K	Vias Koniocelulares
Vias M	Vias Magnocelulares
Vias P	Vias Parvocelulares

SUMÁRIO

	DEDICATÓRIA	Iv
	AGRADECIMENTOS	V
	EPÍGRAFE	Vii
	RESUMO	Viii
	ABSTRACT	X
	LISTA DE FIGURAS	Xii
	LISTA DE TABELAS	Xv
	LISTA DE ABREVIATURAS	Xvi
1.	INTRODUÇÃO	22
1.1.	ESTUDOS PSICOFÍSICOS COM ESTÍMULOS QUE MISTURAM AS INFORMAÇÕES DE CONTRASTE DE COR E DE LUMINÂNCIA	31
1.2.	PROPOSTA DE UM NOVO DESIGN PARA AVALIAR A INTERAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE COR E LUMINÂNCIA	33
1.3.	APLICAÇÃO DE ESTÍMULOS QUE INTERAGEM COR E LUMINÂNCIA PARA AVALIAR A DISCRIMINAÇÃO DE COR E LUMINÂNCIA EM SUJEITOS EXPOSTOS AMBIENTALMENTE AO MERCÚRIO	35
2.	OBJETIVOS	41
2.1.	OBJETIVO GERAL	41
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	41
3.	MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1.	ESTUDO 1 – INVESTIGAÇÃO DA DISCRIMINAÇÃO LIMAR DE LUMINÂNCIA SOB MASCAREMENTO CROMÁTICO: EFEITOS DA SATURAÇÃO DE COR DO RUÍDO	43

3.1.1.	Testes de triagem	44
3.1.1.1.	Acuidade visual	44
3.1.1.2.	Teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara	47
3.1.2.	Teste de discriminação de luminância mascarado por ruído espacial de cor	49
3.2.	ESTUDO 2 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL DE TAMANHO SOB O CONTRASTE LIMIAR DE LUMINÂNCIA	57
3.3.	ESTUDO 3 – INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO CROMÁTICA DO ESTÍMULO NO CONTRASTE LIMIAR DE LUMINÂNCIA	59
3.4.	ESTUDO 4 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL CROMÁTICO NOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA PARA CONTRASTES COM POLARIDADE POSITIVA E NEGATIVA ENTRE O ALVO E O FUNDO DO ESTÍMULO	61
3.5.	ESTUDO 5 – COMPARAÇÃO DOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR E DE LUMINÂNCIA EM DUAS POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DIFERENTEMENTE EXPOSTAS AO MERCÚRIO	63
3.5.1.	Áreas de estudo	65
3.5.2.	Análise genotípica da visão de cores	66
3.5.3.	Quantificação do mercúrio	66
3.5.4.	Avaliação da frequência de consumo semanal de peixes	67
3.5.5.	Testes de discriminação de cor e luminância	69
3.6.	ANÁLISE DE DADOS	73
4.	RESULTADOS	76

4.1.	ESTUDO 1 – INVESTIGAÇÃO DA DISCRIMINAÇÃO LIMAR DE LUMINÂNCIA SOB MASCAREMENTO CROMÁTICO: EFEITOS DA SATURAÇÃO DE COR DO RUÍDO	76
4.2.	ESTUDO 2 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL DE TAMANHO SOB O CONTRASTE LIMAR DE LUMINÂNCIA	79
4.3.	ESTUDO 3 – INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO CROMÁTICA DO ESTÍMULO NO CONTRASTE LIMAR DE LUMINÂNCIA	79
4.3.1.	Comparação dos limiares de contraste de luminância estimados usando a tela de cristal líquido (LCD) e o tubo de raio catódico (CRT)	79
4.4.	ESTUDO 4 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL CROMÁTICO NOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA PARA CONTRASTES COM POLARIDADE POSITIVA E NEGATIVA ENTRE O ALVO E O FUNDO DO ESTÍMULO	85
4.5.	ESTUDO 5 – COMPARAÇÃO DOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR E DE LUMINÂNCIA EM DUAS POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DIFERENTEMENTE EXPOSTAS AO MERCÚRIO	89
5.	DISCUSSÃO	96
5.1.	EFEITOS DOS RUÍDOS ESPACIAIS DE COR E DE TAMANHO SOBRE A DISCRIMINAÇÃO LIMAR DE LUMINÂNCIA	96
5.2.	EFEITO DO USO DE CONTRASTE DE LUMINÂNCIA POSITIVO E NEGATIVO NO ESTÍMULO NA DISCRIMINAÇÃO LIMAR DE LUMINÂNCIA	102

5.3.	INVESTIGAÇÃO DE DISCRIMINAÇÃO LIMAR DE COR E LUMINÂNCIA USANDO ESTÍMULOS VARIEGADOS EM POPULAÇÕES RIBEIRINHAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	104
6.	CONCLUSÃO	108
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
	ANEXO I	120
	ANEXO II	121
	ANEXO III	122
	APÊNDICE I	123

1. INTRODUÇÃO

As imagens naturais são compostas por diferentes combinações de cor e luminância, as quais ajudam a construir a nossa experiência visual (DiCarlo et al., 2012). As informações de cor e luminância são dois atributos dentre vários outros (textura, disparidade binocular, movimento) da cena visual que permitem distinguir um objeto do mundo ao redor (Regan, 2000). A **Figura 1** mostra dois exemplos de imagens naturais, nos quais os objetos se distinguem do restante da imagem principalmente pela diferença de cor ou de luminância. A **Figura 1**, em sua linha superior, mostra um arranjo de flores que pode ser visto em sua versão colorida e em tons de cinza. Nestas figuras, destaca-se que a discriminação das flores amarelas e brancas (indicadas pelas setas) é muito menor na versão em tons de cinza que na versão em cores. O mesmo não acontece na linha inferior da **Figura 1**, que mostra um conjunto de flores violetas sobre um arbusto de folhas verdes. Seja na versão colorida ou na versão em tons de cinza, as flores são discriminadas do fundo ao redor, indicando que a informação de luminância contribui significativamente para a diferenciação de fundo e de alvo na imagem.

Ambas as informações de cor e luminância, assim como tudo no sistema visual, tem sua codificação visual iniciada na absorção da luz na camada de fotorreceptores na retina. Nos seres humanos, a presença de três fotorreceptores do tipo cones, com diferentes sensibilidades espectrais, forma a base matricial de informações que alimentarão as vias ON e OFF nos próximos estágios sinápticos (células bipolares e ganglionares) e que serão usadas para construir as dimensões de cor e luminância ao longo de diferentes vias do processamento neural do sistema visual. As curvas de sensibilidade espectral dos três diferentes cones são mostradas na **Figura 2**. Devido às diferentes sensibilidades espectrais, os fotorreceptores do tipo cones são caracterizados como cones

sensíveis a comprimentos de onda curtos (cones S), médios (cones M) e longos (cones L) (Bowmaker & Dartnall, 1980, Jacobs, 1996).

A informação advinda dos cones alimenta diferentes tipos de neurônios pós-receptorais (**Figura 3**). As células bipolares apresentam uma divisão principal na qual é possível as distinguir em dois grandes grupos celulares: células ON e OFF (Werblin & Dowling, 1969). Dentre as várias diferenças existentes entre as células bipolares ON e OFF, nota-se que as células bipolares podem apresentar diferentes tipos de receptores de glutamato, podem apresentar diferente tipo de resposta frente à estimulação dos fotorreceptores e a projetar seus axônios a diferentes profundidades na lâmina da camada plexiforme interna (Euler et al., 2014). As células bipolares do tipo ON apresentam um receptor metabotrópico de glutamato (mGluR6) que ao reconhecer o neurotransmissor ativa uma proteína G, a qual suprime uma contínua corrente de cátions através do fechamento do canal por interação direta da proteína G e o canal de cátions ou por uma via indireta modulada pelo cálcio intracelular (Hille, 1994, Nawy, 2000, Demb & Singer, 2015). Na presença da luz, estes receptores são ativados com menor frequência e as correntes catiônicas permanecem maior tempo na célula bipolar, mantendo-a despolarizada. As células bipolares OFF expressam receptores do tipo AMPA/Kainato associados a um canal iônico, os quais na presença da luz são menos frequentemente ativados e mantêm o canal iônico mais tempo fechado, conservando o sinal hiperpolarizante vindo dos fotorreceptores (Demb & Singer, 2015). As células bipolares OFF projetam seus terminais sinápticos para as camadas mais superficiais da camada plexiforme interna da retina, enquanto as células bipolares ON emitem terminais sinápticos para as camadas mais profundas da camada plexiforme interna retiniana (Euler et al. 2014). A **Figura 4** mostra um esquema de um corte transversal da retina destacando as destacando algumas diferenças entre os dois tipos de células bipolares.

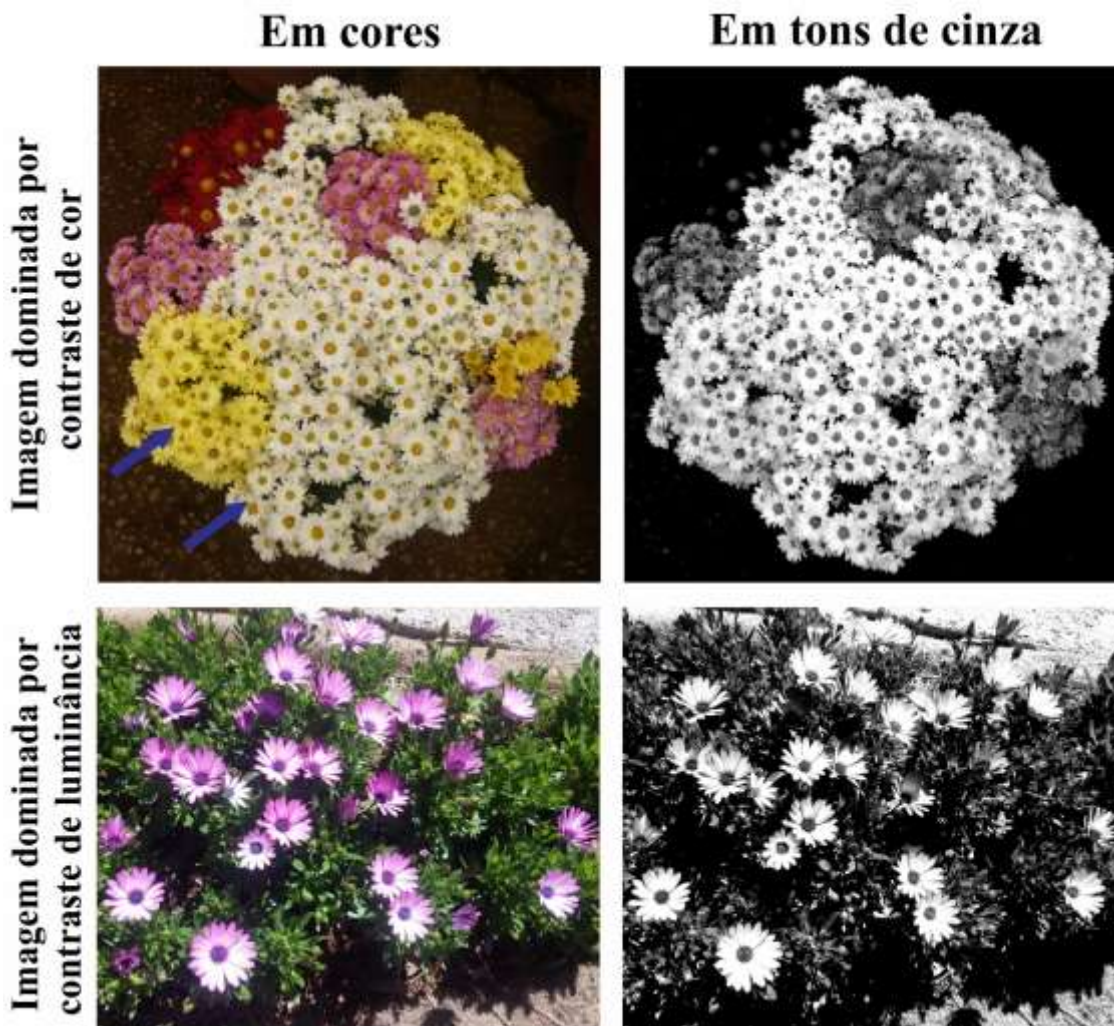


Figura 1. Imagens naturais com domínio de contraste de cor ou de luminância. Na linha superior as flores amarelas se diferenciam das cores brancas principalmente pela cromaticidade, visto que na mesma imagem em tons de cinza se torna muito difícil identificar a separação entre as mesmas. Na linha inferior, as flores violetas se destacam das folhas de fundo, seja na versão colorida seja na versão em tons de cinza, indicando que o contraste de luminância contribui grandemente para a discriminação do objeto alvo (flor violeta). Fonte: Acervo pessoal do autor.

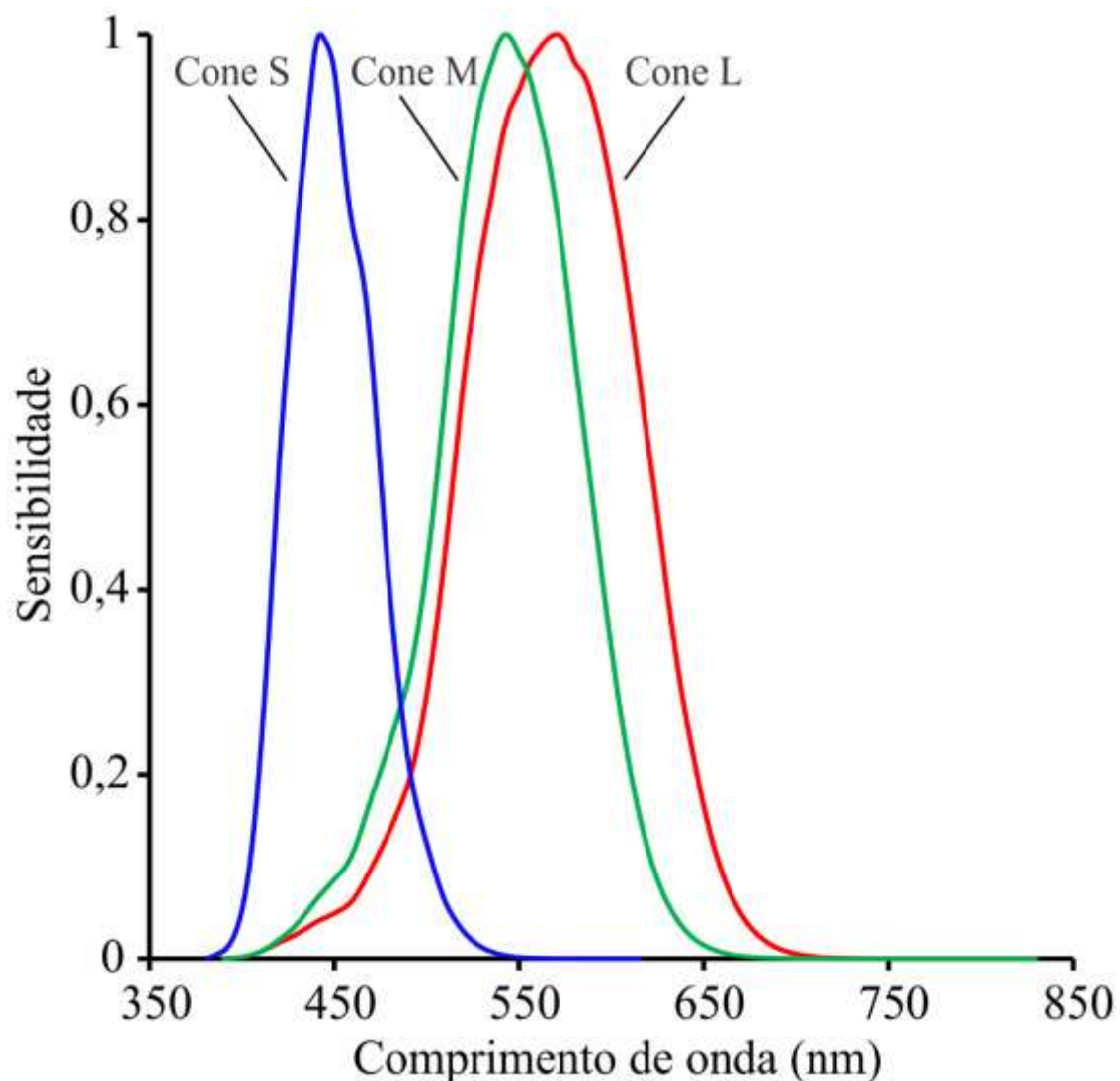


Figura 2. Curvas de sensibilidade espectral dos fotorreceptores do tipo cones da retina de humanos. Os cones S apresentam maior sensibilidade a comprimentos de onda curtos (linha azul), os cones M apresentam maior sensibilidade a comprimentos de onda médios (linha verde) e os cones L apresentam maior sensibilidade a comprimentos de onda longos (linha vermelha). A sensibilidade representa a recíproca da mínima energia necessário para que um fóton de um determinado comprimento de onda seja absorvido pelo fotorreceptor. Fonte: Adaptado de Bowmaker & Dartnall, 1980.

Os sinais das células bipolares ON e OFF por sua vez formam as informações de entrada das células ganglionares retinianas. Há várias assimetrias funcionais e anatômicas descritas entre as vias ON e OFF ao longo do sistema visual, entre elas estão as diferenças na percepção e detecção de estímulos com aumento ou diminuição de luminância em relação ao fundo (Bowen et al., 1989; Kremers et al., 1993), diferença no tamanho de campos receptivos (Peichl et al., 1987; Dacey & Petersen, 1992, Chichilnisky & Kalmar, 2002), velocidade e linearidade da resposta (Chichilnisky & Kalmar, 2002).

Há diversos tipos de células ganglionares retinianas, que compartilham características como a presença do corpo celular na camada de células ganglionares que emitem terminação dendrítica para a camada plexiforme interna e emissão de axônios através do nervo óptico (Sanes & Masland, 2015). O contraste de cor e luminância de uma imagem é modulado pela atividade de, pelo menos, três grupos de células ganglionares: células M, P e K (Lee, 2011, Lee & Sun, 2011, Lee et al., 2011). As células M tem alta sensibilidade ao contraste de luminância e baixa sensibilidade ao contraste cromático (Dreher et al., 1976, de Monasterio, 1978 a, b, Creutzfeldt et al., 1979, Perry et al., 1984, Lee et al., 1989 a,b,c, Lee, 2011, Lee et al., 2011). As células P tem alta sensibilidade ao contraste verde-vermelho e baixa sensibilidade ao contraste de luminância (Dreher et al., 1976, de Monasterio, 1978 a, b, Creutzfeldt et al., 1979, Perry et al., 1984, Lee et al., 1989 a,b, Lee, 2011, Lee et al., 2011). As células ganglionares biestratificadas pequenas (células K) tem alta sensibilidade ao contraste azul-amarelo e tem pequena ou nenhuma resposta ao contraste de luminância (Dacey & Lee, 1994, Lee et al., 2011). Os sinais de contraste a cor e luminância são transmitidos da retina ao núcleo geniculado lateral (NGL) e em seguida, ao córtex visual primário (V1) através das vias paralelas M, P e K, respectivamente (Dacey, 2000, Hendry & Reid, 2000, Nassi & Callaway, 2009). A **Figura 5** mostra um esquema das vias que transmitem as informações

de cor e de luminância. Em V1, as células recebem conexões das vias M, P e K. Entretanto, ainda não está claro o peso das conexões destas vias com as células corticais (Hubel & Wiesel, 1968, Chatterjee & Callaway, 2003, Shapley & Hawken, 2011). Também não está claro se os contrastes de cor e luminância interagem para modular as respostas corticais dentro de V1, apesar das evidências sugerirem que em V1 já existe considerável interação entre as vias de cor e de luminância (Johnson et al., 2001, Li et al., 2015, Xing et al., 2015). Johnson et al. (2001) e Li et al. (2015) observaram que neurônios em V1 respondiam preferencialmente ou para o contraste de luminância, ou para o contraste de cor ou mesmo respondiam similarmente para ambos os contrastes.

Após V1, as informações de cor e luminância seguem diferentes caminhos, sendo que em pelo menos duas áreas, ainda é possível identificar segregação das duas informações. Na área médio-temporal (MT ou também chamada de V5) há uma grande quantidade de neurônios seletivos à direção do movimento do estímulo, os quais tem sua atividade principalmente modulada pela presença do contraste de luminância mais que do contraste de cor (Zeki, 1980; Shipp & Zeki, 1985; Gegenfurtner et al., 1994). A informação de cor é adicionalmente processada na área V4 (Van Essen & Zeki, 1978; Zeki, 1983). Há um entendimento da existência de duas principais vias de processamento além de V1, denominadas vias ventral e dorsal (Ungerleider & Mishkin, 1982). A via ventral inclui as áreas V2, V4 e o córtex inferotemporal e é pensado estar envolvida no processamento de forma, tamanho e cor. A via dorsal é formada pelas áreas V3, MT e área temporal médio superior (MST) e deve estar envolvida com a análise primária da localização dos objetos no ambiente e sua movimentação nele.

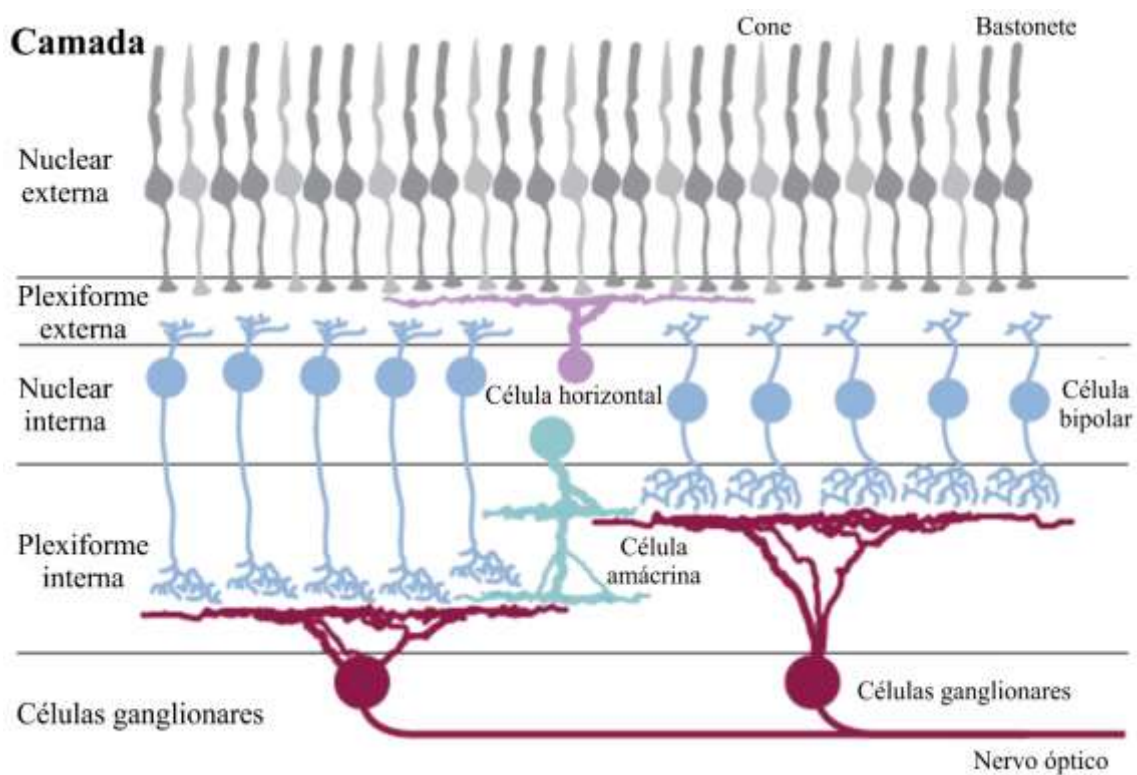


Figura 3. Representação esquemática dos tipos celulares da retina de mamíferos. Os fotorreceptores absorvem os fótons e convertem a informação luminosa em um sinal neural eletroquímico. Esse sinal é transmitido ao longo de um circuito de neurônios (células bipolares, horizontais, amácrinas e ganglionares). O sinal de informação de saída da retina ocorre no nervo óptico em direção a centros superiores do sistema nervoso central. Fonte: Figura modificada de Dhande et al., 2015.

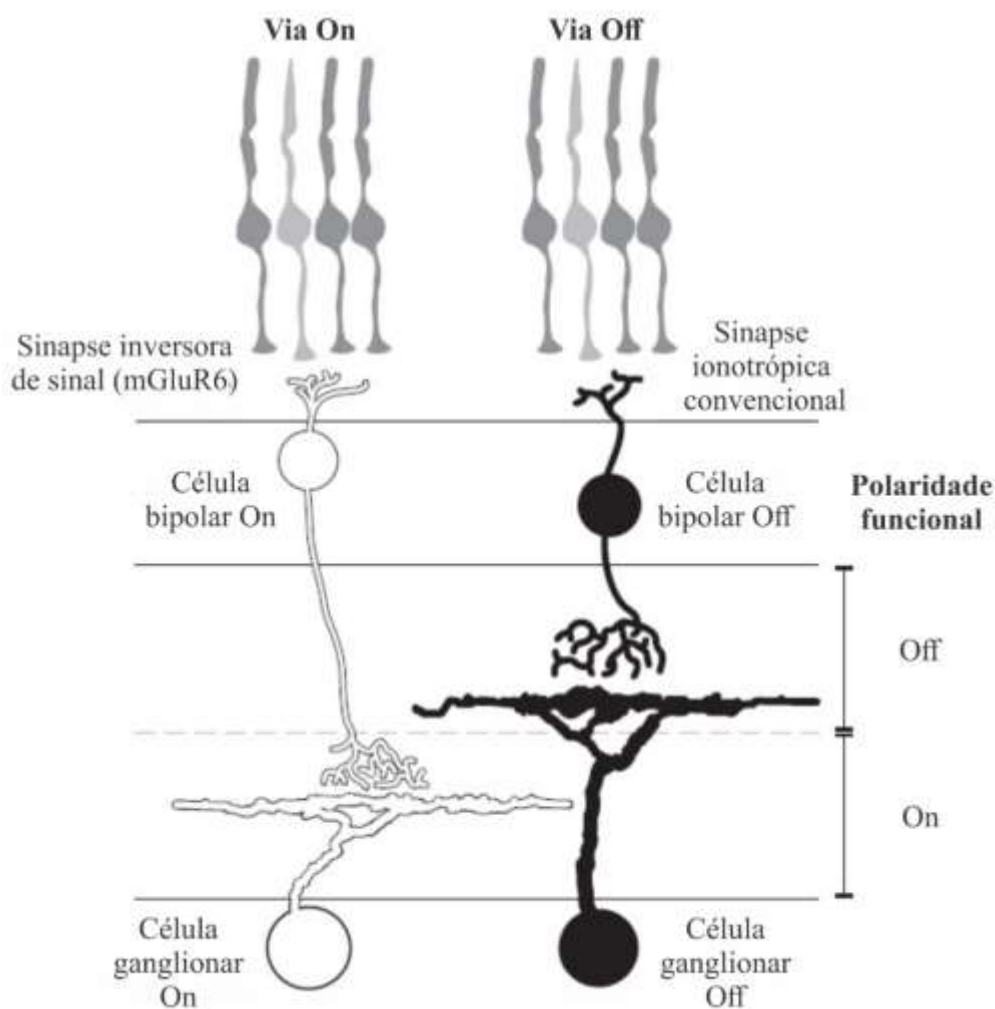


Figura 4. Circuito esquemático das vias ON e OFF na retina de mamíferos. O sinal hiperpolarizante gerado após a absorção do fóton pelos fotorreceptores diminui a liberação de glutamato na sinapse com as células bipolares. As células bipolares podem apresentar dois tipos de receptores glutamatérgicos. As células bipolares ON apresentam receptores metabotrópicos (mGLUR6) que se conectam a canais iônicos de cátions. Na diminuição de neurotransmissor, o sinal dos receptores mGLUR6 não geram sinal suficiente para abrir os canais catiônicos, prendendo potássio e levando à despolarização da célula. As células bipolares OFF apresentam receptores ionotrópicos AMPA/Kainato. Com a diminuição de neurotransmissor na presença da luz, os canais (receptores) não se abrem e é mantido um sinal hiperpolarizante na célula. Fonte: Figura modificada de Dhande et al., 2015.

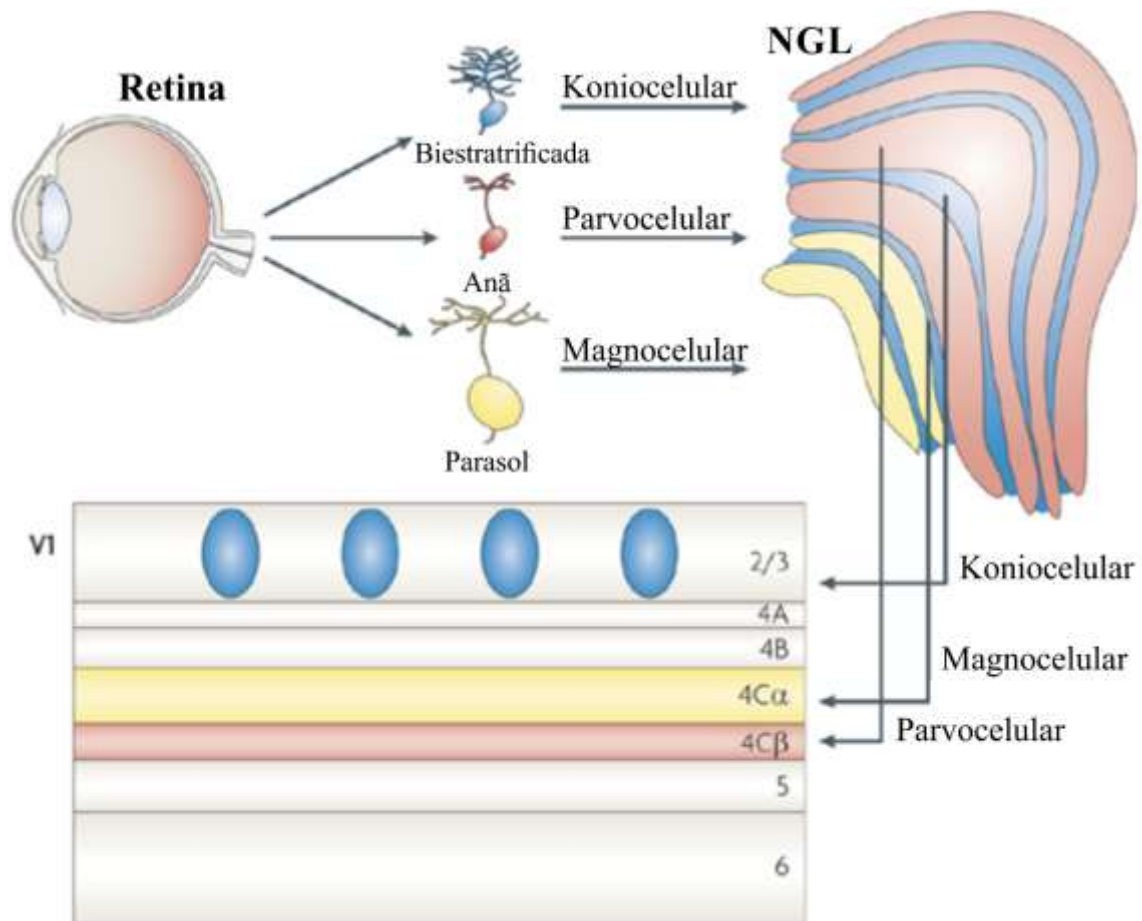


Figura 5. Vias retinogeniculoestriatas do sistema visual. A informação visual é processada por uma série de feixes nervosos de forma segregada e paralela entre a retina e o córtex visual primário (V1). Há pelo menos três bem definidas vias independentes que transmitem a informação visual da retina para o núcleo geniculado lateral e daí para V1: via Magnocelular (ou via M), via Parvocelular (ou via P) e via Koniocelular (ou via K). Fonte: Figura modificada de Nassi & Callaway, 2009.

1.1. ESTUDOS PSICOFÍSICOS COM ESTÍMULOS QUE MISTURAM AS INFORMAÇÕES DE CONTRASTE DE COR E DE LUMINÂNCIA

Diversos estudos têm relatado como o sistema visual detecta estímulos com contrastes de cor e luminância aplicados simultaneamente (Mullen, 1985, Switkes et al., 1988, Cooper et al., 2012, Souza et al., 2014, Li et al., 2015, Cormenzana Méndez et al., 2016). Os resultados têm mostrado que os canais de cor e luminância não são totalmente independentes e que cada um pode influenciar no funcionamento do outro.

Mullen (1985) estimou a sensibilidade ao contraste de redes senoidais cromáticas somadas a redes senoidais com diferentes contrastes de luminância. Foi observado que a sensibilidade ao contraste cromática variava de acordo com o contraste de luminância utilizado, sendo maior quando o contraste de cor era associado ao alto contraste de luminância e foi mínima nas condições nas quais o contraste de cor era associado ao baixo contraste de luminância.

Switkes et al. (1988) estimaram limiares de luminância sob mascaramento de contraste de cor e limiares de discriminação de cor sob mascaramento de contraste de luminância. Foi observado que os contrastes limiares de cor foram menores quando mascarados por altos a médios contrastes de luminância, enquanto os limiares de luminância foram menores quando mascarados por baixos e médios contrastes de cores, em mascaramento com baixo contraste de cor não houve modificação dos contrastes limiares de luminância e em mascaramento com alto contraste de cor houve aumento do contraste de luminância.

Cooper et al. (2012) estimaram a função de sensibilidade ao contraste de estímulos com contraste cromático isoluminante, contraste de luminância e contraste composto (mistura de contraste de cor e luminância). Eles observaram que a sensibilidade ao

contraste estimada com o estímulo composto acompanhava o mecanismo, de cor ou luminância, que fosse mais sensível em uma determinada frequência espacial.

Estímulos pseudoisocromáticos são constituídos por diferentes composições de contraste de cor e luminância (Mollon, 2003). O desenho do estímulo é formado por um mosaico de círculos com diferentes tamanhos e luminâncias distribuídas aleatoriamente. O alvo destaca-se perceptualmente do mosaico de fundo pela diferença de cromaticidade entre eles (Regan et al., 1994). Estímulos pseudoisocromáticos são amplamente utilizados na investigação da visão de cores. Exemplos de diferentes estímulos pseudoisocromáticos são mostrados na **Figura 6**.

Testes que usam estímulos pseudoisocromáticos têm o contraste cromático incorporado ao ruído espacial¹ de tamanho e luminância, e o sujeito tem como tarefa a indicação de algum atributo cromático do alvo ou do próprio alvo (Mollon & Reffin, 1989, Regan et al., 1994, Mancuso et al., 2006, Goulart et al., 2008, Mancuso et al., 2009, Paramei, 2012, Souza et al., 2014, Cormenzana Méndez et al., 2016).

O grupo de pesquisa do Laboratório de Neurologia Tropical da Universidade Federal do Pará tem descrito achados que investigam as interações entre cor e luminância dentro dos estímulos pseudoisocromáticos e como elas podem influenciar nas tarefas de discriminação de cor. Souza et al. (2014) relataram que a discriminação de cores é baixa quando o estímulo tem menores níveis de luminância no ruído de luminância, e a discriminação de cores fica melhor quando os níveis de luminância aumentam. Cormenzana Méndez et al. (2016) observaram que os limiares de discriminação cromática e o tempo de reação são dependentes na relação entre a luminância média do mosaico e a

¹O uso da terminologia “espacial” nos termos “ruído espacial de tamanho” e “ruído espacial de cor” expressa a distribuição do atributo relativo ao ruído em relação ao espaço que este ocupa. Por exemplo, o ruído espacial de tamanho refere-se ao atributo “tamanho” dos círculos componentes do mosaico distribuídos aleatoriamente no espaço do estímulo.

faixa de ruído de luminância. Eles observaram que o aumento do contraste de luminância entre os valores limítrofes do ruído de luminância dificultava a tarefa de discriminação de cores do sujeito. Fundamentalmente, os estudos de Souza et al. (2014) e Cormenzana Méndez et al. (2016) mostraram que a discriminação de cores é dependente dos parâmetros do ruído de luminância, o qual se modificado pode tornar o teste mais fácil ou mais difícil. Linhares et al. (2016) avaliaram que o ruído de luminância dinâmico no estímulo pseudoisocromático não interferia a discriminação de cor de sujeitos tricromatas normais, no entanto melhorava a discriminação de cor de sujeitos com tricromacia anômala.

1.2. PROPOSTA DE UM NOVO DESIGN PARA AVALIAR A INTERAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DE COR E LUMINÂNCIA

A lógica por trás dos estímulos pseudoisocromáticos baseia-se na ideia de que a identificação de um estímulo sólido com cor contra a cor do fundo é auxiliada pelas informações de luminância presente nas cores, e borda entre os limites do alvo e o fundo ao redor, assim fornecendo pistas para a identificação do alvo que não sejam somente a cor (Mollon, 2003). No século XIX, o oftalmologista Stilling buscou resolver este problema quebrando a imagem em pequenos pedaços, formando um mosaico, e adicionando aleatoriamente diferentes luminâncias em cada elemento do mosaico (Stilling, 1877). Portanto, inserindo o ruído espacial de tamanho para quebrar as bordas do alvo e fundo, e o ruído espacial de luminância para distribuir as informações de luminância do estímulo. Até o momento, nenhuma proposta usou a lógica inversa dos estímulos pseudoisocromático, que seria o uso de um mosaico no qual fosse aplicado um ruído espacial cromático nos elementos do mosaico e o alvo diferisse do fundo apenas pelos valores de luminância.

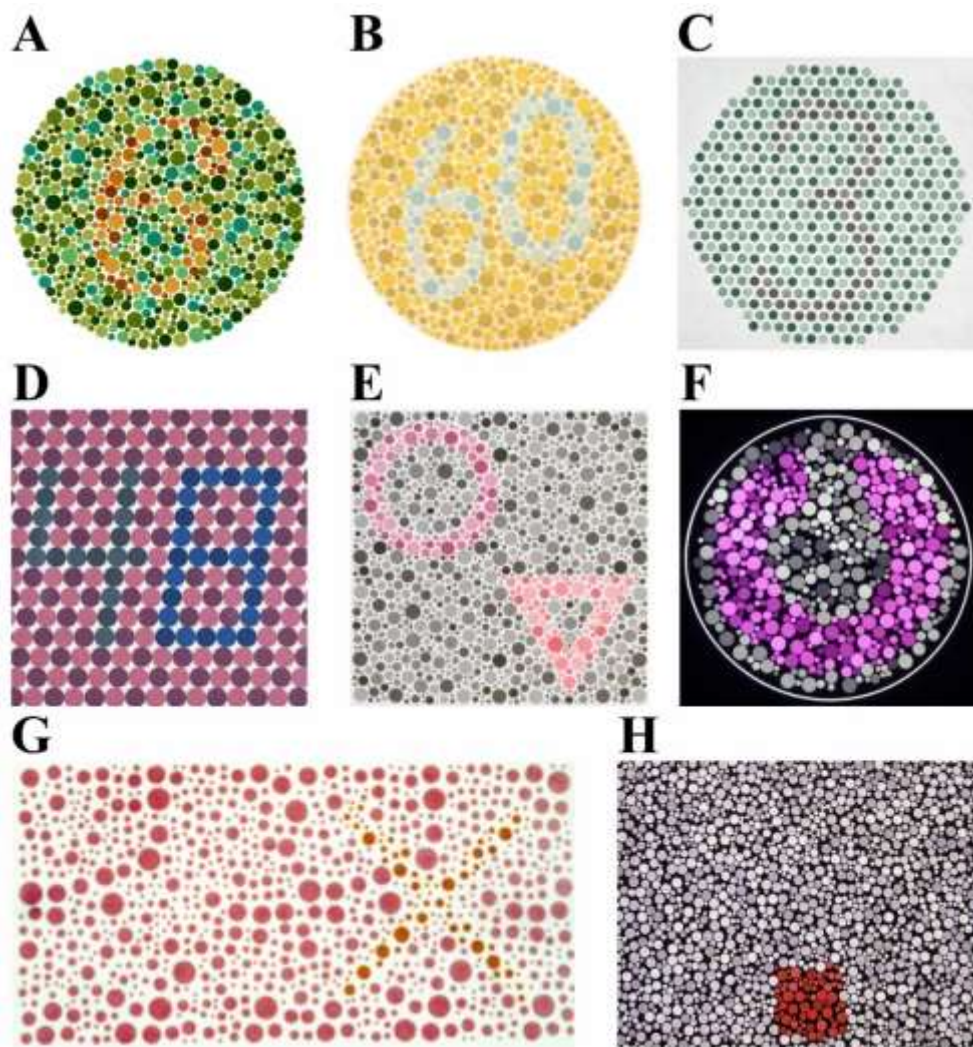


Figura 6. Exemplos de estímulos pseudoisocromáticos utilizados na literatura científica.

(A) Estímulo do teste de Ishihara. (B) Estímulo do teste de Dvorine. (C) Estímulo do teste de Boström Kugelberg. (D) Estímulo do teste Standard Pseudoisochromatic Plate. (E) Estímulo do teste HRR. (F) Estímulo do Cambridge Colour Test. (G) Estímulo do teste City University Tritan. (H) Estímulo do teste Cambridge Colour Test adaptado para crianças. Fontes: Ishihara, 1997; Landers et al., 1998; Goulart et al., 2008; <http://windsorplaceantiques.typepad.com/.a/6a0120a67e9197970c0168e5157c51970c-pi>; <http://www.animalsanimals.com/results.asp?image=MIS%20600DED005%2001>; <http://www.musee-oeil.ch/page.php?label=details&ido=255>; <http://www.fairmed-shop.at/medizintechnik-d,3,n,70427-Hardy-Rand-Rittler-Farbtest-HRR.html>;

A presente tese vem propor justamente a investigação da discriminação de luminância sob mascaramento de ruído de cor. Sendo assim, como se trata do desenvolvimento de um novo desenho experimental, as investigações aqui desenvolvidas seguirão inicialmente perguntas básicas e finalizarão com uma aplicação clínica. As primeiras investigações propostas visam descrever se o ruído cromático exerce alguma influência sobre a discriminação limiar de contraste de luminância, sendo feita as seguintes perguntas experimentais:

- 1) Qual o papel da saturação do ruído de cor sobre a discriminação limiar de contraste de luminância?
- 2) Qual o papel da presença do próprio mosaico sobre a discriminação limiar de luminância?
- 3) Qual o efeito da diferença de composição cromática sobre a discriminação limiar de luminância?

Em seguida, já que se trata de discriminação de luminância, abre-se a possibilidade de investigação das já bem descritas assimetrias funcionais observadas entre as vias ON e OFF do sistema visual (Bowen et al., 1989; Kremers et al., 1993) com os seguintes questionamentos:

- 4) Haverá diferença entre a discriminação limiar de luminância para estímulos com contrastes positivos (ON) ou negativos (OFF)?

1.3. APLICAÇÃO DE ESTÍMULOS QUE INTERAGEM COR E LUMINÂNCIA PARA AVALIAR A DISCRIMINAÇÃO DE COR E LUMINÂNCIA EM SUJEITOS EXPOSTOS AMBIENTALMENTE AO MERCÚRIO

Parte das investigações sobre a discriminação de cor e de luminância tem sido realizada em estudos clínicos, no qual se verifica as possíveis consequências funcionais

no sistema visual em decorrência de processos patológicos (Lacerda et al., 2012; Ventura et al., 2005; Rodrigues et al., 2007; Andrade et al., 2014). Já que esta tese contou com o apoio do Programa Pró-Amazônia da CAPES para a realização do monitoramento de saúde de populações ribeirinhas da Amazônia, parte das atividades que serão descritas a seguir em Métodos e Resultados buscará descrever os achados de discriminação de cor e de luminância em populações ribeirinhas da Amazônia que se encontram com diferentes exposições ao mercúrio.

O problema da exposição ao mercúrio da Amazônia é complexo. Há pelo menos duas formas de exposição das populações amazônicas ao mercúrio. Uma delas é pela atividade garimpeira na região, a qual utiliza o mercúrio para o processo de amalgamação com o ouro e posterior queima desta liga metálica. Os resíduos destes processos são liberados nos rios, assim contaminando o ambiente aquático (Akagi et al., 1995b, Malm et al., 1995; Barbosa & Dorea, 1998, Dolbec et al., 2001, Feitosa-Santana et al., 2018). Esse tipo de exposição teve seu auge entre as décadas de 1970 e 1990 (Akagi et al., 1995a,b; Malm et al., 1995; Barbosa & Dorea, 1998; Grandjean et al., 1999; Harada et al., 2001; Passos et al., 2003; Passos & Mergler, 2008; Pinheiro et al., 2000; 2005; 2006; 2007; 2008; Costa et al., 2008; Corvelo et al., 2014; Freitas et al., 2018). A grande atividade garimpeira na região liberou toneladas de mercúrio inorgânico nos rios durante as últimas 4 décadas e isso refletiu no maior acúmulo desse metal em estado orgânico (metilmercúrio) em tecidos humanos nas áreas de maior atividade garimpeira correspondendo a aproximadamente 70 a 90% da concentração de mercúrio medido em cabelos de adultos e crianças (Barbosa et al., 2001; Pinheiro et al., 2003). A outra forma de exposição dos ribeirinhos amazônicos ao mercúrio ocorre devido ao processo de destruição dos leitos florestais pela atividade agrícola ocasionado o processo de lixiviação do solo amazônico, que é rico em mercúrio naturalmente. Este processo carrega uma

quantidade razoável do metal para os rios, assim proporcionando a conversão do mercúrio inorgânico em orgânico e a entrada do metal na cadeia alimentar (Viegas, Meech & Onate, 1994, Roulet et al., 1998a, b). O mercúrio orgânico chega até os peixes devido ao acúmulo gradativo de metilmercúrio nos diferentes níveis da cadeia alimentar, iniciado pela metilação do mercúrio inorgânico por bactérias presentes no fundo dos rios (Lebel et al., 1996, 1997, Pinheiro et al., 2008, 2012, Zahir et al., 2005; Fillion et al., 2006).

A principal fonte de obtenção de proteínas na alimentação dos ribeirinhos de muitas bacias hidrográficas da Amazônia é o consumo de peixes (Lebel et al., 1997, Barbosa & Dorea, 1998, Passos et al., 2003, Fillion et al., 2006, 2013, Feitosa-Santana et al., 2018, Freitas et al., 2018). Portanto, a bioacumulação de metilmercúrio nos peixes é preocupante para a saúde das comunidades que se alimentam destes pescados contaminados. Segundo a Organização Mundial de Saúde (1990), o nível limítrofe de exposição humana ao mercúrio no cabelo é de 10 µg/g.

Vários trabalhos descreveram as alterações visuais de trabalhadores de indústrias expostos ocupacionalmente ao vapor de mercúrio, as quais em teoria deveriam ser similares às alterações sofridas por garimpeiros que inspiram o vapor de mercúrio nas minas de ouro (Cavalleri et al., 1995, Cavalleri & Gobba, 1998, Feitosa-Santana et al., 2007, 2008, 2010; Barboni et al., 2008, 2009; Costa et al., 2008; da Costa et al., 2008; Ventura et al., 2005). Poucos trabalhos investigaram a função visual de ribeirinhos amazônicos que estariam expostos ao mercúrio seja ocupacionalmente ou através da alimentação ou em ambos (Lebel et al., 1996, Rodrigues et al., 2007, Fillion et al., 2013, Feitosa-Santana et al., 2018, Freitas et al., 2018).

Lebel et al. (1996) avaliaram a acuidade visual, visão de cores e sensibilidade ao contraste de luminância de ribeirinhos adultos não garimpeiros (n = 29, < 35 anos de idade) que viviam nas margens do rio Tapajós. A população deste estudo apresentava

níveis de mercúrio no cabelo entre 5,6 $\mu\text{g/g}$ e 38,4 $\mu\text{g/g}$. Os resultados deste estudo mostraram que os ribeirinhos tinham pouca diminuição de acuidade visual e sensibilidade ao contraste de luminância, no entanto apresentaram perda da visão de cores avaliada pelo teste Lanthony D15 dessaturado e uma leve constrição central do campo visual. Este trabalho não apresentou dados de uma população controle à população ribeirinha estudada.

Rodrigues et al. (2007) fez um estudo explorativo no qual avaliou a discriminação de cor e de luminância de ribeirinhos também da bacia hidrográfica do Rio Tapajós. A amostra deste estudo foi composta em parte por garimpeiros ($n = 20$) que usavam o mercúrio em seu trabalho de extrair o ouro, mas que também viviam nas regiões ribeirinhas e tinham como principal fonte alimentar o consumo de peixes, ou seja, eram pessoas que provavelmente tinham dupla exposição (ocupacional e alimentar) ao metal. A outra parte da amostra foi composta por ribeirinhos ($n = 2$) que nunca tinham tido contato ocupacional com o vapor de mercúrio, mas que viviam às margens do Rio Tapajós e se alimentavam principalmente de peixe, ou seja, tinham apenas a exposição alimentar ao metal. A população estudada apresentou entre concentração de mercúrio no cabelo entre 14 $\mu\text{g/g}$ e 47 $\mu\text{g/g}$. Os resultados mostraram que ambas os grupos de ribeirinhos apresentavam sujeitos com diminuição da sensibilidade ao contraste espacial de cor e luminância e da discriminação e ordenamento de cores. O grupo controle para este estudo foi composto por populações urbanas.

Fillion et al. (2013) investigaram a variação da sensibilidade ao contraste e da visão de cores associados ao mercúrio em populações ribeirinhas que viviam as margens da bacia do baixo Rio Tapajós. A sensibilidade ao contraste e a visão de cores foram medidas através dos testes Vistech VCTS 6.000 charts e do Lanthony D-15 dessaturado, respectivamente. Foram avaliados 228 ribeirinhos sem histórico de doenças oculares e

sistêmicas que pudessem afetar o sistema visual e que não trabalharam em garimpo há um ano. A amostra exibiu concentração de mercúrio total no cabelo entre 1,00 $\mu\text{g/g}$ e 57,90 $\mu\text{g/g}$. As populações ribeirinhas apresentaram redução na sensibilidade ao contraste em todas as frequências testadas e nenhuma alteração no ordenamento de cores. Houve somente associação entre a redução na sensibilidade ao contraste e o Hg. Este trabalho não apresentou dados de uma população controle à população ribeirinha estudada. Este estudo foi desenvolvido em 2006.

Feitosa-Santana et al. (2018) estudaram o ordenamento de cores em uma população que vivia às margens do Rio Puruzinho, em Rondônia. A população foi composta por 36 ribeirinhos que não estavam envolvidos na extração de ouro, mas que tinham a pesca como principal atividade laboral e o consumo do peixe como a principal fonte proteica. A amostra apresentou concentração de mercúrio no cabelo entre 4,47 $\mu\text{g/g}$ e 40,69 $\mu\text{g/g}$. Os autores do estudo compararam os resultados dos ribeirinhos com populações urbanas de Belém e São Paulo. Os ribeirinhos mostraram pior desempenho na tarefa de ordenamento de cores que os controles.

Freitas et al. (2018) compararam o desempenho em uma tarefa de ordenamento de cores de crianças ribeirinhas que viviam às margens do Rio Tapajós ($n = 112$, concentração de mercúrio no cabelo entre 0,26 – 22,38 $\mu\text{g/g}$) e que viviam às margens do Rio Tocantins ($n = 64$, concentração de mercúrio no cabelo entre 0,03 – 1,91 $\mu\text{g/g}$). Os autores observaram que não havia diferença na magnitude do erro de ordenamento de cores entre as duas populações estudadas, mas a população que vivia na bacia do Rio Tapajós apresentava maior quantidade de erros que indicavam perda da visão de cores verde-vermelho e azul-amarelo que a população residente no Rio Tocantins.

Excluindo o trabalho de Freitas et al. (2018), os demais trabalhos trazem resultados de investigações que ocorreram a pelo menos uma década atrás quando os

níveis médios de concentração de mercúrio no cabelo eram maiores que hoje. Tem sido observado que nos últimos 15 anos houve uma diminuição da exposição ao metal observado pelas decrescentes concentrações de mercúrio no cabelo de populações que vivem às margens do Rio Tapajós (Pinheiro et al., 2012; Corvelo et al., 2014). É neste cenário que esta tese também buscará avaliar a discriminação de cor e de luminância com estímulos que misturam ambas as informações. Uma investigação atual da função visual de populações ribeirinhas amazônicas pode ajudar a compreender melhor a relação entre a exposição ao mercúrio e a suas consequências à visão.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de modificações de um ruído cromático sobre a discriminação limiar de luminância.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar a influência da saturação do ruído de cor sobre os contrastes limiares de luminância.
- Avaliar o efeito da aprendizagem nos limiares de discriminação de luminância.
- Avaliar a influência do ruído espacial de tamanho nos limiares de discriminação de luminância.
- Avaliar a influência da composição cromática do ruído espacial sobre limiares de discriminação de luminância.
- Comparar os contrastes limiares de luminância estimados através de diferentes sistemas de estimulação que utilizavam uma tela de cristal líquido e um monitor de tubo de raios catódicos.
- Comparar a discriminação limiar de luminância sob mascaramento de cor para estímulos com contraste de luminância de polaridade negativa e positiva.
- Avaliar o efeito do ruído de cor na discriminação limiar de luminância para contraste de luminância de polaridade negativa e positiva.
- Comparar os limiares de discriminação de cor e de luminância de populações com e sem exposição ambiental ao Hg.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esta tese é composta por cinco estudos que pretendem investigar a influência da interação entre luminância e cor na discriminação de luminância através de um novo estímulo desenvolvido no Laboratório de Neurologia Tropical da Universidade Federal do Pará e descrever a aplicação deste estímulo em populações com e sem histórico de exposição ao mercúrio. No experimento 1, foi estudada a influência de um ruído espacial de cor sobre a discriminação limiar de luminância. No experimento 2 foi investigada a influência do ruído espacial de tamanho na discriminação limiar de luminância. O experimento 3 avaliou como a composição cromática do ruído de cor influencia na discriminação limiar de luminância. No experimento 4 foi investigada a influência do ruído espacial cromático nos limiares de discriminação de luminância para contrastes com polaridade positiva e negativa entre o alvo e o fundo do estímulo. No experimento 5 foi comparada a discriminação limiar de luminância sob mascaramento cromático e a discriminação limiar de cor sob mascaramento de luminância obtidas de duas populações ribeirinhas diferentemente expostas ao mercúrio.

Os experimentos 1, 2, 3 e 4 são estudos observacionais, analíticos, transversais e não aleatorizados, enquanto o experimento 5 é um estudo observacional, analítico, ecológico, não aleatorizado.

Todos os experimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará correspondente ao protocolo **#570.434** (ANEXO I, experimentos 1, 2 e 3), **#2.495.115** (ANEXO II, experimento 4), **#392.245** (ANEXO III, experimento 5).

3.1. ESTUDO 1 – INVESTIGAÇÃO DA DISCRIMINAÇÃO LIMIAR DE LUMINÂNCIA SOB MASCAREMENTO CROMÁTICO: EFEITOS DA SATURAÇÃO DE COR DO RUÍDO

Quarenta sujeitos tricromatas normais (23 homens e 17 mulheres) com idade média de $27,3 \pm 3,91$ anos participaram deste estudo. A amostra foi recrutada através de convite direto dos integrantes da pesquisa e por indicação de sujeitos. Os integrantes da amostra foram selecionados por conveniência.

Os sujeitos que aceitaram participar da pesquisa foram esclarecidos quanto ao objetivo do estudo, os protocolos empregados, os possíveis desconfortos e benefícios, e sobre a possibilidade de desistência de participação do estudo a qualquer momento sem nenhum ônus ao voluntário conforme a sua vontade. Em seguida, todos os sujeitos que estiveram de acordo com o estudo, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, afirmando que estavam totalmente esclarecidos quanto ao estudo e que permitiam a utilização dos dados coletados para este estudo.

Posteriormente, os sujeitos foram submetidos a anamnese, na qual informaram seus dados pessoais e profissionais e histórico médico pessoal e familiar. Após isto, foram aplicados dois testes de triagem, o teste *Freiburg Visual Acuity Test*, para avaliar a acuidade visual, e o teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara para averiguar a existência de discromatopsia congênita. Os critérios de inclusão deste estudo são: acuidade visual normal ou corrigida para 20/20, ausência de doenças sistêmicas, discromatopsias congênitas e adquiridas, exposição a solventes, doenças neurológicas ou quaisquer doenças que possam afetar o sistema visual.

Os indivíduos que foram aprovados nos critérios de inclusão, foram submetidos ao teste de discriminação de luminância mascarado por ruído espacial de cor. Todos os testes foram realizados em ambiente escurecido, tendo como fonte única de luz a tela do

monitor do computador portátil, com exceção do teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara o qual era feito sob um iluminador padrão (*Richmond Products*, Minnesota, Estados Unidos da América). Esta condição de iluminação foi aplicada em todos os testes realizados nesta tese. Os testes de triagem eram feitos monocularmente nos dois olhos e o teste de discriminação de luminância mascarado por ruído espacial de cor era feito binocularmente.

Os critérios de inclusão, o recrutamento e a anamnese aplicados neste estudo, foram os mesmos utilizados nos estudos 2, 3 e 4, assim como os testes de triagem foram usados nos estudos 2, 3, 4 e 5.

3.1.1. Testes de triagem

3.1.1.1 Acuidade visual

A acuidade visual foi estimada através do teste *Freiburg Visual Acuity Test* (FAT). Este teste integra a plataforma de testes *Freiburg Vision Test* (FrACT) desenvolvida na *Universitäts-Klinikum Freiburg* pelo pesquisador Michael Bach. Esta plataforma é gratuita e está disponível no site: <http://michaelbach.de/fract/index.html>.

As configurações do computador portátil que executou este teste foram: tela de diodo emissor de luz de alta definição de 14 polegadas (LED HD) com resolução espacial de 1366 x 768 pixels, 8 bits de resolução de cor por canal, placa de vídeo Intel(R) HD Graphics 520 integrada e 4 GB de RAM. O teste FAT foi calibrado para as configurações da tela do computador portátil conforme indicações do manual do fabricante.

O teste consistia na apresentação de um alvo no formato da letra C de Landolt com contraste de polaridade negativa em relação ao um fundo branco (**Figura 7**). O sujeito era posicionado a 2,34 metros de distância do monitor do computador portátil e era orientado a indicar para qual direção estava a abertura do alvo (cima, baixo, direita e

esquerda). Se o sujeito não soubesse a orientação da abertura do alvo, recomendava-se que informasse para qual direção o mesmo suponha estar a abertura do alvo.

Os tamanhos dos optótipos exibidos no teste eram controlados pelo procedimento *Best PEST* (Bach, 1996). Neste método é empregado um algoritmo que calcula qual é o limiar baseado na probabilidade de respostas certas e erradas feitas pelo sujeito durante o teste. Portanto, a cada tentativa, o teste exhibe um tamanho de optótipo correspondente ao valor de limiar estimado.

O teste terminava após 30 tentativas e a acuidade visual era determinada a partir do valor resultante da multiplicação da correção DIN/ISO (Sehschärfenbestimmung, 1991) e do valor da inclinação mais íngreme da função psicométrica estimada durante o teste. O padrão de normalidade deste teste era os sujeitos apresentarem acuidade visual igual a 20/20.

Cinco minutos era o tempo médio de duração deste teste.

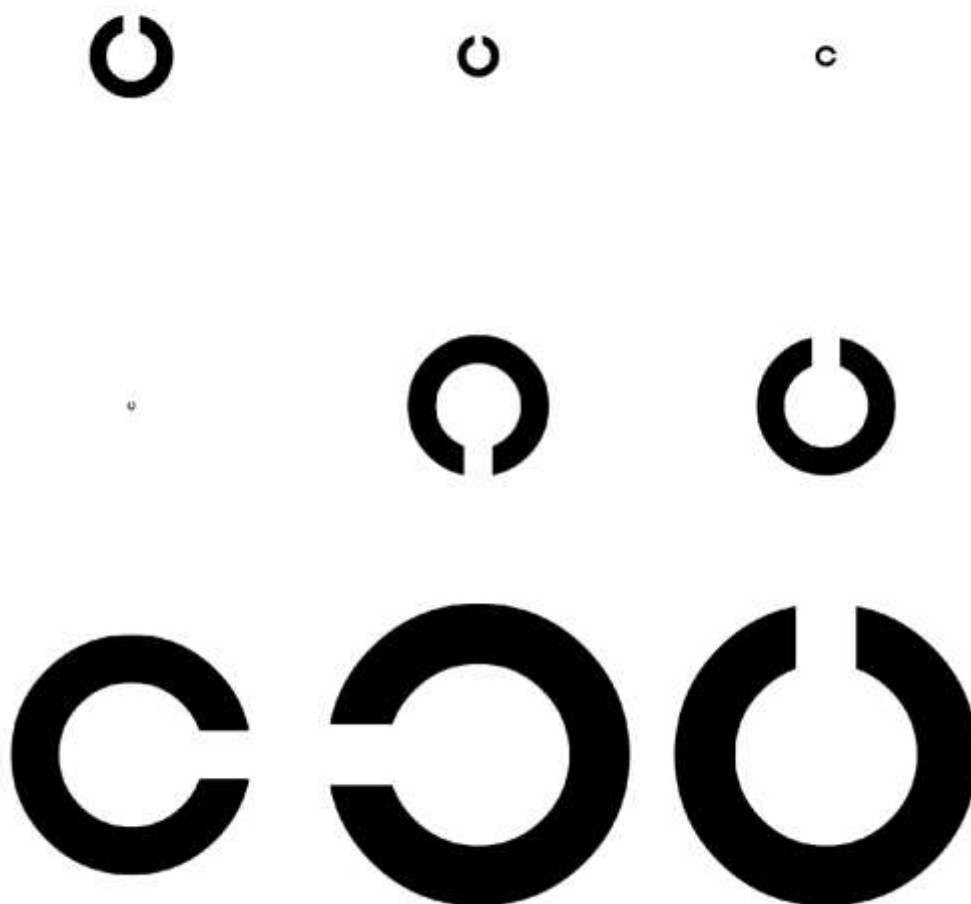


Figura 7. Exemplos de estímulos exibidos no teste Freiburg Visual Acuity Test. O teste inicia com um estímulo com tamanho padronizado e dependendo da resposta do sujeito, o estímulo pode diminuir (acertos) ou aumentar (erros), assim ajustando a acuidade visual do sujeito.

3.1.1.2 Teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara

O fenótipo da visão de cores foi determinado através do teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara. O teste foi aplicado através do livro “*Ishihara’s Tests for Colour Deficiency*”, 1997 com 38 figuras (Ishihara, 1997).

O livro é composto por figuras de mosaicos de círculos coloridos com ruído espacial de luminância e de tamanho no qual destaca-se um alvo pela diferença de cromaticidade existente entre o alvo e o fundo. Esses estímulos apresentam cores dentro das zonas isocromáticas dos discromatópicos congênitos do tipo verde-vermelho. O alvo deste teste pode exibir duas configurações: números ou caminhos. Os números são apresentados para pessoas alfabetizadas e os caminhos para pessoas não alfabetizadas (**Figura 8**).

As placas foram exibidas a 75 cm de distância do sujeito em um ângulo de 45° sob a iluminação de um iluminador padrão (*Richmond Products*, Minnesota, Estados Unidos da América). O sujeito foi instruído a indicar verbalmente qual número estava vendo ou a indicar o caminho que observava na placa. O estímulo era apresentado por três segundos independente da resposta do sujeito. As respostas eram comparadas a um gabarito fornecido no manual do teste. O sujeito era considerado tricromata normal caso fizesse menos de oito erros na leitura das figuras pseudoisocromáticas de Ishihara.

O teste tinha a duração de quatro minutos.

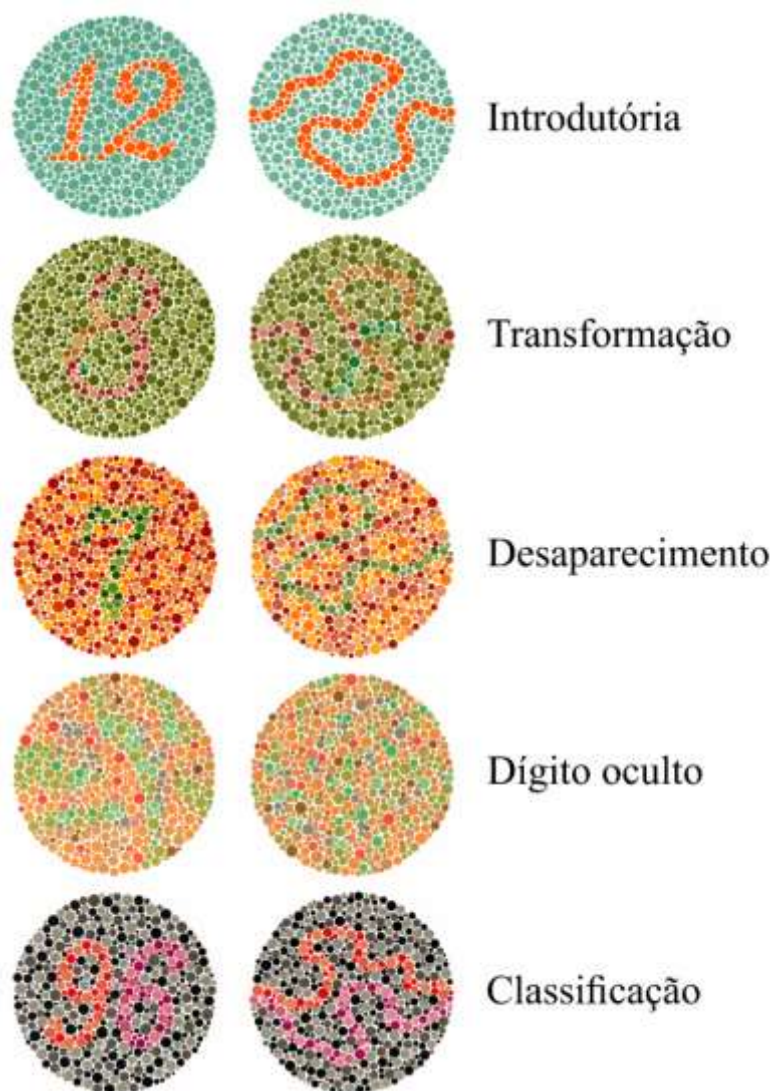


Figura 8. Teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara. As figuras pseudoisocromáticas podem ser classificadas em cinco categorias: **Introdutória**, todos os indivíduos veem o número/caminho; **Transformação**, tricromatas veem um número/caminho e os discromatópsicos veem outro número/ caminho diferente do tricromata; **Desaparecimento**, somente os tricromatas veem o número/ caminho; **Dígito oculto**, somente discromatópsicos veem o número/ caminho e **Classificação**, todos veem o número/ caminho, no entanto os discromatópsicos do tipo protan e deutran grave veem somente um dos alvos presentes nas figuras. As figuras com alvo no formato de número são utilizadas em sujeitos alfabetizados e no formato de caminho são usadas somente em sujeitos analfabetos.

3.1.2. Teste de discriminação de luminância mascarado por ruído espacial de cor

O estímulo foi gerado através de rotina computacional criada em ambiente de programação MATLAB R2012b e foi exibido na plataforma MacBook PRO (Apple Inc., Palo Alto, Estados Unidos da América). As configurações deste computador portátil são: tela de cristal líquido (LCD) de 17 polegadas com resolução espacial de 1680x1050 pixels, 10 bits de resolução de cor por canal, placa de vídeo NVIDIA GeForce 8600M GT, 512MB de GDDR3 SDRAM e DVI de ligação dupla. O monitor deste computador foi calibrado por meio de um colorímetro CS-100A (Minolta, Osaka, Japão) e todas as cromaticidades foram calculadas para um observador para ângulo de dois graus e iluminador D65.

O estímulo foi constituído por um mosaico de círculos que possuem ruído espacial de tamanho e de cor (**Figura 9**). O ruído espacial de tamanho foi gerado através da criação de círculos com dez tamanhos distintos e com dimensão espacial que variou entre 0,1226 a 0,4876 graus. O estímulo foi formado por 428 círculos e foram utilizadas dezesseis distintas configurações de mosaicos no intuito de dificultar a identificação do alvo devido alguma pista presente no mosaico que não seja a de luminância. O ruído espacial de cor foi composto por oito vetores cromáticos orientados nas seguintes angulações: 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315 graus, ao redor da coordenada central ($u' = 0,219$; $v' = 0,48$) no espaço de cor da CIE 1976. A **Figura 10** mostra a posição das cromaticidades com saturação em 0,06 unidades no espaço de cor da CIE1976 (unidades $u'v'$). O ruído espacial de cor foi resultante do tamanho de cada um dos 8 vetores medidos a partir do ponto de referência, uma medida que é equivalente a saturação da cor. A cada tentativa, a cromaticidade de todos os círculos modificava-se aleatoriamente. Para investigar a influência do ruído espacial cromático sob as estimativas de limiares de discriminação de luminância, os comprimentos dos vetores cromáticos foram exibidos em cinco condições

de saturação: 0,06, 0,03, 0,015, 0,0075 e 0 unidades $u'v'$. A condição 0 representava a cromaticidade da coordenada central no estímulo (**Figura 11**). Essas condições eram apresentadas aleatoriamente. A **Tabela 1** mostra os valores de cromaticidade de cada uma das saturações que compuseram o ruído.

O alvo do estímulo foi formado pela letra C de Landolt e foi gerado por um subconjunto de círculos que se destacava dos demais círculos do campo de fundo devido a diferença de luminância existente entre eles. As dimensões do estímulo foram 5° de ângulo visual no campo de fundo, $4,4^\circ$ e $2,2^\circ$ de diâmetro externo e interno, respectivamente e 1° de ângulo visual na abertura da letra C de Landolt.

O experimento psicofísico consistiu em posicionar o sujeito a uma distância de 2,34 m da tela do computador portátil e orientá-lo quanto ao estímulo que seria exibido e a sua tarefa, a qual seria indicar verbalmente em qual posição está a abertura do C de Landolt (cima, baixo, esquerda ou direita). O experimentador foi responsável por registrar a resposta do sujeito através de um controle (teclado do MacBook). Visto isso, o teste utilizou um procedimento de escolha forçada de quatro alternativas que fornecia informações para um método de escada com aproximação estocástica adaptativa. Este método controlou a luminância do alvo. A configuração inicial de luminância do estímulo foi de 2 cd/m^2 no alvo e 40 cd/m^2 no campo de fundo. A regra que regeu o método de escada foi de 2 acertos para um erro, portanto o sujeito deveria acertar duas vezes seguidas a orientação da abertura do C de Landolt para que a luminância do alvo aumentasse e errasse apenas uma vez para que a luminância do alvo diminuísse (**Figura 12**). O tamanho do passo de incremento e decremento da luminância do alvo obedecia a seguinte equação:

$$\text{targetlum}(t) = 10^{\log_{10}(\text{targetlum}(t-1) \pm [\log_{10}(\text{bglum}) - \log_{10}(\text{targetlum})] \times f)}$$

sendo a t_{lum} é a luminância do alvo da tentativa (t) que foi somada ou diminuída pela diferença entre a luminância do campo de fundo (b_{lum}) e a luminância do alvo de uma tentativa prévia multiplicado pelo fator (f) cujo valor foi de 0,5 para passo de incremento e 1,5 para decremento de luminância.

O teste terminava após 12 reversões e o contraste limiar de luminância foi determinado através da média das sete últimas reversões. Todos os sujeitos realizaram o experimento duas vezes, sendo cada sessão aplicada em dois dias diferentes e um subgrupo de treze sujeitos foi submetido a um procedimento experimental no qual os participantes fizeram o teste três vezes consecutivas. Este procedimento de 13 participantes foi realizado para investigar o efeito de aprendizado para este teste. A métrica do contraste usada foi a do contraste de Weber de acordo com a equação abaixo

$$CW = (L_{alvo} - L_{fundo}) / L_{fundo},$$

na qual CW é o contraste de Weber, L_{alvo} é a luminância do alvo e L_{fundo} é a luminância do fundo.

Cada sessão do experimento durou vinte e cinco minutos, por conseguinte o experimento principal foi executado em cinquenta minutos e o experimento secundário foi realizado em uma hora e quinze minutos.

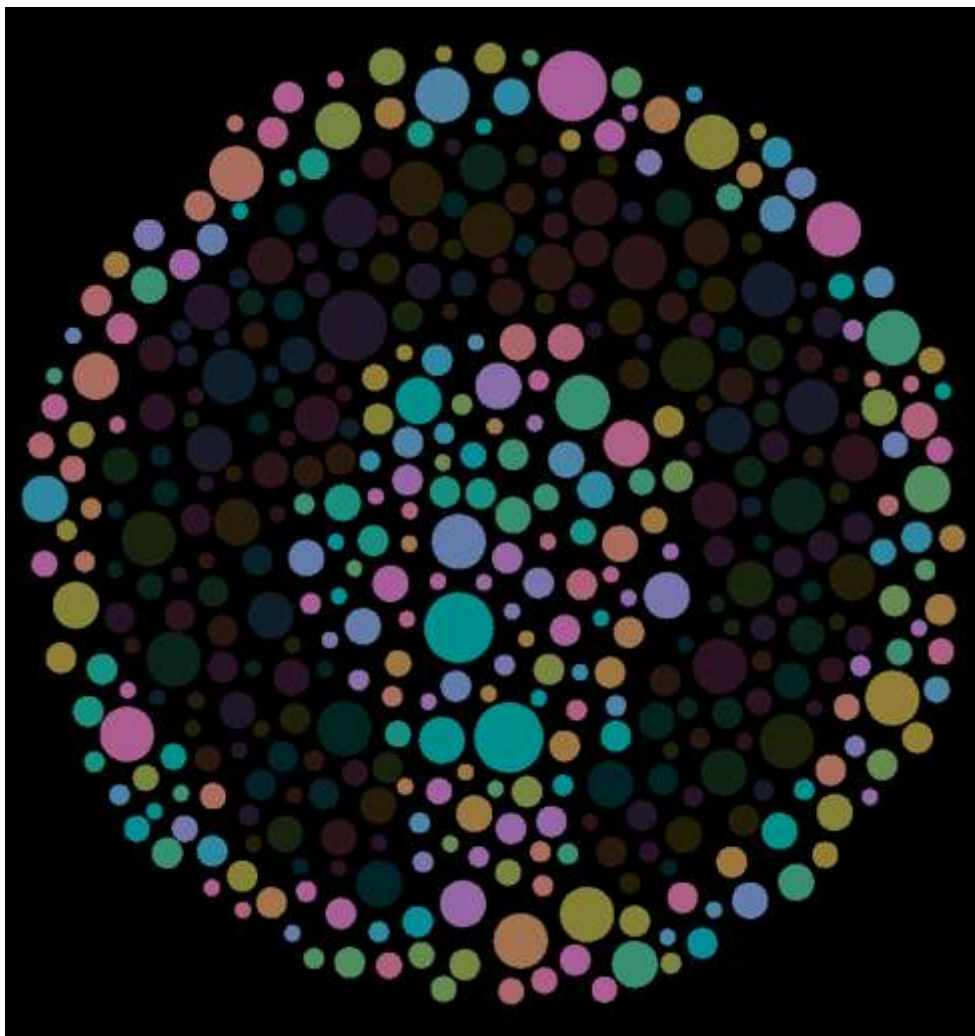


Figura 9. Estímulo do teste de discriminação de luminância mascarado por ruído espacial de cor. Este estímulo é composto por um mosaico de círculos com diferentes tamanhos e coloridos com uma das oito cores que formam o ruído espacial cromático.

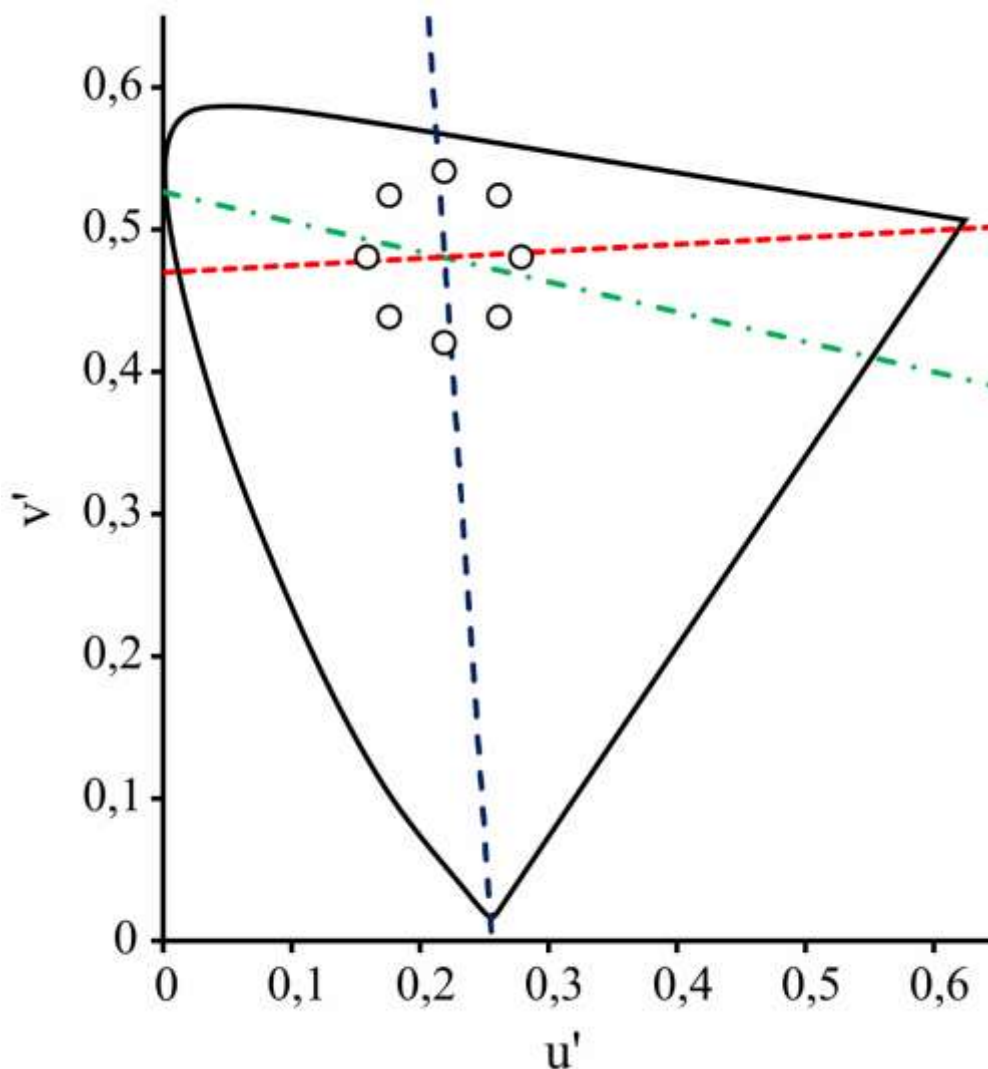


Figura 10. Cromaticidade de referência utilizadas no ruído espacial cromático no diagrama de cromaticidade da CIE 1976 com saturação de 0,06 unidades. Os círculos representam a disposição das cromaticidades de referência dispostas em distância vetorial fixa em 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 e 315 graus, ao redor da coordenada central ($u'=0,219$; $v'=0,48$). A linha preta contínua representa o *locus spectral* do diagrama de cromaticidade da CIE 1976. As linhas tracejadas vermelho, verde e azul representam as linhas de confusão de cor protan, deutana e tritana, respectivamente.

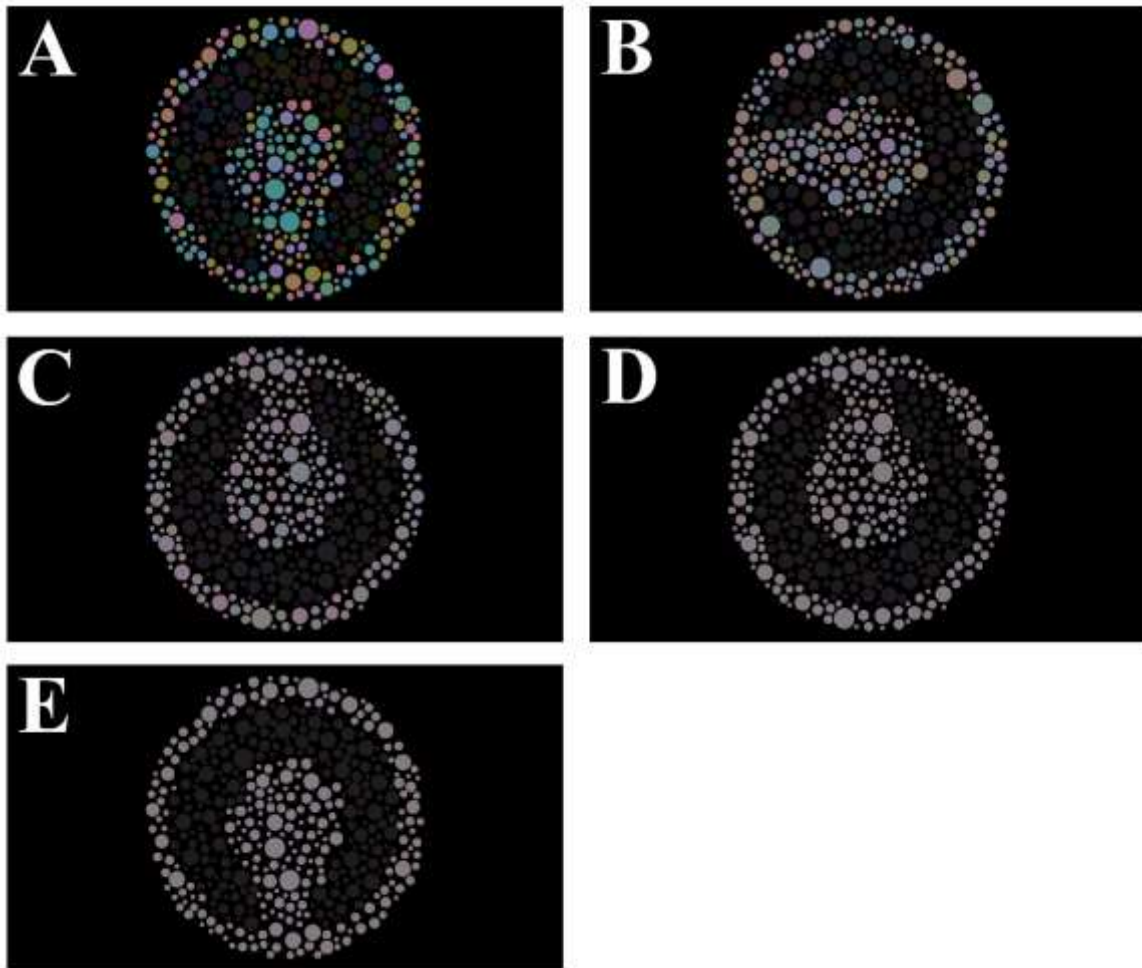


Figura 11. Estímulos utilizados no estudo 1. (A-E) O estímulo com mosaico tinha tamanho e ruído espacial cromático com diferentes comprimentos vetoriais: (A) 0,06; (B) 0,03; (C) 0,015; (D) 0,0075; (E) nenhum ruído espacial cromático. No estudo 1, investigou-se a influência do comprimento do vetor do ruído espacial cromático na discriminação de luminância.

Tabela 1. Coordenadas das cromaticidade utilizadas no ruído espacial cromático no espaço de cor da CIE 1976 para cada uma das condições de saturação aplicadas neste estudo.

Angulações*	Comprimento dos vetores									
	0,06		0,03		0,015		0,0075		0	
	u'	v'	u'	v'	u'	v'	u'	v'	u'	v'
0	0,279	0,48	0,249	0,48	0,234	0,48	0,227	0,48	0,219	0,48
45	0,261	0,52	0,240	0,50	0,230	0,49	0,224	0,49	0,219	0,48
90	0,219	0,54	0,219	0,51	0,219	0,50	0,219	0,49	0,219	0,48
135	0,177	0,52	0,198	0,50	0,208	0,49	0,214	0,49	0,219	0,48
180	0,159	0,48	0,189	0,48	0,204	0,48	0,212	0,48	0,219	0,48
225	0,177	0,44	0,198	0,46	0,208	0,47	0,214	0,47	0,219	0,48
270	0,219	0,42	0,219	0,45	0,219	0,46	0,219	0,47	0,219	0,48
315	0,261	0,44	0,240	0,46	0,230	0,47	0,224	0,47	0,219	0,48

*Os ângulos são referentes a uma linha horizontal imaginária que passaria sobre a cromaticidade de referência e que obedecem à distribuição angular do círculo trigonométrico.

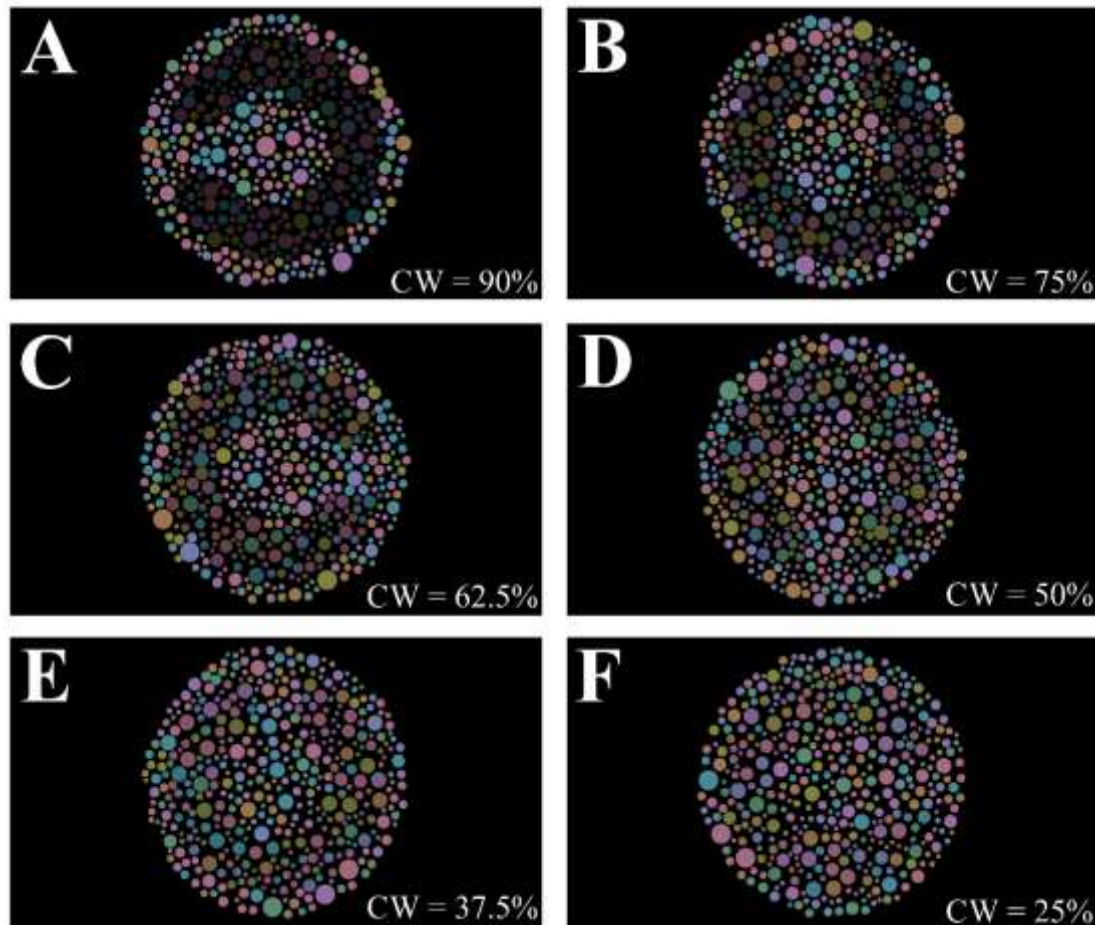


Figura 12. Exemplos dos estímulos com diferentes contrastes de Weber entre as luminâncias do alvo e do campo de fundo. WC: Contraste de Weber. (A) Alvo: 4 cd/m^2 ; Campo de fundo = 40 cd/m^2 ; Contraste de Weber = 90%. (B) Alvo: 10 cd/m^2 ; Campo de fundo = 40 cd/m^2 ; Contraste de Weber = 75%. (C) Alvo: 15 cd/m^2 ; Campo de fundo = 40 cd/m^2 ; Contraste de Weber = 62,5%. (D) Alvo: 20 cd/m^2 ; Campo de fundo = 40 cd/m^2 ; Contraste de Weber = 50%. (E) Alvo: 25 cd/m^2 ; Campo de fundo = 40 cd/m^2 ; Contraste de Weber = 37,5%. (F) Alvo: 30 cd/m^2 ; Campo de fundo = 40 cd/m^2 ; Contraste de Weber = 25%.

3.2. ESTUDO 2 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL DE TAMANHO SOB O CONTRASTE LIMIAR DE LUMINÂNCIA

No estudo 2, os resultados obtidos no estudo 1 foram comparados aos contrastes limiares estimados por meio de um estímulo sem mosaico, portanto sem ruído espacial de tamanho nem ruído espacial de cor. O estímulo sem mosaico foi formado por um fundo isocromático e isoluminante com mesma cromaticidade média e luminância do fundo do estímulo utilizado do estudo 1; e por um alvo representado pela letra C de Landolt (**Figura 13**) com as mesmas dimensões do estudo 1 e com contraste de Weber com polaridade negativa em relação ao fundo do estímulo. As configurações iniciais de luminância, o método de escada, o procedimento de escolha forçada, a determinação do contraste limiar e o programa aonde o estímulo foi gerado são os mesmos utilizados no estudo 1. Este estímulo foi apresentado aleatoriamente entre as condições experimentais do estudo 1.

Este teste tinha sete minutos de duração.



Figura 13. Estímulo utilizado no estudo 2. No estudo 2, os limiares de luminância de contraste estimados a partir dos mosaicos foram comparados com o estimado a partir do estímulo não mosaico.

3.3. ESTUDO 3 – INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO CROMÁTICA DO ESTÍMULO NO CONTRASTE LIMIAR DE LUMINÂNCIA

Neste estudo, sete tricromatas normais participaram dos experimentos psicofísicos. O estímulo foi criado no ambiente de programação MATLAB R2012b (Mathworks, Natick, MA, USA) com auxílio da caixa de ferramentas Cambridge Research System no sistema ViSaGe (Cambridge Research System, CRS, Rochester, RU). A estimulação era exibida em um monitor de tubo de raios catódicos de 21” com alta resolução temporal e espacial (1680 x 1050 pixels, 75 Hz, 14 bits de resolução de cor por canal, Eizo, Japan) e rodada pela placa gráfica ViSaGe (CRS). O estímulo possuía a mesma configuração de mosaico descrita no estímulo do estudo 1, no entanto o ruído espacial cromático foi modulado ao redor de cinco diferentes coordenadas de referência: C1: $u' = 0,215$, $v' = 0,531$; C2: $u' = 0,219$, $v' = 0,48$; C3: $u' = 0,225$, $v' = 0,415$; C4: $u' = 0,174$, $v' = 0,485$; C5: $u' = 0,278$, $v' = 0,472$ (**Figura 14**). A coordenada de referência C2 é a mesma coordenada aplicada ao estímulo do estudo 1. As condições de saturação do ruído espacial cromático usadas neste estudo, as configurações do experimento, tarefa do sujeito, e a estimativa do contraste limiar de luminância foram as mesmas utilizadas pelo estudo 1.

Além disso, foram comparados os contrastes limiares estimados usando tela de cristal líquido e tubo de raios catódicos na coordenada de referência C2.

Neste experimento, cada sessão durou cerca de vinte e cinco minutos, totalizando duas horas e cinco minutos de experimentação. Todos os testes eram executados no mesmo dia, sendo aplicado pequenos intervalos para evitar a exaustão do sujeito e quando isto não era necessário, o sujeito retornava outro dia para finalizar o experimento.

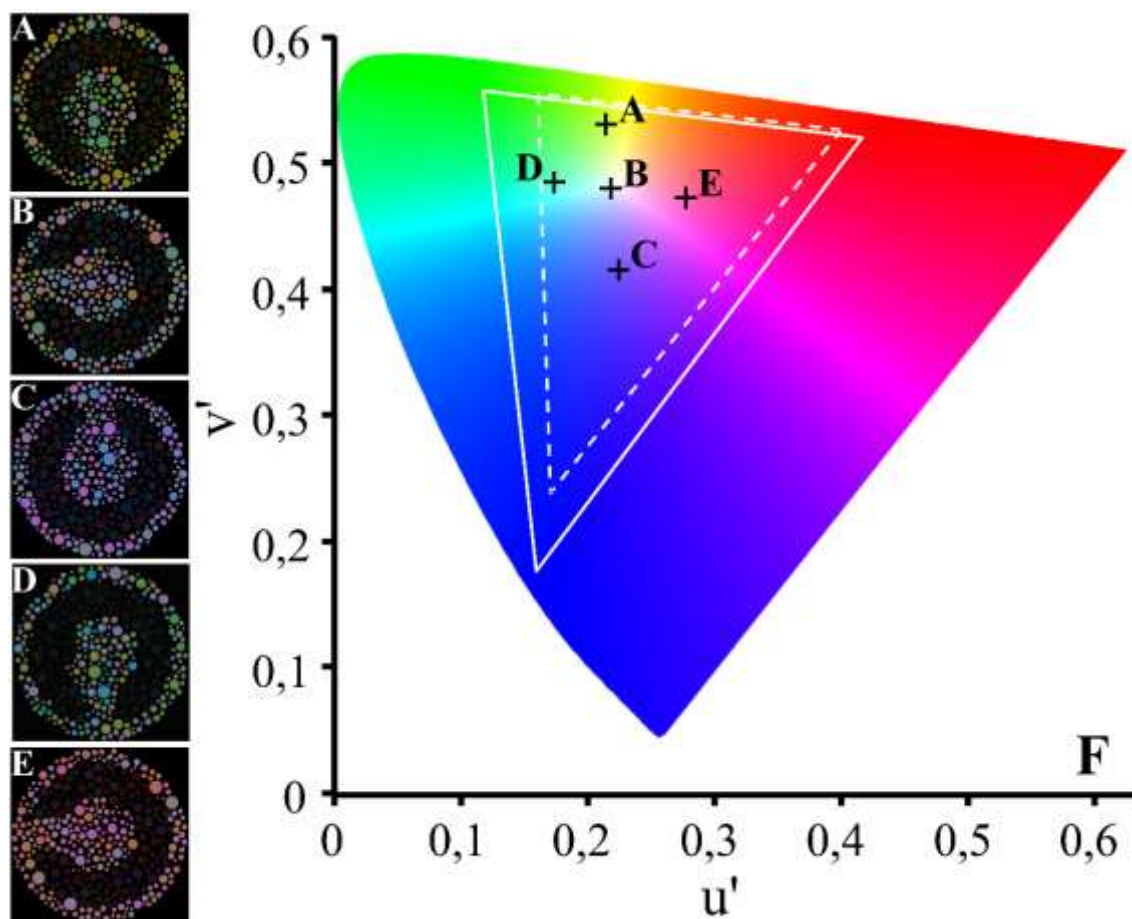


Figura 14. Estímulos utilizados no estudo 3. O ruído cromático foi gerado a partir de cinco cromaticidades de referência diferentes (A, C1; B, C2; C, C3; D, C4; E, C5). (F) Diagrama de cor da CIE 1976 mostrando as cromaticidades de referência (cruzes) usadas para gerar o ruído espacial cromático. (A, B, C, D e E) representam as cromaticidades de referência do ruído espacial cromático denominadas C1, C2, C3, C4 e C5, respectivamente. A linha branca representa a gama CRT e a linha branca tracejada representa a gama LCD. No estudo 3, foi investigada a influência dos distintos estados de adaptação cromática nas estimativas de contraste limiar de luminância.

3.4. ESTUDO 4 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL CROMÁTICO NOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA PARA CONTRASTES COM POLARIDADE POSITIVA E NEGATIVA ENTRE O ALVO E O FUNDO DO ESTÍMULO

Vinte tricromatas normais (10 mulheres e 10 homens) com faixa etária de $28,25 \pm 5,82$ anos participaram deste estudo. O estímulo foi gerado através de rotinas programadas em MATLAB R2012b no sistema ViSaGe (Cambridge Research System, Rochester, UK) e exibido no monitor CRT de 21 polegadas (1680 x 1050 px, 75 Hz, Eizo, Japão). As configurações do mosaico e do ruído espacial cromático são as mesmas utilizadas pelo estudo 1. As dimensões do estímulo foram: $4,4^\circ$ de ângulo visual de campo de fundo, $3,7^\circ$ e $1,7^\circ$ para diâmetro externo e interno do alvo, respectivamente, e $0,7^\circ$ de abertura da letra C de Landolt. Os sujeitos foram submetidos a dois protocolos: (i) para incrementos de luminância e (ii) para decrementos de luminância. A luminância do fundo, para ambos os protocolos, era 15 cd/m^2 . A luminância inicial do alvo foi 40 cd/m^2 para o protocolo de incremento de luminância (contraste positivo) e 5 cd/m^2 para o protocolo de decremento de luminância (contraste negativo) (**Figura 15**).

O termo contraste positivo e negativo faz referência ao contraste de Weber que compara os valores de luminância do alvo e do fundo. O contraste é dito positivo quando o alvo tem maior luminância que o fundo, enquanto o inverso é verdadeiro para o contraste negativo.

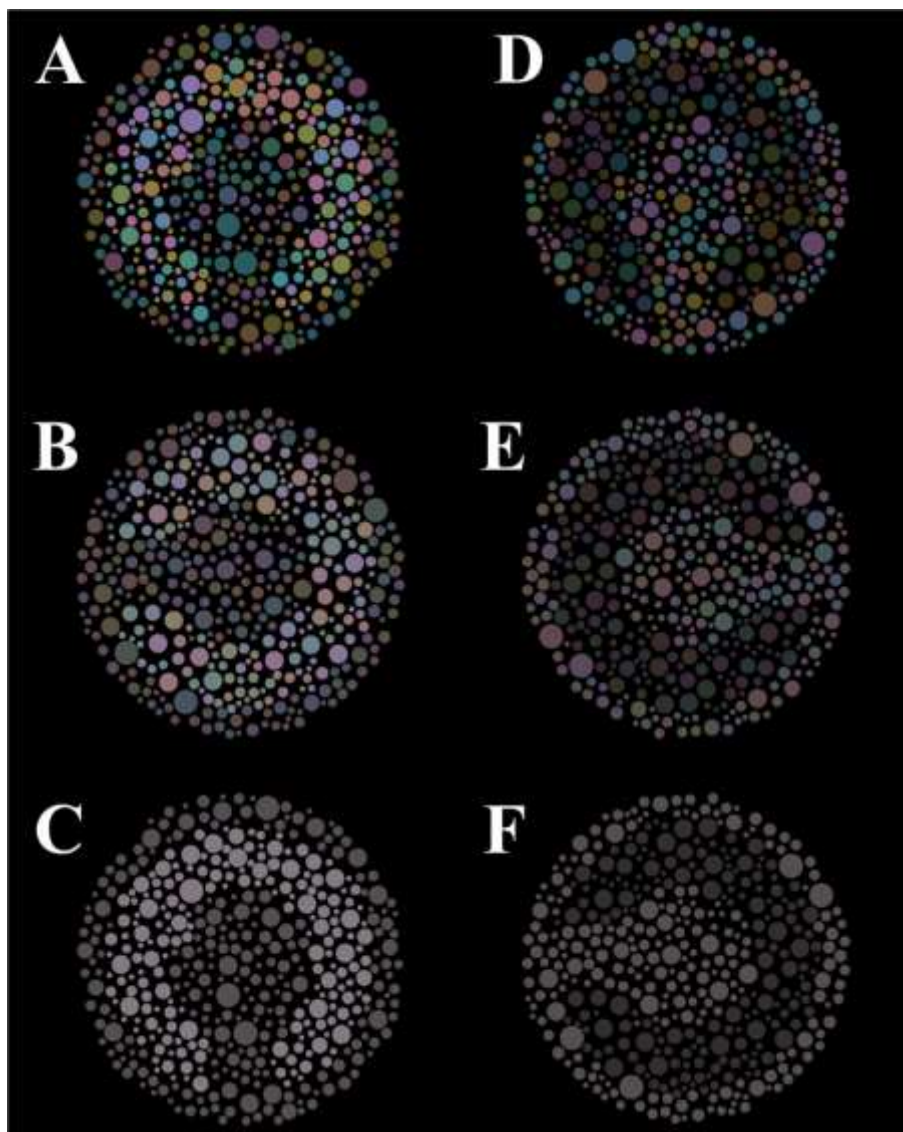


Figura 15. Estímulos utilizados no estudo 4. (A-C) Contraste positivo e (D-F) Contraste negativo em diferentes condições de saturação. (A e D) Condição 0,06; (B e E) Condição 0,03; e (C e F) Condição 0.

Para cada protocolo, foram testadas cinco condições de saturação para o ruído espacial cromático: 0,06, 0,03, 0,015, 0,0075, e 0 unidades $u'v'$. Essas condições eram apresentadas aleatoriamente.

O experimento psicofísico iniciou-se com o protocolo de decremento de luminância. O sujeito era posicionado a 3,25 metros de distância do monitor e era instruído a designar verbalmente a orientação da abertura do alvo mesmo que não visse.

O procedimento de escolha forçada de quatro alternativas alimentava um método de escada de passos fixos com regra de dois acertos para 1 erro. Os tamanhos dos passos do método de escada era 0,5 para decremento de luminância e 1,5 para incremento de luminância no protocolo (i) e 0,5 para incremento de luminância e 1,5 para decremento de luminância no protocolo (ii).

O teste finalizava após doze reversões e o limiar de discriminação de luminância era determinado através da média das últimas seis reversões.

O protocolo experimental era executado em quarenta minutos.

3.5. ESTUDO 5 – COMPARAÇÃO DOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR E DE LUMINÂNCIA EM DUAS POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DIFERENTEMENTE EXPOSTAS AO MERCÚRIO

Este estudo integra o projeto “Monitoramento ambiental e da saúde humana à exposição de mercúrio”, financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através do programa Pró-Amazônia: Biodiversidade e Sustentabilidade (Edital nº 047/2012).

Foram avaliados 35 adultos sem história de exposição ao mercúrio (Hg) residentes às margens do rio Tocantins e 95 adultos com história de exposição ao Hg residentes nas margens do rio Tapajós. Os critérios de inclusão deste estudo foram: acuidade visual

normal ou corrigida para 20/20, ausência de discromatopsias congênitas, doenças neurológicas, exposição a solventes e mercúrio ocupacional, operação para correção de catarata, e faixa etária de 15 a 65 anos. Da amostra inicial foram excluídos 45 sujeitos, 13 por terem relatado experiência ocupacional em garimpagem de ouro, 20 pela ausência de qualquer dado coletado, 9 por estarem fora da faixa etária estabelecida pelo estudo e 3 por serem discromatópicos congênitos do tipo deutan. Após a aplicação dos critérios de inclusão, somente 27 sujeitos ($36,67 \pm 10,36$ anos) residentes às margens do rio Tocantins e 58 sujeitos ($40,53 \pm 13,67$ anos) residentes às margens do rio Tapajós participaram da amostra final deste estudo. Todos os adultos avaliados neste estudo foram orientados quanto sua saúde visual a partir dos resultados obtidos pelos experimentos realizados.

No início de cada expedição, o grupo de pesquisadores integrantes do projeto apresentava uma palestra para a comunidade visitada na qual todos os estudos que seriam desenvolvidos pelo projeto eram apresentados e a importância destes para a comunidade era explicada. Após a palestra, a comunidade era convidada a participar dos estudos. Além disso, os sujeitos eram recrutados através de convite direto dos agentes comunitários de saúde. A amostra foi selecionada por conveniência.

Os sujeitos que se interessaram em participar do estudo foram esclarecidos quanto ao objetivo do estudo, aos procedimentos empregados, benefícios e malefícios, e a possibilidade de desistência da participação do estudo a qualquer momento sem prejuízo algum ao participante. Os sujeitos que aceitaram participar do estudo, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

Em seguida, os participantes foram submetidos a uma anamnese detalhada, na qual foram solicitadas informações pessoais e profissionais, histórico médico pessoal e familiar, informações nutricionais e socioeconômicas. Posteriormente, os testes de triagem foram aplicados.

Caso o sujeito fosse aprovado nos critérios de inclusão, o mesmo era submetido aos testes de discriminação de cor e luminância.

Este estudo foi desenvolvido em salas dentro de escolas ou postos de saúde fornecidas pelas comunidades estudadas. As janelas ou quaisquer locais dentro da sala que permitiam a entrada de luz do ambiente externo eram vedadas, no intuito de criar condições adequadas para a realização dos testes visuais.

3.5.1. Áreas de estudo

Três comunidades ribeirinhas com e sem história de exposição ao mercúrio foram estudadas nesta tese. As comunidades de Barreiras (4° 4' 50" S, 55° 41' 40" W) e São Luiz do Tapajós (4° 26' 52" S, 49° 23' 27" W) estão localizadas na região sudoeste do Estado do Pará, Brasil e são pertencentes ao município de Itaituba, a 889 km de Belém. A comunidade de Barreiras situa-se na margem direita do rio Tapajós, a 80 km a jusante de Itaituba e sua população é composto por 740 habitantes. A comunidade de São Luiz do Tapajós situa-se na margem esquerda do rio Tapajós, a 120 km a montante de Itaituba e sua população foi estimada em 460 habitantes (Pinheiro et al., 2007). A comunidade do município de Limoeiro do Ajurú (1° 53' 56" S, 49° 23' 27" W) está localizada na região nordeste do estado do Pará, Brasil, a 197 km de Belém. Este município situa-se na margem esquerda do rio Tocantins e sua população é constituída por 27.760 habitantes (FAPESPA, 2016) (**Figura 16**).

As comunidades da bacia do rio Tapajós encontram-se a 355 km de distância de áreas de atividade de mineração de ouro enquanto não há relatos de atividade de mineração de ouro próximo a Limoeiro do Ajurú na bacia do rio Tocantins (Freitas et al., 2018). A partir do histórico de exposição ao mercúrio, as comunidades de Barreiras e São Luiz do Tapajós foram consideradas o grupo amostral com histórico de exposição ao

mercúrio, enquanto a comunidade de Limoeiro do Ajuru foi considerada o grupo amostral sem histórico de exposição ao mercúrio.

Ambas as comunidades possuíam estilos de vida semelhantes. A agricultura e a pesca artesanal eram as principais atividades econômicas desenvolvidas pelas comunidades. Em sua dieta, o peixe era o alimento mais consumido semanalmente, e as comunidades apresentavam baixa taxa de escolaridade e de saneamento básico.

3.5.2. Análise genotípica da visão de cores

O fenótipo da visão de cores foi avaliado através do teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara. Caso o sujeito fizesse mais que oito erros na leitura das figuras de Ishihara, era realizada a análise genotípica para os genes das opsinas L e M no cromossomo X. Amostras de DNA foram coletadas por meio da técnica de raspado bucal, e foram extraídas e analisadas através do kit de purificação (Puregene DNA, Gentra System). Esta análise teve como premissa a identificação da presença das opsinas L e M no cromossomo X. A ausência de uma ou duas dessas opsinas caracterizou a presença de discromatopsia. A análise genotípica foi executada no Laboratório da Visão na Universidade de São Paulo. Neste estudo foram identificados três discromatópsicos do tipo deutan, sendo dois sujeitos pertencentes as comunidades do rio Tapajós e um sujeito residente da comunidade do rio Tocantins. Estes sujeitos foram excluídos da amostra analisada.

3.5.3. Quantificação do mercúrio

A concentração de mercúrio total foi estimada através de uma amostra de cabelo retirado de cada sujeito testado. Esta amostra era cortada na região occipital da cabeça do sujeito, 1 cm da acima inserção do cabelo no couro cabeludo.

A amostra era armazenada e em seguida, enviada ao Laboratório de Toxicologia Humana e Ambiental do Núcleo de Medicina Tropical na Universidade Federal do Pará para análise. A amostra foi processada e analisada através da espectrofotometria de absorção atômica com geração de vapor frio (Mercury Analyzer HG – 201, Sanso Seisakusho, Tóquio, Japão) seguindo o protocolo estabelecido em Khoury et al. (2015).

Cerca de 10 mg de cabelo eram necessários para a execução da análise. Cada amostra era analisada em duplicata. Os resultados foram expressos em $\mu\text{g/g}$ seguindo o padrão da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA086).

3.5.4. Avaliação da frequência de consumo semanal de peixes

A frequência de consumo alimentar semanal de peixes foi avaliada através das respostas obtidas nas anamneses e classificada de acordo com Brune et al. (1991), o qual dividiu o consumo alimentar semanal de peixe em 5 categorias: (I) nenhum consumo de peixe, (II) menos que duas refeições semanais de peixe, (III) duas a quatro refeições semanais de peixe, (IV) mais do que quatro refeições semanais de peixe e (V) desconhecido consumo de peixe. Nesta tese, os ribeirinhos foram separados em dois grupos: um grupo que consome duas ou mais refeições semanais de peixe, ou seja, sujeitos de consumo moderado a alto e outro grupo que consome menos de duas refeições semanais de peixe, ou seja, pessoas que tem pouco consumo de peixe.



Figura 16. Mapa do Brasil indicando com marcadores as localizações das comunidades estudadas nas bacias do rio Tapajós e do Rio Tocantins (Fonte: Freitas et al., 2018).

3.5.5. Testes de discriminação de cor e luminância

O teste de discriminação de luminância mascarado por ruído espacial de cor utilizado neste estudo, foi o mesmo teste utilizado no experimento 1. No entanto, foram feitas certas modificações na configuração e execução do teste com o intuito de diminuir o tempo de duração do experimento. Aqui, foram executadas dez reversões na escada, o limiar de discriminação de luminância era determinado a partir da média dos últimos seis valores de luminância registrados pelas reversões, somente a condição de saturação com vetor cromático de 0,06 unidades $u'v'$ no ruído espacial de cor do estímulo. O teste foi realizado uma vez.

O teste de discriminação de cor mascarado por ruído espacial de luminância foi criado através de uma adaptação feita a partir dos métodos apresentados por Regan et al. (1994). O teste foi desenvolvido no ambiente de programação MATLAB R2012b e exibido na plataforma MacBook PRO, o mesmo computador portátil utilizado no experimento 1. O estímulo era composto por um mosaico de círculos com ruído espacial de tamanho e de luminância. O ruído espacial de tamanho possuiu as mesmas configurações utilizadas no estímulo do experimento 1. O ruído espacial de luminância foi gerado a partir da distribuição aleatória de seis níveis de luminância equidistantes em um intervalo de 8 e 18 cd/m^2 . A cada tentativa, a luminância de todos os círculos modificava-se aleatoriamente. A luminância média do estímulo era 10 cd/m^2 . Um subconjunto de círculos, no formato da letra C de Landolt, emergiu perceptualmente no centro do mosaico devido a diferença de cromaticidade existente entre este e os demais círculos do mosaico.

Os limiares de discriminação de cor foram estimados a partir de 3 vetores cromáticos dispostos em uma distância fixa em 0° , 90° e 165° ao redor da cromaticidade

central ($u'=0,198$, $v'=0,469$). Estes vetores foram escolhidos por estarem localizados próximos as linhas de confusão de cor protan, tritan e deutan, respectivamente.

As dimensões do estímulo, o procedimento de escolha forçada, método de escada e regra da mesma, assim como o experimento psicofísico foram os mesmos utilizados no experimento 1. O teste finalizou após 10 reversões da escada e os seis últimos valores obtidos nas reversões foram promediados para estimar os limiares de discriminação cromática.

Os testes de discriminação de cor e luminância foram realizados monocularmente, sendo escolhido o olho com melhor acuidade visual para a realização dos experimentos. O teste de discriminação de luminância mascarado com ruído espacial cromático tinha duração de quatro minutos e o teste de discriminação de cor mascarado com ruído espacial de luminância durava cerca de doze minutos, portanto o protocolo experimental era executado em torno de 16 minutos.

A **Figura 17** mostra exemplos dos estímulos para testar a discriminação de cores e de luminância que foram utilizados nesta tese. A **Figura 18** mostra as localizações das coordenadas de cromaticidade usadas no teste de discriminação de cores mascarado com ruído espacial de luminância.

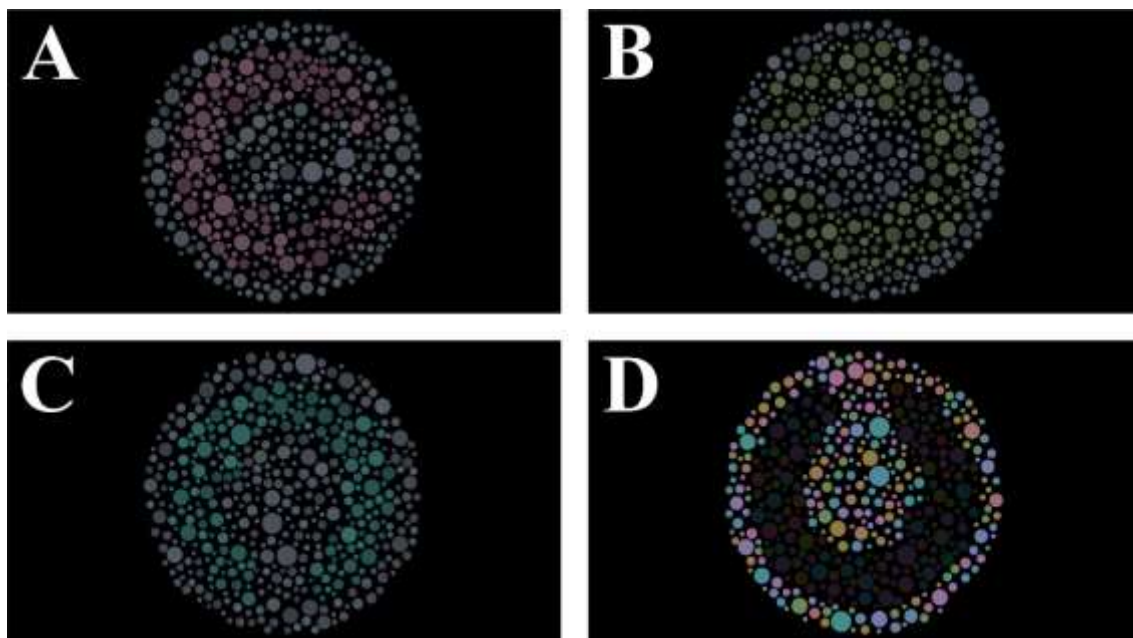


Figura 17. Estímulos apresentados nos testes de discriminação de cor e luminância. (A) a (C) Estímulos usados no teste de discriminação de cor. (A) Vetor 0° , (B) Vetor 90° , (C) Vetor 165° . (D) Estímulo utilizado no teste de discriminação de luminância.

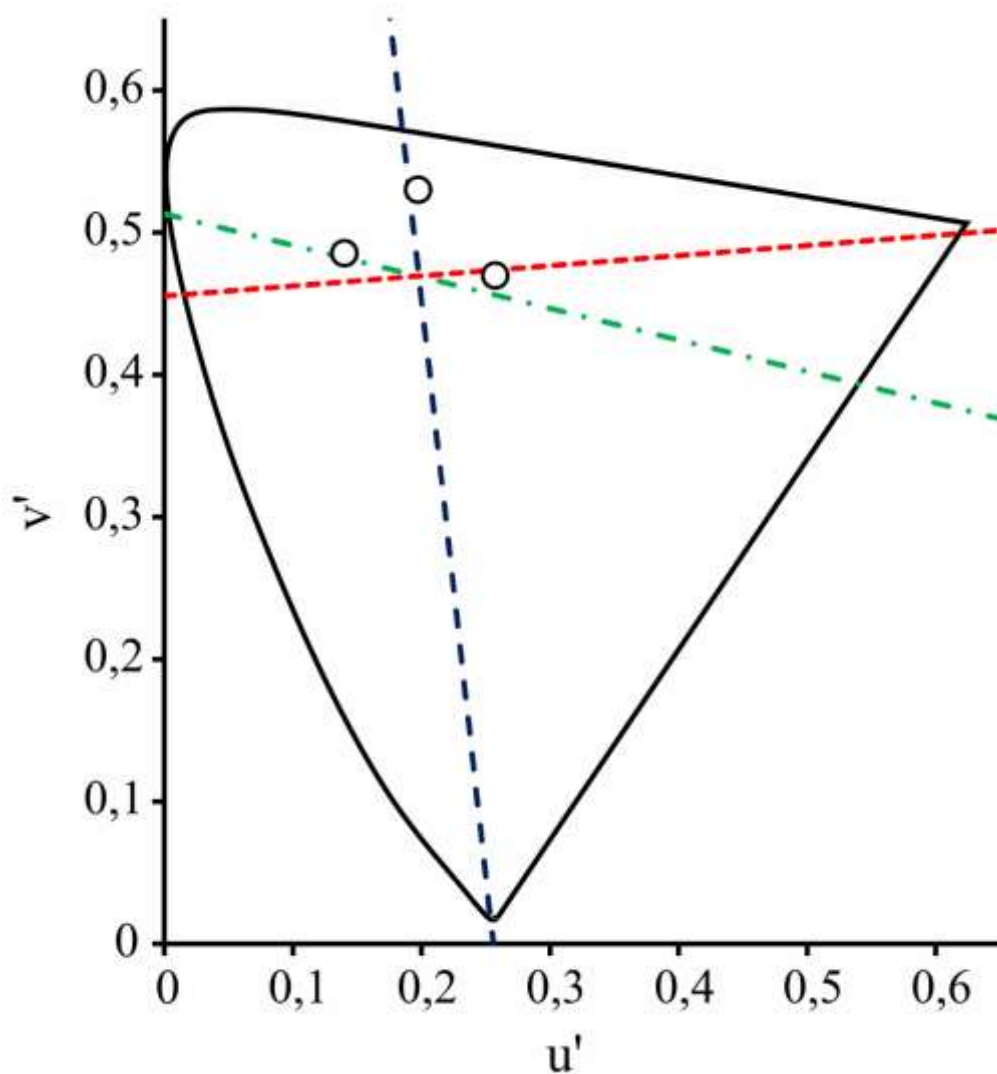


Figura 18. Cromaticidades utilizadas no teste de discriminação de cor no diagrama de cor da CIE 1976 com saturação de 0,06 unidades. Os círculos representam a disposição das três cromaticidades testadas dispostas em distância vetorial fixa em 0° , 90° e 160° , ao redor da cromaticidade central ($u'=0,198$, $v'=0,469$). A linha preta contínua representa o *locus spectral* do diagrama de cromaticidade da CIE 1976. As linhas tracejadas vermelho, verde e azul representam as linhas de confusão de cor protan, deutan e tritan, respectivamente.

3.6. ANÁLISE DE DADOS

Os dados dos testes foram extraídos e analisados através dos programas Microsoft Excel® 2007, BioEstat® 5.3 e MATLAB® R2012b. Para avaliar a distribuição dos dados, foi aplicado o teste de normalidade Shapiro-Wilk. Quando este não se adequava a quantidade de dados da amostra, foi utilizado o teste de Lilliefors. Nesta tese, o nível de significância que foi usado foi de 5%.

Nos estudos 1, 4 e 5, os contrastes limiars foram descritos estatisticamente. Nos estudos 1 e 4, utilizaram-se a média e o desvio padrão, enquanto no estudo 5, aplicou-se a mediana, o primeiro e o terceiro quartil. Isto se deve a distribuição dos dados destes estudos. Os estudos 1, 2, 3 e 4 apresentaram distribuição de dados normal, ao passo que o estudo 5 exibiu distribuição de dados anormal.

Para comparar os contrastes limiars estimados em função da saturação do ruído espacial de cor no estudos 1, foi utilizado o teste de variância ANOVA, uma via e com teste *post hoc* de *Tukey*. Para investigar o efeito da aprendizagem do teste do estudo 1, também foram comparados os contrastes limiars estimados nas três sessões consecutivas através do teste ANOVA, duas vias com teste *post hoc* de *Tukey*.

Para averiguar se a presença do mosaico influenciou na discriminação de luminância, foram comparados os contrastes limiars estimados com estímulos com mosaico em diferentes saturações do ruído espacial cromático com o contraste limiar obtido por meio de um estímulo sem mosaico aplicando o teste ANOVA uma via e com teste *post hoc* de *Tukey*. Para analisar a distribuição de frequência normal da relação entre os limiars estimados usando estímulos com mosaico e estímulo sem mosaico foi feita uma razão entre estes limiars sob o \log_{10} .

Para investigar se a composição cromática do estímulo influenciou o contraste limiar de luminância, compararam-se os contrastes limiars nas diferentes composições

cromáticas em cinco distintas condições de saturação aplicando o teste ANOVA duas vias e teste *post hoc* de Bonferroni.

Para investigar se existia diferença entre os contrastes limiares de luminância estimados em uma tela de cristal líquido e em um monitor de tubo de raios catódicos, foram comparados os resultados de sete sujeitos submetidos ao mesmo teste em ambos os monitores utilizando o teste de variância ANOVA uma via e com teste *post hoc* de *Tukey*. Além disso, foi comparado os resultados destes observadores ($n = 7$) com os resultados de subgrupos feitos a partir da amostra testada usando apenas a tela de LCD do estudo 1. Para compor esses subgrupos, foram selecionados aleatoriamente 7 observadores de um grupo de 33 observadores testados usando a tela de LCD. Foram realizadas dez comparações com dez subgrupos diferentes. Os sujeitos poderiam ser selecionados mais de uma vez para integrar os subgrupos. Esta análise foi feita para avaliar se o resultado obtido entre a comparação entre os monitores ocorreu ao acaso.

Com o propósito de investigar a influência dos contrastes de luminância com polaridade positiva e negativa entre o alvo e o fundo no estímulo sob os limiares de discriminação de luminância, foram comparados os contrastes limiares obtidos a partir dos dois protocolos utilizando o teste ANOVA duas vias com teste *post hoc* de *Tukey*. Ademais, foi calculada a função potência que melhor se ajustou aos dados do contraste limiar e a razão entre os contrastes de polaridade positiva e negativa. Os resultados obtidos da razão entre os contrastes foram comparados através do teste ANOVA uma via.

No estudo 5, os dados das comunidades foram avaliados a partir de três grupos amostrais: toda a amostra, no qual era comportada todo o grupo amostral, e 15 a 40 anos e >40 a 65 anos, no qual a amostra era estratificada em faixas etárias. Os resultados das comunidades de Barreiras e São Luiz do Tapajós foram unidos para representar as comunidades ribeirinhas do Rio Tapajós, pois a quantidade de dados obtidas na

comunidade de São Luiz do Tapajós foi ínfima. O consumo de peixe de ambas as comunidades foi quantificado. Os grupos amostrais foram subdivididos quanto a quantidade de pescado ingerida na semana. A concentração de mercúrio total, os limiares de discriminação cromático e de contraste limiar de luminância das comunidades do rio Tocantins e do rio Tapajós foram comparadas através do teste Mann-Whitney e foram aplicadas a estas comparações, a correção de Bonferroni.

4. RESULTADOS

4.1. ESTUDO 1 – INVESTIGAÇÃO DA DISCRIMINAÇÃO LIMIAR DE LUMINÂNCIA SOB MASCAREMENTO CROMÁTICO: EFEITOS DA SATURAÇÃO DE COR DO RUÍDO

Os contrastes limiares de luminância variaram em função do comprimento do vetor dos valores de ruído espacial cromático. A presença do ruído espacial cromático foi associada a uma redução no limiar de discriminação de luminância. Quanto mais elevado for a saturação do vetor do ruído espacial cromático, mais alto será o contraste limiar de luminância. A **Figura 19** mostra a média do contraste limiar ($n = 40$, 2 ensaios) em função do ruído espacial cromático. Os limiares médios de luminância para as diferentes condições de ruído cromático (em unidades $u'v'$) foram: 0,06: $38,9\% \pm 6,8$; 0,03: $35,6\% \pm 5,7$; 0,015: $30,2\% \pm 4,6$; 0,0075: $26,6\% \pm 4,6$; e 0: $24,2\% \pm 5$. Para um subgrupo de observadores, comparamos os contrastes limiares de luminância em três sessões consecutivas. A **Figura 20** mostra a comparação de três resultados individuais (**Figura 20A-C**) e os resultados do grupo das sessões 1, 2 e 3.

Observamos que todas as sessões mostraram uma influência inibitória do comprimento do vetor cromático nos contrastes limiares de luminância. Encontramos diferença estatística entre o contraste limiar de luminância obtido com o ruído espacial cromático de 0,06 e 0,03 unidades $u'v'$. Os contrastes limiares estimados para esses estímulos na primeira sessão foram significativamente maiores que os obtidos nas mesmas condições durante a segunda e terceira sessão (**Figura 20D**, $p < 0,05$). Todas as outras comparações de intercorrências para o mesmo comprimento do vetor do ruído espacial cromático não apresentaram diferenças significativas.

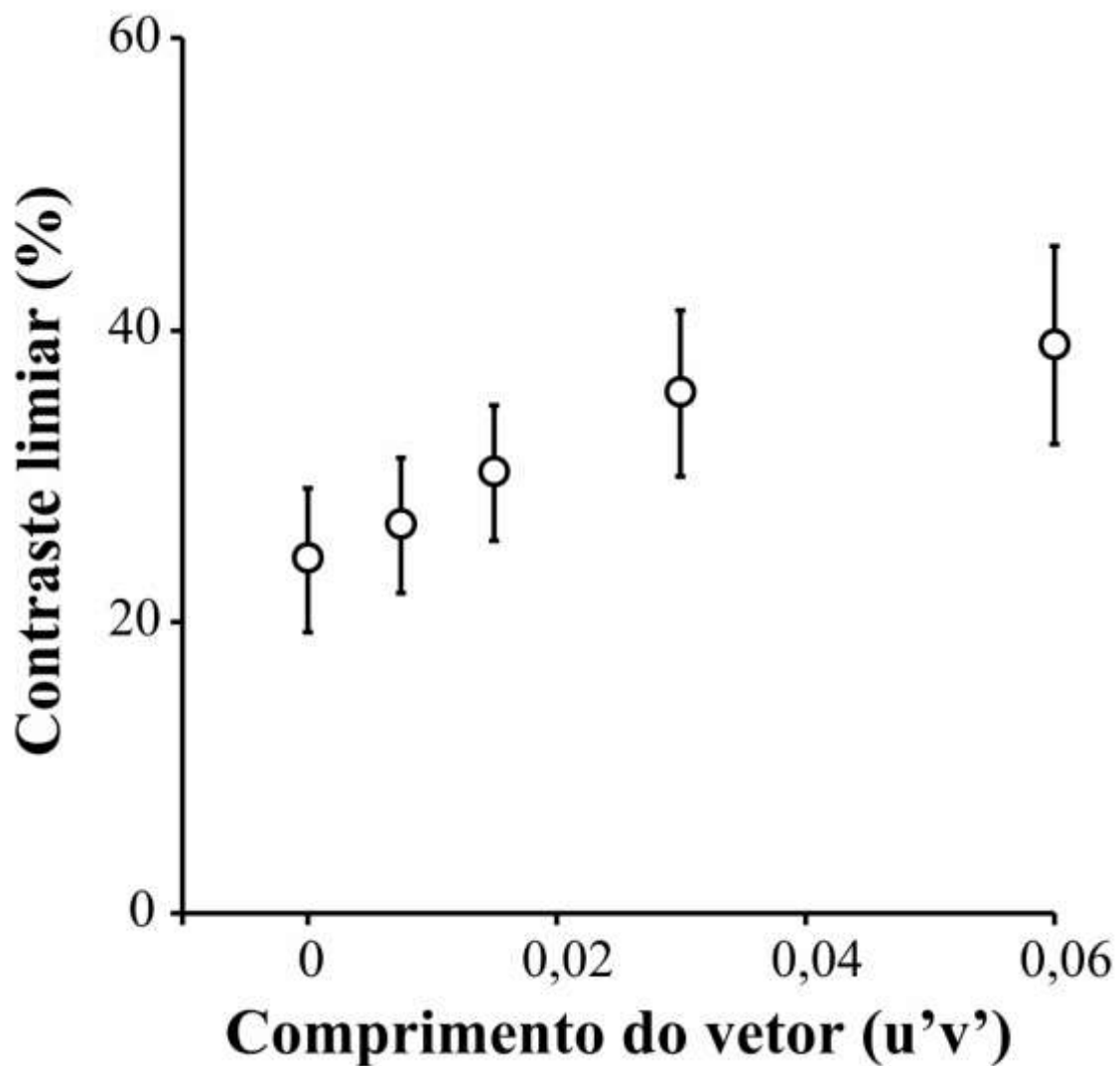


Figura 19. Média do contraste limiar de luminância ($n = 40$) como uma função do comprimento do vetor do ruído espacial cromático. Quanto maior for a magnitude do ruído, maior será o contraste limiar de luminância. As barras de erro representam o desvio padrão da média.

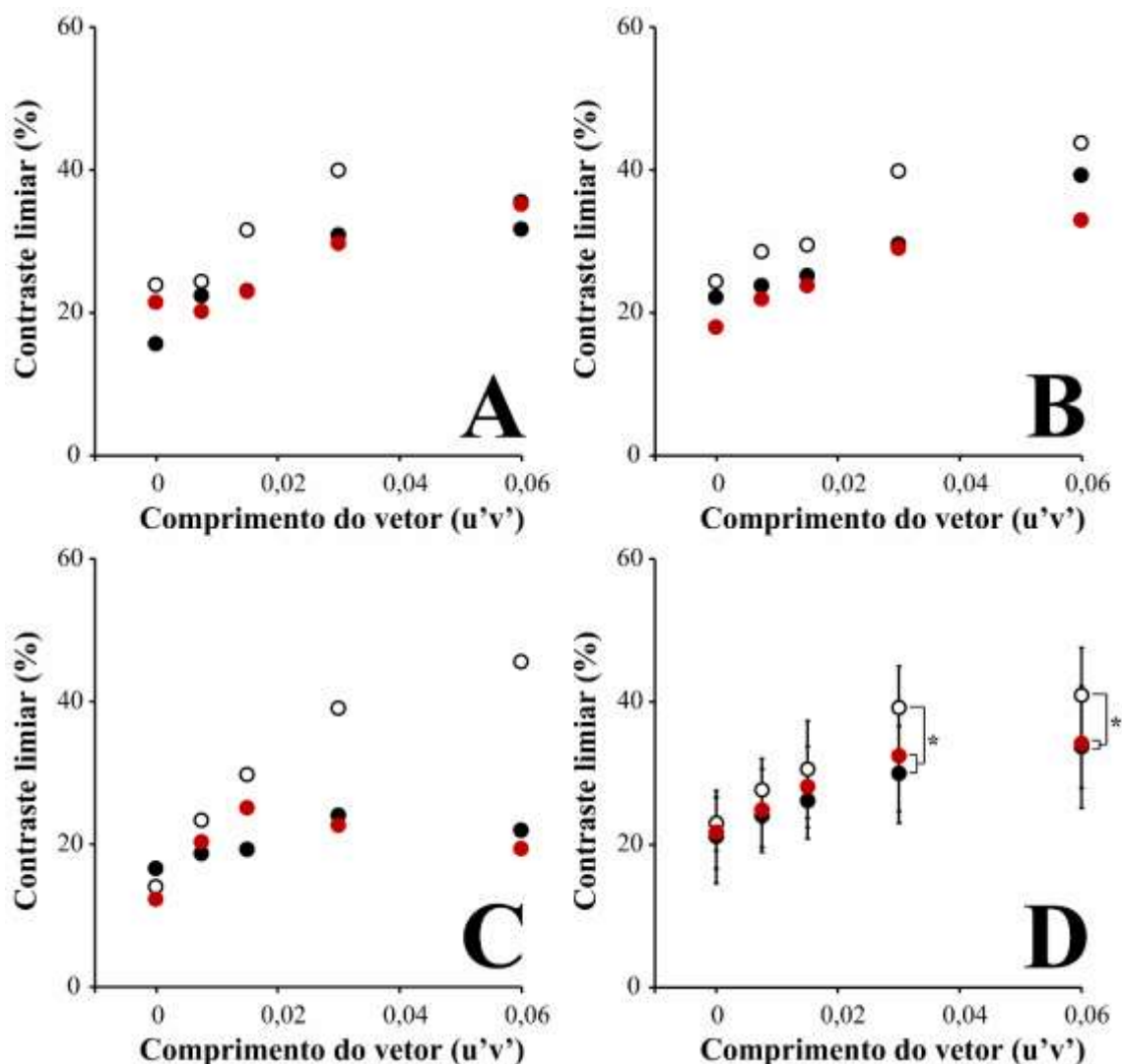


Figura 20. Comparação dos contrastes limiaries em função do comprimento do ruído espacial cromático obtido em três sessões consecutivas (círculos brancos, primeira sessão, círculos negros, segunda sessão, círculos vermelhos, terceira sessão). (A-C) representam pontos de dados individuais de três participantes representativos da amostra. (D) representaram as funções médias para cada sessão. Houve diferenças significativas para os vetores de ruído espacial cromático de 0,06 e 0,03. A primeira sessão teve limiaries de contraste mais altos do que as outras duas sessões consecutivas (* $p < 0,05$). As barras de erro representam o desvio padrão da média.

4.2. ESTUDO 2 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL DE TAMANHO SOB O CONTRASTE LIMIAR DE LUMINÂNCIA

A **Figura 21A** ilustra a comparação de contrastes limiares de luminância estimados usando estímulo com mosaico nas diferentes condições de ruído espacial cromático (o mesmo do estudo 1) e aqueles estimados usando estímulo sem mosaico. Todos os contrastes limiares obtidos com o estímulo com mosaico foram significativamente maiores que os estimados com o estímulo sem mosaico ($p < 0,01$). A distribuição de frequência do \log_{10} da relação entre os limiares estimados com mosaicos e o limiar estimado usando estímulo sem mosaico são mostradas na **Figura 21B**. Os dados tiveram uma distribuição normal e a mediana do \log_{10} da proporção da distribuição foi de 1,18, o primeiro quartil foi de 1,08 e o terceiro quartil foi de 1,28.

4.3. ESTUDO 3 – INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO CROMÁTICA DO ESTÍMULO NO CONTRASTE LIMIAR DE LUMINÂNCIA

Sete observadores realizaram o estudo 3. Nenhuma diferença foi observada nos contrastes limiares estimados a partir do mesmo comprimento do vetor do ruído espacial cromático em torno das cinco cromaticidades de referência ($p > 0,05$). A **Figura 22** mostra as comparações múltiplas do contraste limiar obtidas a partir de cinco diferentes ruídos espaciais cromáticos.

4.3.1. Comparação dos limiares de contraste de luminância estimados usando a tela de cristal líquido (LCD) e o tubo de raio catódico (CRT)

Foram comparados os resultados obtidos dos mesmos observadores ($n = 7$) testados usando ambas as telas e o ruído espacial cromático gerado a partir da cromaticidades de referência C2 (**Figura 23**). Não houve influência do sistema utilizado

para estimular o experimento psicofísico. Para o mesmo comprimento do vetor do ruído espacial cromático, os contrastes limiáres de luminância estimados usando LCD e CRT não apresentaram diferença significativa.

Também foram comparados os resultados desses observadores ($n = 7$) testados usando CRT e LCD e subgrupos da amostra testada usando apenas LCD. Os resultados das comparações múltiplas entre observadores de CRT e observadores de LCD são mostrados na **Tabela 2**.

Observamos que após 10 comparações entre o grupo de observadores CRT e os subgrupos de observação LCD, 18% das comparações apresentaram significância estatística e foi bastante restritiva para os comprimentos dos vetores do ruído cromático mais elevados.

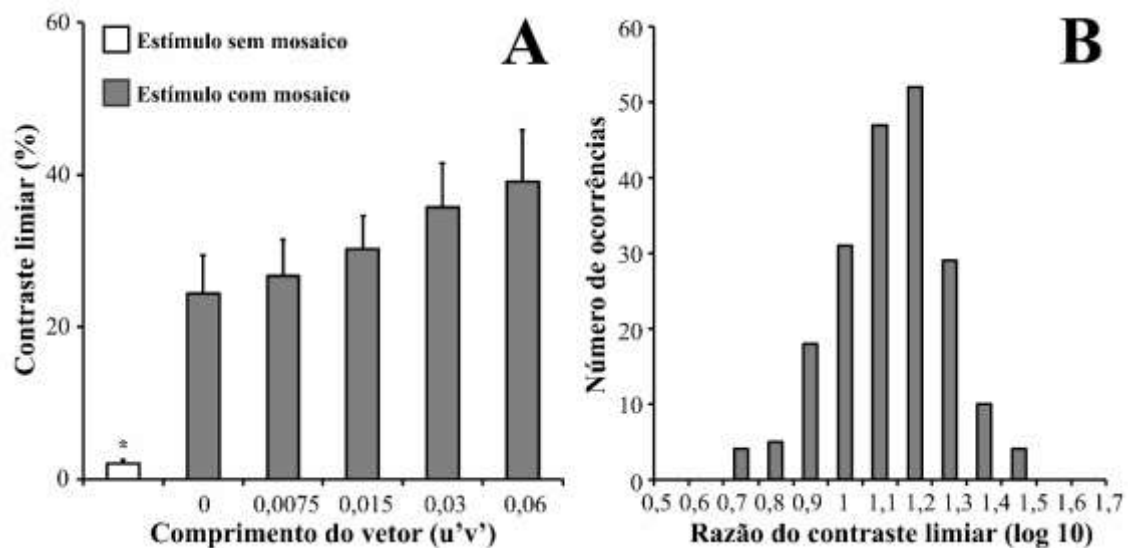


Figura 21. Comparação dos contrastes limiaries de luminância obtidos usando estímulos com mosaico (barras cinza) e estímulo sem mosaico (barra branca). (A). Os limiaries estimados usando estímulos com mosaico foram significativamente maiores que os estimados usando estímulo sem mosaico para todos os indivíduos em todas as condições. (B) Distribuição de frequência normal da relação \log_{10} entre os limiaries estimados usando estímulos com mosaico e estímulo sem mosaico. A mediana da distribuição foi de 1,18 unidades logarítmicas. As barras de erro representam o desvio padrão ($n = 40$).

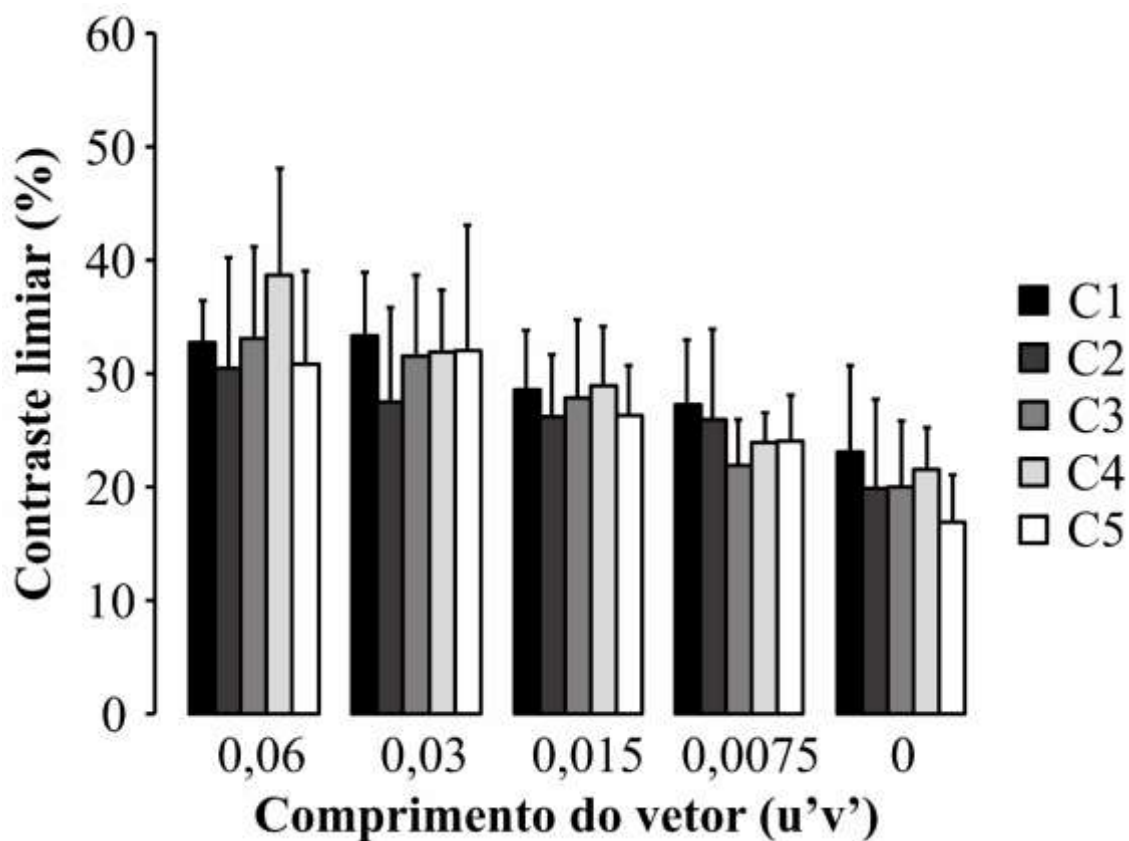


Figura 22. Comparação do contraste limiar estimado usando cinco mosaicos com diferentes composições cromáticas ($n = 7$). Não houve diferença significativa entre os limiares estimados usando cada uma das composições cromáticas de adaptação para o mesmo comprimento do vetor do ruído espacial cromático. As barras de erro representam o desvio padrão da média.

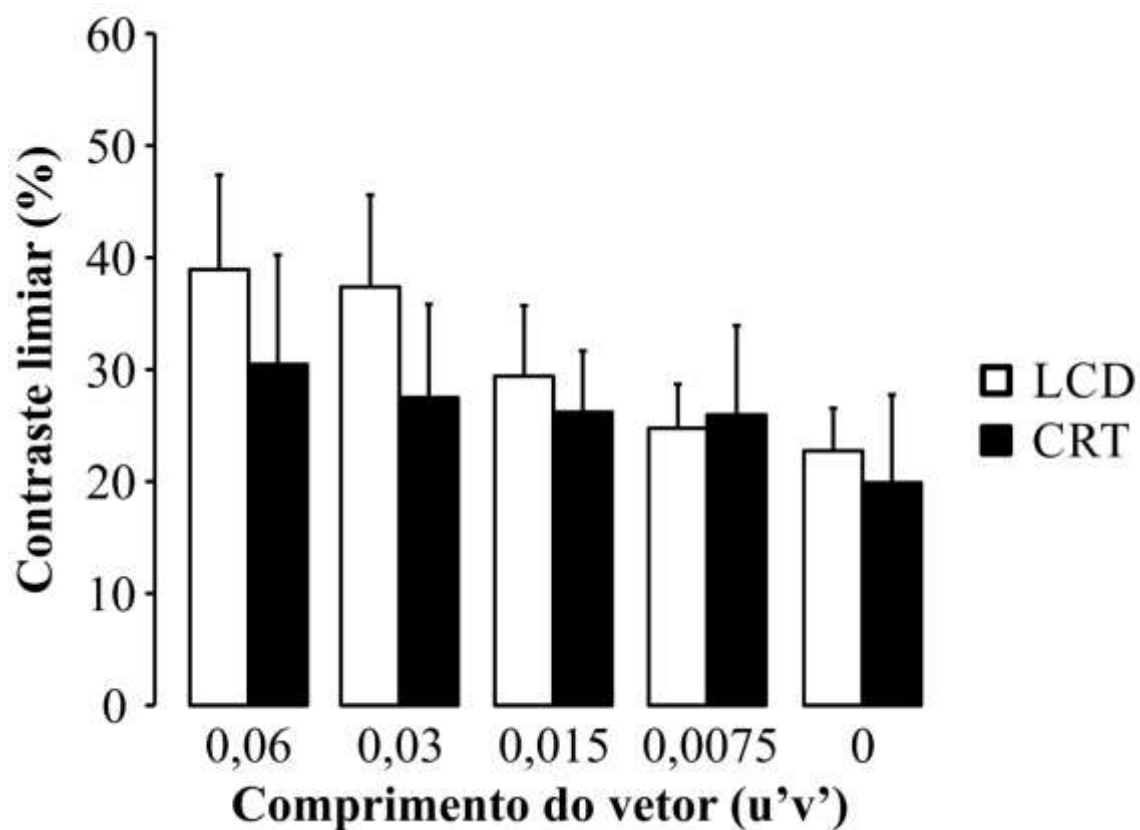


Figura 23. Comparação do contraste limiar de luminância ($n = 7$) estimados a partir de estímulos apresentados em LCD (barras brancas) e CRT (barras pretas) e ruído espacial cromático gerados ao redor C2. Não houve diferença significativa entre os limiares estimados a partir do mesmo comprimento do vetor do ruído espacial cromático. Barras de erros representam o desvio padrão da média.

4.4. ESTUDO 4 – INFLUÊNCIA DO RUÍDO ESPACIAL CROMÁTICO NOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA PARA CONTRASTES COM POLARIDADE POSITIVA E NEGATIVA ENTRE O ALVO E O FUNDO DO ESTÍMULO

Como exibido no estudo 1, o ruído espacial cromático influencia os contrastes limiares de luminância. Em ambos os protocolos foi encontrado que quanto maior foi o comprimento do vetor cromático, maior foi o contraste limiar de luminância ($p < 0,05$) (Figura 24). Os limiares de discriminação de luminância estimados no protocolo de decremento de luminância foram significativamente menores aos estimados a partir do protocolo de incremento de luminância em todos os níveis de saturação ($p < 0,05$) (Figura 25). Os valores dos contrastes limiares médios estimados para as diferentes saturações no protocolo (i) – incremento de luminância, e no protocolo (ii) – decremento de luminância estão exibidos (em unidades $u'v'$) na Tabela 3.

A razão entre os contrastes limiares estimados em ambos os protocolos apresentou valores semelhantes nos diferentes comprimentos dos vetores cromáticos (Figura 26, $p > 0,05$). A média da razão entre os protocolos (i) e (ii) foram: $0,06 = 1,78 \pm 0,15$; $0,03 = 1,54 \pm 0,15$; $0,015 = 1,75 \pm 0,13$; $0,0075 = 1,68 \pm 0,12$; $0 = 1,55 \pm 0,08$.

Tabela 3. Estatística descritiva dos valores de contraste limiar de luminância estimados em cinco diferentes saturações nos protocolos (i) e (ii). Os valores mostrados representam a média e o desvio padrão;

Comprimento do vetor do ruído espacial cromático					
Protocolo	0,06	0,03	0,015	0,0075	0
(i)	$0,50 \pm 0,05$	$0,40 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,03$	$0,33 \pm 0,03$	$0,26 \pm 0,02$
(ii)	$0,28 \pm 0,01$	$0,25 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,01$	$0,17 \pm 0,01$

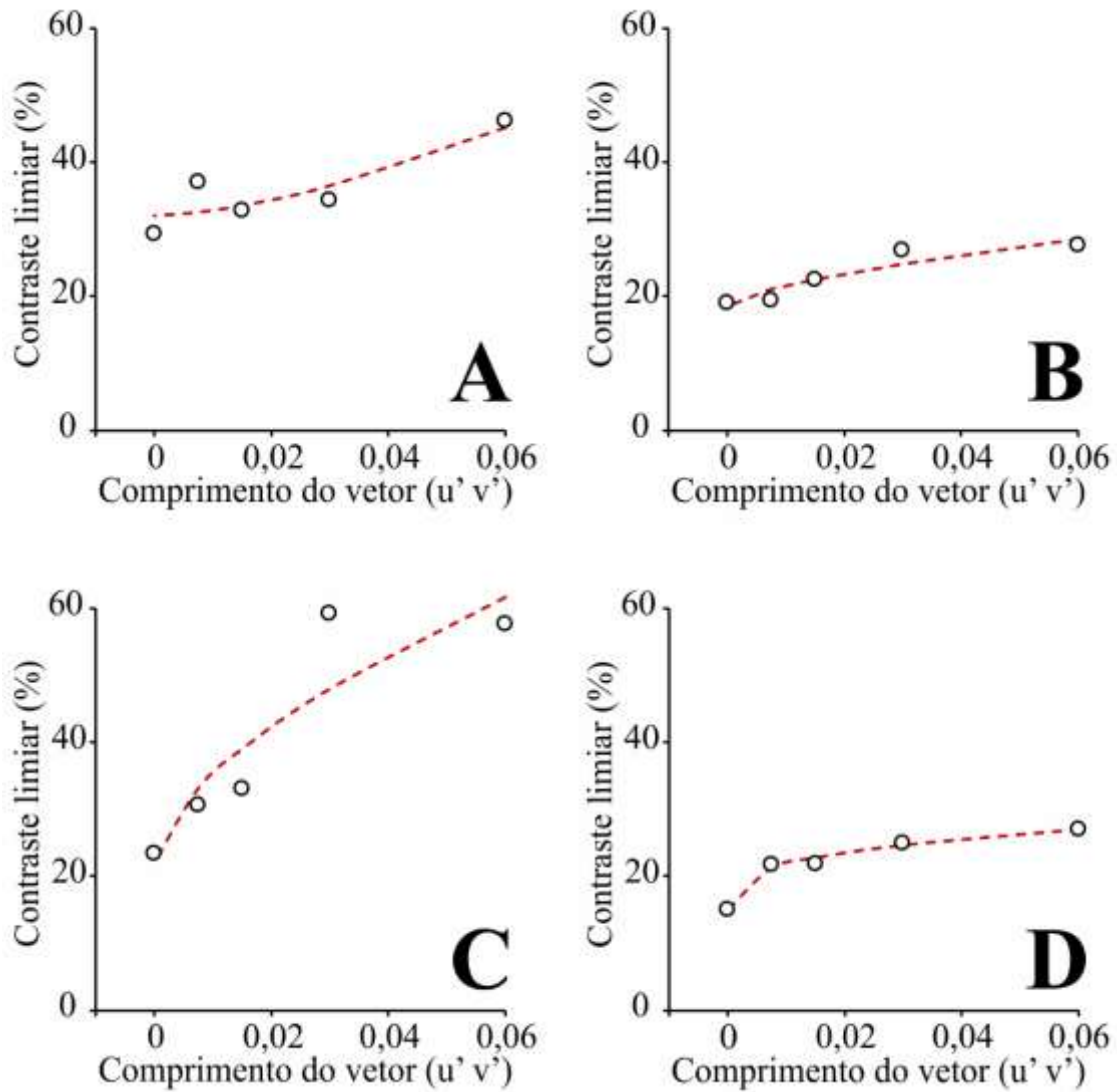


Figura 24. Contraste limiar de luminância em função do comprimento do vetor do ruído espacial cromático para os protocolos de contraste com polaridade positiva e negativa. (A-C) exibem dados individuais do contraste limiar de luminância (círculos brancos) para o protocolo de contraste com polaridade positiva, enquanto (B-D) exibem dados individuais para o protocolo de contraste com polaridade negativa. (A e B) e (C e D) são dados dos mesmos sujeitos para protocolos diferentes. A linha vermelha tracejada representa a função potência ajustada aos dados de contraste limiar de cada sujeito.

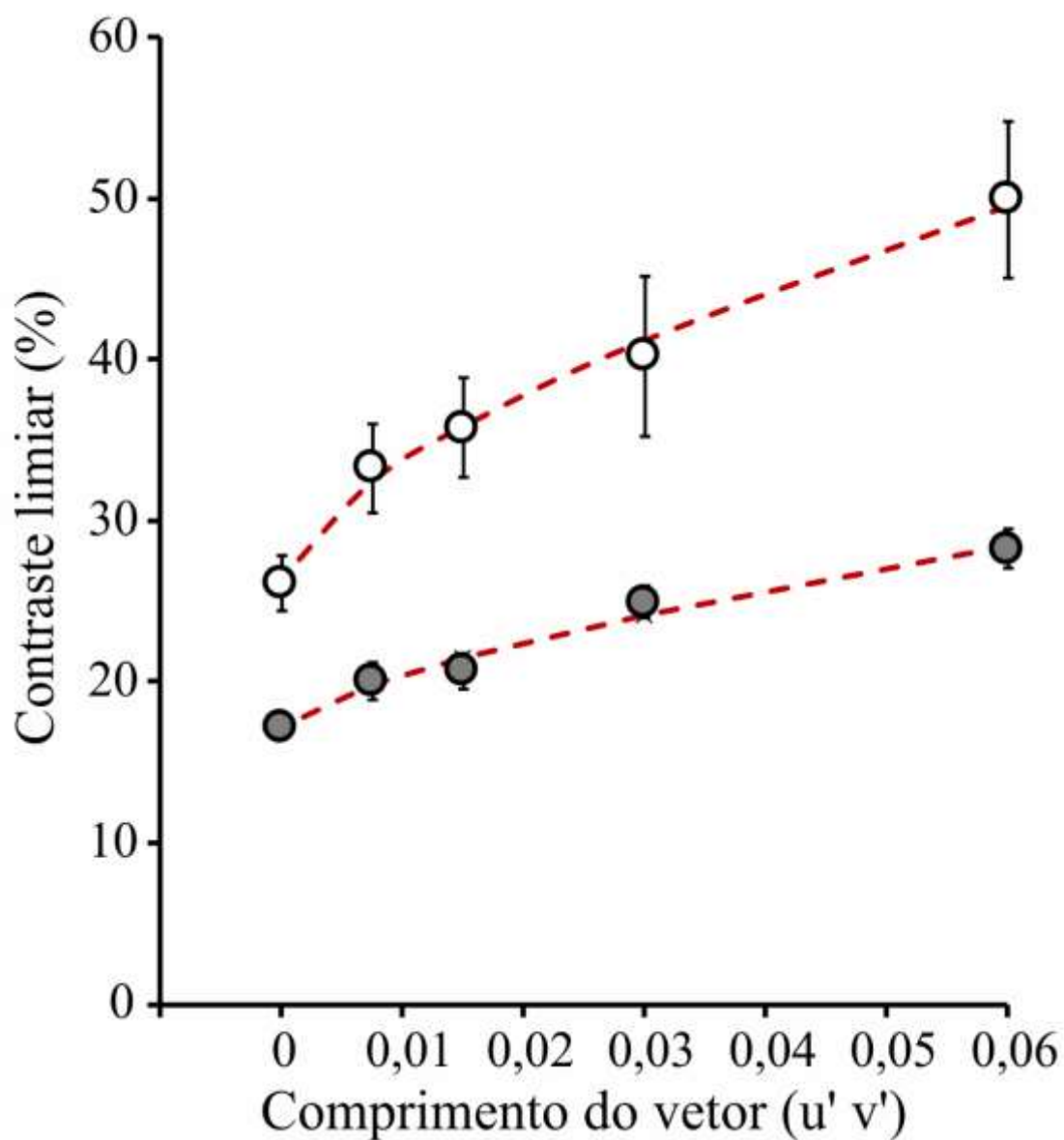


Figura 25. Contraste limiar de luminância médio em função do comprimento do vetor do ruído espacial cromático para os protocolos de contraste com polaridade positiva (CP) e negativa (CN). Houve diferença estatística entre os contrastes limiares estimados em ambos os protocolos ($p < 0,05$). Os círculos brancos e cinzas representam a média do contraste limiar para os protocolos CP e CN, respectivamente. As linhas vermelhas tracejadas representam as funções potência ajustadas às médias de contraste limiar para cada protocolo. As barras de erros representam o erro padrão da amostra.

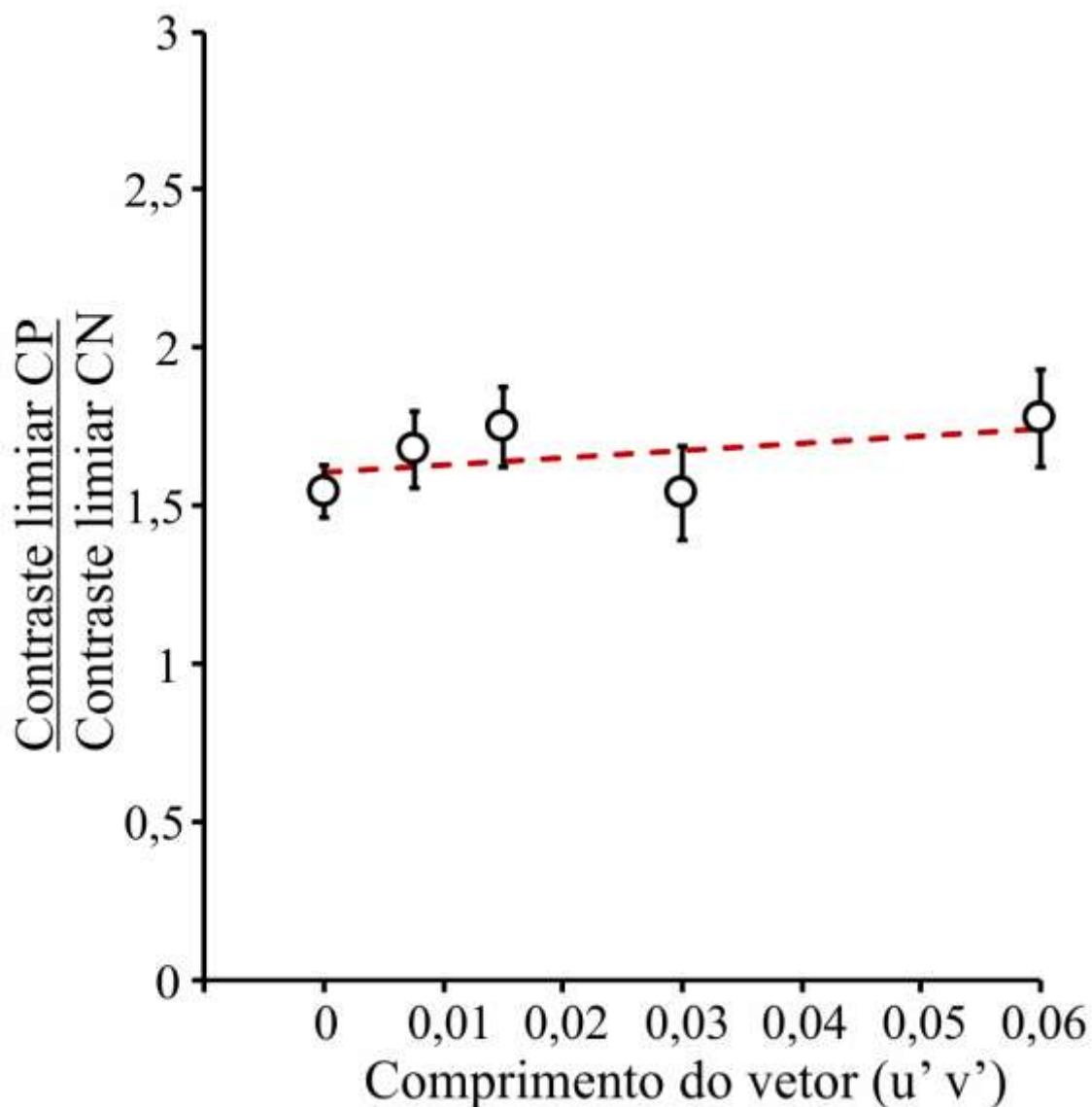


Figura 26. Média da razão entre o contraste limiar de luminância em função do comprimento do vetor do ruído espacial cromático estimados através dos protocolos de contraste com polaridade positiva (CP) e negativa (CN). Não houve diferença significativa entre a razão dos contrastes limiares em nenhuma das condições de ruído espacial cromático. Os círculos brancos representam a média da razão entre os contrastes limiares para os protocolos CP e CN. A linha vermelha tracejada representa a função potência ajustadas aos dados. As barras de erros representam o erro padrão da razão.

4.5. ESTUDO 5 – COMPARAÇÃO DOS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE COR E DE LUMINÂNCIA EM DUAS POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DIFERENTEMENTE EXPOSTAS AO MERCÚRIO

A Tabela 4 mostra a estatística descritiva para as variáveis idade e concentração de mercúrio total no cabelo dos ribeirinhos residentes nas margens dos Rios Tocantins e Tapajós. A comparação das concentrações de mercúrio no cabelo mostrou que os ribeirinhos residentes na bacia hidrográfica do Rio Tapajós apresentavam maiores valores que os ribeirinhos que viviam nas margens do Rio Tocantins considerando toda a amostra ($p < 0,0001$), quanto para o grupo com faixa etária entre 15 e 40 anos ($p < 0,0001$) e para o grupo com faixa etária entre >40-65 anos ($p = 0,0002$).

Foi observado que da amostra total da comunidade do Rio Tocantins, 17 sujeitos relataram se alimentar de peixe em duas ou mais refeições semanais, enquanto 10 sujeitos relataram ter a frequência de consumo semanal de peixe menor que duas refeições. Já na amostra total da comunidade do Rio Tapajós, 48 sujeitos relataram ter frequência semanal de consumo de pescado de duas ou mais refeições, enquanto 10 sujeitos relataram ter frequência de consumo alimentar de peixe abaixo de duas refeições semanais.

A Tabela 5 mostra a frequência alimentar dos dois grupos etários nas comunidades das duas bacias hidrográficas estudadas. Quando se considerou todas as amostras de ambas as comunidades ribeirinhas, foi observado que os ribeirinhos da bacia do Rio Tapajós que consumiam duas ou mais refeições semanais de pescado apresentavam concentração de mercúrio estatisticamente superior aos níveis do metal presentes no cabelo dos ribeirinhos da bacia do Rio Tocantins ($p < 0,0083$). Não houve diferença significativa nas demais comparações. O mesmo padrão de resultado foi observado quando se comparou apenas os dados das amostras pertencentes grupos de participantes com faixa etária entre 15 e 40 anos. Quando se comparou os dados dos participantes com

Tabela 4. Característica etária e de concentração de mercúrio total no cabelo das comunidades ribeirinhas dos Rios Tocantins e Tapajós. Os valores mostrados representam a mediana (primeiro quartil - terceiro quartil).

População	N	Idade (anos)	[Hg] no cabelo (µg/g)
Rio Tocantins			
<i>Toda a amostra</i>	27	40 (25-44,5)	0,82 (0,48-1,22)
<i>Grupo 15-40 anos</i>	14	25 (23-34)	0,72 (0,34-1,26)
<i>Grupo >40-65 anos</i>	13	45 (43-48)	0,99 (0,6-1,09)
Rio Tapajós			
<i>Toda a amostra</i>	58	39 (32-52,5)	4,08 (2,64-7,22) *
<i>Grupo 15-40 anos</i>	33	32 (27-36)	3,68 (2,6-6,26) *
<i>Grupo >40-65 anos</i>	25	54 (49-59)	5,11 (2,81-9,69) *

N, tamanho amostral; [Hg], concentração de mercúrio total. *Diferença estatística quanto comparado ao respectivo dado obtido das amostras dos residentes da bacia do Rio Tocantins ($p < 0,001$).

faixa etária entre >40 e 65 anos, os sujeitos com frequência alimentar semanal de pescado de duas ou mais refeições tiveram maiores concentrações do metal no cabelo que todos os participantes da mesma faixa etária residentes na bacia do Rio Tocantins e que os participantes de mesma faixa etária residentes na bacia do Rio Tapajós e que tinham frequência alimentar semanal de pescado abaixo de duas refeições ($p < 0,0083$).

As estatísticas descritivas da discriminação de cores sobre os eixos protan, deutan e tritan das comunidades da bacia do Rio Tocantins e do Rio Tapajós estão mostradas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente. As múltiplas comparações realizadas dentro dos grupos considerando a frequência alimentar semanal de peixe não mostraram diferenças estatísticas entre os dados estimados de ambas populações ribeirinhas que vivem nas bacias do Rio Tocantins e do Rio Tapajós.

A Tabela 8 mostra os valores de contrastes limiars de luminância estimados dos participantes residentes das duas bacias hidrográficas estudadas nesta tese. Quando se considerou todos os dados das amostras ou mesmo quando separado em grupos etários, não foi possível observar influência do hábito alimentar sobre a discriminação limiar de luminância. Não houve diferenças significativas entre os valores de contraste limiar de luminância estimados dos participantes.

Tabela 5. Distribuição da amostra em relação à frequência semanal de consumo de peixe das comunidades das bacias hidrográficas estudadas na presente tese. Os valores mostrados representam a mediana (primeiro quartil - terceiro quartil).

População	Frequência semanal de consumo de peixe			
	Duas ou mais refeições		Abaixo de duas refeições	
Rio Tocantins	N	[Hg] no cabelo	N	[Hg] no cabelo
<i>Toda a amostra</i>	17	1,08 (0,6-1,66)	10	0,52 (0,25-1,65)
<i>Grupo 15-40 anos</i>	9	1,08 (0,55-1,29)	5	0,31 (0,23-0,61)
<i>Grupo >40-65 anos</i>	8	1,06 (0,89-1,71)	5	0,61 (0,43-0,66)
Rio Tapajós				
<i>Toda a amostra</i>	48	4,73 (2,93-9,23) *	10	2,62 (0,72-3,39)
<i>Grupo 15-40 anos</i>	28	4,04 (2,49-6,5) *	5	2,97 (2,81-3,53)
<i>Grupo >40-65 anos</i>	20	5,93 (4,28-9,89) †	5	0,7 (0,55-0,24)

N, tamanho amostral; [Hg], concentração de mercúrio total. *Diferença significativa quando comparada aos dados obtidos de residentes da bacia do Rio Tocantins ($p < 0,0083$). †Diferença significativa quando comparada aos dados obtidos de residentes da bacia do Rio Tocantins e dos residentes da bacia do Tapajós com frequência de consumo semanal de pescado inferior a 2 refeições ($p < 0,0083$).

Tabela 6. Estatística descritiva da discriminação de cores sobre os eixos de confusão de cores para os participantes residentes na bacia do Rio Tocantins. Os valores mostrados representam a mediana (primeiro quartil - terceiro quartil).

Consumo de peixe	Tamanho do vetor (unidades u'v')		
	Protan	Deutan	Tritan
<i>Toda a amostra</i>			
≥ 2 refeições por semana	93,3 (83,5-131)	96,5 (68-122)	234,8 (171-322,6)
< 2 refeições por semana	104,3 (71,2-122,4)	91,5 (70,8-115,1)	238,6 (176,7-313,6)
<i>Grupo 15-40 anos</i>			
≥ 2 refeições por semana	93 (83,5-112,3)	102,8 (68-122)	232,1 (154,8-234,8)
< 2 refeições por semana	61,8 (53,7-101,1)	69,3 (60,5-80,8)	218,7 (162,7-241,8)
<i>Grupo >40-65 anos</i>			
≥ 2 refeições por semana	102,5 (83-136,5)	95,5 (71,1-135,8)	300,9 (251,3-422,1)
< 2 refeições por semana	110,3 (107,6-126,4)	105 (102,3-118,5)	332,1 (102,3-342)

Tabela 7. Estatística descritiva da discriminação de cores sobre os eixos de confusão de cores para os participantes residentes na bacia do Rio Tapajós. Os valores mostrados representam a mediana (primeiro quartil - terceiro quartil).

Consumo de peixe	Tamanho do vetor (unidades u'v')		
	Protan	Deutan	Tritan
<i>Toda a amostra</i>			
≥ 2 refeições por semana	96,3 (74-134,5)	82,1 (64,8-109)	207,4 (174,5-279,4)
< 2 refeições por semana	116,5 (69,2-137,9)	116,8 (82,3-126,9)	311,1 (181,7-393,2)
<i>Grupo 15-40 anos</i>			
≥ 2 refeições por semana	82,9 (63,2-107,9)	78,2 (56,5-91,2)	176,4 (155,2-220)
< 2 refeições por semana	66,2 (61,2-78,1)	89,2 (80-121,2)	171,9 (171,1-211,2)
<i>Grupo >40-65 anos</i>			
≥ 2 refeições por semana	122,9 (91,8-180,6)	102,6 (80,1-121,6)	274,6 (207,7-307,3)
< 2 refeições por semana	140,9 (128,8-152,7)	123,6 (112,3-128,1)	408,3 (347,7-434)

Tabela 8. Estatística descritiva dos valores de discriminação limiar de luminância obtidos das populações ribeirinhas do Rio Tocantins e Rio Tapajós. Os valores mostrados representam a mediana (primeiro quartil - terceiro quartil).

População	Contraste limiar de luminância (%)	
	CP \geq 2 refeições semanais	CP $<$ 2 refeições semanais
Rio Tocantins		
<i>Toda a amostra</i>	53 (48,7-60,2)	51 (47,4-55)
<i>Grupo 15-40 anos</i>	52 (48,1-53,9)	47 (45,8-47,7)
<i>Grupo 40-65 anos</i>	52 (49-56)	54 (46,6-59,3)
Rio Tapajós		
<i>Toda a amostra</i>	52 (49-62,7)	43 (45,5-55)
<i>Grupo 15-40 anos</i>	54 (50,6-64,2)	54 (52,7-57,5)
<i>Grupo 40-65 anos</i>	52 (48,6-63,9)	53 (46,4-57)
CP, Consumo de peixe.		

5. DISCUSSÃO

Esta tese apresentou um conjunto de dados e resultados referentes ao uso de estímulos variegados para a discriminação limiar sob um determinado tipo de mascaramento. A maioria dos experimentos descritos nesta tese mostraram que a discriminação limiar de luminância estimada a partir de estímulos de mosaico sofre influência de um ruído espacial de cor superposto. Esta é a primeira descrição deste tipo de estímulo que poderá servir como um novo modelo para estudar as interações entre as informações de cor e luminância sobre a percepção visual. Além dos experimentos para compreender como os diferentes parâmetros do ruído espacial de cor poderiam influenciar sobre a discriminação limiar de luminância, esta tese também mostrou a descrição da aplicação de estímulos variegados para a discriminação de cor e de luminância em populações ribeirinhas da Amazônia. Devido às particularidades de cada um grupo de achados, achou-se conveniente que esta discussão fosse dividida em três partes, duas para debater os achados da investigação básica e outra para debater os achados da aplicação dos estímulos nos ribeirinhos amazônicos.

5.1. EFEITOS DOS RUÍDOS ESPACIAIS DE COR E DE TAMANHO SOBRE A DISCRIMINAÇÃO LIMIAR DE LUMINÂNCIA

Um novo estímulo de mosaico foi usado para avaliar a discriminação de luminância no presente estudo. O contraste limiar de luminância foi mascarado pelo ruído espacial cromático e de tamanho que foram distribuídos aleatoriamente no mosaico. O resultado mais importante foi que a presença de ruído espacial cromático prejudicou a discriminação de luminância. Isso foi semelhante ao observado com estímulo pseudoisocromático (Souza et al., 2014; Cormenzana Méndez et al., 2016), portanto, este

novo estímulo de mosaico pode ser usado para investigar as interações de cor e luminância na percepção visual.

A maioria dos estudos psicofísicos que combinaram cor e luminância no estímulo mostraram que a cor influenciou a percepção de luminância e vice-versa. Essa influência da informação cromática dentro da discriminação de luminância é controversa. Alguns investigadores mostraram que a interação entre cor e luminância aumentou a sensibilidade ao contraste da luminância (Mullen, 1985, Gur & Akri, 1994). Esses pesquisadores observaram que quando os contrastes de cor e luminância foram combinados, a sensibilidade ao contraste foi aumentada em várias frequências espaciais, refletindo assim uma interação facilitatória entre os sistemas cromático e de luminância (Mullen, 1985, Gur & Akri, 1994). Outro grupo de pesquisadores investigou o efeito do mascaramento de luminância na discriminação cromática e o efeito do mascaramento cromático na discriminação de luminância (Switkes et al., 1988). Foi relatado que o mascaramento de luminância melhorou a discriminação cromática em todos os contrastes de luminância aplicados no mascaramento, enquanto o mascaramento cromático no estímulo de contraste de luminância teve um efeito duplo na discriminação da luminância (Switkes et al., 1988). O mascaramento com contraste cromático baixo não influenciou a discriminação de luminância, o mascaramento com contraste cromático intermediário prejudicou a discriminação da luminância e o mascaramento com contraste cromático alto aumentou a discriminação da luminância (Switkes et al., 1988).

Os resultados relatados na presente investigação, bem como nos estudos prévios (Souza et al., 2014; Cormenzana Méndez et al., 2016), confirmaram resultados prévios acerca dos experimentos de mascaramento na percepção visual. Na medida em que mecanismos semelhantes governam a detecção de contraste de luminância na presença de contraste de cor, e detecção de contraste de cor na presença de contraste de luminância

(Mullen & Losada, 1994). Não foi observado nenhum efeito modal cruzado sublimiar significativo, mas houve facilitação para a detecção de um atributo na presença do outro em uma ampla gama de contraste supralimiar. Em alto contraste, tanto a cor quanto a luminância inibiram a detecção da outra modalidade de contraste (Mullen & Losada, 1994).

Vários modelos de como os canais de cor e luminância interagem foram propostos. A existência de uma via que compartilha a transdução de luminância e cor não foi suportada por dados publicados de vários pesquisadores (Mullen & Losada, 1994, Chaparro et al., 1994; Stromeyer et al., 1995; Mullen, Cropper & Losada, 1997). É bem conhecido que as células ganglionares P, M e K têm respostas para cor e luminância, mas com diferentes ganhos (Perry, Oehler & Cowey, 1984, Lee, Martin & Valberg, 1989a, b, Dacey & Lee, 1994, Lee, Sun & Valberg, 2011), suportando a existência de múltiplos canais de luminância e cor da retina para V1. Depois de V1, vias distintas para informações de cor e luminância poderiam então combinar as entradas M, P e K com diferentes pesos em neurônios de ordem superior (Conway, 2014).

Os resultados do estudo 1 mostraram um efeito inibidor da presença de informação cromática na discriminação limiar de luminância. O mecanismo responsável pela tarefa no experimento 1 tinha baixa sensibilidade ao contraste. Isso ocorreu mesmo após a exclusão de todo o ruído espacial cromático do estímulo, e todos os círculos do mosaico apresentassem a mesma cromaticidade. Neste procedimento experimental, os limiares de luminância foram bastante elevados em comparação com o pico da função de sensibilidade ao contraste normalmente observada em um indivíduo saudável.

Outra pista do mecanismo potencialmente envolvido na discriminação do contraste de luminância mascarada pelo ruído espacial cromático pode ser inferida a partir dos resultados do experimento 2. Este protocolo procurou determinar se a presença do

mosaico explicaria potencialmente os resultados de alto contraste limiar de luminância. Quando foi utilizado um estímulo sem arranjo de mosaico com a mesma tarefa de identificação da orientação da abertura do C, os resultados retornaram a contrastes limiares de luminância menores. Esses resultados corresponderam aos dados relatados anteriormente sob condições semelhantes de teste (McAnany & Alexander, 2008; Gillespie-Gallery et al., 2013). A comparação da discriminação cromática estimada usando um estímulo pseudoisocromático com o uso de um arranjo de quatro quadrados homogêneos, um dos quais apresentou uma cromaticidade diferente, mostrou uma discriminação prejudicada nas tarefas que utilizaram estímulos com mosaico (Watanabe, Pokorny & Smith, 1998). Estes pesquisadores sugeriram que o observador precisava de estratégias diferentes para identificar as diferenças cromáticas em ambos os tipos de estímulos (Watanabe, Pokorny & Smith, 1998). No arranjo de quadrados, uma estratégia de busca simples foi usada, enquanto na configuração pseudoisocromática, uma estratégia de varredura foi utilizada como a escolha para determinar a orientação da abertura do C. A estrutura do mosaico contribuiria para uma perda de informação dentro do alvo.

Na presente investigação, verificou-se que a razão entre os contrastes limiares estimados utilizando estímulos com mosaico e sem mosaico foi em torno de 1 unidade de log. Muitos autores relataram 1 unidade de log como a razão entre a sensibilidade ao contraste de luminância entre a atividade das vias M e P na retina (Kaplan & Shapley, 1986, Purpura, Kaplan & Shapley, 1988), NGL (Kaplan & Shapley, 1982; Hicks, Lee & Vidyasagar, 1983; Edwards, Purpura & Kaplan, 1995) e na psicofísica (Pokorny & Smith, 1997). A presença do mosaico causou o efeito principal nos contrastes limiares de luminância. Isso prejudicou a detecção do contraste em comparação com a condição sem mosaico. A configuração do mosaico favoreceu a atividade de um mecanismo de discriminação de baixo contraste, tal como determinado pela via P. Durante os nossos

experimentos, usamos 16 ruídos espaciais de tamanho diferentes durante os experimentos, enquanto o teste do Cambridge Color Test versão 2.3, mantém o ruído espacial de tamanho constante durante o teste. Não houve nenhuma investigação sistemática para avaliar os efeitos específicos do uso do ruído espacial de tamanho aleatório ou constante na discriminação de luminância ou cor. Futuras investigações podem ser feitas com foco nessa questão. Em um estudo anterior, foi investigado os limiares de discriminação cromática com ruído espacial de tamanho aleatório com e sem ruído temporal de luminância e não encontraram diferenças nos limiares obtidos para tricromatas normais (Linhares et al., 2016).

Somado a esse efeito de mosaico, também encontramos a influência do ruído espacial cromático nos contrastes limiares de luminância. Mesmo na condição de ruído espacial cromático de 0,0075 unidades de $u'v'$, encontramos um comprometimento dos contrastes limiares de luminância. O tamanho do vetor de 0,0075 unidades de $u'v'$ está um pouco acima dos limites de discriminação de cores observados para os participantes entre 20 e 30 anos (Paramei, 2012). Isto poderia indicar a existência de um mecanismo com alta discriminação cromática que também está trabalhando para detectar os contrastes limiares de luminância ou a interação entre um mecanismo com baixa sensibilidade de contraste de luminância e um mecanismo com alta discriminação cromática. A observação da sensibilidade ao contraste de baixa luminância e a alta discriminação cromática dentro dos mecanismos subjacentes à discriminação de contraste (usando nosso novo estímulo) sugerem que a via P (e provavelmente a via K) tem um papel fundamental nesses mecanismos. A via P poderia ser o tronco comum para novas vias que codificam exclusivamente informações de cor e que processam informações combinadas de cores e luminosidade no córtex visual (Johnson, Hawken & Shapley,

2001; Li et al., 2015). É provável que outras vias visuais também contribuam para as entradas das vias combinadas de cor e luminância (Li et al., 2015).

Usando o novo estímulo, um conjunto de cromaticidades foi usado para introduzir o ruído espacial cromático. A influência do conteúdo espectral do ruído espacial cromático sobre a discriminação de luminância foi examinada no experimento 3. Cinco conjuntos de cromaticidade que foram utilizados estavam localizados em diferentes locais no espaço de cores CIE 1976: C1 (cromaticidades amareladas), C2 (sem predominância de cores), C3 (cromaticidades azuladas), C4 (cromaticidades esverdeadas) e C5 (cromaticidades avermelhadas). Essas cromaticidades de referência foram as mesmas utilizadas em Regan et al. (1994) para estimar a elipse de cores em torno deles. Foi observado que os valores de contrastes limiares de luminância eram semelhantes sob estes diferentes estados de adaptação cromática. Isto indicou que o mecanismo era dependente do efeito de mascaramento do ruído espacial cromático sobre a discriminação de contraste de luminância, porém o conteúdo cromático do ruído parecia não ter efeito sobre esse fenômeno.

Todos os resultados apresentados são comparativos, assim como o uso do “C” como estímulo é constante nas diferentes sessões. Não está claro o impacto nos resultados se outro estímulo foi utilizado. Diversos estudos discutiram a leitura errada das figuras no teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara (Sloan & Habel, 1956; Birch & McKeever, 1993; Birch, 1997; Rodriguez-Carmona, O’Neill-Biba & Barbur, 2012). O observador tricromata normal pode ler incorretamente figuras que se parecem com outras figuras, por exemplo os números 3 e 8. O uso de outros símbolos poderia ter levado a pequenas mudanças na tarefa que fizemos no presente estudo, mas o impacto real de seu uso nos valores dos limiares necessitaria de investigações adicionais.

Os resultados foram consistentes usando duas plataformas de teste com profundidade de cor diferente (MacBook + LCD, 10 bits por canal; sistema ViSaGe + CRT, 14 bits por canal). Não foi encontrada diferença sistemática nos resultados dos observadores testados usando ambos os sistemas, e isto permite o uso do novo estímulo para aplicações programadas em sistema de baixo custo. Foi observado também que houve boa replicabilidade dos resultados e algum efeito de aprendizagem após três sessões consecutivas. Nos valores mais elevados do ruído espacial cromático (unidades de $0,06$ e $0,03 u'v'$), houve uma diminuição significativa dos limiares de contraste após a primeira sessão.

5.2. EFEITO DO USO DE CONTRASTE DE LUMINÂNCIA POSITIVO E NEGATIVO NO ESTÍMULO NA DISCRIMINAÇÃO LIMAR DE LUMINÂNCIA

O uso de contrastes de luminância positivo e negativo em relação ao fundo do estímulo demonstrou valores de contraste limiares de luminância diferentes. A partir dos estímulos com contraste negativo foram estimados contrastes limiares menores que aqueles estimados a partir de estímulos com contraste positivo. Esses achados vão de encontro com uma grande quantidade de descrições de assimetrias funcionais e estruturais das vias ON e OFF do sistema visual. Vários estudos têm descrito que as vias ON e OFF do sistema visual não apresentam simetria na forma de processar a informação advinda dos fotorreceptores (Chichilnisky & Kalmar, 2002; Takeshita et al., 2017). Do ponto de vista perceptual, Bowen et al. (1989) descreveram a sensibilidade ao contraste de luminância quando moduladas temporalmente por funções dente de serra cujas fases rápidas permitiam o aumento do contraste (protocolo rapid on) ou a diminuição do contraste (protocolo rapid off). Eles observaram que usando os protocolos rapid off eram

estimados contrastes limiares de luminância menores (maior sensibilidade) que aqueles estimados a partir do protocolo rapid on.

Hwang & Peli (2016) compararam a sensibilidade ao contraste estimada em aplicativo de aparelhos de telefonia móvel usando estímulos com contrastes de polaridade positiva e negativa. Eles observaram que quando usado os contrastes negativos nos estímulos, a sensibilidade ao contraste era 0,22 unidades logarítmicas maior que quando se usava o estímulo com contrastes positivos. Nesta tese foi encontrado que a sensibilidade ao contraste estimada com estímulos que apresentavam contraste negativo era em torno de 0,18 unidades logarítmicas superior à sensibilidade estimada quando estimada era usado estímulos com contraste positivo. Essa razão entre as sensibilidades estimadas dos dois protocolos com estímulos com contraste positivo e negativo foi mantida constante independente da saturação do ruído de cor. Isso indica que, considerando que temos uma forma de avaliar separadamente as vias ON e OFF, a informação de cor é levada até as vias ON e OFF de detecção do contraste de luminância da mesma maneira. Nesta tese foi usado um ruído espacial de cor composto com cromaticidades que não eram seletivas a nenhum mecanismo de oponência de cor específico. O mecanismo de oponência de verde – vermelho tem sido descrito como um sistema simétrico para a discriminação de cores. Há alguns indícios que na via de oponência de cor azul – amarelo exista assimetrias na discriminação de cor (Huang et al., 1993; Tailby et al., 2008; Winkler et al., 2015; Costa et al., 2016) envolvendo pelo menos dois subsistemas de comparações das informações do espectro de curto comprimento de onda com a informação da parte de comprimentos de onda médios e longos. Esta assimetria estaria baseada na composição de informações vinda dos cones para as vias ON e OFF que compõem esses dois subsistemas. O uso de estímulos com ruídos seletivos para diferentes mecanismos de oponência de cores pode ajudar a compreender melhor no

futuro como as vias de oposição poderiam influenciar isoladamente sobre a discriminação limiar de luminância para estímulos com contrastes positivos e negativos.

É importante considerar que um estímulo com contraste positivo ou negativo semelhante aos usados nesta tese, talvez não reflitam um isolamento da ativação das vias ON e OFF do sistema visual, respectivamente, mas aqui considerar-se-á que eles podem receber contribuições prioritárias de uma ou outra via.

O novo estímulo que usa a configuração de mosaico e o ruído espacial cromático para mascarar a discriminação de luminância abre uma maneira alternativa de investigar as interações de cor e luminância. Estes dados aumentam a comparabilidade dos resultados obtidos com a discriminação de cores usando estímulos pseudoisocromáticos e resultados de discriminação limiar de luminância. Novas investigações com este novo estímulo são necessárias para elucidar ainda mais o mecanismo subjacente ao comprometimento da discriminação limiar de luminância na presença de ruído espacial cromático.

5.3. INVESTIGAÇÃO DE DISCRIMINAÇÃO LIMAR DE COR E LUMINÂNCIA USANDO ESTÍMULOS VARIEGADOS EM POPULAÇÕES RIBEIRINHAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

Este trabalho mostrou que não houve diferença de discriminação de cor e luminância em populações ribeirinhas amazônicas que apresentaram diferentes níveis de exposição ao mercúrio. Foi encontrada uma esperada diferença da exposição ao mercúrio nas duas populações residentes nas bacias do Rio Tocantins e do Rio Tapajós. A bacia do Rio Tapajós é um dos lugares do mundo onde mais se monitorou os níveis de mercúrio no cabelo de sua população, devido à grande atividade mineradora de ouro que vem ocorrendo há pelo menos 50 anos (Akagi et al., 1995a,b; Malm et al., 1995; Barbosa &

Dorea, 1998; Grandjean et al., 1999; Harada et al., 2001; Passos et al., 2003; Passos & Mergler, 2008; Pinheiro et al., 2000; 2005; 2006; 2007; 2008; Costa et al., 2008; Corvelo et al., 2014; Freitas et al., 2018). Além disso, também foi mostrado que na bacia do Rio Tapajós, as pessoas que tinham maior consumo semanal de peixe eram também aquelas que acumulavam maior concentração de mercúrio no cabelo, indicando a associação entre o mercúrio presente no cabelo com o consumo do pescado e a origem a partir do processo de metilação do metal nos rios amazônicos (Dolbec et al., 2001). Já a população da bacia do Rio Tocantins apresentou níveis de mercúrio no cabelo dentro dos limites esperados para populações humanas não consumidoras de peixe, ou seja, abaixo de 2 µg/g (WHO, 2007) e que o consumo do pescado não estava significativamente relacionado aos níveis de mercúrio no cabelo. O local de estudo na bacia do Rio Tocantins se localiza na foz do rio e não tem nenhuma atividade garimpeira ou de uso de mercúrio.

Sendo assim, nesta tese tivemos duas populações: uma mais exposta ao metal (Rio Tapajós) e uma outra pouco exposta ao metal ou controle (Rio Tocantins). Nestas duas populações foram aplicados testes de avaliação visual para discriminação de cor e de luminância. As avaliações funcionais da visão têm sido extensivamente estudadas em pessoas expostas ao mercúrio e tem sido encontrado alterações visuais de cor e luminância através de métodos eletrofisiológicos e psicofísicos (Feitosa-Santana et al., 2018; Freitas et al., 2018; Rodrigues et al., 2007; Lebel et al., 1996; Feitosa-Santana et al., 2010; Barboni et al., 2009; Feitosa-Santana et al., 2008; Costa et al., 2008; da Costa et al., 2008; Barboni et al., 2008; Feitosa-Santana et al., 2007; Ventura et al., 2005; Canto-Pereira et al., 2005; Ventura et al., 2004). A maioria desses trabalhos investigou o efeito da exposição do vapor de mercúrio em trabalhadores da indústria (Feitosa-Santana et al., 2010; Barboni et al., 2009; Feitosa-Santana et al., 2008; Costa et al., 2008; da Costa et

al., 2008; Barboni et al., 2008; Feitosa-Santana et al., 2007; Ventura et al., 2005; Canto-Pereira et al., 2005; Ventura et al., 2004).

Os trabalhos realizados com ribeirinhos na Amazônia (Feitosa-Santana et al., 2018; Freitas et al., 2018; Rodrigues et al., 2007; Lebel et al., 1996) tem descrito perdas de visão de cores e de luminância. O fato da presente tese não ter encontrado tal perda pode se dar pelos seguintes motivos. Os trabalhos de Lebel et al. (1996), Rodrigues et al. (2007) e Feitosa-Santana et al. (2018) investigaram as populações amazônicas em momento histórico entre os anos de 1990 e 2006. Pinheiro et al. (2012) mostraram uma constante diminuição dos níveis de exposição ao mercúrio nos ribeirinhos do Rio Tapajós entre os anos de 1995 e 2010. Essa diminuição dos níveis de exposição ao mercúrio pode estar ocorrendo devido a políticas de educação alimentar que tem sido empregada nas comunidades para que evitem o consumo frequente de peixes carnívoros e tenham preferência por peixes herbívoros. Outro fator é o melhoramento do acesso a essas comunidades, o que permite a chegada de novas fontes de alimentação.

A presente tese avaliou ribeirinhos Tapajônicos com menor concentração de mercúrio no cabelo (mediana de 4,08 $\mu\text{g/g}$) em comparação com Lebel et al. (1996) cuja população estudada apresentou níveis de mercúrio no cabelo entre 5,6 $\mu\text{g/g}$ e 38,4 $\mu\text{g/g}$, com Rodrigues et al. (2007) cuja população estudada apresentou concentração de mercúrio no cabelo entre 14 $\mu\text{g/g}$ e 47 $\mu\text{g/g}$, com Fillion et al., (2013) cuja população estudada apresentou níveis de mercúrio no cabelo entre 1 $\mu\text{g/g}$ e 57,9 $\mu\text{g/g}$, e com Feitosa-Santana et al. (2018) cuja concentração de mercúrio variou entre 4,47 $\mu\text{g/g}$ e 40,69 $\mu\text{g/g}$.

Além disso, deve-se considerar que este é o primeiro estudo sistemático com a investigação de limiares de discriminação de cor em populações ribeirinhas expostas ao mercúrio. Nos trabalhos anteriores, prevaleceu o uso de testes de ordenamento de cores (Lebel et al., 1996; Fillion et al., 2013; Feitosa-Santana et al., 2018) o que é uma tarefa

diferente e pode não representar os mesmos mecanismos envolvidos na discriminação de cores. O trabalho de Rodrigues et al. (2007) chegou a avaliar a discriminação de cores de ribeirinhos sem exposição ocupacional, no entanto a amostra foi composta por 2 sujeitos, o que dificulta a comparação com a tese aqui mostrada. Em relação as medidas de sensibilidade ao contraste de luminância, Lebel et al. (1996) investigaram um número grande de ribeirinhos e encontraram que a sensibilidade ao contraste estava reduzida apenas nos sujeitos com maiores exposições ao mercúrio. Os sujeitos com maiores níveis de mercúrio no cabelo de Lebel et al. (1996) tinham em torno de 20 a 30 $\mu\text{g/g}$, enquanto no presente estudo apenas 3 sujeitos apresentaram níveis de mercúrio acima de 20 $\mu\text{g/g}$. Nas populações estudadas por Fillion et al. (2013), houve redução na sensibilidade ao contraste associado ao Hg, porém neste estudo não é indicado se a redução da sensibilidade ao contraste foi mais recorrente em sujeitos com altos níveis de mercúrio.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo introduziu um novo método para investigar a visão de luminância para ciência básica e aplicações clínicas. O principal achado desta tese foi que a saturação do ruído de cor aumentou os limiares de discriminação de luminância. O aprendizado parece ter um papel pequeno apenas em condições de alta saturação de cor no ruído. A composição do ruído de cor não mostrou influência sobre a discriminação de luminância e os valores dos contrastes limiares também são dependentes da presença ou não do arranjo do mosaico. Houve diferença entre os contrastes limiares estimados a partir de estímulos com contrastes positivos e negativos, mas o ruído espacial de cor apresentou a mesma influência sobre ambas as formas de discriminação do contraste de luminância. A presença de uma ou mais vias visuais sensíveis a cores e à luminância pode ser o substrato fisiológico do mecanismo que está subjacente à percepção de contraste de luminância desse novo estímulo. A aplicação de protocolos de avaliação da visão de cores e de luminância usando estímulos que misturam contrastes de cor de luminância em populações ribeirinhas amazônicas mostrou não haver influência dos diferentes níveis de exposição ao mercúrio sobre o desempenho nestes testes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://windsorplaceantiques.typepad.com/.a/6a0120a67e9197970c0168e5157c51970c-pi>; Acesso em: 26 de março de 2018 às 17:00.

<http://www.animalsanimals.com/results.asp?image=MIS%20600DED005%2001>;
Acesso em: 26 de março de 2018 às 17:05.

<http://www.musee-oeil.ch/page.php?label=details&ido=255>; Acesso em: 26 de março de 2018 às 17:10.

<http://www.fairmed-shop.at/medizintechnik-d.3.n.70427-Hardy-Rand-Rittler-Farbtst-HRR.html>; Acesso em: 26 de março de 2018 às 17:00.

Akagia, H., Malm, O., Kinjo, Y., Harada, M., Branches, F. J. P., Pfeiffer, W. C. & Kato, H. Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. *Sci Total Environ.* **175**, 85-95, 1995a. Science direct link.

Akagia, H., Malm, O., Kinjo, Y., Kashima, Y., Guimarães, J. R. D., Oliveira, R. B., Haraguchi, K., Pfeiffer, W. C., Takizawa, Y. & Kato, H. Human exposure to mercury due to gold mining in the Tapajos river basin, Amazon, Brazil: speciation of mercury in human hair, blood and urine. *Water Air Soil Poll.* **80**, 85-94, 1995b. SciELO link.

Andrade, L. C., Souza, G. S., Lacerda, E. M., Nazima, M. T., Rodrigues, A. R., Otero, L. M., Pena, F. P., Silveira, L. C. & Côrtes, M. I. T. Influence of retinopathy on the achromatic and chromatic vision of patients with type 2 diabetes. *BMC Ophthalmol.* **31**, 104, 2014. PubMed link.

Bach, M. The Freiburg Visual Acuity test--automatic measurement of visual acuity. *Optom Vis Sci.* **73**, 49-53, 1996. PubMed link.

Barboni, M. T.S., da Costa, M. F., Moura, A. L., Feitosa-Santana, C., Gualtieri, M., Lago, M., Medrado-Faria, M. de A, Silveira, L. C. L. & Ventura, D. F. Visual field losses in workers exposed to mercury vapor. *Environ Res.* **107**, 124-131, 2008. PubMed link.

Barboni, M.T.S., Feitosa-Santana, C., Zachi, E.C., Lago, M., Teixeira, R.A.A., Taub, A., da Costa, M. F., Silveira, L. C. L. & Ventura, D. F. Preliminary findings on the effects of occupational exposure to mercury vapour below safety levels on visual and neuropsychological functions. *J. Occup. Environ. Med.* **51**, 1403-1412, 2009. PubMed link.

Barbosa, A. C. & Dórea, J. G. Indices of mercury contamination during breast feeding in the Amazon Basin. *Environ Toxicol Pharmacol.* **6**, 71-79, 1998. Science direct link.

Barbosa, A. C., Jardim, W., Dorea, J. G., Fosberg, B. & Souza, J. Hair mercury speciation as a function of gender, age, and body mass index in inhabitants of the Negro River basin, Amazon, Brazil. *Arch Environ Contam Toxicol.* **40**, 439-444, 2001. PubMed link.

Birch, J. & McKeever, L. M. Survey of the accuracy of new pseudoisochromatic plates. *Ophthalmic Physiol Opt.* **13**, 35-40, 1993. PubMed link.

Birch, J. Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. *Ophthalmic Physiol Opt.* **17**, 403-408, 1997. PubMed link.

Bowen, R. W., Pokorny, J. & Smith, V. C. Sawtooth contrast sensitivity: decrements have the edge. *Vision Res.* **29**, 1501-1509, 1989. PubMed link.

Bowmaker, J. K. & Dartnall, H. J. Visual pigments of rods and cones in a human retina. *J Physiol.* **298**, 501-511, 1980. PubMed link.

Brune, D., Nordberg, G. F., Vesterberg, O., Gerhardsson, L. & Wester, P.O. 1991. A review of normal concentrations of mercury in human blood. *Sci Total Environ.* **100**, 235-282, 1991. PubMed link.

Canto-Pereira, L. H., Lago, M., Costa, M. F., Rodrigues, A. R., Saito, C. A., Silveira, L. C. L. & Ventura, D. F. Visual impairment on dentists related to occupational mercury exposure. *Environ Toxicol Pharmacol.* **19**, 517-522, 2005. PubMed link.

Cavalleri, A. & Gobba, F. Reversible color vision loss in occupational exposure to metallic mercury. *Environ. Res.* **77**, 173-177, 1998. PubMed link.

Cavalleri, A., Belotti, L., Gobba, F., Luzzana, G., Rosa, P. & Seghizzi, P. Color-vision loss in workers exposed to elemental mercury vapor. *Toxicol. Lett.* **77**, 351-356, 1995. PubMed link.

Chaparro, A., Stromeyer, C. F., Kronauer, R. E. & Eskew, R. T. Separable red-green and luminance detectors for small flashes. *Vision Res.* **34**, 751-762, 1994. PubMed link.

Chatterjee, S. & Callaway, E. M. Parallel colour-opponent pathways to primary visual cortex. *Nature.* **426**, 668-671, 2003. PubMed link.

Chichilnisky, E. J. & Kalmar, R. S. Functional asymmetries in ON and OFF ganglion cells of primate retina. *J Neurosci.* **22**, 2737-2747, 2002. PubMed link.

Conway, B. R. Color signals through dorsal and ventral visual pathways. *Vis Neurosci.* **31**, 197-209, 2014. PubMed link.

Cooper, B., Sun, H., & Lee, B. B. Psychophysical and physiological responses to gratings with luminance and chromatic components of different spatial frequencies. *J. Opt. Soc. Am. A.* **29**, A314-A323, 2012. PubMed link.

Cormenzana Méndez, I., Martín, A., Charmichael, T. L., Jacob, M. M., Lacerda E. M., Gomes, B. D., Fitzgerald, M. E., Ventura, D. F., Silveira, L. C., O'Donnell, B. M. & Souza, G. S. Color discrimination is affected by modulation of luminance noise in pseudoisochromatic stimuli. *Front Psychol.* **7**, 1006; 10.3389/fpsyg.2016.01006, 2016. PubMed link.

Costa, M. F., Goulart, P. R. K., Barboni, M. T. S. & Ventura, D.F. Reduced Discrimination in the Tritanopic Confusion Line for Congenital Color Deficiency Adults. *Front Psychol.* **7**, 429. doi:10.3389/fpsyg.2016.00429. 2016. PubMed link.

Costa, M. F., Tomaz, S., de Souza, J. M., Silveira, L. C. L., Ventura, D. F. Electrophysiological evidence for impairment of contrast sensitivity in mercury vapor occupational intoxication. *Environ Res.* **107**, 132-138, 2008. PubMed link.

Creutzfeldt, O. D., Lee, B. B. & Elepfandt, A. A quantitative study of chromatic organization and receptive fields of cells in the lateral geniculate body of the rhesus monkey. *Exp Brain Res.* **35**, 527-545, 1979. PubMed link.

da Costa, G. M., dos Anjos, L. M., Souza, G. S., Gomes, B. D., Saito, C. A., Pinheiro, M. C., Ventura, D. F, da Silva Filho, M., Silveira, L. C. Mercury toxicity in Amazon gold miners: visual dysfunction assessed by retinal and cortical electrophysiology. *Environ. Res.* **107**, 98-107, 2008. PubMed link.

Dacey, D. M. & Lee, B. B. The "blue-on" opponent pathway in primate retina originates from a distinct bistratified ganglion cell type. *Nature*. **367**, 731-735, 1994. PubMed link.

Dacey, D. M. & Petersen, M. R. Dendritic field size and morphology of midget and parasol ganglion cells of the human retina. *Proc Natl Acad Sci USA*. **89**, 9666-9670, 1992. PubMed link.

Dacey, D. M. Parallel pathways for spectral coding in primate retina. *Annu. Rev. Neurosci.* **23**, 743-775, 2000. PubMed link.

de Monasterio, F. M. Center and surround mechanisms of opponent-color X and Y ganglion cells of retina of macaques. *J Neurophysiol.* **41**, 1418-1434, 1978b. PubMed link.

de Monasterio, F. M. Properties of concentrically organized X and Y ganglion cells of macaque retina. *J Neurophysiol.* **41**, 1394-1417, 1978a. PubMed link.

de Oliveira Corvelo, T. C., Oliveira, É. A., de Parijós, A. M., de Oliveira, C. S., do Socorro Pompeu de Loiola, R., de Araújo, A. A., da Costa, C. A., de Lima Silveira, L. C. & da Conceição Nascimento Pinheiro, M. Monitoring mercury exposure in reproductive aged women inhabiting the Tapajós river basin, Amazon. *Bull Environ Contam Toxicol.* **93**, 42-46, 2014. PubMed link.

Demb, J. B. & Singer, J. H. Functional Circuitry of the Retina. *Annu. Rev. Vis. Sci.* **1**, 263-289, 2015. PubMed link.

Dhande, O. S., Stafford, B. K., Lim, J. H. A. & Huberman, A. D. Contributions of retinal ganglion cells to subcortical visual processing and behaviors, *Annu, Rev Vis Sci*, **1**, 291–328, 2015, PubMed link.

DiCarlo, J. J., Zoccolan, D. & Rust, N. C. How does the brain solve visual object recognition? *Neuron*. **73**, 415-434, 2012. PubMed link.

Dolbec, J., Mergler, D., Larribe, F., Roulet, M., Lebel, J. & Lucotte M. Sequential analysis of hair mercury levels in relation to fish diet of an Amazonian population. *Brazil. Sci Total Environ.* **271**, 87-97, 2001. PubMed link.

Dreher, B., Fukada, Y. & Rodieck, R. W. Identification, classification and anatomical segregation of cells with X-like and Y-like properties in the lateral geniculate nucleus of old-world primates. *J. Physiol.* **258**, 433-452, 1976. PubMed link.

Edwards, D. P., Purpura, K. P. & Kaplan, E. Contrast sensitivity and spatial frequency response of primate cortical neurons in and around the cytochrome oxidase blobs. *Vision Res.* **35**, 1501-1523, 1995. PubMed link.

Euler, T., Haverkamp, S., Schubert, T. & Baden, T. Retinal bipolar cells: elementary building blocks of vision. *Nat Rev Neurosci.* **15**, 507-519, 2014. PubMed link.

Feitosa-Santana, C., Barboni, M. T., Oiwa, N. N., Paramei, G. V., Simões, A. L., Costa, M. F., Silveira, L. C. L. & Ventura, D. F. Irreversible color vision losses in patients with chronic mercury vapor intoxication. *Vis Neurosci.* **25**, 487- 491, 2008. PubMed link.

Feitosa-Santana, C., Bimler, D. L., Paramei, G. V., Oiwa, N. N., Barboni, M. T., Costa, M. F., Silveira, L.C. L. & Ventura, D. F. Color-space distortions following long-term occupational exposure to mercury vapor. *Ophthalmic Physiol Opt.* **30**, 724-730, 2010. PubMed link.

Feitosa-Santana, C., Costa, M. F., Lago, M. & Ventura, D. F. Long-term loss of color vision after exposure to mercury vapor. *Braz J Med Biol Res.* **40**, 409-414, 2007. SciELO link.

Feitosa-Santana, C., Souza, G. S., Sirius, E. V. P., Rodrigues, A. R., Cortes, M. I. T., Silveira, L. C. L. & Ventura, D. F. Color vision impairment with low-level methylmercury exposure of an Amazonian population - Brazil. *Neurotoxicology*. doi: 10.1016/j.neuro.2018.01.010, 2018. PubMed link.

Fillion, M., Lemire, M., Philibert, A., Frenette, B., Weiler, H. A., Deguire, J. R., Guimarães, J. R., Larribe, F., Barbosa, F. Jr. & Mergler, D. Toxic risks and nutritional benefits of traditional diet on near visual contrast sensitivity and color vision in the Brazilian Amazon. *Neurotoxicology.* **37**,173-181, 2013. PubMed link.

Fillion, M., Mergler, D., Sousa Passos, C. J., Larribe, F., Lemire, M. & Guimarães, J. R. A preliminary study of mercury exposure and blood pressure in the Brazilian Amazon. *Environ Health.* **5**, 29, 2006. PubMed link.

Freitas, J. F., Lacerda, E. M. C. B., Martins, I. C. V. S., Rodrigues Jr., D., Bonci, D. M. O., Cortes, M. I. T., Corvelo, T. C. O., Ventura, D. F., Silveira, L.C. L., Pinheiro, M. C. N. & Souza, G. S. Cross-sectional study to assess the association of color vision with mercury hair concentration in children from Brazilian Amazonian riverine communities. *NeuroToxicology*, **65**, 60-67, 2018. PubMed link.

Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. **Estatísticas Municipais Paraenses: Limoeiro do Ajuru**. Belém: FAPESPA. 58 p. 2016. FAPESPA link.

Gegenfurtner, K. R., Kiper, D. C., Beusmans, J. M., Carandini, M., Zaidi, Q. & Movshon, J. A. Chromatic properties of neurons in macaque MT. *Vis Neurosci.* **11**, 455-466, 1994. PubMed link.

Gillespie-Gallery, H., Konstantakopoulou, E., Harlow, J. A. & Barbur, J. L. Capturing age-related changes in functional contrast sensitivity with decreasing light levels in monocular and binocular vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* **54**, 6093-6103, 2013. PubMed link.

Goulart, P. R., Bandeira, M. L., Tsubota, D., Oiwa, N. N., Costa, M. F. & Ventura, D. F. A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Vis Neurosci.* **25**, 445-450, 2008. PubMed link.

Grandjean, P., White, R.F., Nielsen, A., Cleary, D. & Santos, E.C.O. Methylmercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. *Environ. Health Perspect.* **107**, 587-591, 1999. PubMed link.

Gur, M. & Akri, V. Isoluminant stimuli may not expose the full contribution of color to visual functioning: spatial contrast sensitivity measurements indicate interaction between color and luminance processing. *Vision Res.* **32**, 1253-1262, 1992. PubMed link.

Harada, M., Nakanishi, J., Yasoda, E., Pinheiro, M. C., Oikawa, T., Guimarães, G. A., Cardoso, B. S., Kizaki, T. & Ohno, H. Mercury pollution in the Tapajós River basin, Amazon: mercury level of head hair and health effects. *Environ Int.* **27**, 285-290, 2001. PubMed link.

Hendry, S. H. & Reid, R. C. The koniocellular pathway in primate vision. *Annu Rev Neurosci.* **23**, 127-153, 2000. PubMed link.

Hicks, T. P., Lee, B. B. & Vidyasagar, T. R. The responses of cells in macaque lateral geniculate nucleus to sinusoidal gratings. *J Physiol.* **337**, 183-200, 1983. PubMed link.

Hille, B. Modulation of ion-channel function by G-protein-coupled receptors. *Trends Neurosci.* **17**, 531-536, 1994. PubMed link.

Huang, S., Wu, L. & Wu, D. Z. The normal color vision evaluated with FM 100-hue test. *Yan Ke Xue Bao.* **9**, 158-160, 1993. PubMed link.

Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *J Physiol.* **195**, 215-243, 1968. PubMed link.

Hwang, A. D. & Peli, E. Positive and negative polarity contrast sensitivity measuring app. *IS&T Int Symp Electron Imaging*. **2016**, doi: 10.2352/ISSN.2470-1173.2016.16.HVEI-122. 2016. PubMed link.

Ishihara, S, Series of Plates Designed as Tests for Colour-blindness. **Tokyo: Handaya Hongo Harukich**. 1997, 5p.

Jacobs, G. H. Primate photopigments and primate color vision. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. **93**, 577-581, 1996. PubMed link.

Johnson, E. N., Hawken, M. J. & Shapley, R. The spatial transformation of color in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Nat Neurosci*. **4**, 409-416, 2001. PubMed link.

Kaplan, E. & Shapley, R. M. The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. **83**, 2755-2757, 1986. PubMed link.

Kaplan, E. & Shapley, R. M. X and Y cells in the lateral geniculate nucleus of macaque monkeys. *J Physiol*. **330**, 125-143, 1982. PubMed link.

Khoury, E. D. T., Souza, G. S., da Costa, C. A., de Araújo, A. A. K., de Oliveira, C. S. B., Silveira, L. C. L. & Pinheiro, M. C. N. Somatosensory Psychophysical Losses in Inhabitants of Riverside Communities of the Tapajós River Basin, Amazon, Brazil: Exposure to Methylmercury Is Possibly Involved. *PLoS ONE*. **10**: e0144625. doi: 10.1371/journal.pone.0144625. 2015. PubMed link.

Kremers, J., Lee, B. B., Pokorny, J. & Smith, V. C. Responses of macaque ganglion cells and human observers to compound periodic waveforms. *Vision Res*. **33**, 1997-2011, 1993. PubMed link.

Lacerda, E. M. C. B., Lima, M. G., Rodrigues, A. R., Teixeira C. E., de Lima, L. J., Ventura, D. F. & Silveira, L. C. Psychophysical Evaluation of Achromatic and Chromatic Vision of Workers Chronically Exposed to Organic Solvents. *J Environ Public Health*. **2012**, 784390, 2012. PubMed link.

Landers, A., Murdoch, I. E., Birch, J., Cousens, S. N., Babalolab, O. E., Lawale, B., Abiose, A. & Jones, B. R. Blue-yellow colour vision in an onchocercal area of northern Nigeria. *Br J Ophthalmol*, **82**, 510-516, 1998. PubMed link.

Lebel, J., Mergler, D., Lucotte, M., Amorim, M., Dolbec, J., Miranda, D., Mello, G. A., Rheault, T. & Pichet, P. Evidence of early nervous system dysfunction in Amazonian populations exposed to low-levels of methylmercury. *Neurotoxicology*. **17**, 157-168, 1996. PubMed link.

Lebel, J., Roulet, M., Mergler, D., Lucotte, M. & Larribe, F. Fish diet and mercury exposure in a rivarine Amazonian population. *Water Air Soil Pollut.* **97**, 31-44, 1997. Springer link.

Lee, B. B. & Sun, H. Contrast sensitivity and retinal ganglion cell responses in the primate. *Psychol. Neurosci.* **4**, 11-18, 2011. Scielo link.

Lee, B. B. Visual pathways and psychophysical channels in the primate. *J Physiol.* **589**, 41-47, 2011. PubMed link.

Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Amplitude and phase of responses of macaque retinal ganglion cells to flickering stimuli. *J Physiol.* **414**, 245-263, 1989a. PubMed link.

Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Nonlinear summation of M- and L-cone inputs to phasic retinal ganglion cells of the macaque. *J Neurosci.* **9**, 1433-1442, 1989c. PubMed link.

Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Sensitivity of macaque retinal ganglion cells to chromatic and luminance flicker. *J Physiol.* **414**, 223-243, 1989b. PubMed link.

Lee, B. B., Sun, H. & Valberg, A. Segregation of chromatic and luminance signals using a novel grating stimulus. *J Physiol.* **589**, 59-73, 2011. PubMed link.

Li, X., Chen, Y., Lashgari, R., Bereshpolova, Y., Swadlow, H. A., Lee, B. B. & Alonso, J. M. Mixing of Chromatic and Luminance Retinal Signals in Primate Area V1. *Cereb Cortex.* **25**, 1920-1937, 2015. PubMed link.

Linhares, J. M., João, C. A., Silva, E. D., de Almeida, V. M., Santos, J. L., Álvaro, L. & Nascimento, S. M. Assessing the effects of dynamic luminance contrast noise masking on colour discrimination test. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* **33**, A178–A183, 2016. PubMed link.

Malm, O., Castro, M. B., Bastos, W. R., Branches, F. J. P., Guimarães, J. R. D., Zuffo, C. E. & Pfeiffer, W. C. An assessment of Hg pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil. *Sci Total Environ.* **175**, 127-140, 1995. SciELO link.

Mancuso, K., Hauswirth, W. W., Li, Q., Connor, T. B., Kuchenbecker, J. A., Mauck, M. C., Neitz, J & Neitz, M. ,2009. Gene therapy for red-green colour blindness in adult primates. *Nature*. **461**, 784-787, 2009. PubMed link.

Mancuso, K., Neitz, M. & Neitz, J. An adaptation of the Cambridge Colour Test for use with animals. *Vis. Neurosci.* **23**, 695-701, 2006. PubMed link.

McAnany, J. J. & Alexander, K. R. Spatial frequencies used in Landolt C orientation judgments: relation to inferred magnocellular and parvocellular pathways. *Vision Res.* **48**, 2615-2624, 2008. PubMed link.

Mollon, J. D. & Reffin, J. P. A computer-controlled colour vision test that combines the principles of Chibret and Stilling. *J Physiol.* **414**, 5P, 1989.

Mollon, J. D. The origins of modern color science in *The Science of Color*, ed. Shevell, S. K. 1-39, Optical Society of America, 2003.

Mullen, K. T. & Losada, M. A. Evidence for separate pathways for color and luminance detection mechanisms. *J Opt Soc Am A.* **11**, 3136–3151, 1994. PubMed link.

Mullen, K. T. The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings. *J Physiol.* **359**, 381-400, 1985. PubMed link.

Mullen, K. T., Cropper, S. J. & Losada, M. A. Absence of linear subthreshold summation between red-green and luminance mechanisms over a wide range of spatio-temporal conditions. *Vision Res.* **37**, 1157–1165, 1997. PubMed link.

Nassi, J. J. & Callaway, E. M. Parallel processing strategies of the primate visual system. *Nat Rev Neurosci.* **10**, 360-372, 2009. PubMed link.

Nawy, S. Regulation of the on bipolar cell mGluR6 pathway by Ca^{2+} . *J Neurosci.* **20**, 4471-4479, 2000. PubMed link.

Paramei, G. V. Color discrimination across four life decades assessed by the Cambridge Colour Test. *J. Opt. Soc. Am. A.* **29**, A290-A297, 2012. PubMed link.

Passos, C. J. S. & Mergler, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cad. Saúde Pública*, **24** (Suppl. 4), s503-s520, 2008. SciELO link.

Passos, C. J. S., Mergler, D., Gaspar, E., Morais, S., Lucotte, M., Larribe, F., Davidson, R. & Grosbois, S. Eating tropical fruit reduces mercury exposure from fish consumption in the Brazilian Amazon. *Environ Res.* **93**, 123-130, 2003. PubMed link.

Peichl, L., Buhl, E.H. & Boycott, B.B. Alpha ganglion cells in the rabbit retina. *J. Comp. Neurol.*, **263**, 25-41, 1987. PubMed link.

Perry, V. H., Oehler, R. & Cowey, A. Retinal ganglion cells that project to the dorsal lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. *Neuroscience.* **12**, 1101-1123, 1984. PubMed link.

Pinheiro, M. C. N., Harada, M., Yasoda, E., Nakanishi, J., Oikawa, T., Vieira, J. L. F., Costa, S. M., Guimarães, G. A., Bacelar, M. D. R., Almeida, S. S. & Silveira, L. C. L. Toxicological and epidemiological data on human exposure to mercury in the Tapajós River basin: 1994–1998. *Environ. Sci.* **10**, 99-105, 2003. SciELO link.

Pinheiro, M. C. N., Müller, R. C. S., Sarkis, J. E., Vieira, J. L. F., Oikawa, T., Gomes, M. S. V., Guimarães, G. A., do Nascimento, J. L. & Silveira L. C. Mercury and selenium concentrations in hair samples of women in fertile age from Amazon riverside communities. *Sci Total Environ.* **349**, 284-288, 2005. PubMed link.

Pinheiro, M. C. N., Nakanishi, J., Oikawa, T., Guimarães, G. A., Quaresma, M., Cardoso, B., Amoras, W. W., Harada, M., Magno, C., Vieira, J. L. F., Xavier, M. B. & Bacelar, D. R. Exposição humana ao metilmercúrio em comunidades ribeirinhas da Região do Tapajós, Pará, Brasil. *Rev Soc Bras Med Trop.* **33**, 265-269, 2000. PubMed link.

Pinheiro, M. C. N., Oikawa, T., Vieira, J. L. F., Gomes, M. S. V., Guimarães, G. A., Müller, R. C. S., Amoras, W. W., Ribeiro, D. R., Rodrigues, A. R., Côrtes, M. I. & Silveira L. C. Comparative study of human exposure to mercury in riverside communities of Amazon. *Braz J Med Biol Res.* **39**, 411-414, 2006. PubMed link.

Pinheiro, M. C., Crespo-López, M. E., Vieira, J. L., Oikawa, T., Guimarães, G. A., Araújo, C. C., Amoras, W. W., Ribeiro, D. R., Herculano, A. M., do Nascimento, J. L. & Silveira, L. C. Mercury pollution and childhood in Amazon riverside villages. *Environ Int.* **33**, 56-61, 2007. PubMed link.

Pinheiro, M. C., Farripas, S. S., Oikawa, T., Costa, C. A., Amoras, W. W., Vieira, J. L., Silveira, A. J., Lima, A. C., Souza, G. S. & Silveira, L. C. L. Temporal Evolution of exposure to mercury in riverside communities in the Tapajós Basin, from 1994 to 2010. *Bull Environ Contam Toxicol.* **89**, 119-124, 2012. PubMed link.

Pinheiro, M. C., Macchi, B. M., Vieira, J. L., Oikawa, T., Amoras, W. W., Guimarães, G. A., Costa, C. A., Crespo-López, M. E., Herculano, A. M., Silveira, L. C. & do Nascimento, J. L. Mercury exposure and antioxidant defenses in women: a comparative study in the Amazon. *Environ Res.* **107**, 53-59, 2008. PubMed link.

Pokorny, J. & Smith, V. S. Psychophysical signatures associated with magnocellular and parvocellular pathways contrast gain. *J Opt Soc Am A.* **14**, 2477-2486, 1997. PubMed link.

Purpura, K., Kaplan, E. & Shapley, R. M. Background light and the contrast gain of primate P and M retinal ganglion cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **85**, 4534-4537, 1988. PubMed link.

Regan, B. C., Reffin, J. P. & Mollon, J. D. Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. *Vision Res.* **34**, 1279-1299, 1994. PubMed link.

Regan, D. Human perception of objects: early visual processing of spatial form defined by luminance, color, texture, motion, and binocular disparity. **Sunderland: Sinauer Associates**, 2000.

Rodriguez-Carmona, M., O'Neill-Biba, M. & Barbur, J. L. Assessing the severity of color vision loss with implications for aviation and other occupational environments. *Aviat Space Environ Med.* **83**, 19-29, 2012. PubMed link.

Roulet M, Lucotte M, Saint-Aubin A, Tran S, Rheault I, Farella N, et al. The geochemistry of Hg in Central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós river valley, Pará State, Brazil. *Sci Total Environ.* **223**, 1-24, 1998b. PubMed link.

Roulet, M., Lucotte, M., Canuel, R., Rheault, I., Tran, S., Gog, Y. G. F., Farella, N., Souza do Vale, R., Sousa Passos, C. J. De Jesus da Silva, E. Mergler, D. & Amorim, M. Distribution and partition of total mercury in waters of the Tapajós River Basin, Brazilian Amazon. *Sci Total Environ.* **213**, 203-211, 1998a. SciELO link.

Sanes, J. R. & Masland, R. H. The types of retinal ganglion cells: current status and implications for neuronal classification. *Annu Rev Neurosci.* **38**, 221-246, 2015. PubMed link.

Sehschärffenbestimmung, Prüfung für Gutachten, DIN 58220. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., ed. DIN Taschenbuch 177. Berlin: Beuth-Verlag, 1991.

Shapley, R. & Hawken, M. J. Color in the cortex: single- and double-opponent cells. *Vision Res.* **51**,701-717, 2011. PubMed link.

Shipp, S. & Zeki, S. Segregation of pathways leading from area V2 to areas V4 and V5 of macaque monkey visual cortex. *Nature.* **315**, 322-325, 1985. PubMed link.

Sloan, L. L. & Habel, A. Tests for color deficiency based the pseudoisochromatic principle: a comparative study of several new tests. *AMA Arch Ophthalmol.* **55**, 229-239, 1956. JAMA link.

Souza, G. S., Malone, F. L., Crawford, T. L., Miquilini, L., Salomão, R. C., Guimarães, D. L., Ventura, D. F., Fitzgerald, M. E. & Silveira, L. C. Low number of luminance levels in the luminance noise increases color discrimination thresholds estimated with pseudoisochromatic stimuli. *Front Psychol.* **5**, 1291; 10.3389/fpsyg.2014.01291, 2014. PubMed link.

Stilling, J. Die Prüfung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Marine-personal. **Cassel: Theodor Fischer**, 1877.

Stromeyer, C. F. 3rd, Kronauer, R. E., Ryu, A., Chaparro, A. & Eskew, R. T. Jr. Contributions of human long-wave and middle-wave cones to motion detection. *The Journal of Physiology.* **485** (Pt 1), 221–243, 1995. PubMed link.

Switkes, E., Bradley, A. & De Valois, K. K. Contrast dependence and mechanisms of masking interactions among chromatic and luminance gratings. *J. Opt. Soc. Am. A.* **5**, 1149–1162, 1988. PubMed link.

Tailby, C., Solomon, S. G. & Lennie, P. Functional asymmetries in visual pathways carrying S-cone signals in macaque. *J Neurosci.* **28**, 4078-4087, 2008. PubMed link.

Takeshita, D., Smeds, L. & Ala-Laurila, P. Processing of single-photon responses in the mammalian On and Off retinal pathways at the sensitivity limit of vision. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* **372**, 20160073, 2017. PubMed link.

Ungerleider, L. G. & Mishkin, M. Two cortical visual systems. In *Analysis of Visual Behavior*, ed. D. J. Ingle, M. A. Goodale & R. J. W. Mansfield, **Cambridge, MA: Mass. Inst. Technol. Press**, 549-586, 1982.

Van Essen, D. C. & Zeki, S. M. The topographic organization of rhesus monkey prestriate cortex. *J Physiol (Lond)* **277**, 193-226, 1978. PubMed link.

Veiga, M. M., Meech, J. A. & Onate, N. Mercury pollution from deforestation. *Nature*. **368**, 815-816, 1994. PubMed link.

Ventura, D. F., Costa, M. T., Costa, M. F., Berezovsky, A., Salomão, S. R., Simões, A. L., Lago, M., Pereira, L. H., Faria, M. A., De Souza, J. M. & Silveira, L. C. L. Multifocal and full-field electroretinogram changes associated with color-vision loss in mercury vapor exposure. *Vis Neurosci*. **21**, 421-429, 2004. PubMed link.

Ventura, D. F., Simões, A. L., Tomaz, S., Costa, M. F., Lago, M., Costa, M. T., Canto-Pereira, L. H., de Souza, J. M., Faria, M. A. & Silveira, L. C. Colour vision and contrast sensitivity losses of mercury intoxicated industry workers in Brazil. *Environ Toxicol Pharmacol*. **19**, 523-529, 2005. PubMed link.

Watanabe, A., Pokorny, J. & Smith, V. C. Red-green chromatic discrimination with variegated and homogeneous stimuli. *Vision Res*. **38**, 3271-3274, 1998. PubMed link.

Werblin, F. S. & Dowling, J. E. Organization of the Retina of the Mudpuppy, *Necturus macubsus*. II. Intracellular Recording. *J. Neurophysiol*. **32**, 339-355, 1969. PubMed link.

WHO. Environmental health criteria 101: Methylmercury. World Health Organization, Geneva, 1990.

WHO. Exposure to Mercury: A Major Public Health Concern. World Health Organization, Geneva. 2007.

Winkler, A. D., Spillmann, L., Werner, J. S. & Webster, M. A. Asymmetries in blue-yellow color perception and in the color of 'the dress'. *Curr Biol*. **25**, R547-R548, 2015. PubMed link.

Xing, D., Ouni, A., Chen, S., Sahmoud, H., Gordon, J. & Shapley, R. Brightness-Color Interactions in Human Early Visual Cortex. *J. Neurosci*. **35**, 2226-2232, 2015. PubMed link.

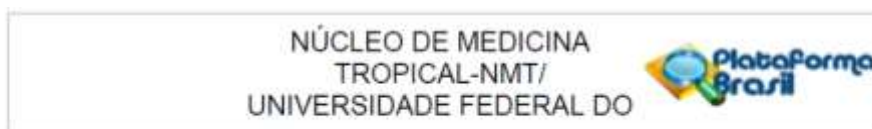
Zahir, F., Rizwi, S. J., Haq, S. K. & Khan, R. H. Low dose mercury toxicity and human health. *Environ Toxicol Pharmacol*. **20**, 351-360, 2005. PubMed link.

Zeki, S. Color coding in the cerebral cortex: the reaction of cells in monkey visual cortex to wavelengths and colors. *Neuroscience*. **9**, 741-765, 1983. PubMed link.

Zeki, S. The representation of colours in the cerebral cortex. *Nature*. **284**, 412- 418, 1980.
PubMed link.

ANEXO I

Parecer do comitê de ética em pesquisa em seres humanos



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DO RUÍDO SIMBÓLICO SOBRE A DISCRIMINAÇÃO DE CORES UTILIZANDO ESTÍMULOS PSEUDOISOCROMÁTICOS

Pesquisador: Givago da Silva Souza

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 21973813.3.0000.5172

Instituição Proponente: Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA

Patrocinador Principal: MINISTERIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA E INOVACAO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 570.434

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Baseado no parecer do relator anterior o autor realizou as alterações sugeridas.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE foi apresentado e o autor fez as correções sugeridas pelo relator.

Recomendações:

Recomendo a aprovação do Projeto.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O autor realizou as alterações sugeridas pelo relator anterior.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

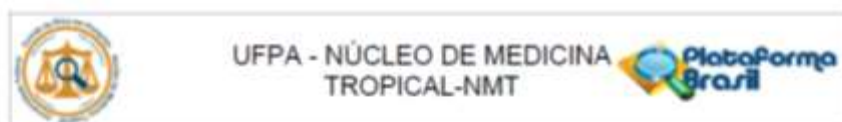
Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 52
Bairro: Umarizal **CEP:** 66.055-240
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91)3201-6857 **E-mail:** cepbel@ufpa.br

ANEXO II

Parecer do comitê de ética em pesquisa em seres humanos



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: ESTUDO DA INTERAÇÃO ENTRE COR E LUMINÂNCIA SOB OS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA

Pesquisador: Leticia Miquilini de Arruda Farias

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 73216317.9.0000.5172

Instituição Proponente: Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA

Patrocinador Principal: FUND COORD DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NIVEL SUP
CONS NAC DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLÓGICO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.495.115

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A proposta possui relevância científica, a questão é plenamente investigável, possui objetivos claros e definidos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O protocolo atende as exigências éticas. Foram atendidas as pendências indicadas no relatório (parecer) anterior incluindo ajustes na metodologia, avaliação riscos /benefícios e no TCLE.

Recomendações:

Recomenda-se aprovar o protocolo

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Parecer aprovado. Favor enviar o relatório, via plataforma brasil, uma vez que o projeto tenha sido finalizado.

ANEXO III

INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA
SAÚDE DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARÁ - ICS/

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DOS EFEITOS VISUAIS DA EXPOSIÇÃO AMBIENTAL AO MERCÚRIO EM CRIANÇAS RIBEIRINHAS

Pesquisador: Joyce dos Santos Freitas

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 20107913.8.0000.0018

Instituição Proponente: Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA

Patrocinador Principal: CONS NAC DE DESENVOLVIMENTO CIENTIFICO E TECNOLÓGICO
FUNDAÇÃO AMAZONIA PARAENSE DE AMPARO A PESQUISA - FAPESPA
Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 392.245

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

O projeto apresenta metodologia e critérios definidos e de acordo com a resolução 466/12 do CNS/MS.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Os termos apresentados nesta versão estão de acordo com a Resolução 466/12 do CNS/MS.

Recomendações:**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Diante do exposto somos pela aprovação do projeto. Este é nosso Parecer, SMJ.

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

SCIENTIFIC REPORTS

OPEN

Influence of Spatial and Chromatic Noise on Luminance Discrimination

Leticia Miqulini¹, Natalie A. Walker², Erika A. Odigie³, Diego Leite Guimarães², Railson Cruz Salomão², Eliza Maria Costa Brito Lacerda⁴, Maria Izabel Tentes Cortes⁷, Luiz Carlos de Lima Silveira^{1,2,5}, Malinda E. C. Fitzgerald^{1,4}, Dora Fix Ventura⁶ & Givago Silva Souza^{1,2}

Received: 19 June 2017

Accepted: 17 November 2017

Published online: 05 December 2017

Pseudoisochromatic figures are designed to base discrimination of a chromatic target from a background solely on the chromatic differences. This is accomplished by the introduction of luminance and spatial noise thereby eliminating these two dimensions as cues. The inverse rationale could also be applied to luminance discrimination, if spatial and chromatic noise are used to mask those cues. In this current study estimate of luminance contrast thresholds were conducted using a novel stimulus, based on the use of chromatic and spatial noise to mask the use of these cues in a luminance discrimination task. This was accomplished by presenting stimuli composed of a mosaic of circles colored randomly. A Landolt-C target differed from the background only by the luminance. The luminance contrast thresholds were estimated for different chromatic noise saturation conditions and compared to luminance contrast thresholds estimated using the same target in a non-mosaic stimulus. Moreover, the influence of the chromatic content in the noise on the luminance contrast threshold was also investigated. Luminance contrast threshold was dependent on the chromaticity noise strength. It was 10-fold higher than thresholds estimated from non-mosaic stimulus, but they were independent of colour space location in which the noise was modulated. The present study introduces a new method to investigate luminance vision intended for both basic science and clinical applications.

The natural environment is composed of a mosaic of adjacent patches that reflects different numbers of photons with distinct spectral content, which is the substrate that the visual system builds on for the perceptual experience of colour and luminance¹. Colour and luminance information may have had a major role in the evolution of the visual system² that might explain why different cells have evolved to encode colour and luminance differences in both temporal and spatial domains³. The colour and luminance contrast of an image modulates the activity of ganglion cells within the retina^{3,4}. At least three groups of ganglion cells encode chromatic isoluminant contrast and luminance contrast with different contrast sensitivities^{4–6}. M cells have high luminance contrast sensitivity and weak responses for chromatic isoluminant contrast^{4,5,7–10}. P cells have high contrast sensitivity for red-green isoluminant contrast and low luminance contrast sensitivity^{4,5,7–11}. Small bistratified ganglion cells (K cells) are highly responsive to blue-yellow isoluminant contrast and have little or no responsiveness to luminance contrast^{5,12}. The signals of luminance and colour contrast are transmitted from the retina to the lateral geniculate nucleus (LGN) and from there to the primary visual cortex (V1) through parallel streams named M, P, and K, respectively^{10–18}.

In V1, the cortical cells receive inputs from M, P, and K-pathways, although it is not clear the weighting of the input to the individual neurons^{19–21}. It is also not clear if the luminance and colour contrast interacts to modulate the neuronal response prior to the synaptic connection within V1⁵; however, evidence does suggest that it occurs within V1^{22–24}. Two different studies have^{22,25} reported three groups of V1 cells in the macaque with preferences for luminance contrast, for colour contrast, and for both luminance and colour contrasts.

Additional studies have reported results on how the visual system detects a stimulus with simultaneous luminance and colour contrasts^{23,25–29}. These results were that colour and luminance channels are not entirely independent, and each can exert an impact in the functionality of the other^{23,25–29}.

¹Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brazil. ²Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brazil. ³University of Tennessee Health Science Center, Memphis, TN, United States of America. ⁴Christian Brother's University, Memphis, TN, United States of America. ⁵Universidade Ceuma, São Luiz, Maranhão, Brazil. ⁶Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brazil. ⁷Universidade Federal do Amapá, Macapá, Amapá, Brazil. Correspondence and requests for materials should be addressed to G.S.S. (email: givagosouza@ufpa.br)

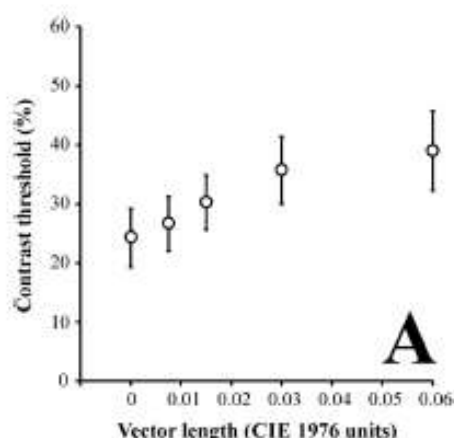


Figure 1. Mean luminance contrast thresholds ($n = 40$) as a function of chromatic noise length. The higher magnitude of noise, the higher luminance contrast threshold. Error bars represent the standard deviation of the mean.

Pseudoisochromatic stimuli are composed of a combination of luminance and colour contrast²⁸. The design of the stimuli is a mosaic that has a spatial noise added to a luminance noise within its patches. The target highlights from the mosaic field by the chromaticity difference³¹. Pseudoisochromatic stimulus is widely used to investigate colour discrimination. In this particular type of test, the chromatic contrast is embedded in luminance and spatial noise, and the subject performs a colour discrimination task^{28,29,31–34}. Other stimulus design have been used to investigate the colour discrimination^{37,38}.

Our research group has described that different luminance and colour interactions within the pseudoisochromatic stimuli can have an influence on colour discrimination tasks²⁸. We investigated how the number of luminance values in the luminance noise influenced the colour perception²⁸. We observed that when the stimuli have two or four luminance values in the luminance noise the color discrimination was worse than when the stimuli had six or more luminance values in the luminance noise. We also observed that the colour discrimination thresholds and reaction times were dependent on the relationship between the mean luminance of the mosaic and the range of the luminance noise²⁹.

In the present investigation, a novel stimulus was introduced that could be used to investigate the influence of the luminance and color interactions within the luminance discrimination tasks. This new stimulus, similar to the pseudoisochromatic stimulus, is also composed of a mosaic with spatial noise, but it has chromatic noise randomly distributed within the mosaic. The chromatic noise, along with spatial noise, mask the presence of a target that differs from the mosaic field by luminance contrast. We investigated the influence of this chromatic noise on the luminance discrimination thresholds as well as the influence of the mosaic design in the measurement.

Results

Experiment #1. Luminance contrast threshold as a function of the chromatic noise length. The luminance contrast thresholds varied as a function of the vector length of the chromatic noise values. The presence of the chromatic noise was associated with a reduction in the luminance discrimination threshold. The higher chromatic noise length, the higher luminance contrast threshold. Figure 1 shows the mean contrast threshold ($n = 40$, 2 trials) as a function of the chromatic noise (Fig. 1). The mean luminance thresholds for the different chromatic noise conditions (in $u'v'$ units) were: 0.06: $38.9\% \pm 6.8$; 0.03: $35.6\% \pm 5.7$; 0.015: $30.2\% \pm 4.6$; 0.0075: $26.6\% \pm 4.6$; and 0: $24.2\% \pm 5$.

For a subgroup of observers, we compared the luminance contrast thresholds in three consecutive sessions. Figure 2 shows the comparison of three individual results (Fig. 2A–C) and group results of the sessions 1, 2, and 3. We observed that all the sessions showed an inhibitory influence of the chromatic vector length in the luminance contrast thresholds. We found statistical difference between the luminance contrast threshold obtained with chromatic noise of 0.06 and 0.03 $u'v'$ units. The contrast thresholds estimated for these stimuli in the first session were significantly higher than those obtained for the same conditions during the second and third session (Fig. 2D, $p < 0.05$). All the other intersession comparisons for the same chromatic noise length had no significant differences.

Experiment #2. Comparison of luminance contrast threshold estimated using mosaic and non-mosaic stimulus. Figure 3 illustrates the comparison of luminance contrast thresholds estimated using mosaic stimulus at the different chromatic noise conditions (the same from the Experiment #1) and those estimated using non-mosaic stimulus. All contrast thresholds obtained with the mosaic stimulus were significantly higher than that estimated with the non-mosaic stimulus ($p < 0.01$). The frequency distribution of the \log_{10} of the ratio between the thresholds estimated with mosaics and the threshold estimated using non-mosaic stimulus are

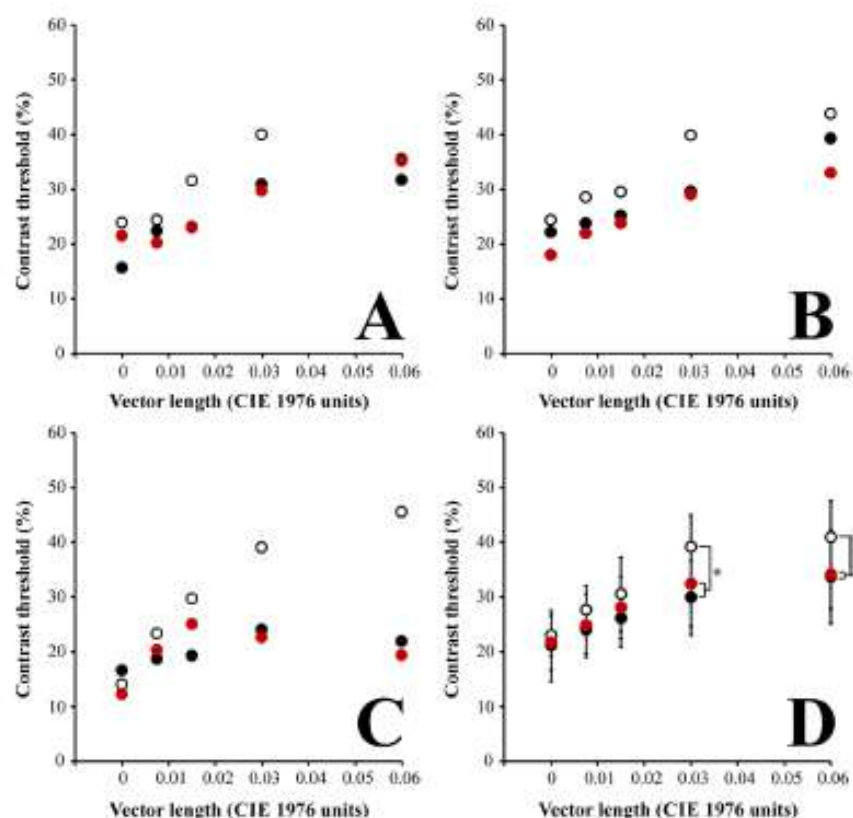


Figure 2. Comparison of luminance contrast thresholds as a function of the chromatic noise length obtained in three consecutive sessions (white circles, first session; black circles, second session; red circles, third session). (A–C) represent individual datapoints from three representative participants of the sample. (D) represented the averaged functions for each session. There were significant differences for the chromatic noise vectors of 0.06 and 0.03. The first session had higher contrast thresholds than the other two consecutive sessions (* $p < 0.05$). Error bars represent the standard deviation of the mean.

shown in Fig. 3B. The data had a normal distribution and the median of the log₁₀ of the ratio of the distribution was 1.19, the first quartile was 1.08, and the third quartile was 1.28.

Experiment #3. Comparison of the luminance contrast thresholds estimated using stimuli with different chromatic noise content. Seven observers carried out the experiment #3. No difference was observed in the contrast thresholds estimated from a same chromatic noise length around the five reference chromaticities ($p > 0.05$). Figure 4 shows the multiple comparisons of contrast threshold obtained from five different chromatic noises.

Comparison of the luminance contrast thresholds estimated using liquid crystal display (LCD) and cathode ray tube (CRT). We compared the results obtained from the same observers ($n = 7$) tested using both screens and the chromatic noise generated from the C2 reference chromaticity (Fig. 5). There was no influence of the system used to stimulate the psychophysical experiment. For the same chromatic noise length, the luminance contrast thresholds estimated using LCD and CRT had no significant difference.

We also compared the results from these observers ($n = 7$) tested using CRT and LCD and subgroups of the sample tested using only LCD. To compose these subgroups tested using LCD, we randomly select 7 observers from 33 observers. The results of the multiple comparisons between CRT observers and LCD observers is shown in the Table 1.

We observed that after 10 comparisons between the CRT observer group and the LCD observer subgroups, 18% of the comparisons had statistical significance and it was quite constrained to the higher chromatic noise lengths.

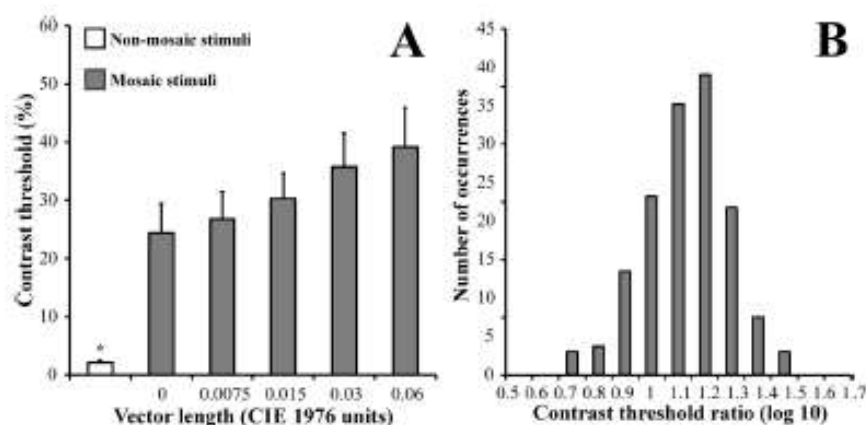


Figure 3. Comparison of the luminance contrast thresholds obtained using mosaic (gray bars) and non-mosaic (white bar) stimuli (A). The thresholds estimated using mosaic stimulus were significantly higher than those estimated using non mosaic stimulus for all subjects at all conditions. (B) Normal frequency distribution of the log10 ratio between the thresholds estimated using mosaic stimulus and non-mosaic stimulus. The median of the distribution was 1.18 log units. Error bars represents the standard deviation ($n = 40$). Error bars represent the standard deviation of the mean.

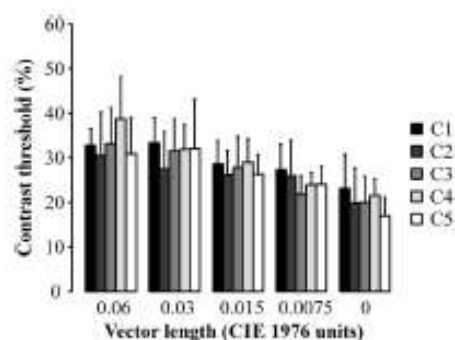


Figure 4. Comparison of the contrast thresholds estimated using five mosaics with different chromatic content ($n = 7$). There was no significant difference between the thresholds estimated using each one of the adapting chromatic state for the same chromatic noise length. Error bars represent the standard deviation of the mean.

Discussion

A new mosaic stimulus was used to evaluate luminance discrimination in this current study. The luminance contrast was masked by chromatic and spatial noise randomly distributed in the mosaic. The most important observation was that the presence of chromatic noise impaired luminance discrimination. This was similar to what was observed using pseudoisochromatic stimulus^{28,29}; therefore, this new mosaic stimulus can be used to investigate colour and luminance interactions on visual perception.

Most of the psychophysical studies that have combined colour and luminance in the stimulus have shown that colour influenced the luminance perception and vice-versa. This influence of chromatic information within the luminance discrimination is controversial. Some investigators have shown that interaction between colour and luminance increased the luminance contrast sensitivity^{25,29}. These investigators observed that when colour and luminance contrasts were combined, the contrast sensitivity was enhanced for several spatial frequencies, thus reflecting a facilitatory interaction between the chromatic and luminance systems^{25,29}. An additional group investigated the effect of luminance masking in the chromatic discrimination and the effect of chromatic masking in the luminance discrimination²⁶. It was reported that luminance masking improved the chromatic discrimination at all ranges of luminance contrast of the masking, while chromatic contrast masking in the luminance contrast stimulus had a double effect in the luminance discrimination²⁶. Low chromatic contrast masking had no influence in the luminance discrimination, intermediate chromatic contrast masking impaired the luminance discrimination, and high chromatic contrast masking increased the luminance discrimination²⁶. The results reported in the

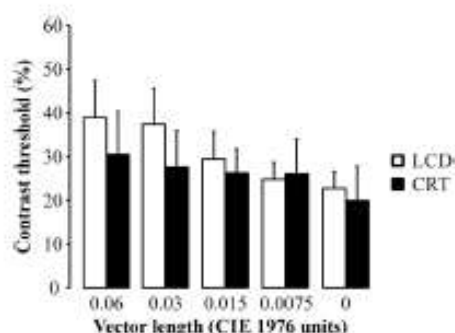


Figure 5. Comparison of the luminance contrast thresholds ($n = 7$) estimated from stimulus presented in the LCD (white bars) and CRT (black bars) and chromatic noise generated around C2. There was no significant difference between the thresholds estimated from the same chromatic noise length. Error bars represent the standard deviation of the mean.

Condition (n° units)	Comparison									
	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
0.06	<0.01	ns	<0.05	<0.05	ns	ns	<0.01	ns	ns	ns
0.03	<0.01	<0.05	<0.05	ns	ns	ns	<0.01	ns	ns	ns
0.015	ns	ns	ns	ns	ns	ns	<0.01	ns	ns	ns
0.0075	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
0	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Table 1. p-value of the analysis of variance comparing the luminance contrast threshold obtained using stimuli with different chromatic noise length presented in LCD (10 randomly chosen subgroups with 7 observers) and CRT (7 observers). ns: no statistical significance.

present investigation as well as previous studies^{28,29} confirmed previous results concerning masking experiments on visual perception. In that similar mechanisms govern the detection of luminance contrast in the presence of colour contrast, and detection of colour contrast in the presence of luminance contrast⁶. No significant sub-threshold cross modal effect has been observed, but there was facilitation for the detection of one attribute in the presence of the other in a broad range of suprathreshold contrast. At high contrast, both colour and luminance inhibited the detection of the other contrast modality⁶.

Several models of how luminance and colour channels interact have been proposed. The existence of one pathway that shares the transduction of luminance and colour has not been supported by published data from several investigators^{41–43}. It is well known that P, M, and K ganglion cells have responses for colour and luminance, but with different gains^{41–43,45}, supporting the existence of multiples channels of luminance and colour from the retina to V1. After V1, distinct pathways for colour and luminance information could then combine the M, P, and K inputs with different weights in higher order neurons⁴⁴.

The results from Experiment #1 showed an inhibitory effect of the presence of chromatic information on the luminance contrast discrimination. The responsible mechanism for the task in Experiment #1 had low contrast sensitivity. This was even after the exclusion of all chromatic noise from the stimulus, and all the circles of the mosaic field had the same chromaticity. In this experimental procedure, the luminance thresholds were quite high compared to the peak of the contrast sensitivity function normally observed in a healthy subject. Another clue to the potential mechanism involved in the luminance contrast discrimination masked by chromatic noise can be inferred from the results in Experiment #2. This protocol sought to determine if the presence of the mosaic would potentially explain the results of high contrast thresholds. When the same task was used to identify the C-gap orientation, but in a stimulus without the mosaic array, the response results returned lower contrast thresholds. These results corresponded to data reported previously under similar testing conditions^{45,46}. The comparison of chromatic discrimination estimated using pseudoisochromatic stimulus with that used an array of four homogeneous squares, one of which had a different chromaticity showed impaired discrimination in the tasks using mosaic stimulus⁴⁷. These investigators suggested that the observer needed different strategies to identify the chromatic differences in both kinds of stimuli⁴⁷. In the display array of squares, a simple search strategy was used, while a scan strategy was used as the choice in order to determine the C gap orientation in pseudoisochromatic design. The mosaic structure would contribute to a loss of information within the target. In the current investigation it was found that the ratio between the contrast thresholds estimated using non-mosaic and mosaic stimulus was around 1 log unit. Many authors have reported 1 log unit as the ratio of the luminance contrast sensitivity between M and P pathways activity at the retina^{48,49}, LGN^{50–52}, and psychophysics⁵³. The presence of the mosaic caused the main effect on the luminance contrast thresholds. It impaired the contrast detection compared to the

non-mosaic condition. The mosaic design favored the activity of a low contrast discrimination mechanism, such as determined by the P pathway. During our experiments, we used 16 different spatial noises during the experiments, while Cambridge Colour Test 2.3 version keeps the spatial noise constant during the test. There was no systematic investigation to evaluate the specific effects of the random or constant spatial noise in the luminance or colour discrimination. Future investigations can be done focused this question. Previous study investigated the chromatic discrimination thresholds with random spatial noise with and without luminance temporal noise and they found no differences on the thresholds obtained for normal trichromats³⁴.

Added to this mosaic effect, we also found the influence of the chromatic noise on the luminance thresholds. Even in the chromatic noise condition of 0.0075 $u'v'$ units, we found impairment of the luminance contrast thresholds. The vector size of 0.0075 $u'v'$ units is just above to the colour discrimination thresholds observed for the subjects between 20 and 30 years³⁵. This would indicate the existence of a mechanism with high chromatic discrimination that also was working to detect the luminance contrast thresholds or the interaction between a mechanism with low luminance contrast sensitivity and a mechanism with high chromatic discrimination. The observation of low luminance contrast sensitivity and the high chromatic discrimination within the mechanisms that underly the contrast discrimination (using our novel stimulus), suggests that P pathway (and probably K pathway) potentially has a fundamental role in these mechanisms. The P pathway could be the common trunk for new streams that encode exclusively colour information and that process colour and luminance combined information in the visual cortex^{22,23}. It is probable that other visual pathways also contribute to the inputs of the colour and luminance combined pathways²¹.

Using the novel stimulus, a set of chromaticities was used to introduce chromatic noise. The influence of the spectral content of the chromatic noise over the luminance discrimination was examined in Experiment 3. Five sets of chromaticity noise were used located in different places on the CIE1976 colour space: C1 (yellowish chromaticities), C2 (no colour predominance), C3 (bluish chromaticities), C4 (greenish chromaticities), and C5 (reddish chromaticities). These reference chromaticities were the same used in Regan *et al.* (1994) to estimate colour ellipses discrimination around them. Similar luminance discrimination was observed under these different chromatic adaptation states. This indicated that the mechanism was dependent on the masking effect of the chromatic noise over the luminance contrast discrimination. The chromatic content of the noise seemed to have no effect on this phenomenon.

All the results presented are comparative, as such the use of the "C" as the stimuli is constant across the different sessions. It is not clear the impact on the results if another stimulus was used. Several studies have discussed about misreading in the Ishihara test^{35–38}. The normal trichromat observer can read incorrectly figures that looks like other figures, for example the numbers 3 and 8. The use of other symbols could have led to slightly changes in the task we did in the present study, but the real impact of their use in the threshold values needs for additional investigations.

Our results were consistent using two test platforms with different colour depth (MacBook + LCD, 10 bits per channel; ViSaGe system + CRT, 14 bits per channel). We found no systematic difference for results of the observers tested using both systems, and it enables the use of the new stimulus for applications programmed in low-cost system. We also observed that there was good replicability of the results and some learning effect after three consecutive sessions. For the higher values of the chromatic noise (0.06 and 0.03 $u'v'$ units), there was a significant decreasing of the contrast thresholds after the first session.

The novel stimulus that uses mosaic design and chromatic noise to mask luminance discrimination opens up an alternative way to investigate the colour and luminance interactions. These data, increase the comparability of the results obtained from colour discrimination using pseudoisochromatic stimulus and results of luminance contrast discrimination. New investigations with this novel stimulus are needed to further elucidate the mechanism that underlies the impairment of luminance discrimination in the presence of chromatic noise.

Methods

The influence of the chromatic and spatial noises on the luminance discrimination, was investigated using three different experimental conditions: #1, #2, and #3. Experiment #1 was designed to determine the luminance contrast threshold as a function of the chromatic noise length; Experiment #2 aimed to compare the results estimated from mosaic and non-mosaic stimuli; and finally experiment #3 compared the estimated luminance contrast threshold using different chromatic noises. All subjects exhibited normal visual acuity or corrected at 20/20. Each participant had their colour vision evaluated by three assessments; Ishihara test, Cambridge Colour Test, and Color Assessment and Diagnosis test. Additionally, the subject's general health history was also noted; no subject reported to suffer of diabetes, high blood pressure, neurological diseases, exposure to organic solvents or any other disease that could impair the visual function. All participants gave written informed consent for both study participation, and publication of identifying information/images. The Ethics Committee on Human Research of the Tropical Medicine Nucleus of the Federal University of Pará approved all procedures reported in the present study (report #570.434). All methods were performed in accordance with Declaration of Helsinki.

Experiment #1. Forty normal trichromat subjects (mean age of 27.3 ± 3.91 years old) participated in this portion of the investigation. The stimulus was presented within a software programmed in MATLAB language environment (MATLAB 2012b, Mathworks, Natick, MA, USA) on a MacBook PRO platform (Apple Inc., Palo Alto, USA) the liquid crystal display (LCD) had 1680×1050 pixels of spatial resolution. The 17" MacBook Pro drove a NVIDIA GeForce 8600 M GT graphics processor with 512 MB of GDDR3 SDRAM and dual-link DVI and 10 bits of colour resolution per channel. We used a chromameter (CS-100A, Konica Minolta, Osaka, Japan) to calibrate the display. All chromatic calculations of the present study assumed a two degrees observer angle and a D65 illuminant. Target and background were formed by a mosaic of about 428 circles. We used 16 different mosaics. The spatial dimension of the circles ranged between 0.1226 and 0.4876 degrees. We do not consider

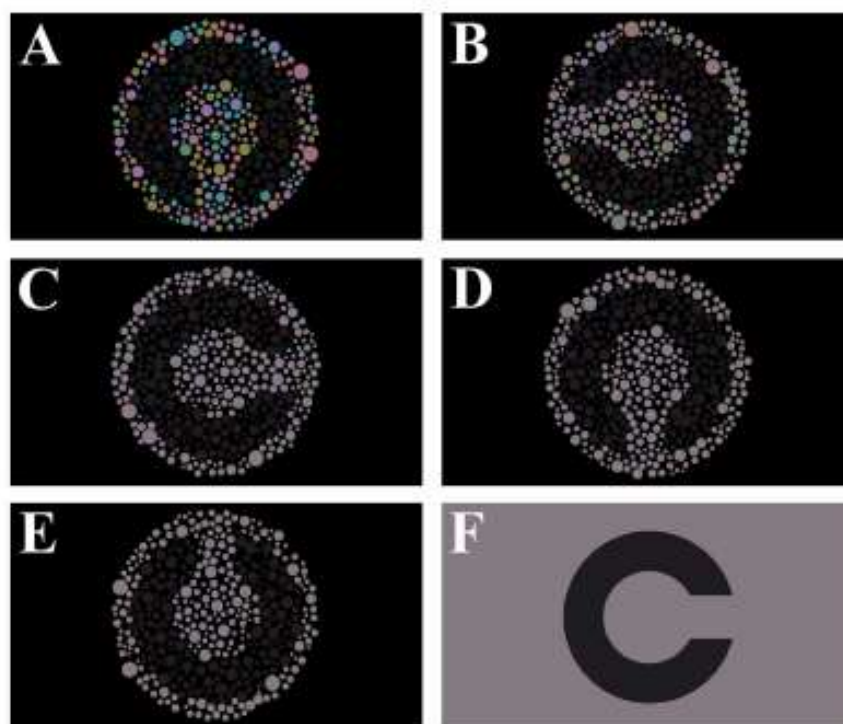


Figure 6. Stimuli used in Experiments #1 and #2. (A–E) The mosaic stimulus had a size and chromatic noise with different vector lengths: (A) 0.06; (B) 0.03; (C) 0.015; (D) 0.0075; (E) no chromatic noise. In Experiment #1, the influence of the chromatic noise length on the luminance discrimination was investigated. The contrast luminance thresholds estimated from the mosaics were compared to the one estimated from the non-mosaic stimulus (F) in Experiment #2.

that the spatial dimensions of the mosaic elements could insert some cue in the luminance discrimination task. The chromatic noise was composed by 8 different chromaticities angled in 0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 and 315 degrees from a reference chromaticity in the CIE1976 colour space ($u = 0.219$; $v = 0.48$). The chromatic noise was quantified by the vector length from the reference chromaticity to each one of the 8 chromaticities. We used vector lengths of 0.06, 0.03, 0.015, 0.0075 $u'v'$ units, and one condition without the chromatic noise, i.e. all the circles had the reference chromaticity. The Landolt C target was subgroup of circles which differed in luminance from the background. Figure 6A–F shows the stimuli in five chromatic noise conditions. The background covered 5° of visual angle, the outer and inner diameters of the target were 4.4° and 2.2° of visual angle, respectively, and the C gap had 1° of visual angle (Fig. 7). The psychophysical experiment consisted of estimating the luminance threshold using a four alternatives forced-choice procedure. The task to perform was to identify the orientation of the Landolt C gap (up, down, left, and right). An adaptive stochastic approximation staircase method controlled the luminance of the target, which started with 2 cd/m^2 . Throughout the duration of the experiment, the background luminance was kept at 40 cd/m^2 . The staircase rule was that after two correct responses the target luminance increased, and after one wrong response the target luminance decreased. The step size of target luminance increase/decrease followed the equation (1). The target luminance (targetlum) of the trial (t) was summed (after two correct responses) or decreased (after one wrong response) by the difference between the background luminance (bglum) and target luminance of the previous trial times a factor (f), which value was 0.5 for increase luminance step and 1.5 for decrease luminance step.

$$\text{targetlum}(t) = 10^{(\log_{10}(\text{targetlum}(t-1)) + (\log_{10}(\text{bglum}) - \log_{10}(\text{targetlum})) \times f)}$$

After 12 reversals the staircase stopped, and the Weber contrast between the target and background was recorded. The contrast threshold was calculated averaging the last seven reversals. The forty participants performed the experimental procedure for twice. We also did the experimental procedure in a subgroup of thirteen participants for three consecutive trials to investigate the learning curve for the test. Figure 8 shows the stimulus in different luminance Weber contrast.

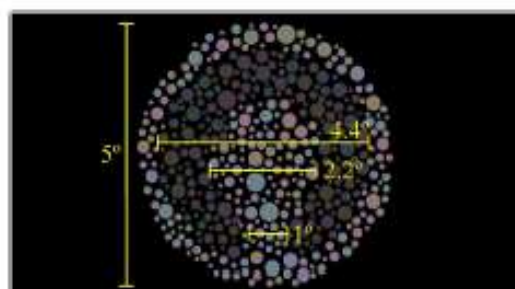


Figure 7. Spatial dimensions of the stimulus. The total diameter of the mosaic was 5° of visual angle; the outer and inner diameters of the Landolt-C was 4.4° and 2.2° of visual angle, respectively; and the Landolt-C gap was 1° of visual angle.

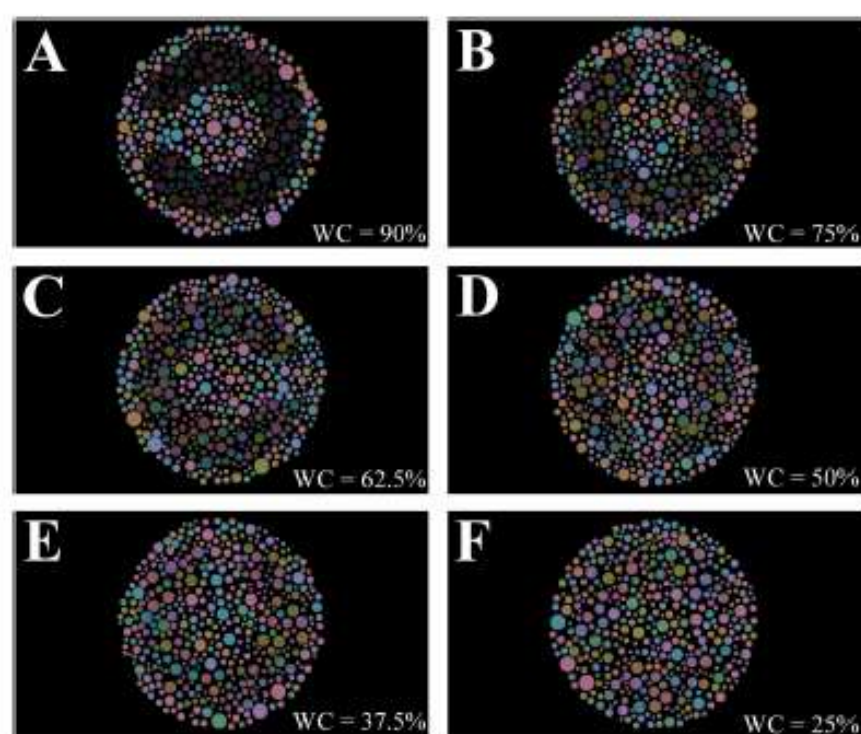


Figure 8. Examples of the stimuli with different Weber contrast between the target and the background. (A) Target: 4 cd/m^2 ; Background = 40 cd/m^2 ; Weber contrast = 90%. (B) Target: 10 cd/m^2 ; Background = 40 cd/m^2 ; Weber contrast = 75%. (C) Target: 15 cd/m^2 ; Background = 40 cd/m^2 ; Weber contrast = 62.5%. (D) Target: 20 cd/m^2 ; Background = 40 cd/m^2 ; Weber contrast = 50%. (E) Target: 25 cd/m^2 ; Background = 40 cd/m^2 ; Weber contrast = 37.5%. (F) Target: 30 cd/m^2 ; Background = 40 cd/m^2 ; Weber contrast = 25%.

Experiment #2. The Experiment #2 was the comparison between the Experiment #1 results with the luminance thresholds estimated using a non-mosaic stimulus. During the first session of Experiment 1, we also estimated the contrast threshold in a non-mosaic condition. The non-mosaic condition was randomly shown among the first session mosaic conditions. Using the same system, a non-mosaic stimulus was programmed (Fig. 6F). A Landolt-C target with the same dimensions as in Experiment 1 was centered on an isoluminant and isochromatic field. The psychophysical method to estimate the luminance threshold was the same as used in Experiment 1. We

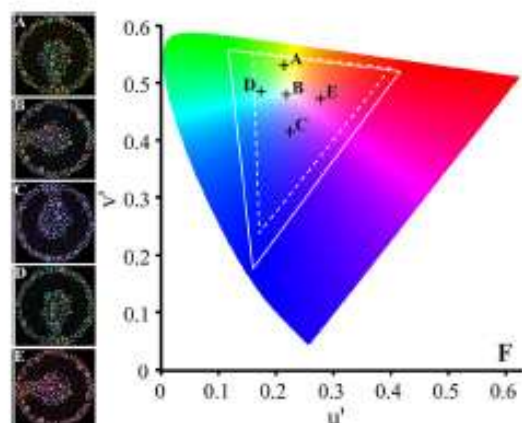


Figure 9. Stimuli used in Experiment #3. The chromatic noise was generated from five different reference chromaticities (A, C1; B, C2; C, C3; D, C4; C5, E). (F) CIE1976 color space showing the reference chromaticities (crosses) used to generate the chromatic noise. (A, B, C, D and E) represent the reference chromaticities of the chromatic noise described in the Methods section named as C1, C2, C3, C4, and C5, respectively. White line represents the CRT gamut and the dashed white line represents the LCD gamut. In Experiment #3, the influence of the different state of chromatic adaptation on the luminance contrast thresholds estimates was investigated.

calculated the \log_{10} of the ratio between the thresholds obtained with mosaics and the threshold obtained using non-mosaic stimulus in order to estimate their difference.

Experiment #3. Seven normal trichromats participated in this procedure (#3). We used ViSaGe system (Cambridge Research System, CRS, Rochester, UK) to present the stimulus on a CRT monitor with high spatial and temporal resolution (1680 × 1050 pixels, 75 Hz, 14 bits of colour resolution per channel). CRS toolbox for MATLAB was used to program the stimulus in MATLAB language environment (MATLAB 2012b, Mathworks, Natick, MA, USA) and to drive the ViSaGe graphic card (CRS). We used the same design of the mosaic stimulus described in Experiment #1, but the chromatic noise was modulated around by five reference chromaticities: C1: $u' = 0.215$, $v' = 0.531$; C2: $u' = 0.219$, $v' = 0.48$; C3: $u' = 0.225$, $v' = 0.415$; C4: $u' = 0.174$, $v' = 0.485$; C5: $u' = 0.278$, $v' = 0.472$ (Fig. 9). The same chromatic noise lengths used in experimental procedure #1 were also used in the third protocol (Experiment #3). The luminance contrast threshold was estimated similarly to that of Experiment #1.

Data analysis. One-way ANOVA followed by a Tukey posthoc test was used to compare the contrast thresholds estimated in the different chromatic noise length in the Experiments #1 and #2. Two-Way ANOVA followed by a Bonferroni posthoc test was used to determine contrast thresholds estimated for the five chromatic noise lengths and three stimuli conditions of the Experiment #3. We considered the significance level of 5%.

Limitations

The sample size of the Experiment #3 is different of the sample sizes of the Experiments #1 and #2.

Conclusion

The present study introduces a new method to investigate luminance vision for basic science and clinical applications. A combination of spatial and chromatic noise impaired the luminance contrast threshold detection. The presence of one or more colour- and luminance-sensitive visual pathways could be physiological substrate of the mechanism that underlies the luminance contrast perception of this novel stimulus.

References

- DiCarlo, J. J., Zoccolan, D. & Rust, N. C. How does the brain solve visual object recognition? *Neuron* **73**, 415–434 (2012).
- Parraga, C. A., Brulsiaff, G. & Troscianko, T. Color and luminance information in natural scenes. *J. Opt. Soc. Am. A* **15**, 563–569 (1998).
- Silveira, L. C. L. et al. Division of labor between M and P visual pathways: different visual pathways minimize joint entropy differently. *Psychol. Neurosci.* **1**, 3–14 (2008).
- Lee, B. H. & Sun, H. Contrast sensitivity and retinal ganglion cell responses in the primate. *Psychol. Neurosci.* **4**, 11–18 (2011).
- Lee, B. H., Sun, H. & Valberg, A. Segregation of chromatic and luminance signals using a novel grating stimulus. *J. Physiol.* **589**, 59–73 (2011).
- Lee, B. H. Visual pathways and psychophysical channels in the primate. *J. Physiol.* **589**, 41–47 (2011).
- Dreher, B., Fukada, Y. & Roddey, R. W. Identification, classification and anatomical segregation of cells with X-like and Y-like properties in the lateral geniculate nucleus of old-world primates. *J. Physiol.* **258**, 433–452 (1976).
- de Monasterio, F. M. Properties of concentrically organized X and Y ganglion cells of macaque retina. *J. Neurophysiol.* **41**, 1394–1417 (1978a).

9. de Monasterio, E. M. Center and surround mechanisms of opponent-color X and Y ganglion cells of retina of macaques. *J Neurophysiol.* **41**, 1418–1434 (1978b).
10. Creutzfeldt, O. D., Lee, H. B. & Heflindt, A. A quantitative study of chromatic organization and receptive fields of cells in the lateral geniculate body of the rhesus monkey. *Exp Brain Res.* **35**, 527–545 (1979).
11. Perry, V. H., Ohler, R. & Cowey, A. Retinal ganglion cells that project to the dorsal lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. *Neuroscience.* **12**, 1101–1123 (1984).
12. Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Amplitude and phase of responses of macaque retinal ganglion cells to flickering stimuli. *J Physiol.* **414**, 245–263 (1989a).
13. Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Sensitivity of macaque retinal ganglion cells to chromatic and luminance flicker. *J Physiol.* **414**, 223–243 (1989b).
14. Lee, B. B., Martin, P. R. & Valberg, A. Nonlinear summation of M- and L-cone inputs to phasic retinal ganglion cells of the macaque. *J Neurosci.* **9**, 1433–1442 (1989c).
15. Dacey, D. M. & Lee, B. B. The “blue-on” opponent pathway in primate retina originates from a distinct bifurcated ganglion cell type. *Nature.* **367**, 731–735 (1994).
16. Dacey, D. M. Parallel pathways for spectral coding in primate retina. *Annu. Rev. Neurosci.* **23**, 743–775 (2000).
17. Hendry, S. H. & Rod, R. C. The koniocellular pathway in primate vision. *Annu. Rev. Neurosci.* **23**, 127–153 (2000).
18. Nassi, J. J. & Callaway, E. M. Parallel processing strategies of the primate visual system. *Nat Rev Neurosci.* **10**, 360–372 (2009).
19. Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *J Physiol.* **195**, 215–243 (1968).
20. Chatterjee, S. & Callaway, E. M. Parallel colour-opponent pathways to primary visual cortex. *Nature.* **426**, 668–671 (2003).
21. Shapley, R. & Hawken, M. J. Color in the cortex: single- and double-opponent cells. *Vision Res.* **51**, 701–717 (2011).
22. Johnson, E. N., Hawken, M. J. & Shapley, R. The spatial transformation of color in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Nat Neurosci.* **4**, 409–416 (2001).
23. Li, X. et al. Mixing of Chromatic and Luminance Retinal Signals in Primate Area V1. *Cereb Cortex.* **25**, 1920–1937 (2015).
24. King, D., Ouml, A., Chen, S., Salmoud, H., Gordon, J. & Shapley, R. Brightness-Color Interactions in Human Early Visual Cortex. *J Neurosci.* **35**, 2226–2232 (2015).
25. Mullen, K. T. The contrast sensitivity of human colour vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings. *J Physiol.* **359**, 381–400 (1985).
26. Switkes, E., Bradley, A. & De Valois, K. K. Contrast dependence and mechanisms of masking interactions among chromatic and luminance gratings. *J Opt. Soc. Am. A.* **5**, 1149–1162 (1988).
27. Cooper, B., Sun, H. & Lee, B. B. Psychophysical and physiological responses to gratings with luminance and chromatic components of different spatial frequencies. *J Opt. Soc. Am. A.* **29**, A314–A323 (2012).
28. Souza, G. S. et al. Low number of luminance levels in the luminance noise increases color discrimination thresholds estimated with pseudochromatic stimuli. *Front Psychol.* **5**, 1291, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01291> (2014).
29. Cornejo-Méndez, I. et al. Color discrimination is affected by modulation of luminance noise in pseudochromatic stimuli. *Front Psychol.* **7**, 1006, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01006> (2016).
30. Mollon, J. D. The origins of modern color science in *The Science of Color* (ed. Shevell, S. K.) 1–39 (Optical Society of America, 2003).
31. Regan, B. C., Reffin, J. P. & Mollon, J. D. Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. *Vision Res.* **34**, 1279–1299 (1994).
32. Mollon, J. D. & Reffin, J. P. A computer-controlled colour vision test that combines the principles of Chibret and Stilling. *J Physiol.* **414**, 5P (1989).
33. Mancuso, K., Neltz, M. & Neltz, J. An adaptation of the Cambridge Colour Test for use with animals. *Vis. Neurosci.* **23**, 695–701 (2006).
34. Mancuso, K. et al. Gene therapy for red-green colour blindness in adult primates. *Nature.* **461**, 784–787 (2009).
35. Paramet, G. V. Color discrimination across four life decades assessed by the Cambridge Colour Test. *J. Opt. Soc. Am. A.* **29**, A290–A297 (2012).
36. Gouliart, P. R. et al. A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Vis Neurosci.* **25**, 445–450 (2008).
37. Barbur, J., Rodríguez-Carmona, M., Evans, S. & Milburn, N. Minimum color vision requirements for professional flight crew, part 3: recommendations for new color vision standards. CAA Paper 2009/04 (2009).
38. Ripamonti, C., Kalwarosky, S. & Nardini, M. A novel colour discrimination test suitable for low vision observers. In: 12th International AIC Congress, 2014.
39. Gur, M. & Akri, Y. Isolating stimuli may not expose the full contribution of color to visual functioning: spatial contrast sensitivity measurements indicate interaction between color and luminance processing. *Vision Res.* **32**, 1253–1262 (1992).
40. Mullen, K. T. & Losada, M. A. Evidence for separate pathways for color and luminance detection mechanisms. *J Opt Soc Am A.* **11**, 3136–3151 (1994).
41. Chaparro, A., Stromeyer, C. F., Kronauer, R. E. & Eskew, R. T. Separable red-green and luminance detectors for small flashes. *Vision Res.* **34**, 751–762 (1994).
42. Stromeyer, C. F., Kronauer, R. E., Rya, A., Chaparro, A. & Eskew, R. T. Contributions of human long-wave and middle-wave cones in motion detection. *The Journal of Physiology* **485**(Pt 1), 221–243 (1995).
43. Mullen, K. T., Cropper, S. J. & Losada, M. A. Absence of linear subthreshold summation between red-green and luminance mechanisms over a wide range of spatio-temporal conditions. *Vision Res.* **37**, 1157–1165 (1997).
44. Conway, B. R. Color signals through dorsal and ventral visual pathways. *Vis Neurosci.* **31**, 197–209 (2014).
45. McAnany, J. J. & Alexander, K. R. Spatial frequencies used in Landolt C orientation judgments: relation to inferred magnocellular and parvocellular pathways. *Vision Res.* **48**, 2615–2624 (2008).
46. Gillespie-Gallery, H., Konstantakopoulou, E., Harlow, J. A. & Barbur, J. L. Capturing age-related changes in functional contrast sensitivity with decreasing light levels in monocular and binocular vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* **54**, 6093–6103 (2013).
47. Watanabe, A., Pokorny, J. & Smith, V. C. Red-green chromatic discrimination with variegated and homogeneous stimuli. *Vision Res.* **38**, 3271–3274 (1998).
48. Kaplan, E. & Shapley, R. M. The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **83**, 2755–2757 (1986).
49. Purpura, K., Kaplan, E. & Shapley, R. M. Background light and the contrast gain of primate P and M retinal ganglion cells. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **85**, 4534–4537 (1988).
50. Kaplan, E. & Shapley, R. M. X and Y cells in the lateral geniculate nucleus of macaque monkeys. *J Physiol.* **330**, 125–143 (1982).
51. Hicks, T. P., Lee, B. B. & Vidyasagar, T. R. The responses of cells in macaque lateral geniculate nucleus to sinusoidal gratings. *J Physiol.* **337**, 183–200 (1983).
52. Edwards, D. P., Purpura, K. P. & Kaplan, E. Contrast sensitivity and spatial frequency response of primate cortical neurons in and around the cytochrome oxidase blobs. *Vision Res.* **35**, 1501–1523 (1995).
53. Pokorny, J. & Smith, V. S. Psychophysical signatures associated with magnocellular and parvocellular pathways contrast gain. *J Opt Soc Am A.* **14**, 2477–2486 (1997).
54. Linhares, J. M. et al. Assessing the effects of dynamic luminance contrast noise masking on colour discrimination test. *J Opt Soc Am A.* **33**, A178–A183 (2016).

55. Birch, J. & McKee, L. M. Survey of the accuracy of new pseudochromatic plates. *Ophthalmic Physiol Opt* **13**, 35–40 (1993).
56. Birch, J. Efficiency of the Ishihara test for identifying red-green colour deficiency. *Ophthalmic Physiol Opt* **17**, 403–408 (1997).
57. Rodríguez-Carmona, M., O'Neill-Biba, M. & Barbur, J. L. Assessing the severity of color vision loss with implications for aviation and other occupational environments. *Aviat Space Environ Med* **83**, 19–29 (2012).
58. Sloan, L. L. & Habel, A. Tests for color deficiency based the pseudochromatic principle: a comparative study of several new tests. *AMA Arch Ophthalmol* **55**, 229–239 (1956).

Acknowledgements

This research was supported by the following grants: CAPES Pro-Amazonia; CNPq # 431748/2016-0. L.M., R.C.S., D.L.G. received CAPES fellowships for graduate students. EMCBL received a CAPES Pro-Amazonia postdoctoral fellowship. D.F.V., L.C.L.S. are CNPq research fellows. Additional support obtained from NIH 5T32MD001378-14 (MECF, EO, NW).

Author Contributions

G.S.S. and L.C.L.S. conceived and designed the experiments. L.M., E.O., N.W., D.L.G., and R.C.S. performed the experiments. G.S.S., L.M., and E.M.C.B.L. analyzed the data. G.S.S., D.F.V., M.E.C.E. and M.L.T.C. acquired financial support. G.S.S., L.M., and D.F.V. drafted the manuscript. All the authors reviewed and approved the final version manuscript.

Additional Information

Competing Interests: The authors declare that they have no competing interests.

Publisher's note: Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

© The Author(s) 2017