



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

TEREZINHA MEDEIROS GONÇALVES DE LOUREIRO

MASCARAMENTO POR RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A
DISCRIMINAÇÃO DE COR E LUMINÂNCIA

BELÉM

2018

TEREZINHA MEDEIROS GONÇALVES DE LOUREIRO

**MASCARAMENTO POR RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A
DISCRIMINAÇÃO DE COR E LUMINÂNCIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Neurociências e Biologia Celular da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Doutora em Neurociências e Biologia Celular.

Área de concentração: Neurociências.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza.

BELÉM

2018

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

L892m Loureiro, Terezinha Medeiros Gonçalves de.
 MASCARAMENTO POR RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A DISCRIMINAÇÃO DE COR E
 LUMINÂNCIA / Terezinha Medeiros Gonçalves de Loureiro, . — 2019.
 71 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Givago da Silva Souza
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular, Instituto de
Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Discriminação de cores. 2. Ruído de luminância. 3. Tricromatas. 4. Discromatópsicos. I. Título.

CDD 612.8

TEREZINHA MEDEIROS GONÇALVES DE LOUREIRO

**MASCARAMENTO POR RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A
DISCRIMINAÇÃO DE COR E LUMINÂNCIA**

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

Área de concentração: Neurociências.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza.

Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará

Avaliadores:

Prof. Dr. Paulo Roney Kilpp Goulart

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento, Universidade Federal do Pará.

Profa. Dr^a. Eliza da Costa Brito Lacerda

Universidade Ceuma, São Luís, Maranhão.

Dr. Leonardo Dutra Henriques

Universidade de São Paulo, São Paulo.

Dr^a. Letícia Miquilini de Arruda Farias

Universidade Federal do Pará

Dr^a Alódia Brasil Costa (Suplente)

Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará.

Aos meus pais, Norberto Teixeira de Loureiro e
Carmélia Medeiros Gonçalves de Loureiro.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora de Nazaré, na qual eu tenho fé e confiança, que guia meus caminhos, me concedendo a graça de aprimorar meus conhecimentos e permitir alcançar a realização dos meus sonhos.

Aos meus pais, Norberto Teixeira de Loureiro e Carmélia Medeiros Gonçalves de Loureiro, que com toda dedicação, carinho e amor, mostraram o valor da perseverança. Obrigada pelo exemplo, e por nunca me deixar desistir. Amo vocês!

Ao meu irmão e sobrinhos, Douglas Medeiros Gonçalves de Loureiro, Davi Souza de Loureiro e Daniel Souza de Loureiro, pelo apoio.

À Aline Cardoso de Menezes, pelo companheirismo, amor e paciência. Agradeço pela força e otimismo em relação ao término deste trabalho.

Aos meus padrinhos, Braz Cavalcante Souza e Maria Glagean da Silva Souza, pelo incentivo e carinho.

À Glageane da Silva Souza, pelo incentivo e apoio.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Givago da Silva Souza, pela oportunidade, e por garantir que este trabalho fosse desenvolvido de forma brilhante. És um grande exemplo de profissional.

Em memória, ao Prof. Dr. Luiz Carlos de Lima Silveira, pelo seu exemplo de dedicação exemplar ao Laboratório de Neurologia Tropical e a ciência.

Aos meus amigos do laboratório de Neurologia Tropical-NMT (UFPA), pelo apoio e contribuições.

Aos meus amigos, em especial ao Edir Amaral, Vanessa Lima, Valéria Lima, Kamyille Quadros, Heloiana Faro e Leonardo Souza por todo apoio ao longo desses anos.

Ao laboratório de Visão da Universidade de São Paulo, pelas contribuições.

Aos voluntários que disponibilizaram seu tempo para a realização dos testes.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente com a realização deste projeto.

À Pós-Graduação em Neurociências e Biologia Celular – UFPA.

À CAPES, responsável por financiar este projeto.

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Neurologia Tropical, Núcleo de Medicina Tropical, Universidade Federal do Pará, sob a orientação do Prof. Dr. Givago da Silva Souza. Em vigência ao suporte financeiro: CAPES.

“A pesquisa básica é como atirar uma flecha para o ar e, onde ela cair, pintar um alvo”

Homer Adkins Burton

RESUMO

Vários experimentos psicofísicos foram desenvolvidos usando estímulos pseudoisocromáticos para avaliar a visão de cores. Foi observado que a percepção de cores depende das características do ruído de luminância presente no estímulo. Nesta tese foram desenvolvidos dois conjuntos de experimentos que estudam como os efeitos do ruído espacial de luminância influenciam na percepção visual. No primeiro experimento foi investigado o efeito da mudança na amplitude do ruído de luminância na discriminação de cores. Dezoito tricromatas e dez discromatópsicos congênitos tiveram sua visão de cores avaliada por estímulos adaptados do *Cambridge Colour Test* e foram testados geneticamente para diagnosticar mutações associadas à deficiência congênita da visão de cores. Os estímulos foram compostos por mosaicos de círculos em um campo circular de 5° de ângulo visual. Um subconjunto dos círculos diferiu do campo remanescente pela cromaticidade. A discriminação de cores foi estimada em 4 condições de estímulo que diferiram na amplitude do ruído de luminância: (i) entre 6-20 cd/m²; (ii) entre 8 e 18 cd/m²; (iii) entre 10 e 16 cd/m²; e (iv) entre 12 e 14 cd/m². Foram utilizados seis valores de luminância equidistantes entre os limites de ruído de luminância com a luminância média do estímulo mantida em todas as quatro condições. Os limiares de discriminação de cor foram estimados através de um procedimento de escada em 8 diferentes eixos cromáticos. Uma função de elipse foi ajustada aos dados de cromaticidades limares. Os indicadores da discriminação de cores foi a área da elipse e os valores dos oito limiares de discriminação de cor. A taxa de variação desses indicadores em função dos valores de amplitude do ruído de luminância foi calculada como o valor da derivada da função linear que melhor se ajustava à função. No segundo experimento, um subconjunto dos círculos diferiu do campo remanescente pela diferença de ruído de luminância, formando a percepção de uma letra C. Neste experimento buscou-se avaliar a discriminação de luminância em condições de ruído de luminância de diferentes níveis (nível de 2, 4, 6, 10 e 14). Foram testados 30 sujeitos saudáveis. Um procedimento de escada foi usado para controlar a luminância média do ruído de luminância do alvo. Os limiares de discriminação de luminância entre as luminâncias médias do alvo e do fundo foram os indicadores funcionais visuais. Os resultados do primeiro experimento mostraram que a taxa de variação da área de elipse em função da amplitude de luminância em dicromatas foi maior que em tricromatas ($p < 0,05$). Foi observado que a baixa amplitude do ruído de luminância (condição de 2 cd/m²), melhora a discriminação de cores dos sujeitos tricromatas e dicromatas. Em relação aos eixos cromáticos, foi observado que houve diferença significativa entre as taxas de variação do tamanho do vetor limiar em função da amplitude do ruído de luminância de tricromatas e dicromatas nos eixos 0°, 45°, 90° e 135°. Os resultados do segundo experimento mostraram que nos menores níveis de luminância, o ruído prejudica significativamente a discriminação luminância ($p < 0,05$) comparado com as condições de maiores níveis de ruídos de luminância. Foi observado também que quanto maior o contraste de luminância presente dentro do ruído pior a discriminação de luminância. Conclui-se que a modificação do ruído de luminância pode levar a modificações significativas da discriminação de luminância quanto a discriminação de cor.

Palavras-chave: Discriminação de cores, ruído de luminância, tricromatas, discromatópsicos.

ABSTRACT

Several psychophysical experiments were developed using pseudoisochromatics stimuli to evaluate color vision. It was observed that the color perception depends on the characteristics of the luminance noise present in the stimulus. In this thesis were developed two sets of experiments that study how the effects of spatial noise of luminance influence in the visual perception. In the first experiment we investigated the effect of the change in luminance noise amplitude in color discrimination. Eighteen trichromates and ten congenital discromatopics had their color vision evaluated by stimuli adapted from the Cambridge Colour Test and were genetically tested to diagnose mutations associated with congenital color vision deficiency. The stimuli were composed of mosaics of circles in a circular field of 5 ° of visual angle. A subset of the circles differed from the remaining field by chromaticity. The color discrimination was estimated in 4 stimulus conditions that differed in the amplitude of the luminance noise: (i) between 6-20 cd/m²; (ii) between 8 and 18 cd/m²; (iii) between 10 and 16 cd/m²; and (iv) between 12 and 14 cd/m². Six equidistant luminance values were used between the luminance noise limits and the mean luminance of the stimulus maintained in all four conditions. The color discrimination thresholds were estimated through a staircase procedure in 8 different chromatic axes. An ellipse function was fitted to the chromaticity data. The indicators of color discrimination were the area of the ellipse and the values of the eight thresholds of color discrimination. The rate of change of these indicators as a function of the luminance noise amplitude values was calculated as the value of the derivative of the linear function that best fit the function. In the second experiment, a subset of the circles differed from the remaining field by the luminance noise difference, forming the perception of a letter C. In this experiment we tried to evaluate the luminance discrimination in different luminance noise conditions (levels of 2, 4, 6, 10 and 14). Thirty healthy subjects were tested. A ladder procedure was used to control the average luminance of the luminance noise of the target. The luminance discrimination ranges between the mean luminance of the target and the background were the visual functional indicators. The results of the first experiment showed that the rate of variation of the ellipse area as a function of the luminance amplitude in dichromates was higher than in trichromates ($p < 0.05$). It was observed that the low amplitude of the luminance noise (condition of 2 cd/m²) improves the color discrimination of the trichrome and dichromate subjects. Regarding chromatic axes, it was observed that there was a significant difference between the rates of variation of the threshold vector size as a function of the amplitude of the luminance noise of trichromates and dichromates in the axes 0°, 45°, 90° and 135°. The results of the second experiment showed that at lower luminance levels, noise significantly impaired the luminance discrimination ($p < 0.05$) compared to the conditions of higher levels of luminance noise. It was also observed that the higher the luminance contrast present within the noise the worse the luminance discrimination. It is concluded that the modification of luminance noise can lead to significant modifications of the luminance discrimination for color discrimination.

Keywords: Color discrimination, luminance noise, trichromats, discromatops.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Representação esquemática das vias paralelas da retina para o córtex visual primário. As três principais vias (M, P e K) levam informações visuais da retina, passando pelo núcleo geniculado lateral até o V1.....	18
Figura 2	Modelo do estímulo pseudoisocromático desenvolvido por Stiling para identificação de sujeitos com deficiência da visão de cores.....	22
Figura 3	Diferentes estímulos pseudoisocromáticos. (A) Estímulo do Teste de Ishihara. (B) Estímulo do Teste Hardy-Handy-Rittler de mosaico de cores.	23
Figura 4	Modelo de um estímulo utilizado no <i>Cambridge Colour Test</i>	24
Figura 5	Modelo dos estímulos pseudoisocromáticos em quatro diferentes níveis de luminância no ruído de luminância 2, 6, 10 e 16.....	25
Figura 6	Modelo do estímulo pseudoisocromático utilizado na pesquisa de Linhares et al. (2016).....	26
Figura 7	Escala optométrica decimal.....	32
Figura 8	Placas pseudoisocromáticas de Ishihara.....	33
Figura 9	Estímulos representando as condições experimentais do <i>Cambridge Colour Test</i>	35
Figura 10	Localização das cromaticidades de alvo na cor CIE 1976 diagrama.....	36
Figura 11	Estímulos criado no ambiente de programação MATLAB R2012b, utilizados no experimento 2.....	38
Figura 12	Modelo esquemático do método de <i>staircase</i> utilizado na pesquisa. Relação entre a luminância média do alvo e o número de tentativas.....	39

Figura 13	Elipses de discriminação de cores para tricromatas (elipse preta), um sujeito protan (elipse vermelha) e um sujeito deutan (elipse verde).....	43
Figura 14	Modelo esquemático do gráfico de violino da área de elipse relativa estimados a partir de tricromatas e dicromatas congênitos em função da amplitude do ruído de luminância.....	44
Figura 15	Gráficos de violino de limiares cromáticos estimados a partir dos dados dos tricromatas em função da amplitude do ruído de luminância em cada vetor cromático.....	45
Figura 16	Gráficos de violino de limiares cromáticos estimados a partir de dicromatas congênitos em função da amplitude do ruído de luminância em cada vetor cromático.....	46
Figura 17	Gráficos de violino comparando as inclinações estimados a partir dos melhores ajustes lineares individuais para a área de elipse em função da amplitude do ruído de luminância de tricromatas e dicromatas congênitas.	47
Figura 18	Gráficos de violinos comparando as inclinações estimadas a partir dos melhores ajustes lineares individuais para os limiares de vetores cromáticos em função da amplitude do ruído de luminância de tricromatas e dicromatas congênitas.....	49
Figura 19	Limiar de discriminação da luminância média em função aos níveis de luminância com a presença e ausência do ruído de luminância (níveis 0, 2, 4, 6, 10 e 14).....	51
Figura 20	Média da luminância média do alvo em função do contraste RMS dos estímulos. Foi observada uma relação linear entre o desempenho de discriminação e o contraste do estímulo.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

CCT	<i>Cambridge Colour Test</i>
Célula K	Célula koniocelular
Célula M	Célula magnocelular
Célula P	Célula parvocelular
DNA	Ácido desoxirribonucleico
GMPc	Monofosfato cíclico de guanosina
GC	Guanilato ciclase
HRR	<i>Hardy-Rand-Rittler</i>
V1	Córtex visual primário
V2	Córtex visual secundário
V3	Córtex visual terciário
V4	Córtex visual quaternário
V5	Córtex visual quinário
MST	Área temporal médio superior
fMRI	Ressonância magnética funcional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. PROCESSAMENTO NEURAL DA VISÃO DE CORES	17
1.2. PERCEPÇÃO DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA	20
1.3. DISCRIMINAÇÃO DE COR SOB MASCARAMENTO DE RUÍDO DE LUMINÂNCIA	21
1.4. DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA SOB MASCARAMENTO DE RUÍDO DE LUMINÂNCIA	28
2. OBJETIVOS	30
2.1. OBJETIVO GERAL.....	30
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1. EXPERIMENTO 1. AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SO A DISCRIMINAÇÃO DE CORE. 31	
3.1.1. Sujeitos	31
3.2. TESTE DE AVALIAÇÃO VISUAL	32
3.2.1. Teste de triagem.....	32
3.2.1.1. Acuidade visual	32
3.2.1.2. Teste de Ishihara.....	33
3.2.2. Teste de discriminação de cor mascarado por diferentes amplitudes de ruído de luminância	35
3.2.2.1. <i>Cambridge Colour Test</i>	35

3.3. EXPERIMENTO 2. AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A DISCRIMINAÇÃO LUMINÂNCIA EM DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINÂNCIA	38
3.3.1. Sujeitos	38
3.3.2. Teste de discriminação de ruído de luminância mascarado por ruído de luminância, em diferentes níveis de luminância.	38
3.4. ANÁLISE DE DADOS	40
3.5. FENÓTIPO DE VISÃO DE CORES E GENÓTIPO.....	41
4. RESULTADOS	43
4.1. EXPERIMENTO 1 - INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DA DIMINUIÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA DO ESTÍMULO, SEM ALTERAR A LUMINÂNCIA MÉDIA, PARA ESTIMAR OS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE CORES DE TRICROMATAS E DICROMATAS CONGÊNITOS.....	43
4.2. EXPERIMENTO 2: ANÁLISE DO EFEITO DA VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A DISCRIMINAÇÃO RUÍDO DE LUMINÂNCIA EM DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINÂNCIA.....	51
5. DISCUSSÃO	54
5.1. O PAPEL DA AMPLITUDE DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A DISCRIMINAÇÃO DE COR	54
5.2. O PAPEL DO NÍVEL DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO SOBRE A DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA	56
6. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS	60

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROCESSAMENTO NEURAL DA VISÃO DE CORES

As cenas naturais são compostas por contraste de cor e luminância em diferentes escalas e orientações espaciais. Estudos sobre a interação de contraste de cor e luminância têm sido de grande importância para compreender o processamento visual na detecção do ambiente natural (Kim & Mullen, 2016).

Para que um objeto seja identificado visualmente, é necessário que exista alguns atributos contrastantes entre o objeto e o fundo. A cor e a luminância, assim como, movimento, textura e disparidade binocular são uns dos atributos presentes em uma cena visual que permitem que haja um contraste entre o objeto e o fundo (Regan, 2000). Essas cenas naturais são compostas por uma mistura espacial e temporal de informação de cor e luminância, e é necessário determinar como esses aspectos são processados e discriminados no sistema visual (Souza et al., 2014).

Essas informações de contraste de cor e luminância em um ambiente são codificadas através da interação de três grupos de células ganglionares retinianas: as células *midget*, *parasol* e as biestratificadas de campo pequeno. As células *midget* consistem cerca de 80% das células ganglionares da retina, enquanto os demais dois grupos (células *parasol* e células pequenas biestratificadas) compreendem cerca de 10% das células ganglionares (Dacey et al., 2003; Wässle, 2004; Germain et al., 2010, Lee et al., 2011). A resposta das células ganglionares à estimulação visual é um fator muito importante para compreender como a rede neural do sistema visual funciona (Silveira et al., 2008).

Cada grupo de células ganglionares possui suas próprias características morfológicas e fisiológicas (Kuffler, 1953). As células *parasol* recebem aferências dos cones L e M tanto no centro quanto na periferia de seus campos receptivos. A projeção

de seus axônios para o Núcleo Geniculado Lateral (NGL) alcança as camadas magnocelulares desta região talâmica (MacLeod et al., 1992; Lee et al., 1999). Estas células são muito sensíveis para o contraste de luminância, principalmente para o baixo contraste de luminância (Kaplan & Shapley, 1986). Essas células apresentam maiores respostas para frequências espaciais baixas e médias e frequências temporais médias e altas (Lee et al., 1999; MacLeod et al., 1992; Lee et al., 2011). As células ganglionares *midget* possuem maior sensibilidade ao contraste de cor, especificamente verde-vermelho e menor sensibilidade ao contraste de luminância (Perry et al., 1984; Lee et al., 1989 a,b; Lee, 2011; Lee et al., 2011). Os seus axônios projetam-se para as camadas parvocelulares do NGL. Já as células ganglionares pequenas biestratificadas possuem alta sensibilidade ao contraste de cor, especificamente azul-amarelo e pequena sensibilidade ao contraste de luminância (Casagrande, 1994; Dacey & Lee, 1994; Lee et al., 2011). Seus axônios projetam-se para as camadas koniocelulares do NGL.

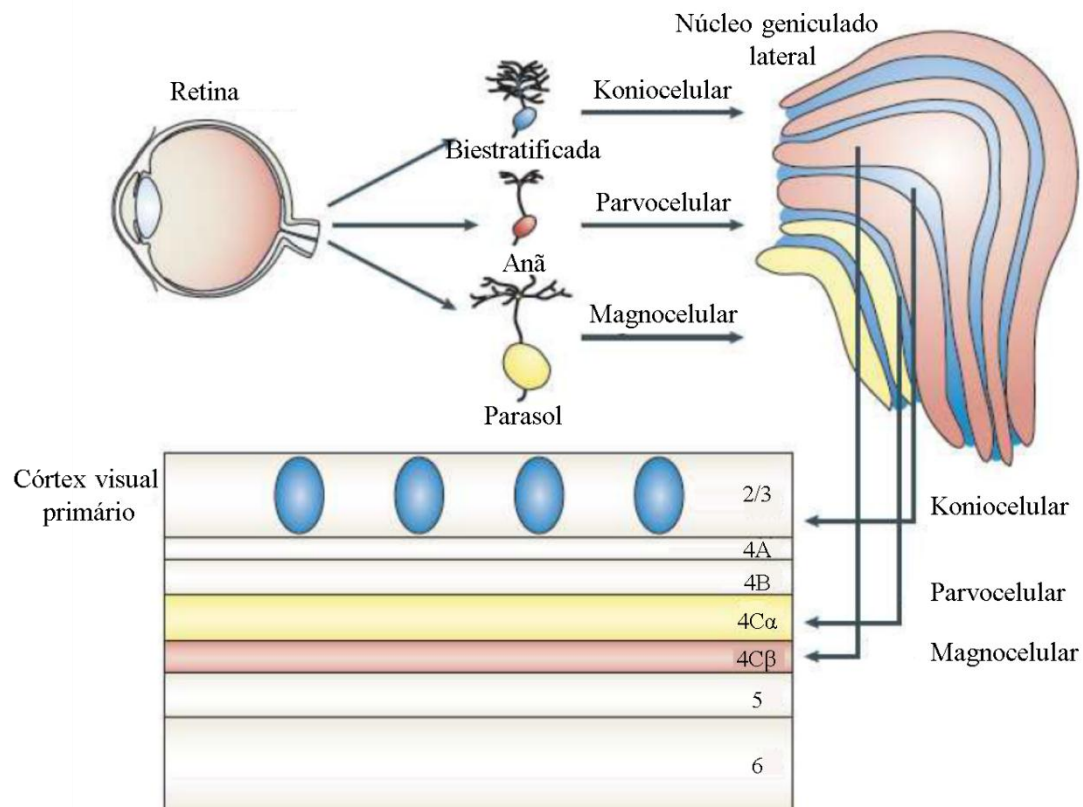


Figura 1. Representação esquemática das vias paralelas da retina para o córtex visual primário. As três principais vias (M, P e K) levam informações visuais da retina, passando pelo núcleo geniculado lateral até o V1. (Adaptado de Araújo, 2013).

Essas vias de transmissão de informação visual iniciam nos pequenos circuitos formados na camada de células ganglionares da retina, terminando nas sinapses dos axônios vindo do núcleo geniculado lateral com as células do córtex visual ou córtex estriado, que está localizado no lobo occipital, formando vias de transmissão da informação visual conhecidas como vias retinotalamoestriatais.

O córtex visual primário é a primeira área de recepção de informação visual enviada pelo tálamo (Livingstone & Hubel, 1983). As informações de cor e luminância percorrem diferentes caminhos ao longo do córtex cerebral. A área V4 processa a informação de cor (Zeki, 1983). Em V5, também chamada de área médio-temporal (MT), ocorre a percepção de movimento visual, sendo altamente dependente da informação de

luminância (Shipp & Zeki, 1985). Na região ventral, são localizadas as áreas V2, V4 e o córtex inferotemporal, sugerem-se que está envolvido o processamento dos objetos conforme seus atributos de tamanho, forma e cor (Zeki, 1983, 1990; Zeki e Marini 1998; Bouvier et al. 2008). A região dorsal é formada pelas áreas V3, V5 e a área temporal médio superior (MST), envolvidas na análise inicial da localização do objeto no ambiente (Zeki, 1983, 1990; Zeki e Marini 1998).

Não está claro se a luminância e a cor interagem para formar a resposta neural antes das conexões sinápticas em V1 (Johnson et al., 2001). De acordo com Li et al (2014), em uma cena natural existe uma interação de cor e luminância, no entanto, ao contrário das células ganglionares retinianas *midget* e *parasol*, os neurônios encontrados em V1 distribuem as respostas de forma contínua mostrando uma resposta mais forte para a combinação de cor e luminância. Com isso, esses autores investigaram a mistura de sinal de cor e luminância na área V1 em macacos. Eles utilizaram três modelos de estimulação de redes, contraste de luminância, cromático (vermelho-verde) e composto (mistura de contraste de cor e luminância). Relataram que três grupos de células de V1 no macaco obtiveram como preferências para contraste de luminância, para contraste de cor e para contrastes de luminância e cor. Estes resultados mostram que os canais de cor e luminância não são totalmente independentes, e cada um pode exercer um impacto na funcionalidade do outro (Mullen, 1985).

1.2. PERCEPÇÃO DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA

Ruído tem sido amplamente utilizados na investigação de diferentes tarefas relacionadas à percepção visual como: detecção, discriminação, reconhecimento, identificação de letras e aprendizagem, assim como, podem ser utilizados em diferentes grupos experimentais, com diferentes faixas etárias e patologias que possam afetar o

sistema visual (Allard et al., 2015). O ruído é composto por uma variação imprevisível de algum atributo do estímulo. O aumento desse ruído é restrito por um aspecto espaço-tempo, limitado por uma filtragem de uma determinada faixa de orientação e frequência.

Estímulos com mascaramento de ruído de cor ou luminância vêm sendo estudados para avaliar o limite de sensibilidade de discriminação de cor e luminância, pois uma imagem com ruído pode mostrar as características visuais que o observador usa para realizar uma determinada tarefa visual (Eckstein & Ahumada, 2002; Regan et al., 1994; Miquilini et al., 2017).

1.2.1 DISCRIMINAÇÃO DE COR SOB MASCARAMENTO DE RUÍDO DE LUMINÂNCIA

Mistura de informações de contraste de cor e de luminância forma um mosaico que desafia o observador para a identificação de um alvo contra um fundo. O sistema nervoso visual processa as informações de cor e luminância através de vias paralelas, cuja forma de computação ainda não está totalmente esclarecida. Há uma compreensão de que as vias de processamento de cor e de luminância são paralelas desde a retina até o córtex visual primário. Foi demonstrado que muitos tipos de células na retina, núcleo lateral geniculado e V1 respondem ao contraste de cor e luminosidade com graus variados de sensibilidade (Kaplan et al., 1987; Lee et al., 1989a, b, 1990, 2011; Johnson et al., 2001; Horwitz & Albright, 2005; Nassi & Callaway, 2009; Li et al., 2015; Xing et al., 2015).

Usualmente os estudos buscam isolar as informações de contraste de cor ou de luminância para estudar os mecanismos específicos que processam cada uma dessas informações (Campbell & Robson, 1968; Porciatti & Sartucci, 1999; Souza et al., 2007; 2008; Gomes et al., 2006, 2008). Os métodos de cancelamento das informações de cores ou de luminância requerem um tempo adicional no experimento e tornam mais cansativo para o participante (Gomes et al., 2006; 2008; 2010). Cada vez mais tem se buscado usar

estímulos que misturam informações de contraste de cor e de luminância para investigar os mecanismos celulares e perceptuais de cor e de luminância, eliminando a necessidade de testes adicionais de equalização de cor ou de luminância e abrindo as portas para se estudar a interação da cor e luminância na geração da percepção visual (Mullen, 1985; Switkes et al., 1988; Cooper et al., 2012; Souza et al., 2014; Li et al., 2015; Cormenzana Méndez et al., 2016; Miquilini et al., 2017; Loureiro et al., 2018).

Há décadas, problemas relacionados com a deficiência de visão de cores vêm sendo estudados, como sendo um problema patológico adquirido ou genético (Pacheco-Cutillas et al., 1999; Jackson et al., 2004; Mancuso et al., 2009; Teixeira, 2012). Além disso, estudos veem relatando como o sistema visual percebe estímulos que envolvem a interação de contrastes de cor e luminância na percepção visual (Switker et al., 1988; Cooper et al., 2012; Souza et al., 2014, Li et al., 2015, Cormenzana Méndez et al., 2016; Linhares et al., 2016; Miquilini et al., 2017, Loureiro et al., 2018).

Em 1877, Jakob Stilling desenvolveu o primeiro design de estímulo que combinavam a interação de cor e luminância, sendo posteriormente caracterizado de estímulo pseudoisocromático (Figura 2). Nesse estímulo o alvo se diferenciava do fundo apenas pela diferença de cromaticidade. Este tipo de abordagem é importante para diagnosticar a perda de visão congênita ou adquirida (Regan et al., 1994; Paramei, 2012; Paramei & Oakley, 2014; Shinomori et al., 2016).



Figura 2. Modelo do estímulo pseudoisocromático desenvolvido por Stilling para identificação de sujeitos com deficiência da visão de cores (Adaptado de Mollon, 2003).

O estímulo pseudoisocromático é composto por um mosaico de elementos de diferentes tamanhos (ruído espacial) e luminância (ruído de luminância). O ruído espacial dificulta a percepção dos artefatos da borda (pista de luminância) entre o alvo e o fundo e entre regiões contíguas do estímulo, e outras pistas além das diferenças cromáticas. Eliminando a possibilidade de que pistas de luminância sejam usadas para percepção do alvo (Souza et al., 2014). O papel do ruído de luminância será mais discutido adiante no texto.

Outros estímulos pseudoisocromáticos também têm sido utilizados na investigação da visão de cores, como o teste de Ishihara e placas pseudoisocromáticas de *Hardy-Rand-Rittler* (Ishihara, 1997) (Figura 3).

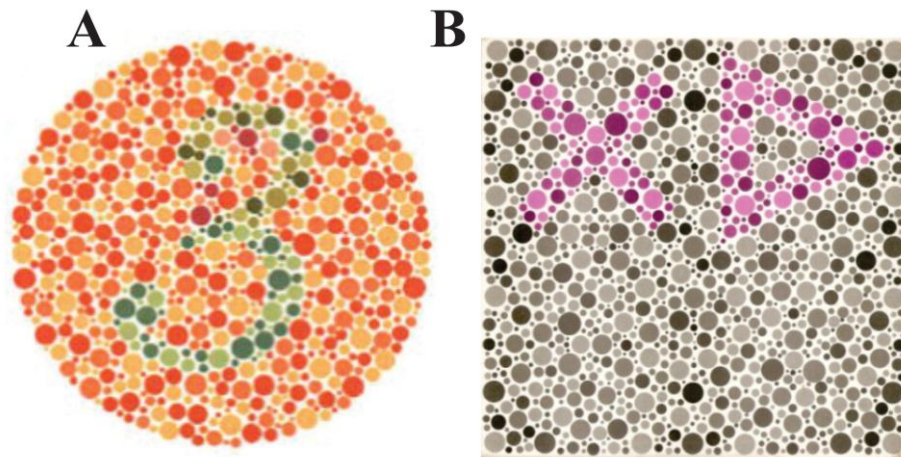


Figura 3. Diferentes estímulos pseudoisocromáticos. (A) Estímulo do Teste de Ishihara. (B) Estímulo do Teste Hardy-Handy-Rittler de mosaico de cores. (Adaptado de Ishihara, 1997)

Em 1989, John Mollon e colaboradores desenvolveram um teste computadorizado na Universidade de Cambridge, no Reino Unido, denominado de CCT - *Cambridge Colour Test*. Esse teste trata-se de um estímulo de mosaico composto de círculos agrupados variando aleatoriamente em diâmetro e luminância com o fundo preto, mascarando qualquer artefato de borda no estímulo para que não ofereça pista de luminância para a identificação do alvo (Figura 4). Neste teste, os sujeitos são orientados a indicar a abertura correta da letra C (cima, baixo, direito e esquerda), que se modifica aleatoriamente a cada acerto ou erro do sujeito. Quando ocorre um erro na tarefa, ocorre o aumento do contraste cromático entre o alvo e fundo e consequentemente a cada acerto do sujeito, ocorre uma diminuição da distância cromática entre o alvo e o fundo. Este procedimento permite estimar o limiar de discriminação de cor em um eixo de variação cromática (Mollon & Reffin, 1989).

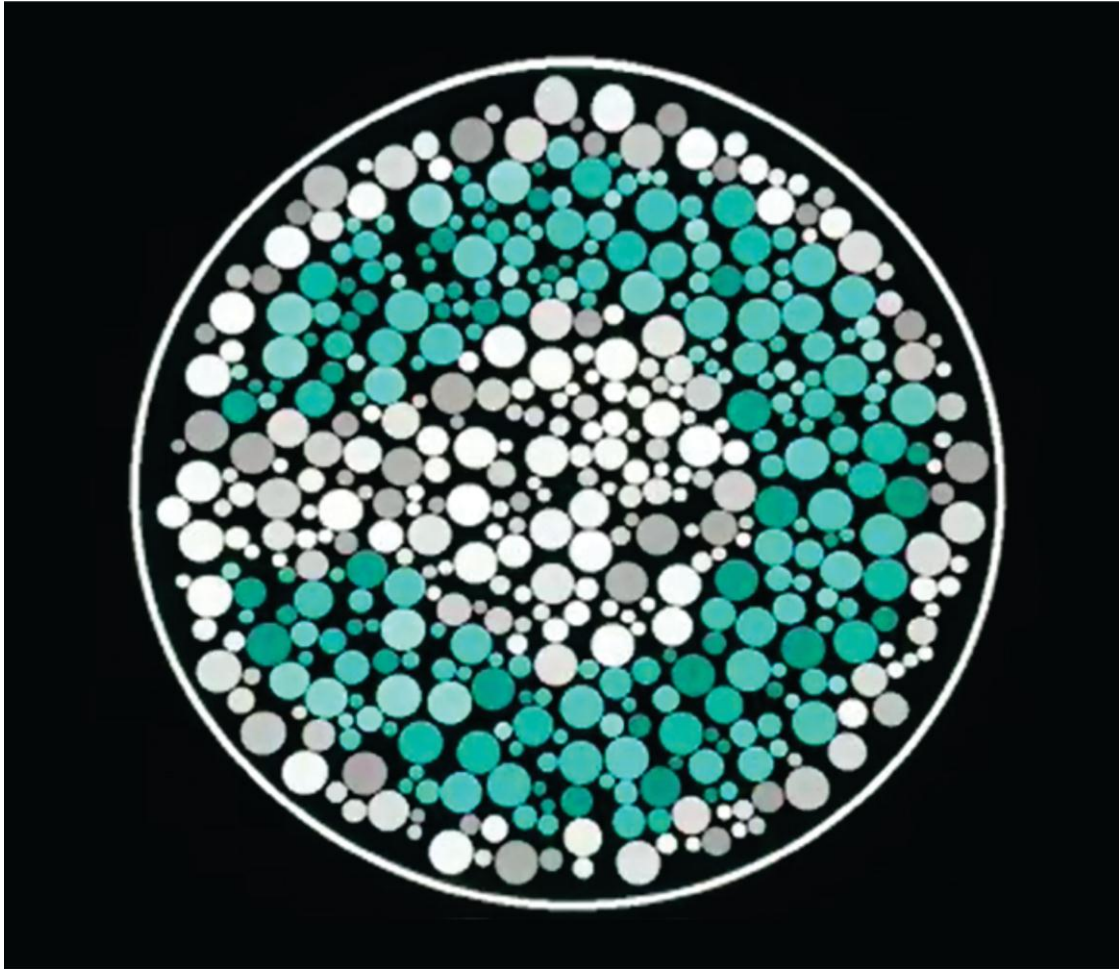


Figura 4. Modelo de um estímulo utilizado no *Cambridge Colour Test*.

Algumas investigações demonstraram que mudanças no ruído de luminância afetam os limiares de discriminação de cores (Souza et al., 2014; Cormenzana-Mendez et al., 2016; Linhares et al., 2016; Loureiro et al., 2018). A diminuição do número de valores de luminância no ruído e o aumento do contraste do ruído de luminância prejudicaram os limiares de discriminação de cores (Souza et al., 2014; Cormenzana-Mendez et al., 2016). Linhares et al. (2016) investigaram a influência do ruído de contraste de luminância dinâmica (oscilando a 10 Hz) nos limiares de discriminação de cores de tricromatas normais e tricromatas anômalos. Observou que não houve diferença significativa na discriminação de cor em tricromatas normais, porém ocorreu uma melhora significativa na discriminação de cores em tricromatas anômalos.

Souza e colaboradores (2014) investigaram a influência do número de níveis de luminância no ruído de luminância de estímulos pseudoisocromáticos nos limiares de discriminação de cores. Os autores usaram estímulos como os mostrados na Figura 5, cujos ruídos são compostos por diferentes números de valores de luminância dentro do ruído. Os autores observaram aumento nos limiares de discriminação de cores quando o estímulo possuía baixos níveis de ruído de luminância e diminuição dos limiares de discriminação de cor com o aumento do valor do nível de luminância. Mais especificamente foi observado que a partir de um nível de luminância de 6 a valores maiores, os limiares de discriminação de cores se estabilizavam. Esses resultados também mostraram que a correta descrição de diferentes parâmetros de estímulos pseudoisocromáticos poderia ser útil para comparações entre diferentes experimentos usando esse tipo particular de estímulo pseudoisocromático.

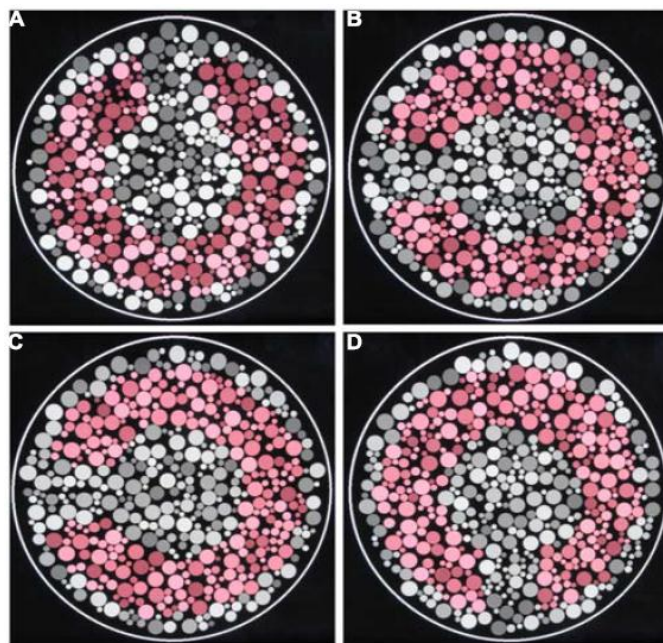


Figura 5. Modelo dos estímulos pseudoisocromáticos. Estímulos mascarados por ruído de luminância, na discriminação de cores em quatro diferentes condições de níveis de luminância 2, 6, 10 e 16. (Souza et al., 2014).

Outro estudo que investigou a influência da discriminação de cor e luminância foi de Comenzana-Méndez e colaboradores (2016) que analisaram o limiar de discriminação

de cores e o tempo de reação para a tarefa de discriminação de cores. A cromaticidade do alvo foi modulada através de oito vetores cromáticos. O ruído de luminância foi modulado em função da luminância média do ruído obedecendo dois protocolos: o protocolo delta constante (CDP), no qual foi mantido constante a diferença absoluta de luminância entre luminância máxima e mínima, e o protocolo de contraste constante (CCP), no qual foi mantido constante o contraste entre a luminância máxima e mínima. Houve uma diminuição no contraste de luminância máxima e mínima do ruído de luminância no parâmetro CDP, enquanto que no CCP a diferença absoluta aumentou em função da média do ruído de luminância. O principal achado foi que o aumento do contraste dentro do ruído dificultava a discriminação de cores. Com isso, concluiu-se que a discriminação de cor estimada usando estímulos pseudoisocromáticos estava relacionado com o contraste entre os valores de luminância dentro do ruído.

O estudo de Linhares et al. (2016) avaliou a influência do mascaramento dinâmico do ruído de luminância sobre a discriminação de cor para tricromatas normais e tricromatas anômalos. Para isso, foi usado um estímulo pseudoisocromático cujo alvo se movia em uma determinada direção (direita ou esquerda) do monitor como mostrado na Figura 6). A tarefa do sujeito testado era sinalizar a direção do alvo.

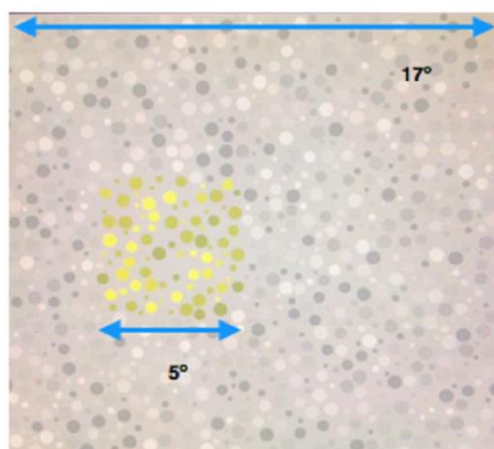


Figura 6. Modelo do estímulo pseudoisocromático utilizado na pesquisa de Linhares et al. (2016). O fundo cinza apresenta a área total com círculos de tamanhos e luminância aleatória. A área em amarelo representa o estímulo teste. (Linhares et al. 2016).

Cada sujeito realizou três repetições do teste sob duas condições diferentes. A primeira condição de teste foi com contraste de luminância aleatório estático e na segunda condição foi com contraste de luminância aleatório dinâmico. Em cada caso, o fundo e o alvo ficavam visíveis por 1 s. Isso era utilizado para que a discriminação do alvo com o fundo fosse feita apenas pela discriminação da diferença cromática sem influência da luminância, pois o contraste de luminância dinâmico diminui a discriminação de dicromatas, principalmente deutan e protan (Birch et al., 1992). Então, eles observaram que não houve diferença significativa na discriminação de cores de tricromatas normais estimado com estímulos cujo ruído de luminância fosse estático ou dinâmico, porém nos sujeitos tricromatas anômalos a discriminação de cor estimada a partir dos estímulos com ruído dinâmico era melhor que aquela estimada com estímulos com ruídos estáticos.

1.4. DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA SOB MASCARAMENTO DE RUÍDO DE LUMINÂNCIA

Vários estudos têm buscado utilizar estímulos que misturam informações de ruído de luminância na discriminação de luminância. Um desses exemplos é o estudo de Hall e colaboradores (2014) no qual buscavam investigar se o efeito do ruído de luminância influenciava na identificação de um objeto, representado por uma letra em diferentes tamanhos, na presença e na ausência de ruído de luminância. Para a realização do teste, utilizaram um conjunto de letras de Sloan (C, D, H, K, N, O, R, S, V, Z), sendo que a luminância da letra era mais alta que a do campo de adaptação, e em diferentes tamanhos 0,9, 1,2, 1,5 e 1,8 logMAR. Essas letras foram apresentadas com e sem filtro com passa-alta e passa-baixa, na presença e ausência de ruído de luminância. Foi observado que o ruído pode afetar faixas de frequência do objeto medindo o limiar de contraste para as

letras grandes, equivalentes a 1,8 logMAR com a presença de ruído de luminância. Os achados deste estudo sugerem que tamanhos médios e pequenos sejam mais adequados para estudar a comparação do contraste na presença e na ausência do ruído.

Visto que o ruído de luminância é uma característica importante e influenciadora na discriminação limiar de cor, a presente tese busca avançar nos estudos de como o ruído de luminância é percebido pelo sistema visual. Foram propostos dois experimentos: (i) o primeiro experimento investigou o efeito da diminuição da amplitude de luminância do ruído de luminância do estímulo, sem alterar a luminância média, para estimar os limiares de discriminação de cores de tricromatas e dicromatas congênitos; (ii) o segundo experimento investigou os limiares de detecção do ruído de luminância contra um campo sem ruído e contra um campo com ruído de luminância com diferentes características.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Investigar a percepção do ruído de luminância em tarefas psicofísicas da discriminação de cor e de luminância.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar o efeito da mudança da amplitude do ruído de luminância sobre as elipses de discriminação de cores em sujeitos tricromatas e dicromatas.
- Comparar o efeito da mudança da amplitude de luminância do ruído de luminância, sobre a discriminação de cores de tricromatas e dicromatas em diferentes eixos cromáticos.
- Avaliar o efeito da presença do ruído de luminância sobre a discriminação limiar do contraste de luminância.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Esta tese é composta por dois estudos que visam investigar a influência do ruído de luminância na discriminação de cor e luminância. No primeiro experimento, foi estudada a discriminação de cor mascarada por diferentes amplitudes de ruído de luminância. No segundo experimento foi estudada a discriminação de luminância com e sem mascaramento de ruídos de luminância.

Os experimentos foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará com o protocolo #570.434 (Anexo I). Os experimentos 1 e 2 foram estudos observacionais e transversais. Para facilitar a compreensão, a metodologia foi dividida de acordo com os experimentos a serem realizados.

3.1. EXPERIMENTO 1. AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SO A DISCRIMINAÇÃO DE CORES

3.1.1. Sujeitos

A amostra foi composta por dezoito sujeitos tricromatas normais (13 mulheres e 5 homens) com idade média de $25,55 \pm 1,5$ anos de idade. Também foram testados dez sujeitos dicromatas congênitos, 8 deles tinham fenótipo da visão de cores do tipo protan (1 mulher e 7 homens) e 2 deles tinham fenótipo da visão de cores do tipo deutan (2 homens). Os dicromatas tinham idade média de $25,75 \pm 1,5$ anos de idade.

Para serem incluídos na amostra, os sujeitos deveriam ter acuidade visual normal ou corrigida para 20/20, ausência de doenças neurológicas, não ter tido exposição a agentes químicos ou algum histórico de quaisquer doenças que possam afetar o sistema visual.

Os sujeitos que aceitaram participar da pesquisa foram esclarecidos quanto ao objetivo do estudo, os métodos empregados, os possíveis desconfortos e benefícios do estudo e sobre a possibilidade de desistência de participação do estudo a qualquer momento sem nenhum encargo ao voluntário. Em seguida, todos 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. Após concordarem com o termo, foi realizado a aplicação da ficha de anamnese e em seguida, os sujeitos foram avaliados nos testes de triagem.

Posteriormente, foram aplicados os testes de triagem: o teste de Escala Optométrica Decimal, para avaliar a acuidade visual, e o teste de figuras pseudoisocromáticas de Ishihara, para analisar a indicação de deficiência congênita da visão de cores verde-vermelha.

Os sujeitos que foram aprovados no critério de inclusão, foram submetidos ao teste de discriminação de cor mascarado por um ruído de luminância (*Cambridge Colour Test*, CCT). Este teste foi aplicado em ambiente escurecido tendo como única fonte luz, a tela do monitor, realizado de forma binocular. Porém, tanto o teste da Escala Optométrica Decimal quanto o teste de Ishihara foram aplicados em ambiente iluminado, realizado de forma monocular.

3.2. TESTE DE AVALIAÇÃO VISUAL

3.2.1. Teste de triagem

3.2.1.1. Acuidade visual

A acuidade visual foi avaliada de forma monocular em ambiente iluminado usando a tabela de optótipos de Tumbling. Os optótipos foram mostrados em um quadro ajustado na altura ocular do sujeito, onde o mesmo foi posicionado a 5 m de distância.

Em seguida, o observador foi instruído a responder verbalmente em qual orientação estava posicionada a abertura do optótipo “E” (cima, baixo, direita ou esquerda). A cada acerto na linha completada, a linha em sequência era iniciada. Caso houvesse erro do sujeito, a linha anterior, correspondente a uma acuidade visual menor, era repetida. Após a conclusão do teste, com critério de 70% de êxito, o sujeito estava apto a participar do teste pseudoisocromático.

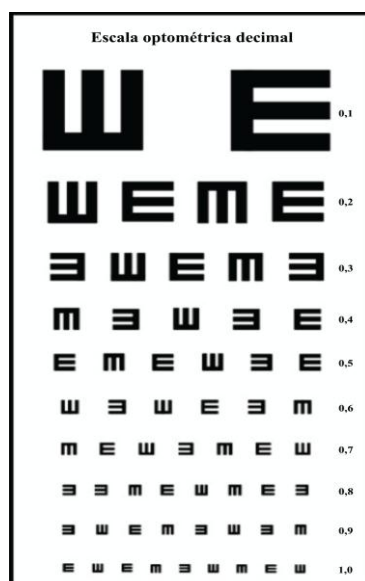


Figura 7. Escala optométrica decimal. Fonte: <http://www.visaolaser.com.br>. (Adaptado)

3.2.1.2. Teste de Ishihara

Este teste tinha como objetivo classificar o fenótipo de visão de cores verde-vermelha dos sujeitos da amostra. Para isso, foi utilizado o livro “*Ishihara’s Test for Colour Deficiency*” (Ishihara, 1997). O livro continha 38 placas compostas por estímulos pseudoisocromáticos, apresentando um mosaico de cores, diferenciando o alvo do fundo pela cromaticidade aparente (Figura 8). Os estímulos deste livro foram divididos em cinco condições: (i) introdução (placa 1), a qual deveria ser visto por todos os sujeitos; (ii) confusão ou transformação (placa 2 – 9), nas quais se esperava que os tricromatas normais

identificassem um número, enquanto o sujeito com visão de cor alterada identificasse outro número; (iii) desaparecimento (placa 10- 17), nas quais era esperado que o sujeito tricromata normal identificasse o número e o sujeito com visão de cores alterada não identificasse nenhum número; (iv) dígito oculto (18 – 21), nas quais o sujeito tricromata não devesse identificar um número, enquanto os sujeitos com perda congênita da visão de cores identificariam um número; (v) classificação (placas 22 -25), foram apresentados dois números que poderiam ser vistos por sujeitos normais, porém, o número à direita, só poderia ser visto por um sujeito com fenótipo protan e o número à esquerda, só poderia ser visto por um sujeito com fenótipo deutan (Birch, 1997).

As figuras foram exibidas em uma distância de 75 cm de distância, com 45° de ângulo visual, em ambiente iluminado. Cada placa foi apresentada uma única vez com o tempo de três segundos para que fosse feita a identificação do alvo camuflado, independente se tivesse acertado ou não.

Com isso, a tarefa do sujeito era tentar identificar a numeração presente em cada placa, enquanto as respostas eram registradas em uma planilha de acompanhamento fornecida pelo próprio manual do teste. Por fim, o diagnóstico de deficiência da visão de cores verde-vermelha era dado àquele sujeito que tivesse erros iguais ou superiores a oito placas (Ishihara, 1997).

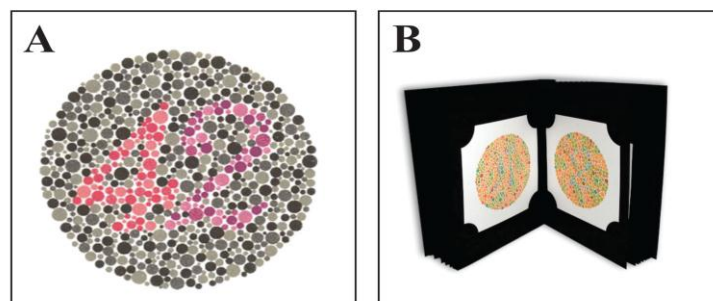


Figura 8. Placas pseudoisocromáticas de Ishihara. (A) representa a placa do tipo classificação. Os sujeitos discromatopsicos do tipo protan e deutan grave conseguem

observar apenas um dos números presentes nas placas. **(B)** representa o modelo do livro que foi utilizado na aplicação do teste.

3.2.2. Teste de discriminação de cor mascarado por diferentes amplitudes de ruído de luminância

3.2.2.1. Cambridge Colour Test

O *Cambridge Colour Test* (CCT) funciona em um sistema composto pelos seguintes equipamentos: um computador Dell modelo Precision T3400, com o processador Intel CorelTM 2 Duo, 2 GB de memória RAM, disco rígido de 160 GB e processador NVIDIA quadro NVS 290, com monitor CRT da marca Mitsubishi, do modelo Diamond Pro 2070^{SB} de 22". Sua resolução espacial foi de 1600 x1200 pixels e taxa amostral de 75 Hz, com frequência horizontal de aproximadamente 30-140 Hz e frequência vertical de 50-160 Hz.

O teste foi composto por estímulos pseudoisocromáticos onde o alvo se destacava do fundo, pela diferença na cromaticidade. Com a diferença entre o alvo e o fundo era possível identificar a presença de um C apresentado em quatro orientações (direita, esquerda, cima e baixo) (Figura 9). Tanto a orientação da abertura do alvo como a cromaticidade alternavam a cada apresentação do estímulo. A cromaticidade do alvo foi determinada a partir de oito vetores distribuídos no espaço de cor da CIE 1976 (Figura 10) que diferiam da cromaticidade do fundo (CIE1976, $u' = 0.1977$ e $v' = 0.4689$). O ruído espacial de luminância utilizado nos estímulos foi modificado aleatoriamente em seis níveis de luminância num intervalo de 6 a 20 cd/m² (diferença de amplitude de 14 cd/m²), 8 a 18 cd/m² (diferença de amplitude de 10 cd/m²), 10 a 16 cd/m² (diferença de amplitude de 6 cd/m²) e 12 a 14 cd/m² (diferença de amplitude de 2 cd/m²). As dimensões do alvo foram: diâmetro externo = 4,4°, diâmetro interno = 3,3° e abertura do alvo = 1°.

Para a avaliação dos limiares de discriminação de cor foi utilizado o teste de elipses. Em sequência o sujeito foi posicionado em uma distância de 3,25 m do monitor

onde estava sendo gerado o teste. Depois disso, o participante foi orientado a informar verbalmente a orientação correta da abertura do C. Caso o participante não conseguisse perceber a abertura do alvo, o participante foi orientado a responder qualquer uma das quatro opções de modificação. O estímulo foi exibido no tempo de três segundos e as respostas foram registradas através de um controle pelo examinador. Um procedimento de escada com regra do acerto e erro de 1:1. O procedimento de escada finalizada após 10 reversões. Todos os testes foram realizados em ambiente escurecido tendo como fonte única de luz, a tela do monitor.

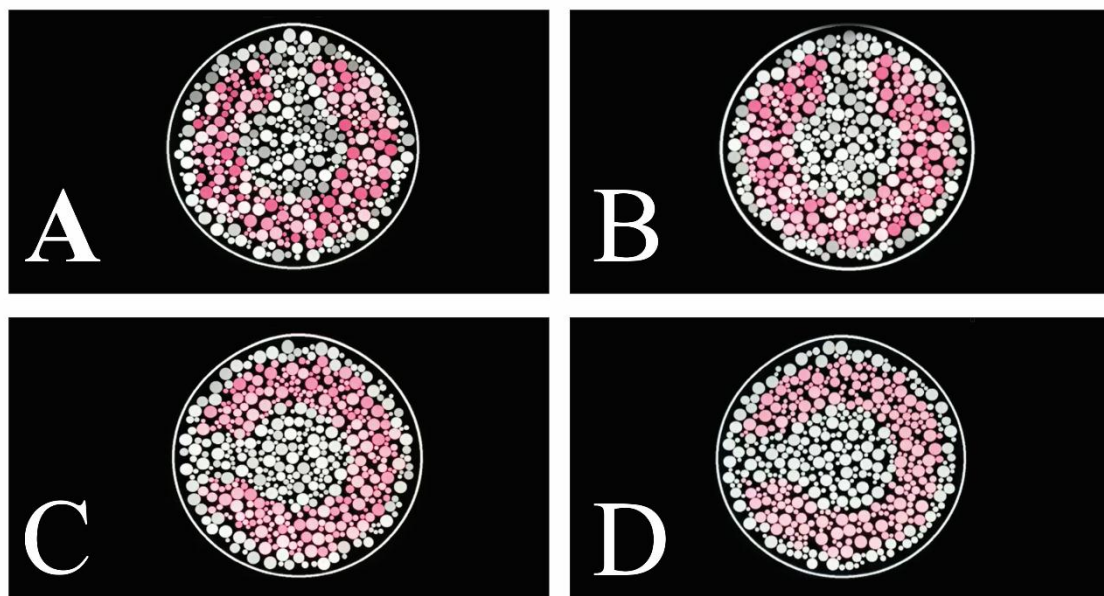


Figura 9. Estímulos representando as condições experimentais do *Cambridge Colour Test*. (A) Faixa de luminância: 6-20 cd/m²; (B) Faixa de luminância: 8-18 cd/m²; Faixa de luminância: 10-16 cd/m²; Faixa de luminância: 12-14 cd/m². O alvo de diferenciação do fundo devido a presença de cromaticidade, sendo representado pela letra C, podendo aparecer em quatro direções (direita, esquerda, cima e baixo) (Loureiro et al., 2018).

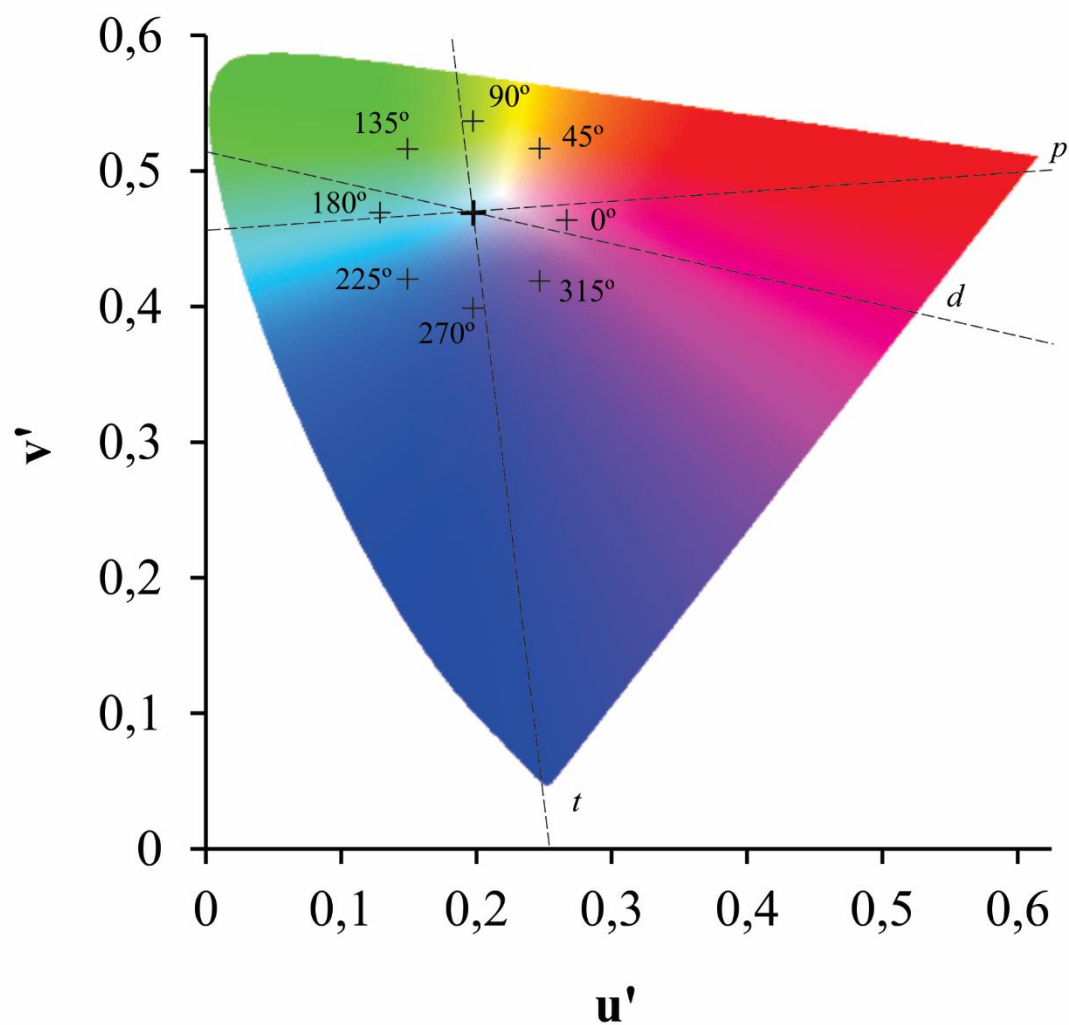


Figura 10. Localização do alvo no diagrama espaço de cor CIE 1976. A cromaticidade do alvo foi composta por oito vetores no intervalo de 45° um do outro, variando a rotação de 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° e 315° . As cruzes representam o maior vetor cromático em cada eixo. As linhas tracejadas representam o eixo de confusão de cor protan, deutan e tritan (Adaptado de Loureiro et al., 2018)

3.3. EXPERIMENTO 2. AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A DISCRIMINAÇÃO LUMINÂNCIA EM DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINÂNCIA

3.3.1. Sujeitos

A amostra foi composta por trinta sujeitos (18 mulheres e 12 homens) com idade média de $28,05 \pm 2,5$ anos de idade.

3.3.2. Teste de discriminação de ruído de luminância mascarado por ruído de luminância, em diferentes níveis de luminância.

O estímulo foi criado no ambiente de programação MATLAB R2012b (Mathworks, Natick, MA, USA). A estimulação foi 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, Japão) e rodada pela placa gráfica ViSaGe (CRS)

O teste foi composto por estímulos de mosaico de círculos onde o alvo se destacava do fundo pela diferença de ruído de luminância. Com a diferença entre o alvo e o fundo era possível identificar a presença de um C apresentado em quatro orientações (direita, esquerda, cima e baixo) (Figura 11). A coordenada da cromaticidade do mosaico foi $u' = 0,1977$ e $v' = 0,4689$. O alvo possuía um ruído de luminância no intervalo de 8 a 18 cd/m^2 e o fundo possuía um ruído de luminância no intervalo de 28 a 38 cd/m^2 . Foram testadas 6 condições de teste que diferiram quanto ao nível do ruído de luminância (0, 2, 4, 6 10 e 14 níveis). As dimensões do alvo foram diâmetro externo = $4,4^\circ$, diâmetro interno = $2,2^\circ$ e abertura do alvo = 1° . Na condição sem ruído de luminância tanto no alvo quanto o fundo, todos os círculos do alvo tinham 13 cd/m^2 e do fundo tinham 33 cd/m^2 .

Em sequência o participante foi posicionado a uma distância de 3,25 m do monitor onde estava sendo gerado o teste, depois disso, o participante foi orientado a informar verbalmente a direção correta da abertura do C, caso não conseguisse perceber a abertura do alvo, ele foi orientado a escolher uma das direções. O estímulo foi exibido no tempo de três segundos e as respostas foram registradas através do teclado conectado ao sistema. Um procedimento de escada com regra de 1 acerto para 1 erro como mostra na Figura 12. O teste finalizou após 10 reversões da escada e as 7 últimas foram analisadas para estimar os limiares de discriminação.

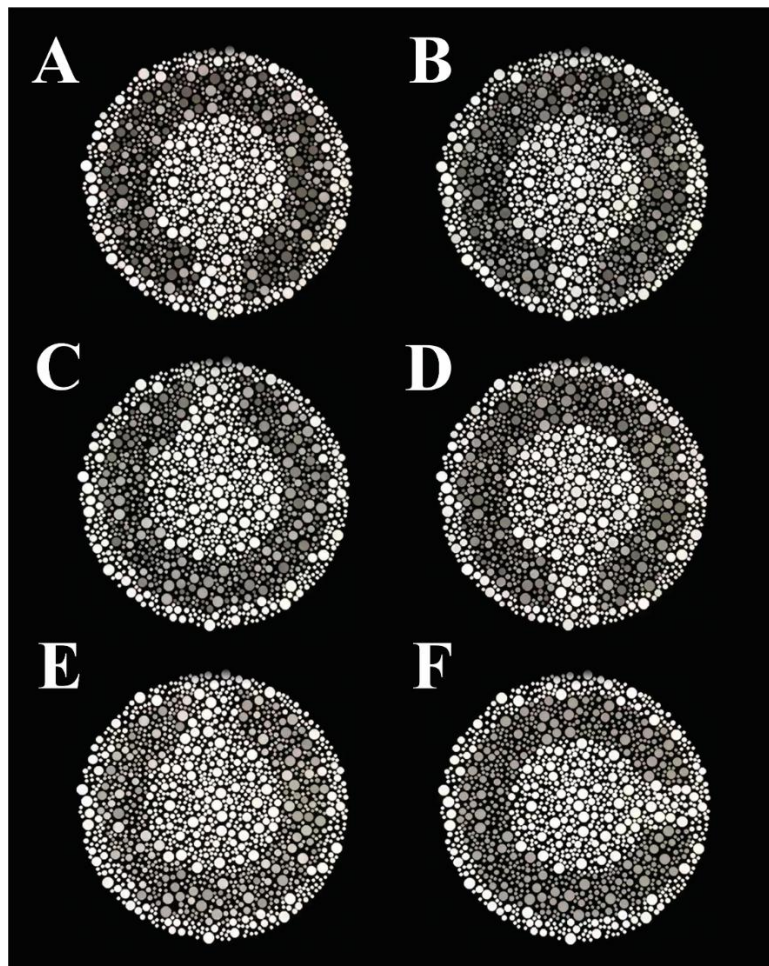


Figura 11. Estímulos criado no ambiente de programação MATLAB R2012b, utilizados no experimento 2. O estímulo mostrado em A, B C, D e E apresentam faixa de ruído de luminânci do fundo de 38 a 28 cd/m^2 , e o alvo de 18 a 8 cd/m^2 , com diferentes níveis de luminância. (A) nível de luminância igual a 2. (B) nível de luminância igual a 4. (C) nível

de luminância igual a 6. (D) nível de luminância igual a 10. (E) nível de luminância igual a 14. (F) apresenta a condição sem ruído de luminância.

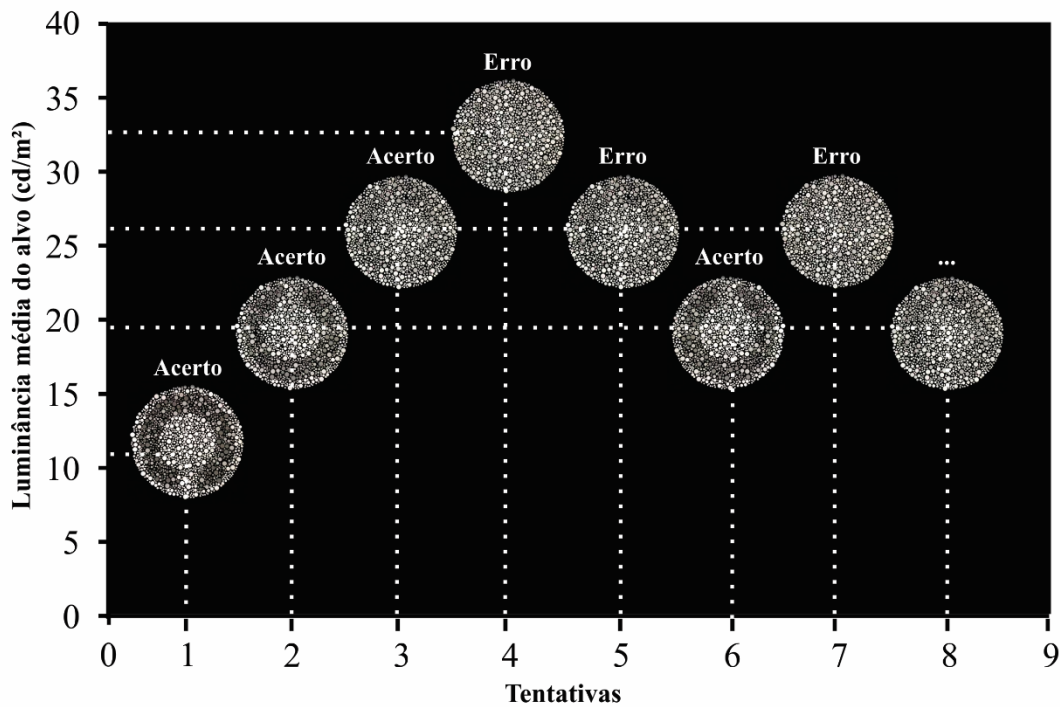


Figura 12. Modelo esquemático do método de *staircase* utilizado na pesquisa. Observamos a relação entre a luminância média do alvo e o número de tentativas. A medida em que o sujeito acerta o alvo, a luminância do alvo vai ficando mais próxima da luminância do fundo, chegando ao limite de discriminação.

3.4. ANÁLISE DE DADOS

Os dados dos experimentos foram extraídos e analisados através dos programas Microsoft Excel® 2013, MATLAB® R2012B e BioEstat® 5.3.

No experimento 1, a elipse foi ajustada através do método de elipsóide de Khachiyan (Khachiyan, 1979) com rotinas programadas em ambiente de linguagem MATLAB (Mathworks, Natick, MA, EUA). Foram considerados a área da elipse e o comprimento dos vetores de limiar de discriminação de cor como indicadores do desempenho psicofísico da tarefa de discriminação cromática. Os comprimentos dos limiares cromáticos e a área da elipse foram expressos em relação ao maior valor entre as 4 condições de ruído de cada participante, sendo assim todo participante teria em cada

conjunto de valores de limiar cromático e de área um resultado com o valor 1 (maior valor) e os demais valores entre 0 e 1 que representavam a razão em relação ao maior valor. Para avaliar a distribuição relativa foi usado o teste D'Agostino-Pearson. Usou-se o teste estatístico Kruskal-Wallis para comparar os resultados das diferentes condições de estímulo entre tricromatas e dicromatas. Em seguida, foi feita a comparação dos resultados entre as quatro condições de estímulo através do método de Dunn. Foi feito o ajuste da função linear dos limiares em função da amplitude de ruído de luminância. A inclinação da função linear de melhor ajuste quantificou a influência da amplitude de ruído de luminância sobre os limiares cromáticos. Também foi feito a avaliação do coeficiente de correlação linear e coeficiente de determinação. Para todos os procedimentos foi considerado o nível de significância de 0,05.

No experimento 2, foram comparados os valores de luminância média do ruído de luminância no limiar entre as diferentes condições de nível de luminância usando o teste de Kruskal-Wallis, considerando o nível de significância de 5%. Os limiares também foram correlacionados com o valor do contraste RMS (*Root Mean Square*) do ruído de luminância em cada nível de luminância do ruído.

3.5. FENÓTIPO DE VISÃO DE CORES E GENÓTIPO

Para os participantes do Experimento 1 foi avaliado apenas o genótipo de visão de cores verde-vermelho dos participantes que tiveram o desempenho da discriminação de cor sugestivo de deficiência de cor no teste *Cambridge Color Test* e no teste de *Ishihara*. Dez sujeitos foram avaliados. Foram extraídas as amostras de DNA por meio de uma técnica de raspagem bucal e analisadas através do kit de purificação *Gentra Puregene Buccal Cell Kit* (Gentra Systems, Inc., Minneapolis, Minnesota, EUA) (PUREGENE DNA, Gentra System). Esta análise investigou a presença de genes de L-

opsina e M-opsina nos cromossomos X (Neitz e Neitz, 1995). Na ausência de uma ou duas dessas opsinas foi diagnosticada a presença de discromatopsia. Foram investigadas as amostras de saliva de indivíduos tricromatas e dicromatas do tipo protan e deutan como controles negativos e positivos. A análise de biologia molecular foi realizada no laboratório de visão na Universidade de São Paulo.

No experimento 2 não foi realizado o genótipo de visão de cores nos participantes.

4. RESULTADOS

4.1. EXPERIMENTO 1 - INVESTIGAÇÃO DO EFEITO DA DIMINUIÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA DO ESTÍMULO, SEM ALTERAR A LUMINÂNCIA MÉDIA, PARA ESTIMAR OS LIMIARES DE DISCRIMINAÇÃO DE CORES DE TRICROMATAS E DICROMATAS CONGÊNITOS

Na Figura 13 são mostradas as elipses de discriminação de cor de tricromatas normais para cada condição de estímulo, bem como para os sujeitos deutans e protans no diagrama de cores CIE 1976. A análise genética dos seis indivíduos dicromatas congênitos confirmou os resultados do CCT.

Para os tricromatas, não houve diferença significativa na área da elipse e nos comprimentos dos vetores limiares entre as diferentes faixas de luminância ($p > 0,05$). Para dicromatas congênitos, observou-se que a área relativa na condição de faixa de luminância de 14 cd/m² foi maior que na condição de faixa de luminância de 2 cd/m². Não houve diferença significativa nas outras condições da amplitude do ruído de luminância. A discriminação cromática no intervalo de luminância diferente foi semelhante em cada eixo cromático, com exceção de 135 °.

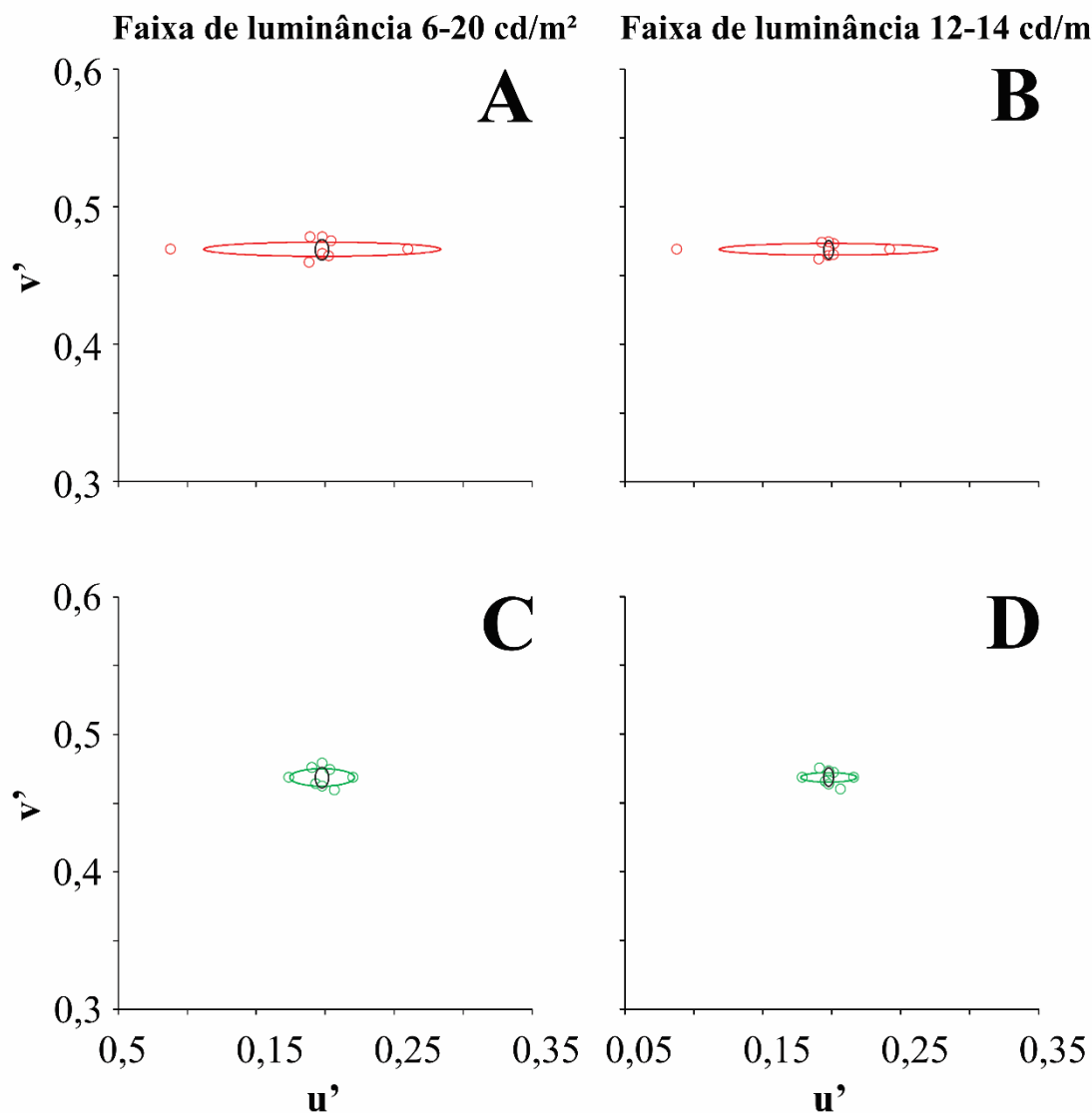


Figura 13. Elipses de discriminação de cores para tricromatas (elipse preta), sujeitos protan (elipse vermelha) e sujeitos deutan (elipse verde). Os gráficos (A-C) representam a elipse de discriminação de cores na amplitude de luminância de 14 cd/m^2 , enquanto que em (B-D) representam a elipse de discriminação de cores na amplitude de ruído de luminância de 2 cd/m^2 . Os círculos representam as coordenadas do limiar de discriminação dos sujeitos protan (círculos vermelhos) e dos sujeitos deutan (círculos verdes).

Foi estudada a relação da área relativa da elipse em função da amplitude do ruído de luminância para tricromatas e dicromatas. Foi observado houve uma diminuição significativa da área da elipse com a diminuição da amplitude de ruído de luminância em tricromatas e dicromatas ($p < 0,05$, Figura 14).

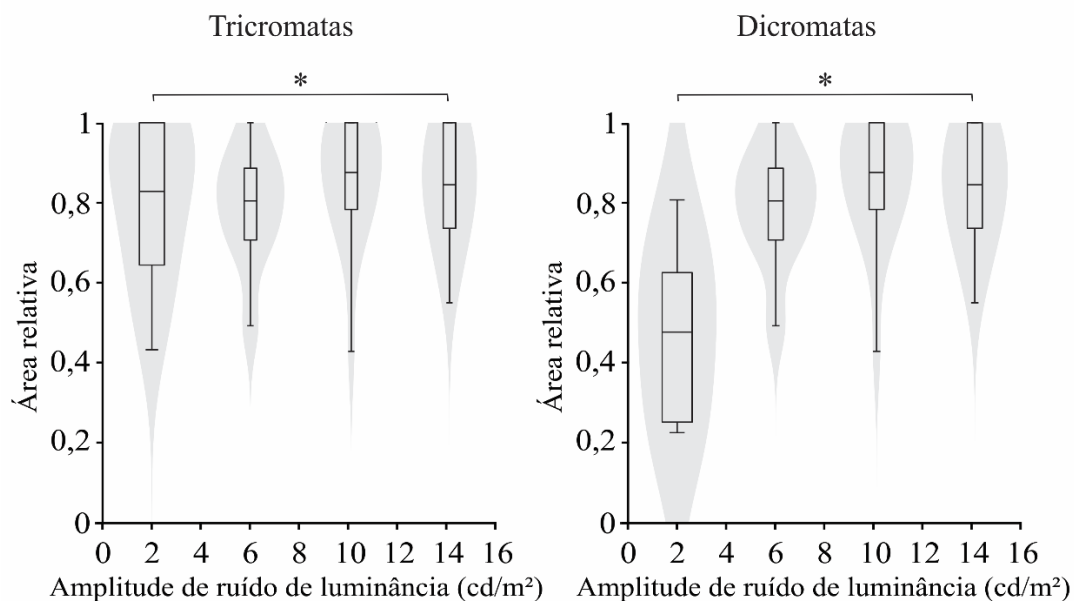


Figura 14. Gráfico de violino da área de elipse relativa estimados a partir de tricromatas e dicromatas congênitos em função da amplitude do ruído de luminância. A baixa amplitude de ruído de luminância melhorou a discriminação de cores em comparação com a amplitude de ruído de alta luminância. Áreas cinza sombreadas são o gráfico de densidade do núcleo que representa 95% da distribuição de dados, e o gráfico de caixa é composto por linhas horizontais que representam o terceiro quartil (linha superior), media (linha média), primeiro quartil (linha inferior) e o desvio padrão que representa os valores máximo e mínimo. $p < 0,05$.

Procedeu-se com a mesma análise para os vetores limiar cromático e comparou-se a amplitude do comprimento relativo do vetor em função da faixa de ruído de luminância em tricromatas e dicromatas (Figuras 15 e 16). Não foi observada diferença significativa na comparação dos dados dos tricromatas, no entanto, os dicromatas apresentaram diferença significava em comparação aos seus dados nos eixos cromáticos 0° , 45° , 90° e 135° entre as condições de amplitude de ruído de luminância de 14 cd/m^2 e 2 cd/m^2 ($p < 0,05$).

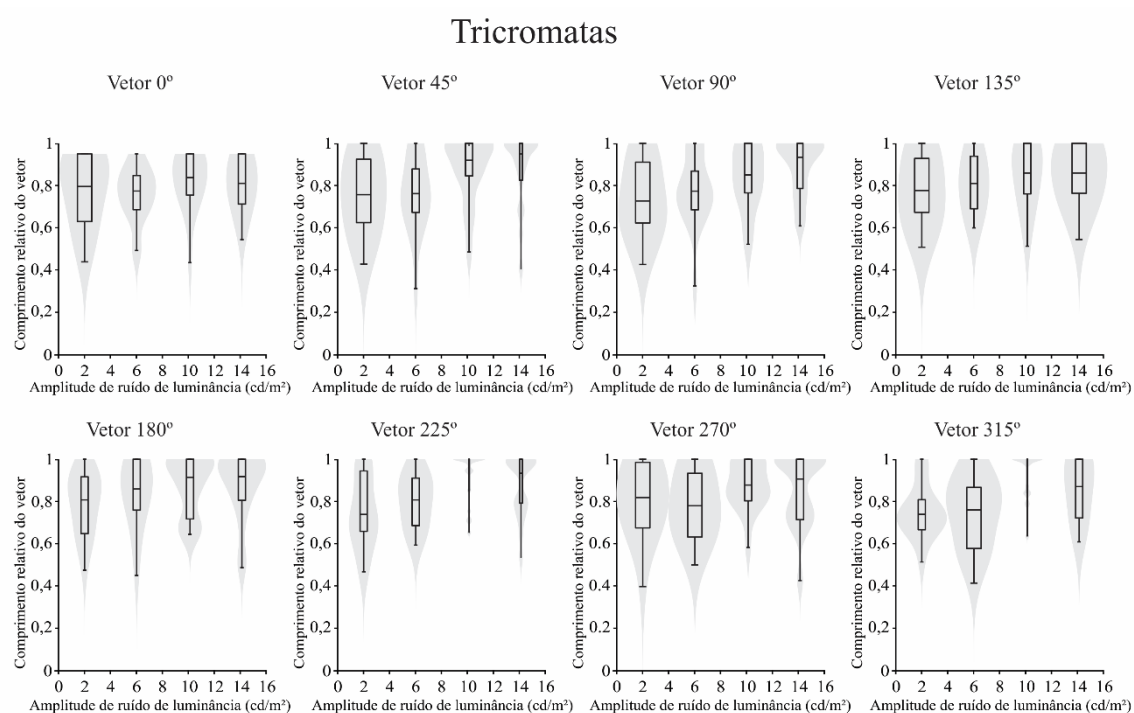


Figura 15. Gráficos de violino de limiares cromáticos estimados a partir dos dados dos tricromatas em função da amplitude do ruído de luminância em cada vetor cromático. Nenhuma diferença foi encontrada nas comparações múltiplas dos dados dos tricromatas. Áreas cinzas sombreadas são o gráfico de densidade do núcleo que representa 95% da distribuição de dados, e o gráfico de caixa compreende linhas horizontais que representam terceiro quartil (linha superior), mediana (linha média), primeiro quartil (linha inferior) e o desvio padrão que representa os valores máximo e mínimo.

Dicromatas

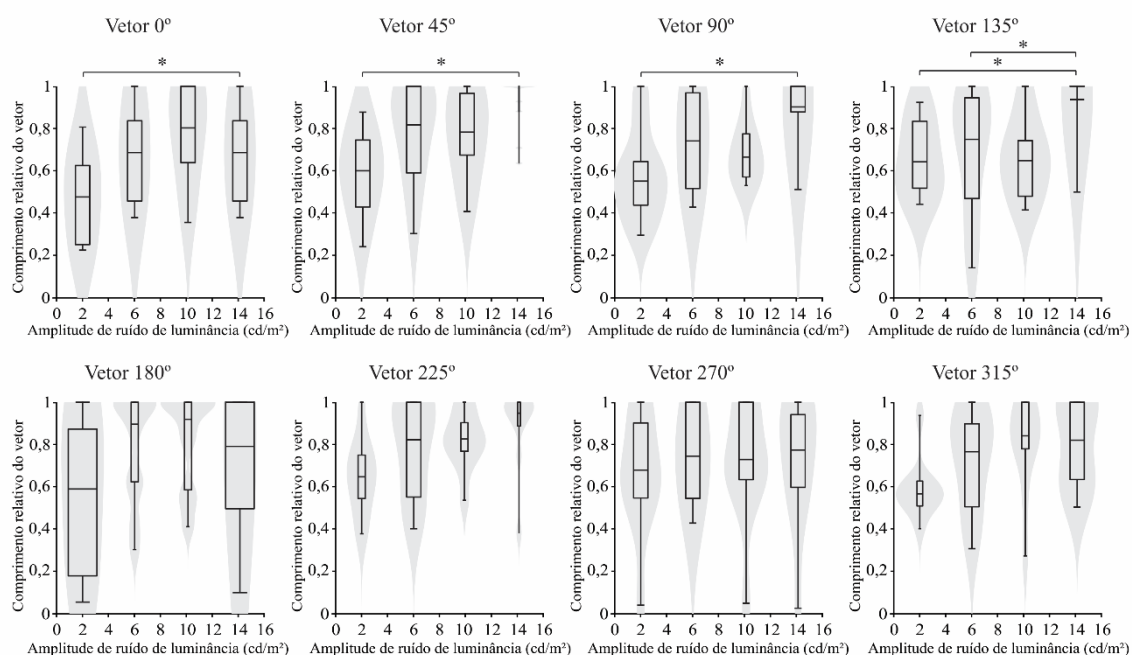


Figura 16. Gráficos de violino de limiares cromáticos estimados a partir de dicromatas congênitos em função da amplitude do ruído de luminância em cada vetor cromático. Houve diferença entre as condições de amplitude do ruído de luminância de 14 cd/m^2 e 2 cd/m^2 nos eixos cromáticos de 0° , 45° , 90° e 135° dos dados dos dicromatas. Aqui, novamente, a amplitude de ruído de baixa luminância melhorou a discriminação de cores em comparação com a amplitude de ruído de alta luminância. Áreas cinzas sombreadas são o gráfico de densidade do núcleo que representa 95% da distribuição de dados, e o gráfico de caixa compreende linhas horizontais que representam terceiro quartil (linha superior), mediana (linha média), primeiro quartil (linha inferior) e o desvio padrão que representa os valores máximo e mínimo. $p < 0,05$.

Foi feita uma comparação das estimativas da inclinação de uma reta da área relativa da elipse em função do ruído de luminância estimada a partir de tricromatas e dicromatas congênitos, e foi observado que os dicromatas congênitos apresentaram maiores inclinações do que os tricromatos normais ($p < 0,05$, Figura 17).

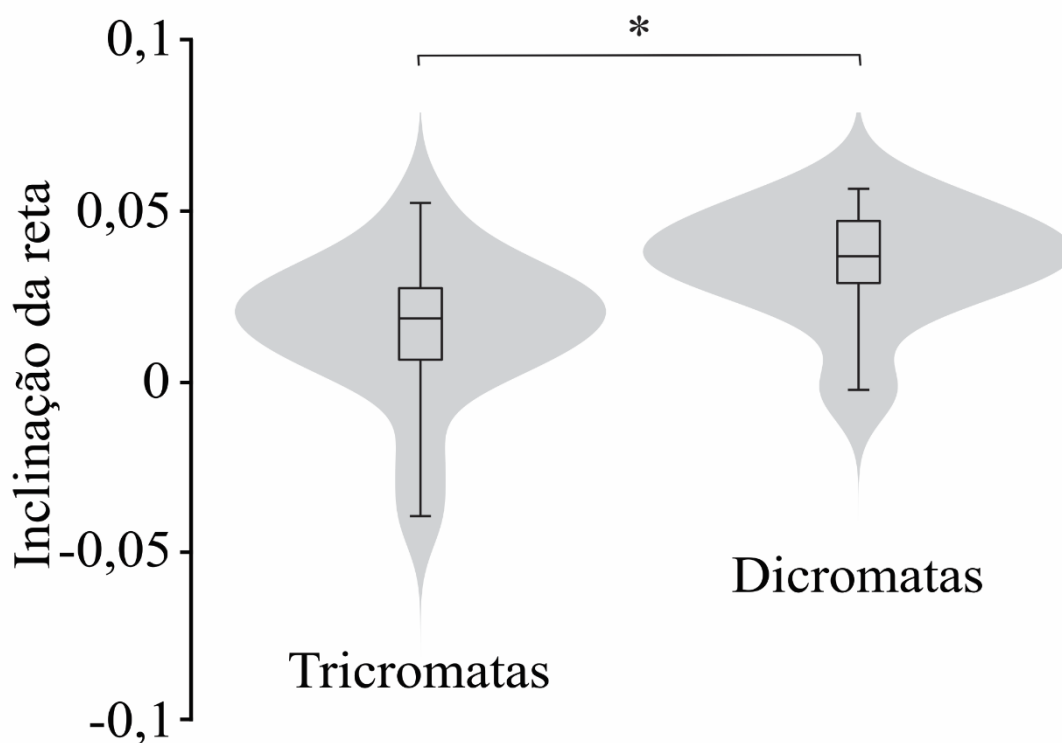


Figura 17. Comparação das inclinações estimados a partir dos melhores ajustes lineares individuais para a área de elipse em função da amplitude do ruído de luminância de tricromatas e dicromatas congênitos. Os dicromatas congênitos apresentaram maiores inclinações do que os tricromatos normais. Áreas cinzas sombreadas são o gráfico de densidade do núcleo que representa 95% da distribuição de dados, e o gráfico de caixa compreende linhas horizontais que representam terceiro quartil (linha superior), mediana (linha média), primeiro quartil (linha inferior) e o desvio padrão que representa os valores máximo e mínimo. $p < 0,05$.

Procedeu-se a mesma análise para todos os vetores cromáticos e comparou-se a estimativas da inclinação de uma reta da área da área relativa da elipse em função do ruído de luminância estimada a partir de tricromatas e dicromatas congêntos (Figura 18). Observou-se que apenas no vetor cromático 0° as inclinações estimadas a partir das funções obtidas dos dicromatas foram maiores que as obtidas a partir dos tricromatas.

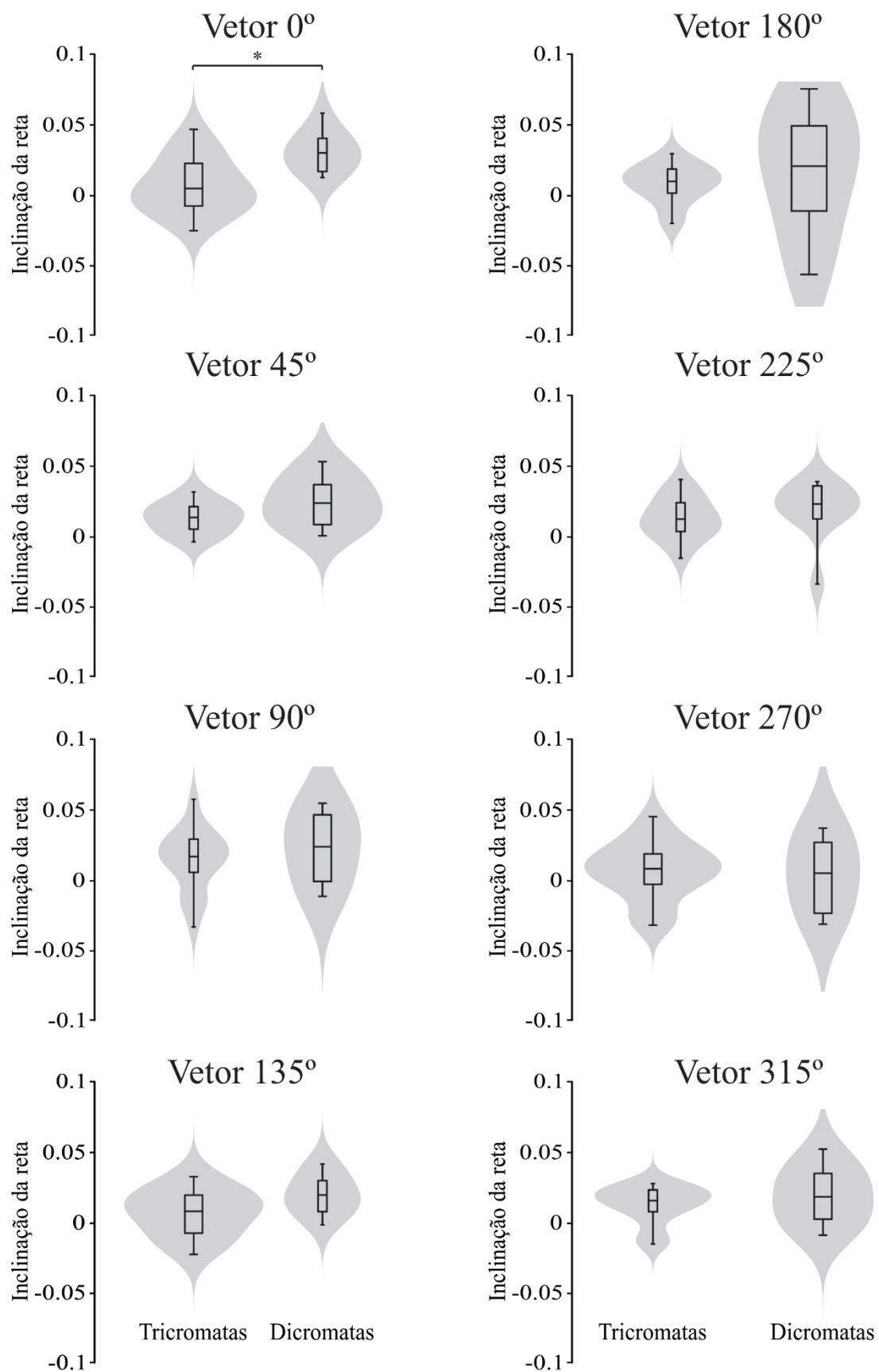


Figura 18. Gráficos de violinos comparando as inclinações estimadas a partir dos melhores ajustes lineares individuais para os limiares de vetores cromáticos em função

da amplitude do ruído de luminância de tricromatas e dicromatas congênitas. Apenas no vetor cromático 0° , as inclinações estimadas a partir das funções obtidas de dicromatas foram maiores que os obtidos a partir de tricromatas. Áreas cinzas sombreadas são o gráfico de densidade do núcleo que representa 95% da distribuição de dados, e o gráfico de caixa compreende linhas horizontais que representam terceiro quartil (linha superior), mediana (linha média), primeiro quartil (linha inferior) e o desvio padrão que representa os valores máximo e mínimo. $p < 0,05$.

4.2. EXPERIMENTO 2: ANÁLISE DO EFEITO DA VARIAÇÃO DA AMPLITUDE DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A DISCRIMINAÇÃO DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA EM DIFERENTES NÍVEIS DE LUMINÂNCIA

Os valores de luminância média do ruído na condição limiar aumentaram em função do nível de luminância do ruído do estímulo, indicando que em baixos níveis de luminância, o ruído dificultava a tarefa de discriminação de luminância visto que o valor de luminância média do alvo é mais distante do valor de luminância média do ruído presente no fundo. Na Figura 19 é possível observar a luminância média para cada condição de estimulação. O teste estatístico Kruskal-Wallis mostrou que no nível de luminância de 2 houve menores valores de luminância média do alvo que na condição de nível de luminância de 10 ($p < 0,05$), não havendo outras diferenças estatísticas nas demais comparações.

A média do coeficiente de correlação entre a luminância média do ruído do alvo na condição limiar e a amplitude RMS do estímulo em cada condição de ruído de luminância teve valor $0,5 \pm 0,3$. A Figura 20 mostra a correlação entre a média das luminâncias médias do ruído do alvo na condição limiar em função da amplitude RMS do estímulo para cada condição de estímulo.

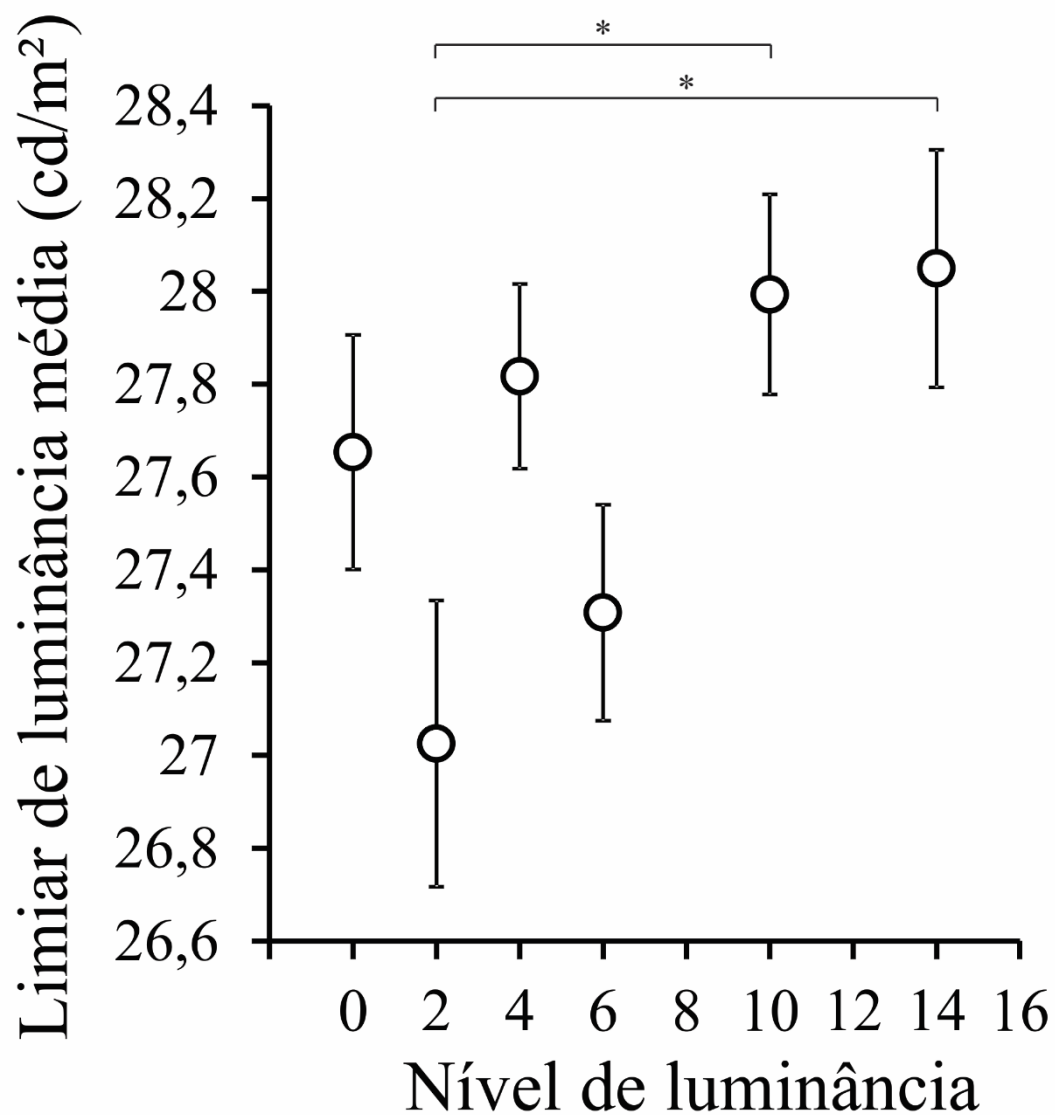


Figura 19. Limiar de discriminação da luminância média em função aos níveis de luminância com a presença e ausência do ruído de luminância (níveis 0, 2, 4, 6, 10 e 14). Houve diferença estatística na condição de menor ruído (nível 2) para a condição de maior ruído de luminância (nível 10 e 14). As barras de erro representam os valores máximo e mínimo do desvio padrão.

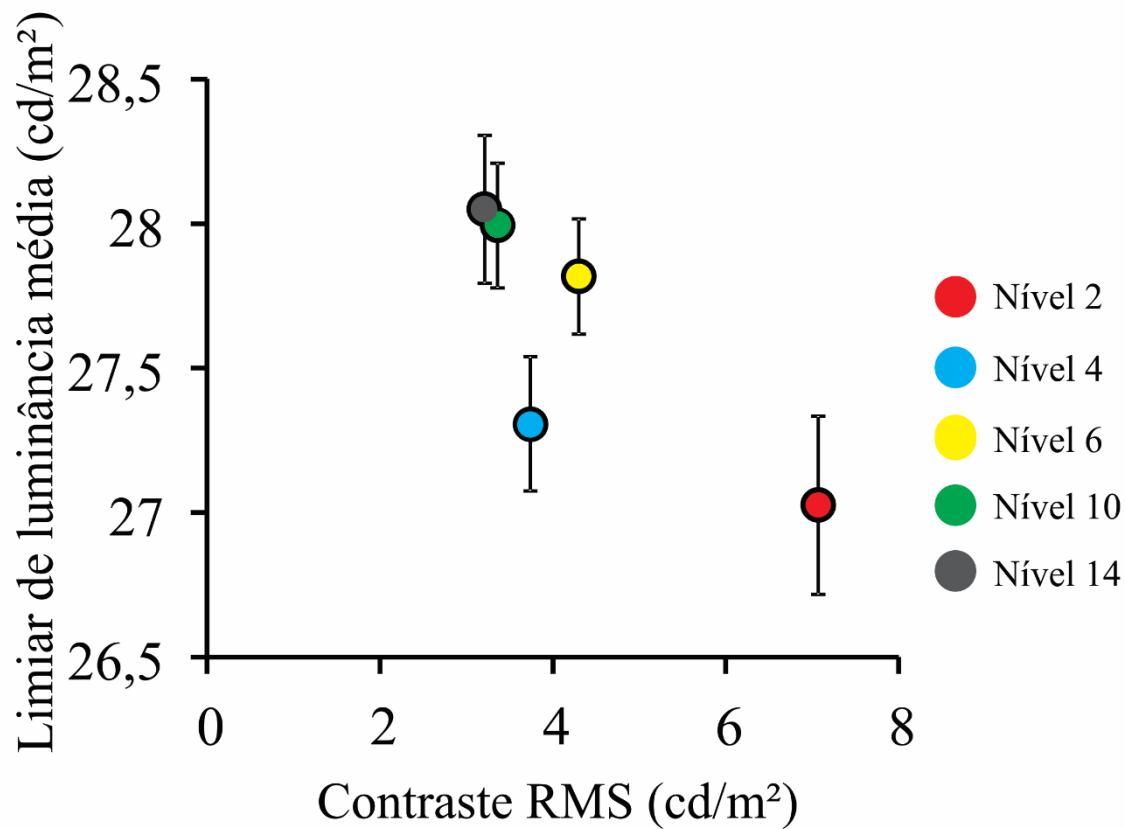


Figura 20. Média do limiar de luminância média do alvo em função do contraste RMS dos estímulos. Foi observada uma relação linear entre o desempenho de discriminação e o contraste do estímulo. As barras de erro representam os valores máximo e mínimo do desvio padrão.

5. DISCUSSÃO

O principal achado desta tese foi a observação do papel de mascaramento do ruído de luminância sobre os limiares de discriminação de cor e de luminância. Em ambos os experimentos realizados nesta tese foi observado que nas condições onde o contraste do ruído foi maior, ou seja, nas condições de maior amplitude do ruído ou na condição de nível de luminância de 2, houve um pior desempenho na tarefa de discriminação perceptual. Além disso, os resultados aqui apresentados ajudam a identificar parâmetros de utilização do ruído em experimentos de mascaramento de discriminação, no qual ele possa exercer algum efeito sobre a tarefa.

5.1. O PAPEL DA AMPLITUDE DO RUÍDO DE LUMINÂNCIA SOBRE A DISCRIMINAÇÃO DE COR

O principal resultado do primeiro experimento foi que as modificações no ruído de luminância em um estímulo pseudoisocromático tiveram maior influência na discriminação de cores em dicromatas congênitos do que em tricromatas. Mudanças no ruído de luminância mostraram ter influência significativa na discriminação de cores em tricromatas normais e anômalos (Souza et al., 2014; Cormenzana Méndez et al., 2016; Linhares et al., 2016). Dados anteriores relatados em nosso laboratório compararam estímulos com diferentes quantidades de níveis de ruído de luminância e observaram que a discriminação de cores de tricromatas normais melhorou com um maior número de níveis (Souza et al., 2014). Também foi observado que a discriminação de cores seguiu o contraste de Weber entre as luminâncias de ruído máximo e mínimo quando a luminância média do estímulo foi alterada (Cormenzana Méndez et al., 2016).

Linhares et al. (2016) observaram que o ruído de luminância dinâmico melhorou a discriminação de cores de tricromatas anômalos e não teve efeito significativo na

discriminação de cores de tricromatas normais. Na presente investigação, à medida que a faixa de ruído de luminância diminuiu, o contraste de Weber do ruído e do valor dos contrastes de luminância local também diminuiu, enquanto a discriminação de cores melhorou. Não está claro qual indicador (contraste de Weber, contraste de luminância local ou mesmo algumas medidas de homogeneidade do ruído de luminância) ou combinação de indicadores é mais importante para influenciar a discriminação de cores usando um estímulo pseudoisocromático.

O ruído de luminância no estímulo cromático foi introduzido por Stilling (1877) para excluir ou diminuir um viés na discriminação de cores devido a diferentes brilhos de cores diferentes (Stilling, 1877; Mollon, 2003). Em nossa configuração experimental, a diminuição da faixa de ruído de luminância tornou o ruído de luminância mais homogêneo e, assim, provavelmente facilitou a discriminação do alvo do campo de mosaico. Para os tricromatas, observamos um pequeno decaimento na área da elipse à medida que a faixa de luminância diminuiu, embora essa mudança não tenha sido significativa. Também neste primeiro experimento, foi observada uma diferença significativa entre as condições com maior e menor intervalo de luminância em dicromatas congênitas, e houve uma diferença significativa entre as inclinações estimadas a partir de dicromatas congênitas e tricromatas. É razoável supor que a diminuição na faixa de ruído de luminância tenha facilitado a discriminação de cores em dicromatas congênitas.

Quando um estímulo possui alta homogeneidade nos valores de luminância (baixa faixa de ruído de luminância), a diferença entre o alvo e o campo mosaico pode ser definida tanto na cromaticidade (ausente para dicromatas congênitas, mas presentes para tricromatas normais) quanto no brilho de cor aparente (presente a discriminação para dicromatas congênitas e tricromatas). Interpretamos o aumento do desempenho na

condição de baixa luminância, principalmente devido ao efeito Helmholtz-Kohlrausch, em que duas cores com a mesma luminância, mas com diferentes cromaticidade, possuem diferentes brilhos aparentes (Wyszecki e Stiles, 1967; Nayatani, 1998; Corney et al., 2009). Supostamente, os desempenhos de ambos os tricromatas e dicromatas se beneficiaram do efeito Helmholtz-Kohlrausch (um viés de percepção que motiva o uso do ruído de luminância em primeiro lugar), mas a facilitação foi mais evidente para os dicromatas, já que os tricromatas já apresentavam alta discriminação em toda cromaticidade dos vetores.

Um resultado adicional que confirmou nossa interpretação de que o viés de luminância contribui para a discriminação de alvos em condições de baixa luminância, foi que só pudemos observar a melhoria do desempenho da discriminação de cores nos dicromatas congênitos para a metade dos vetores cromáticos. Os outros vetores também tiveram um melhor desempenho, porém não foram estatisticamente significantes. Nas condições da faixa de ruído de baixa luminância, algumas diferenças de brilho de cor aparente poderiam estar presentes e, possivelmente, ajudaram a determinar os alvos corretos para os eixos cromáticos de 0° a 135° . Para os outros vetores cromáticos, bem como para todos os vetores cromáticos em tricromatas, a diferença na cromaticidade sozinha foi suficiente para guiar a discriminação em todas as condições de variação do ruído de luminância.

5.2. O PAPEL DO NÍVEL DE LUMINÂNCIA DO RUÍDO SOBRE A DISCRIMINAÇÃO DE LUMINÂNCIA

O nível de luminância do ruído só teve efeito significativo sobre a discriminação de luminância quando o ruído apresentou dois valores. Com o aumento do nível de luminância do ruído, houve uma melhora na tarefa de discriminação e os valores limiares

não diferiram em relação à condição controle. Também foi encontrado que os limiares de discriminação de luminância variaram linearmente com o contraste RMS do estímulo, indicando que a discriminação entre o ruído do alvo e do fundo é determinado pela variabilidade dos valores de luminância dentro do ruído.

Souza et al. (2014) já tinham descrito sobre o problema do nível de luminância sobre uma tarefa de discriminação de cores. Eles alertaram que em níveis de ruído mais altos, deve haver um maior número de áreas com baixo contraste de luminância que talvez não fossem detectados pelo observador e assim criariam zonas isoluminantes no estímulo e facilitariam a tarefa de discriminação perceptual. O presente trabalho corrobora esta proposta e fortalece essa hipótese com o achado da relação linear entre os limiares e o contraste RMS.

A estimativa de sensibilidade ao contraste usando adição de ruído de luminância tem sido constantemente investigada como objetivos de investigação básica e clínica (Huang et al., 2007; Pelli et al., 2004; Yates et al., 1995; Betts et al., 2007; McAnany & Alexander, 2010). Normalmente as medidas de sensibilidade ao contraste são realizadas com ou sem o ruído de luminância, assim como foi feito no presente trabalho. A partir desses estudos tem se considerado que o desempenho psicofísico obedece a um modelo denominado de modelo de amplificador linear, onde o limiar é proposto estar linearmente relacionado com a densidade espectral do ruído (Pelli & Farell, 1999). O ruído usado nestes trabalhos é o ruído branco, no qual a luminância é variada em elementos do ruído que são quadrados, os quais tem o mesmo tamanho (componente espectral do ruído). Na presente tese, os estímulos usados não são semelhantes aos estímulos usados em experimentos clássicos de mascaramento de ruído de luminância sobre a discriminação de luminância. Aqui foi usado um ruído de luminância em um mosaico com círculo de diferentes tamanhos, assim como é feito em vários testes que usam placas

pseudoisocromáticas, configurando assim um conteúdo espectral diferentes destes estudos. Outro ponto importante a indicar é que a geração do alvo ocorre devido a diferença de ruído entre o alvo e o fundo, sendo assim uma tarefa de discriminação de ruídos. Nos outros estudos há um processo de convolução, um modelo matemático que indica duas funções presentes (função que descreve o estímulo (alvo) e ruído ao redor) e multiplicadas em um mesmo estímulo (McAnany & Alexander, 2010). Ainda assim, mesmo considerando as diferenças das características dos estímulos usados aqui e de outros estudos, foi encontrado que existe uma função linear entre a discriminação de luminância e a modulação do contraste do ruído. Mais trabalhos são necessários para que se conclua a relação do modelo do amplificador linear considerando em experimentos com ruído branco e o modelo linear observado nos resultados do experimento 2.

6. CONCLUSÃO

No presente trabalho investigou-se a discriminação de cor e luminância mascarado por ruído de luminância em tarefas psicofísicas. O principal achado desta tese foi que ocorreu uma piora no desempenho psicofísico de discriminação de cor ou de luminância quando o contraste do ruído de luminância era aumentado. Com a diminuição da amplitude do ruído de luminância, houve melhora na discriminação de cores dos discromatópicos congênitos nos vetores cromáticos 0° , 45° , 90° e 135° e sugere-se que a melhora na discriminação de cores na baixa amplitude de ruído de luminância seja através de algumas diferenças de brilho de cor aparente que poderia estar presente. A discriminação de luminância mascarado por ruído de luminância teve pior desempenho nas condições de nível de luminância do ruído mais baixos. A discriminação de luminância do alvo e do fundo foi linearmente modificada pela mudança dos valores de contraste RMS do ruído.

Esses achados reafirmaram nossas sugestões anteriores de necessidade de melhor controle no uso e descrição dos parâmetros do ruído de luminância usado em tarefas de discriminação de cor e luminância realizados em diferentes laboratórios científicos mais comparáveis, como proposto nesta tese.

REFERÊNCIAS

1. Allard, R. & Cavanagh, P. Different processing strategies underlie voluntary averaging in low and high noise. **Journal of Visualized Experiments**, 12 (6), 2012.

2. Allard, R.; Jocelyn, F.; Pelli, D. G. Editorial: Using Noise to Characterize Vision. **Fontiers in Psychology**, 6, 1-3, 2015.

3. Araújo, C. S., Souza, G. S., Gomes, B. D, Silveira, L. C. Visual evoked cortical potential (VECP) elicited by sinusoidal gratings controlled by pseudo-random stimulation. **Plos One**, 8, 702-07, 2013.

4. Betts, L. R.; Sekuler, A. B.; Bennett, P. J. The effects of aging on orientation discrimination. **Vision Research**, 47, 1769–1780, 2007.

5. Birch, J.; Barbur, J. L.; Harlow, A. J. New method based on random luminance masking for measuring isochromatic zones using high resolution colour displays. **Ophthalmic and Physiological Optics**, 12, 133-136, 1992.

6. Birch, J. Efficiency of the ishihara test for identifying red-green colour deficiency. **Ophthalmic and Physiological Optics**, 17, 403-408, 1997.7.

7. Bouvier, S. E.; Cardinal, K. S.; Engel, S. A. Activity in visual area V4 correlates with surface perception. **Journal of Visualized Experiments**, 8, 28 21–29, 2008.

8. Callaway, E. M. Structure and function of parallel pathways in the primate early visual system. **The Journal of Physiology**, 566(1), 13-19, 2005.

9. Campbell, F. W. & Robson, F. G. Application of the Fourier analysis to the visibility of gratings. **Journal of Physiology**, 197, 551-566, 1968

10. Casagrande, C. A. A third parallel visual pathway to primate area V1. **Trends in Neuroscience**, 17, 305-10, 1994.

11. 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. **Frontiers in Psychology**, 7, 1006; 10.3389/fpsyg.2016.01006, 2016.

12. Cooper, B., Sun, H., Lee, B. B. Psychophysical and physiological responses to gratings with luminance and chromatic components of different spatial frequencies. **Journal of the Optical Society of America A**, 29, A314-A323, 2012

13. 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.

14. Dacey, D. M., Peterson, B. B., Robinson, F. R., Gamlin, P. D. Fireworks in the primate retina: In vitro photodynamics reveals diverse LGN-projecting ganglion cell types. **Neuron**, 37, 15–27, 2003.

15. Eckstein, M. P. & Ahumada, A. J..Classification images: a tool to analyze visual strategies. **Journal of Visualized Experiments**, 2 (1), 2002.

16. Friedman, H. S.; Zhou, H.; von der Heydt, R. The coding of uniform colour figures in monkey visual cortex. **The Journal of Physiology**, 548, 593–613, 2003.

17. Germain, F., Pérez-Rico, C., Vicente, J. Villa De La, P. Functional histology of the retina. In: Méndez-Vilas, A. & Díaz, J. Editors. **Microscopy: Science, Technology, Application and Education**, 914-925, 2010.

18. Gheiratmand, M. & Mullen, K. T. Orientation tuning in human colour vision at detection threshold. **Scientific Reports**, 4, 4285, 2014.

19. Gomes, B. D., Souza, G. S., Rodrigues, A. R., Saito, C. A., Silveira, L. C. L., da Silva Filho, M. Normal a dichromatic color discrimination measured with transient visual evoked potential. **Visual Neuroscience**. 23, 617–627, 2006.

20. Gomes. B. D., Souza, G. S., Lima, M. G., Rodrigues, A. R., Saito, C. A., da Silva Filho, M., Silveira, L. C. Color discrimination ellipses of trichromats measured with transient and steady state visual evoked potentials. **Visual Neuroscience**, 3, 333-9, 2008.

21. Gomes, B. D., Souza, G. S., Saito C. A., da Silva Filho M., Rodrigues A. R., Ventura D. F., Silveira, L. C. Cone contrast influence on components of the pattern onset/offset VECF. **Ophthalmic and Physiological Optics**, 30, 518–524, 2010.

22. Hintze, J. L. & Nelson, R. D. Violin plots: a box plot-density trace synergism. **American Statistical Association**, 52, 181-184, 2010.

23. Horwitz; G. D. & Albright, T. D. Paucity of chromatic linear motion detectors in macaque V1. **Journal of Vision**, 5, 525-533, 2005.

24. Huang, C.; Tao, L.; Zhou, Y.; Lu, Z. L. Treated amblyopes remain deficient in spatial vision: a contrast sensitivity and external noise study. **Vision Research**, 47, 22–34, 2007.

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

26. Jackson T. L., Ong G. L, and Ripley L. G. Orientational contrast sensitivity and chromatic contrast thresholds in multiple sclerosis. **American Journal of Ophthalmology**, 137, 283-286, 2004.

27. Johnson, E. N., Hawken, M. J., Shapley, R. The spatial transformation of color in the primary visual cortex of the macaque monkey. **Nature Neuroscience**, 4, 409–416, 2001.

28. Johnson, E. N, Hawken, M. J. Shapley, R. The orientation selectivity of color-responsive neurons in macaque V1. **Journal of Neuroscience**, 28, 8096–8106, 2008.

29. Kaplan, E. & Shapley, R. M. The primate retina contains two types of ganglion cells, with high and low contrast sensitivity. **Academy of Sciences**, 83, 2755-2757, 1986.

30. Kaplan, E., Purpura, K., Shapley, R. M. Contrast affects the transmission of visual information through the mammalian lateral geniculate nucleus. **The Journal of Physiology**, 391, 267-288, 1987.

31. Khachiyan, L. G. A polynomial algorithm in linear programming. **Dokl. Akad. Nauk SSSR** **244**, 1093–1096, 1979.

32. Kim, Y. J. & Mullen, K. T. Effect of overlaid luminance contrast on perceived color contrast: Shadows enhance, borders suppress. **The Journal of Vision**, 16, 1-14, 2016.

33. Kuffler, S.W. Discharge patterns and functional organization of mammalian retina. **Journal of Neurophysiology**, 16, 37-68, 1953.

34. Lacerda, E. M. C. B., Lima, M. G., Rodrigues, A. R., Teixeira, C. E. C., De Lima, L. J. B., Ventura, D. F., Silveira, L. C. L. Psychophysical evaluation of achromatic and chromatic vision of workers chronically exposed to organic solvents. **Journal of Environmental and Public Health**, 2012, 1-7, 2012.

35. Land, E. H. The retinex theory of color vision. **Scientific American**, 237, 108–128, 1977.

36. Lee, B. B., Martin, P. R., Valberg, A. Nonlinear summation of M- and L-cone inputs to phasic retinal ganglion cells of the macaque. **Journal of Neuroscience**, 9, 1433-1442, 1989a.

37. Lee, B. B., Martin, P. R., Valberg, A. Sensitivity of macaque retinal ganglion cells to chromatic and luminance flicker. **Journal of Physiology**, 414, 223-243, 1989b.
38. Lee, B. B., Dacey, D. M., Smith, V. C., Pokorny, J. Horizontal cells reveal cone type-specific adaptation in primate retina. **Academy of Science**, 96, 14611-14616, 1999.
39. Lee, B. B., Sun, H., Valberg, A. Segregation of chromatic and luminance signals using a novel grating stimulus. **The Journal of Physiology**, 589, 59–73, 2011.
40. 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. **Cerebral Cortex**, 25, 1920-1937, 2015.
41. Linhares, J. M. M., João, C.A. R., Silva, E. D. G., Almeida, V. M. N., Santos, J. L. A., Álvaro, L., Nascimento, S. M. V. Assessing the effects of dynamic luminance contrast noise masking on a color discrimination task. **Journal of the Optical Society of America A**, 33, A178-A183, 2016.
42. Livingstone, M. S. & Hubel, D. H. Anatomy and physiology of a color system in the primate visual cortex. **Journal of Neuroscience**, 4, 309-356, 1984.
43. Loureiro, T. M. G.; Brodeur, K.; Schade, G.; Brito, F. A. C.; Salomão, R. C.; Miquilini, L.; Bonci, D. M. O.; Baran, L. C. P.; Hauzman, E.; Goulart, P. R. K.; Cortes, M. I. T.; Ventura, D. F.; Fitzgerald, M. E. C.; Souza, G. S. Effect of the decrease in luminance noise range on color discrimination of dichromats and trichomats. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, 12, 292, 2018.

44. MacLeod, I. A., Williams, D. R., Makous, W. A visual non-linearity fed by singles cones. **Vision Research**, 32, 347-363, 1992.

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

46. McAnany, J. J. & Alexander, K. R. Spatial Contrast Sensitivity in Dynamic and Static Additive Luminance Noise. **Vision Research**, 50, 1957–1965, 2010.

47. Miquilini, L., Walker, N. A., Odigie, E. A., Guimarães, D. L., Salomão, R. C., Lacerda, E. M. C. B., Cortes, M. I. T., Silveira, L. C. L., Fitzgerald, M. E. C., Ventura, D. F., Souza, G. S. Influence of Spatial and Chromatic Noise on Luminance Discrimination. **Scientific Reports**, 7, 16944, 2017.

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

49. Mollon, J. D. & Reffin, J. P. A computer-controlled colour vision test that combines the principles of Chibret and of Stilling. Proceedings of the Physiological Society. **Journal of Physiology**, 414, 5, 1989.

50. Mollon, J. D. The origins of modern color science. In Shevell, S. (Ed) **Color Science**, Optical Society of America, Washington, 2003.

51. Mullen, K. T. The contrast sensitivity of human colour vision to red–green and blue–yellow chromatic gratings. **The Journal of. Physiology**, 359, 381–400, 1985.

52. Nassi, J. J. & Callaway, E. M. Parallel processing strategies of the primate visual system. **Nature Reviews Neuroscience**, 5, 360-72, 2009.

53. Pacheco-Cutillas, M., Edgar, D., Sahraie, A. Acquired colour vision defects in glaucoma—their detection and clinical significance. **The British Journal of Ophthalmology**, 83, 1396–1402, 1999.

54. Paramei, G. V. Color discrimination across four life decades assessed by the Cambridge Colour Test. **Journal of the Optical Society of America A**, 29, A290-A297, 2012.

55. Paramei, G. V. & Oakley, B. Variation of color discrimination across the life span. **Journal of the Optical Society of America A**, 31, A375-84, 2014.

56. Pelli, D. G.; Levi, D. M.; Chung, S. T. Using visual noise to characterize amblyopic letter identification. **Journal of Vision**, 4, 904–920, 2004.

57. Perry, V. H., Oehler, R., Cowey, A. Retinal ganglion cells which project to the dorsal lateral geniculate nucleus in the macaque monkey. **Neuroscience**, 12, 1101-1 123, 1984.

58. Porciatti, V. & Sartucci, F. Normative data for onset VEPs to red-green and blue-yellow chromatic contrast. **Clinical Neurophysiology**, 110, 772-781, 1999.
59. Regan, B. C., Reffin, J. P., Mollon, J. D. Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. **Vision Research**, 34, 1279-1299, 1994
60. Regan, D. **Human perception of objects: early visual processing of spatial form defined by luminance, color, texture, motion, and binocular disparity**. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2000.
61. Rodrigues, A.R., Botelho de Souza, C. R., Braga, A. M., Rodrigues, P. S. S., Silveira, A. T., Damin, E. T. B., Côrtes, M. I. T., Castro, A. J. O., Mello, G. A., Vieira, J. L. F., Pinheiro, M. C. N., Ventura, D. F., Silveira, L. C. L. Mercury toxicity in the Amazon: contrast sensitivity and color discrimination of subjects exposed to mercury. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, 40, 415-424, 2007.
62. Silveira, L. C. L., Damin, E. T. B., Pinheiro, M. C. N., Rodrigues, A. R., Moura, A. L. A., Cortes, M. I. T., Mello, G. A. Visual dysfunction ^ following mercury exposure by breathing mercury vapour or by eating mercury-contaminated food. In: Mollon, J. D., Pokorny, J., Knoblauch, K. (Eds.), *Normal and Defective Colour Vision*. Oxford University Press, Oxford, 407–417, 2003.
63. Silveira, L. C. L., Grünert, U., Kremers, J., Lee, B. B., Martin, P. R. Comparative /anatomy and physiology of the primate retina. In: Kremers, J. Editor. **Structite, function and evolution of the primate visual system**, Chichester, England: Wiley: 127-60, 2005.

64. Silveira, L. C. L., Saito, C. A., Mello Jr., H. D., Silveira, V. A., Souza, G. S., Rodrigues, A. R., Silva Filho, M. Division of labor between M and P visual pathways: different visual pathways minimize joint entropy differently. **Psychology & Neuroscience**, 1, 3-14, 2008
65. Shapley, R & Hawken, M. J. Color in the cortex: single- and double-opponent cells. **Vision Research**, 51, 701–717, 2011.
66. Shinomori, K., Panorgias, A., Werner, J. S. Discrimination thresholds of normal and anomalous trichromats: Model of senescent changes in ocular media density on the Cambridge Colour Test. **Journal of the Optical Society of America A**, 33, A65–A76, 2016.
67. 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
68. Switkes, E., Bradley, A., De Valois, K. K. Contrast dependence and mechanisms of masking interactions among chromatic and luminance gratings. **Journal of the Optical Society of America A**, 5, 1149–1162, 1988.
69. Souza, G. S., Gomes, B. D., Saito, C. A., Filho, M. S., Silveira, L. C. Spatial luminance contrast sensitivity measured with transient VEP: comparison with psychophysics and evidence of multiple mechanisms. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, 48, 3396-34, 2007.

70. 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. **Frontiers in Physiology**, 5, 1291, 2014
71. Teixeira, R. A. A. Relação entre funções cognitivas e perdas adquiridas na visão de cores de pacientes com esclerose múltipla tipo remitente-recorrente. **Tese de doutorado**, Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
72. Wässle, H. Parallel processing in the mammalian retina. **Nature Reviews Neuroscience**, 5, 747-57, 2004.
73. Xing, D., Ouni, A., Chen, S., Sahmoud, H., Gordon, F., Shapley, R. Brightness–Color Interactions in Human Early Visual Cortex. **The Journal of Neuroscience**, 5, 2226 – 2232, 2015.
74. Yates, J. T.; Leys, M. J.; Green, M.; Huang, W.; Charlton, J.; Reed, J.; Di, B. Z.; Odom, J. V. Parallel pathways, noise masking and glaucoma detection: behavioral and electrophysiological measures. **Document Ophthalmologica**, 95, 283–299, 1995
75. Zeki, S. The distribution of wavelength and orientation selective cells in different areas of monkey visual cortex. **Proceedings of the Royal Society London B**, 217, 449–470, 1983.

76. Zeki, S. Color coding in the cerebral cortex: the responses of wavelength-selective and color-coded cells in monkey visual cortex to changes in wavelength composition. **Neuroscience**, 9, 767–781, 1983.

77. Zeki, S. A century of cerebral achromatopsia. **Brain**, 113, 1721–1777, 1990.

78. Zeki, S. & Marini, L. Three cortical stages of colour processing in the human brain. **Brain**, 121, 1669–1685, 1998.

ANEXOS

ANEXO I

Parecer do comitê de ética em pesquisa em seres humanos

NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL-NMT/ UNIVERSIDADE FEDERAL DO	
---	---

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

Data da Relatoria: 13/02/2014

Apresentação do Projeto:

Esse projeto está sendo submetido pela segunda vez. A versão atual apresenta todos os itens exigidos.

Esse projeto pretende avaliar a influência de diferentes símbolos na composição do mosaico de estímulos pseudoisocromáticos na discriminação de cores de sujeitos tricromatas e dicromatas.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Avaliar o efeito do número e tipo de símbolos que compõem os estímulos pseudoisocromáticos sobre a discriminação de cores de sujeitos tricromatas e dicromatas.

Objetivo Secundário:

Desenvolver estímulos pseudoisocromáticos com 1, 2, 3 ou 4 símbolos separados ou conjugados; Estimar a discriminação de cores com estímulos pseudoisocromáticos com diferentes combinações de símbolos.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Estão descritos no projeto.

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92 Bairro: Umarizal UF: PA Município: BELEM Telefone: (91)3201-6857	CEP: 66.055-240 E-mail: cepbel@ufpa.br
--	--