



Universidade Federal do Pará

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Programa de Pós-graduação em Neurociências e Comportamento

Belanny Barbosa Lopes

**Ausência de efeito do ruído de luminância sobre as respostas corticais
provocadas por estímulos pseudoisocromáticos**

Belém

2019



Universidade Federal do Pará

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Programa de Pós-graduação em Neurociências e Comportamento

Belanny Barbosa Lopes

**Ausência de efeito do ruído de luminância sobre as respostas corticais
provocadas por estímulos pseudoisocromáticos**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Neurociências e Comportamento.

Área de Concentração: Neurociências e Comportamento.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza.

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Ana Leda de Faria Brino.

Belém

2019

Belanny Barbosa Lopes

Ausência de efeito do ruído de luminância sobre as respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento da Universidade Federal do Pará como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Neurociências e Comportamento.

Orientador: Prof. Dr. Givago da Silva Souza.

Universidade Federal do Pará.

Coorientadora: Profa. Dra. Ana Leda de Faria Brino.

Universidade Federal do Pará

Avaliadores:

Profa. Dra. Dora Fix Ventura

Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Paulo Ronney Killp Goulart

Universidade Federal do Pará

Letícia Miquilini de Arruda Farias (suplente)

Universidade Federal do Pará

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)

L864 Lopes, Belanny Barbosa
 Ausência de efeito do ruído de luminância sobre as respostas
 corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos / Belanny
 Barbosa Lopes. — 2019.
 48 f. : il.

 Orientador(a): Prof. Dr. Givago da Silva Souza
 Coorientação: Profª. Dra. Ana Leda de Faria Brino
 Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em
 Neurociências e Comportamento, Núcleo de Teoria e Pesquisa do
 Comportamento, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

 1. Visão de cores. 2. Eletrofisiologia visual. 3. Potencial
 cortical provocado visual. 4. Estímulos pseudoisocromáticos.
 5. Ruído de luminância. I. Título.

CDD 612.8

“A ciência é uma disposição para aceitar os fatos mesmo quando eles são opostos aos desejos”

B. F. Skinner

Dedico este trabalho à Leila, minha mãe e maior incentivadora.

Agradecimentos

À minha família: Leila, Nane e Kauã por serem meu conforto e amor sempre.

À Profa. Dr. Ana Leda de Faria Brino pelos ensinamentos, apoio e dedicação que sempre teve comigo desde a graduação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Givago Souza por se propor a realizar este trabalho, pela paciência e pelas trocas de conhecimentos.

A todos os meus amigos por serem meu ponto de apoio e tornarem tudo mais leve, em especial aos que acompanharam de perto meus anseios durante a realização deste trabalho: Iza, Oda, Atlan, Hugo, Marcos e Ana Paula.

Às amigas que fiz nesta caminhada e que tornaram tudo mais fácil: Luiza e Fernanda, obrigada por tudo.

Aos colegas de laboratório: Railson e Ramon, obrigada pelo companheirismo, paciência e por facilitarem meu processo de aprendizagem.

À UFPA, por toda oportunidade de aprendizagem que tem me proporcionado e por ter sido minha casa nos últimos anos.

Aos voluntários desta pesquisa que permitiram que este trabalho se concretizasse.

Resumo

O ruído de luminância em um estímulo pseudoisocromático caracteriza-se pela distribuição aleatória espacial de diferentes valores de luminância. Esta característica possibilita eliminar pista de brilho entre o alvo e o fundo dos estímulos, permitindo que a percepção da diferença entre eles ocorra apenas por seus conteúdos cromáticos. Tem sido observado que mudanças em parâmetros do ruído de luminância modificam a discriminação perceptual entre as cores do alvo e do fundo do estímulo. Não se sabe onde e como as informações de luminância e cor interagem para levar a tais modificações perceptuais. O objetivo desta dissertação foi avaliar a influência de modificação do ruído de luminância sobre respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos. Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, protocolo #991.803. A amostra foi composta por 16 participantes tricromatas saudáveis, com idade entre 24 e 36 anos ($26,5 \pm 3,4$ anos), sendo nove mulheres e sete homens. Os estímulos foram gerados no sistema ViSaGe e foram compostos por redes verde-vermelhas pseudoisocromáticas de 6° com frequência espacial de 2 cpg em um campo de $7,25^\circ$. O mosaico foi composto por 2448 círculos que variavam em tamanho e luminância. Dois experimentos testaram duas diferentes formas de manipulação do ruído de luminância, mantendo-se a luminância média (15 cd/m^2) do estímulo em todas as condições: (i) No primeiro experimento, foram testados 16 participantes da amostra. Nele, houve variação da amplitude de luminância entre quatro condições: amplitude de 20 cd/m^2 ; amplitude de 12 cd/m^2 ; amplitude de 4 cd/m^2 e amplitude de 1 cd/m^2 , mantendo-se o número de níveis de luminância em todas as condições (cinco níveis). (ii) No segundo experimento, foram testados sete participantes da amostra. Houve variação do nível de luminância entre três condições: 2, 5 e 11 níveis de luminância, mantendo-se a amplitude de luminância em 20 cd/m^2 em todas as condições. A atividade cortical foi registrada por eletrodos de superfície de ouro posicionados em Oz (ativo), Fpz (referência) e Fz (terra). Foi realizada amplificação de 50000 vezes, digitalizado em 1000 Hz e filtrado entre 0,1 e 100 Hz. A magnitude da resposta foi medida entre a linha de base e pico de amplitude do componente negativo (N1) esperado em torno de 120 ms e dos componentes positivos P1 e P2, esperados em torno de 70 e 230 ms, respectivamente. O tempo de resposta foi quantificado como o tempo para o valor do pico dos componentes N1, P1 e P2. Foi usado ANOVA de um critério para comparar as amplitudes e latências dos componentes gerados pelas diferentes condições de estimulação. Os resultados do primeiro experimento mostraram que não houve efeito significativo da modificação da amplitude de luminância do ruído do estímulo sobre a amplitude dos componentes P1 ($F[3,60] = 0,6452$, $p = 0,5929$), N1 ($F[3,60] = 0,0744$, $p = 0,97$) e P2 ($F[3,60] = 0,5183$, $p = 0,67655$). O mesmo aconteceu com as latências, não houve efeito da modificação da amplitude de luminância sobre a latência dos componentes P1 ($F[3,60] = 1,0987$, $p = 0,3578$), N1 ($F[3,60] = 0,0509$, $p = 0,98$) e P2 ($F[3,60] = 1,0384$, $p = 0,3831$). Assim como aconteceu no primeiro experimento, os resultados do segundo experimento mostraram que não houve efeito significativo da manipulação do número de níveis de luminância do ruído do estímulo sobre a amplitude dos componentes P1 ($F[2,18] = 0,1847$, $p = 0,8339$), N1 ($F[2,18] = 0,121$, $p = 0,89$) e P2 ($F[2,18] = 0,1057$, $p = 0,8998$), bem como não foi observado efeito significativo da modificação do nível de luminância sobre a latência dos componentes P1 ($F[2,18] = 0,8327$, $p = 0,5457$), N1 ($F[2,18] = 0,347$, $p = 0,71$) e P2 ($F[2,18] = 1,1412$, $p = 0,3423$). A principal constatação desta dissertação foi que, apesar de produzirem mudanças nas respostas psicofísicas dos sujeitos, as alterações de amplitude e níveis de ruído de luminância, não produzem modificações equivalentes nas respostas corticais. Assim, supõe-se que as alterações de discriminação de cores observadas psicofisicamente pelas

manipulações do ruído de luminância não devem ocorrer no córtex visual primário, mas sim em substratos anátomo-funcionais em níveis corticais superiores.

Palavras chave: Visão de cores, Eletrofisiologia visual, Potencial cortical provocado visual, Estímulos pseudoisocromáticos, Ruído de luminância

Abstract

Luminance noise in a pseudoisochromatic stimulus is featured by the spatial random distribution of the different luminance values. This characteristic makes possible to eliminate brightness clues between target and background of the stimuli, enabling that the perception of the differences between them occurs due their chromatic content. It has been observed that changes in the parameters of the luminance noise modify the perceptual discrimination between the color of the target and background of the stimulus. It is unknown where and how the luminance and color information interact to drive the perceptual modifications. The aim of this dissertation was to evaluate the influence of the changes in the luminance noise on the cortical responses evoked by pseudoisochromatic stimulus. This research was approved by the Ethics Committee for Humans Research of the Tropical Medicine Institute, Federal University of Pará, report #991.803. The sample comprised by 16 healthy trichromat participants, ranged between 24 e 36 years (26.5 ± 3.4 years), nine women, seven men. The stimuli were generated in the ViSaGe system and were composed by 6° red-green pseudoisochromatic gratings 6° , spatial frequency of 2 cpd in a patch of 7.25° . A mosaic composed by 2448 circles varying in size and luminance. Two experiments tested two different ways of manipulation of the luminance noise, keeping the same mean luminance (15 cd/m^2) of the stimulus at all stimulus conditions: (i) In the first experiment, 16 participants of the sample were tested. There was variation of the luminance noise amplitude among 4 conditions: 20 cd/m^2 ; 12 cd/m^2 ; 4 cd/m^2 and 1 cd/m^2 , keeping the same number of discrete values of luminance at all conditions (5 values). (ii) In the second experiment, 7 participants of the sample were tested. There was variation of the luminance level among three conditions: 2, 5 e 11 levels, keeping the luminance noise amplitude of 20 cd/m^2 at all conditions. The cortical activity was recorded by gold-surface electrodes place at Oz (active electrode), Fpz (reference electrode) and Fz (ground electrode). The electrical signal was amplified 50000 times, digitized at 1000 Hz and filtered between 0.1 and 100 Hz. The response magnitude was measured between the baseline and the negative component peak (N1) at 120 ms and of the positive components P1 and P2, at 70 and 230 ms, respectively. The time to response was quantified as the duration between the stimulus onset to the component peaks. It was used one-way ANOVA to compare the component amplitude and latency evoked by the different stimulus conditions. The first experimente result showed that there was no significant effect of the changes of the luminance noise amplitude on the amplitude from P1 ($F[3,60] = 0.6452$, $p = 0.5929$), N1 ($F[3,60] = 0.0744$, $p = 0.97$) e P2 ($F[3,60] = 0.5183$, $p = 0.67655$). The same result happens to the latency comparison, there was no significant effect of the luminance noise amplitude changes on the component latencies from P1 ($F[3,60] = 1.0987$, $p = 0.3578$), N1 ($F[3,60] = 0.0509$, $p = 0.98$) e P2 ($F[3,60] = 1.0384$, $p = 0.3831$). As observed in the first experiment, the results of the second experiment showed that there was no significant effect of the luminance noise level manipulation of the stimulus on the components amplitude P1 ($F[2,18] = 0.1847$, $p = 0.8339$), N1 ($F[2,18] = 0.121$, $p = 0.89$) e P2 ($F[2,18] = 0.1057$, $p = 0.8998$), as well as no significant effect of the luminance level modifications on the component latencies P1 ($F[2,18] = 0.8327$, $p = 0.5457$), N1 ($F[2,18] = 0.347$, $p = 0.71$) e P2 ($F[2,18] = 1.1412$, $p = 0.3423$). The main finding of this dissertation was that, although luminance noise changes reveals changes in psychophysical responses, they do not change on the cortical responses. It is suggested that the alteration of the chromatic discrimination observed psychophysically due the manipulation of the luminance noise should not happen in the primary visual cortex, but probably in morpho-functional substrates in higher cortical areas.

Keywords: Color vision, Visual electrophysiology, Visual evoked cortical potential, Pseudoisochromatic stimulus, Luminance noise.

Lista de figuras

Figura 1	Exemplo de cena natural composta por diferentes contrastes de cor e luminância	14
Figura 2	Modelo do estímulo pseudoisocromático	15
Figura 3	Exemplos de estímulos usados nos testes de Ishihara, Devorine, Hardy-Rand-Ritler e Podestá	16
Figura 4	Exemplo de estímulo pseudoisocromático	17
Figura 5	Estímulos pseudoisocromáticos usados em Souza et al. (2014)	18
Figura 6	Estímulo usado em Linhares et al. (2016)	19
Figura 7	Estímulos usados em Loureiro et al. (2018)	21
Figura 8	Respostas corticais provocados por estímulos cromáticos isoluminantes	23
Figura 9	Comparação das respostas corticais provocadas por redes senoidais cromáticas e por estímulos pseudoisocromáticos	25
Figura 10	Exemplos de estímulos utilizados no primeiro experimento	29
Figura 11	Exemplos de estímulos utilizados no segundo experimento	30
Figura 12	Esquema representativo do fluxo de registro de VECP	31
Figura 13	Forma de onda média dos participantes para as condições de amplitude de luminância do ruído	33
Figura 14	Forma de onda média dos participantes para as condições de 2, 5 e 11 níveis de luminância do ruído	35

Lista de tabelas

Tabela 1	Amplitude de luminância, máxima e mínima luminância em cada uma das condições do primeiro experimento	28
Tabela 2	Níveis de luminância apresentados em cada uma das condições do segundo experimento	29
Tabela 3	Média e desvio padrão das amplitudes e latências dos componentes P1, N1 e P2 em cada condição de estimulação	34
Tabela 4	Média e desvio padrão das amplitudes e latências dos componentes da resposta cortical em cada condição de estimulação com diferentes níveis de luminância	35

Sumário

Introdução	14
Estímulos pseudoisocromáticos como ferramentas para a avaliação da visão de cores	14
Influência do ruído de luminância sobre a discriminação de cores usando estímulos pseudoisocromáticos	17
Respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos	22
Justificativa	25
Objetivos	26
Geral	26
Específicos	26
Método	26
Desenho experimental	26
Aspectos éticos.....	26
Participantes	27
Ambiente experimental e equipamentos	27
Análise de dados.....	32
Resultados	33
Discussão	36
Conclusão	39
Apêndice A	44
Anexo 1	46

Estímulos pseudoisocromáticos como ferramentas para a avaliação da visão de cores

Cenas naturais são compostas por uma mistura de informações luminosas contrastantes (Figura 1). Os observadores são desafiados a identificar objetos contra a cena ao redor baseados em diferentes características visuais, dentre elas, as diferenças de luminância e cor (Regan, 2000; Souza, Gomes, & Silveira, 2011). Quanto mais semelhantes os objetos são do restante da cena, maior é o efeito de camuflagem que ele tem. Os estímulos pseudoisocromáticos são estímulos visuais que aplicam o princípio da camuflagem para a identificação do objeto sobre um fundo e tem sido amplamente usados para a avaliação da visão de cores desde o século XIX (Stiling, 1877).



Figura 1. Exemplo de cena natural composta por diferentes contrastes de cor e luminância. As imagens naturais têm padrões variados de contrastes de luminância misturados com diferentes padrões de contrastes de cor. São raras as condições de isoluminância ou isocromaticidade em cenas naturais.

A criação dos estímulos pseudoisocromáticos decorreu da observação de que diferenças de brilho podem existir entre objetos de mesma luminância e cores diferentes. Assim, a identificação de objetos com diferentes cores pode ser função da diferença perceptual do brilho que essas cores têm, dificultando a avaliação isolada de mecanismos cromáticos envolvidos na

percepção dos objetos. O oftalmologista alemão Jakob Stilling propôs um estímulo que era quebrado em pedaços de tamanhos diferentes (ruído espacial de tamanho) e cada pedaço apresentava uma luminância diferente (ruído de luminância). Esse tipo de estímulo tornava mais difícil diferenciar um alvo de um fundo por outras informações que não fossem o contraste de cor entre eles (Mollon, 2003). A Figura 2 mostra um exemplo dos primeiros estímulos usados por Stilling (1877).

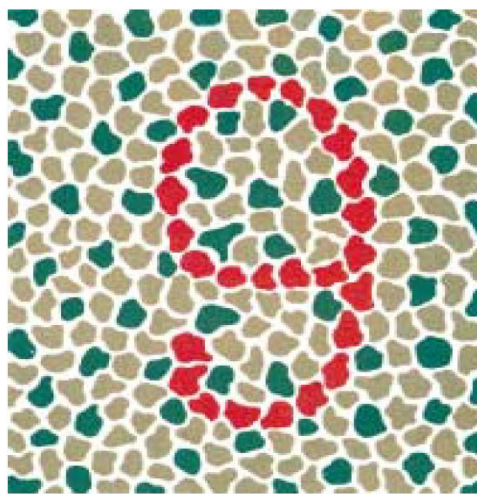


Figura 2. Modelo de estímulo pseudoisocromático utilizado por Stilling (1877) para avaliar deficiência de visão de cores. Um alvo foi quebrado em diferentes pedaços com tamanhos e formas diferentes (ruído espacial de tamanho). Esse procedimento eliminou as bordas entre a imagem e o fundo. Cada pedaço também tinha um valor de luminância diferente, criando um ruído de luminância. Isso diminuiu possíveis diferenças perceptuais de brilho entre o alvo e o fundo. Imagem adaptada de Mollon (2003).

Uma grande quantidade de testes visuais foram desenvolvidos usando o desenho pseudoisocromático, dentre eles estão os testes de: Stilling, Ishihara, Dvorine, Podestá, Hardy-Rand-Ritler, Rabkin, Yustova, Bostrom Kugelberg e vários outros. A Figura 3 mostra exemplos de estímulos pseudoisocromáticos usados em diferentes testes visuais.

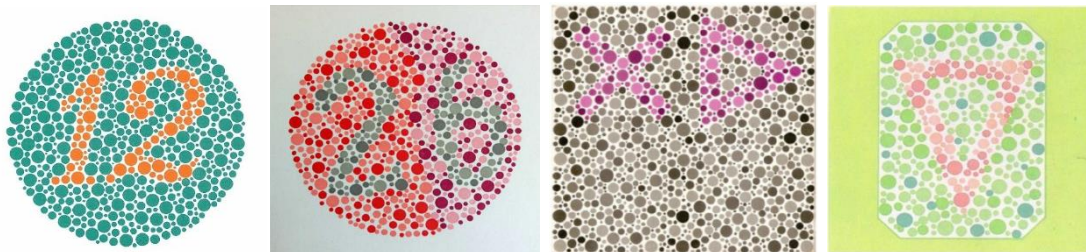


Figura 3. Exemplos de estímulos pseudoisocromáticos usados nos testes de Ishihara, Devorine, Hardy-Rand-Ritler e Podestá, respectivamente. Figuras retiradas da internet.

A maior aplicabilidade dos estímulos pseudoisocromáticos tem sido na identificação de perdas da visão de cores congênita ou adquirida (Reffin, Astell, & Mollon, 1991; Regan, Reffin, & Mollon, 1994) e durante a maior parte da história desde a sua criação esses testes foram apresentados de forma impressa em papel. No começo da década de 1990, o grupo de pesquisa do departamento de Psicologia Experimental da Universidade de Cambridge, Inglaterra, desenvolveu o primeiro teste computadorizado usando um desenho pseudoisocromático, o qual foi chamado de *Cambridge Colour Test* (Mollon & Reffin, 1989; Reffin, Astell, & Mollon, 1991; Regan, Reffin, & Mollon, 1994). A Figura 4 mostra um exemplo de estímulo utilizado no *Cambridge Colour Test*.

Em seguida, o grupo de pesquisa da City University de Londres, também lançou uma proposta de teste computadorizado para avaliação da visão de cores usando um mosaico com ruído espacial e temporal de luminância (Barbur, Birch, & Horlow, 1993). Ao longo dos anos, várias outros testes computadorizados usando estímulos pseudoisocromáticos para avaliar a visão de cores foram propostos (Mancuso, Neitz, & Neitz, 2006; Goulart et al., 2008; Goulart et al., 2013; Linhares et al., 2016).

Com a introdução dos estímulos pseudoisocromáticos em ambientes computadorizados, foi possível se modificar os diferentes parâmetros que compõem esses estímulos e estudar os efeitos dessas alterações sobre a percepção de cores. Os grupos de neurociência visual da

Universidade Federal do Pará e da Universidade de São Paulo vem sistematicamente investigando o papel das modificações do ruído de luminância sobre a discriminação de cores (Souza et al., 2014; Mendez et al., 2016; Loureiro et al., 2018).

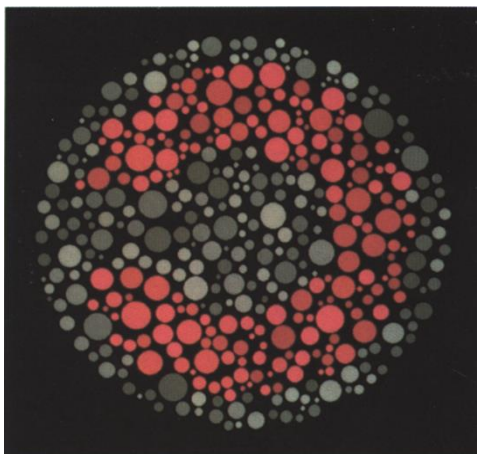


Figura 4. Exemplo de estímulo pseudoisocromático usado no *Cambridge Colour Test*. Neste teste, a saturação da cor é controlada pelo computador e o observador deve indicar para que lado está a abertura da letra C (alvo). O objetivo do teste é estimar os limiares de discriminação de cor do observador. Imagem adaptada de Regan et al. (1994).

Influência do ruído de luminância sobre a discriminação de cores usando estímulos pseudoisocromáticos

Diversos estudos têm investigado como a manipulação do ruído de luminância modifica a percepção limiar de cores usando os estímulos pseudoisocromáticos (Loureiro et al., 2018; Linhares et al., 2016; Mendez et al., 2016; Moreira, 2017; Souza et al., 2014). Estes estudos trouxeram contribuições relevantes nesta área e serão brevemente descritos a seguir.

O primeiro estudo a verificar os efeitos do ruído de luminância sobre a percepção limiar de cores foi realizado por Souza et al. (2014). Nesse estudo, foram avaliados os efeitos da manipulação do número de valores de luminância (nível de luminância) do ruído de luminância de estímulos pseudoisocromáticos sobre a discriminação de cores (Figura 5). Foram

apresentados aos sujeitos estímulos que continham diferentes número de níveis de luminância dentro da amplitude de luminância do ruído que era entre 8 a 18 cd/m². O número de níveis de luminância usados foram 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, e 16. Os resultados deste estudo demonstraram que quanto menores os números de níveis de luminância maior o limiar para a discriminação de cores e que, conforme a quantidade de níveis de luminância aumenta, menores se tornam os limiares de discriminação, embora esta melhora na discriminação tenha atingido estabilidade a partir do nível que continha seis valores. Os autores sugerem que em estímulos com menos números de níveis de luminância há uma quantidade maior de contrastes de luminância perceptíveis e que isso poderia piorar a percepção das cores.

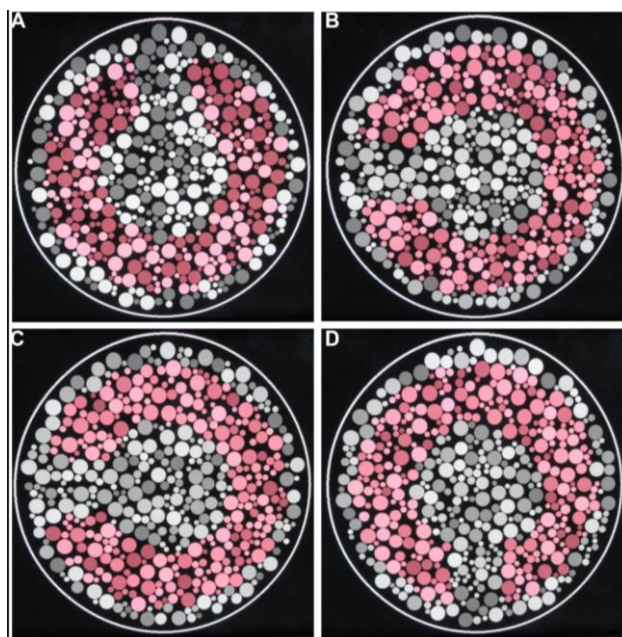


Figura 5. Estímulos pseudoisocromáticos usados em Souza et al. (2014). Em (A) há dois níveis de luminância no ruído. Em (B) há seis níveis de luminância no ruído. Em (C) há dez níveis de luminância no ruído. Em (D) há dezesseis níveis de luminância no ruído. Retirado de Souza et al. (2014).

Pesquisadores portugueses da Universidade do Minho compararam os efeitos do ruído temporal de luminância sobre a percepção limiar de cores de tricromatas normais e anômalos em Linhares et al. (2016) (Figura 6). Foram utilizados estímulos pseudoisocromáticos compostos por um alvo colorido, que se movimentava de um lado para o outro, em um fundo de cor diferente. Nesse experimento, o sujeito deveria acertar a direção do movimento do alvo. Duas condições foram apresentadas aos sujeitos: ruído de luminância estático, constante no tempo, e dinâmico, que muda continuamente no tempo (semelhante a um piscamento). Em ambas as condições o fundo e o alvo permaneciam visíveis por um segundo. Os resultados desse experimento apontaram que, para o sujeitos tricromatas normais, os ruídos de luminância estáticos ou dinâmicos não influenciavam significativamente na discriminação de cores. Já para os que possuíam anomalias, a discriminação foi aparentemente facilitadas pelo ruído dinâmico.

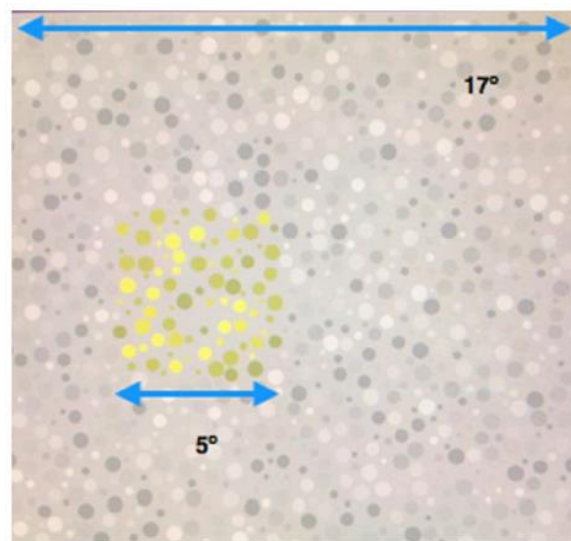


Figura 6. Estímulo usado em Linhares et al. (2016). Além do ruído espacial de luminância, neste estímulo havia variação temporal da luminância do ruído. Retirado de Linhares et al. (2016).

O trabalho em cooperação entre pesquisadores da Universidade Federal do Pará, Universidade de São Paulo e da Universidade Nacional de Tucumán, Argentina, buscou investigar os efeitos da modulação de contraste do ruído de luminância do estímulo sobre o

limiar e o tempo de reação em tarefas de discriminação de cores (Mendez et al., 2016). A luminância média do ruído de luminância do estímulo pseudoisocromático foi modificada de duas formas: (i) a diferença entre a luminância média do ruído e os limites superior e inferior do ruído eram mantidos constantes, no entanto o contraste entre esses valores era diminuído com o aumento da luminância média; (ii) o contraste entre o limite do ruído e a luminância média foi mantido constante com a modificação da luminância média, no entanto a diferença absoluta entre eles era aumentada com o aumento da luminância média. Foi avaliada a discriminação de cores para cada um dos protocolos de estimulação. Os resultados demonstram que em ambos os protocolos a discriminação de cores variava conforme as alterações de contraste do ruído de luminância, de forma que maiores contrastes prejudicavam o desempenho do sujeito.

A dissertação de Rodrigo Canto Moreira (2017) da Universidade Federal do Pará avaliou os efeitos da luminância de fundo do estímulo pseudoisocromático sobre a discriminação de cores de humanos. Nesse estudo, foram usadas cinco luminâncias de fundo do estímulo: 0 cd/m², 7,5 cd/m², 15 cd/m², 22,5 cd/m² e 30 cd/m² e ruído de luminância entre 5 e 35 cd/m². O alvo correspondia a um subconjunto de círculos, que pela diferença de cromaticidade em relação ao fundo, formavam a letra C, em oito eixos cromáticos. Esse estudo mostrou que os limiares de discriminação de cores variavam em função da modificação da luminância do fundo, e que esta variação se alterava conforme o eixo cromático. De uma forma geral, a discriminação de cores foi pior na condição com luminância de fundo de 0 cd/m², melhorando e estabilizando nas demais condições de estímulos.

O trabalho de Loureiro et al. (2018) investigou os efeitos da diminuição da amplitude entre os níveis de luminância apresentados em um mesmo estímulo sobre a discriminação de cores. Participaram da pesquisa 28 sujeitos, 10 dicromatas congênitos e 18 tricromatas. Quatro condições com diferentes amplitudes do ruído foram testadas: (i) entre 6-20 cd/m²; (ii) entre 8

e 18 cd/m^2 ; (iii) entre 10 e 16 cd/m^2 ; e (iv) entre 12 e 14 cd/m^2 , sendo cada uma composta por seis valores de luminância equidistantes na faixa de luminância (Figura 7). Neste estudo, foi averiguado que menores amplitudes de luminância facilitavam a discriminação de cores tanto dos tricromatas quando dos dicromatas. Também foi encontrado que a modificação do ruído de luminância influenciou mais a capacidade de discriminação de cores de dicromatas do que de tricromatas, especialmente nos eixos cromáticos que compõem a linha de confusão de protan e deutan.

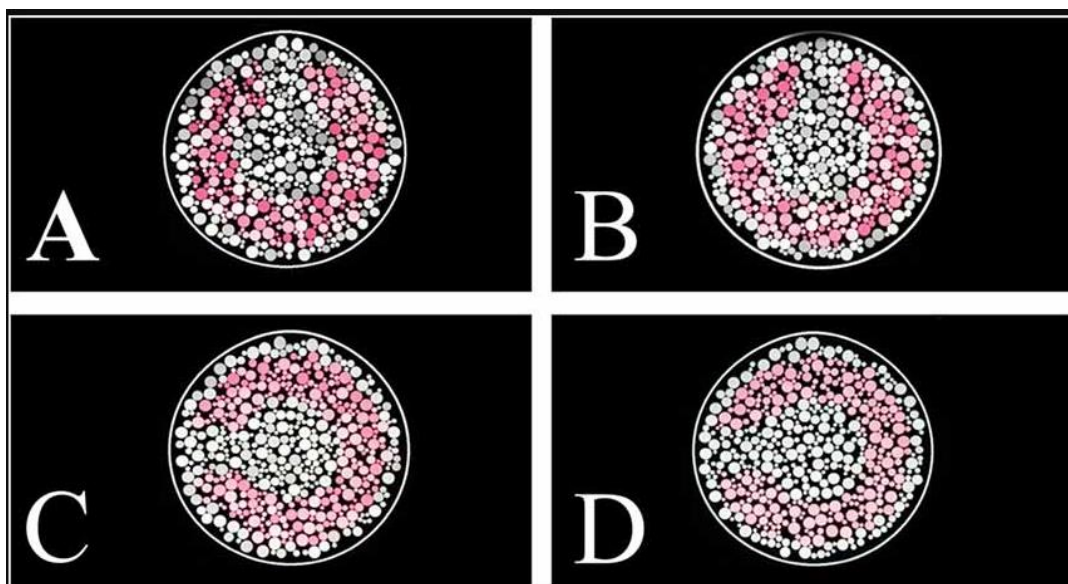


Figura 7. Estímulos usados em Loureiro et al. (2018). Os estímulos diferiam na amplitude do ruído de luminância: (A) Amplitude do ruído de 14 cd/m^2 (entre 6 - 20 cd/m^2); (B) Amplitude do ruído de 10 cd/m^2 (entre 8 e 18 cd/m^2); (C) Amplitude do ruído de 6 cd/m^2 (10 e 16 cd/m^2); (D) Amplitude do ruído de 2 cd/m^2 (entre 12 e 14 cd/m^2). Retirado de Loureiro et al. (2018).

Como descrito anteriormente, os estímulos pseudoisocromáticos tem sido amplamente utilizados em testes de visão de cores e, como mostram os resultados dos estudos citados, a manipulação das configurações destes estímulos geram alterações na percepção de cores. No entanto, ainda se sabe pouco sobre os substratos neurofisiológicos das modificações perceptuais entre o ruído de luminância e a discriminação de cores observada no desempenho

dos sujeitos. Uma forma de aprofundar as investigações dos efeitos das manipulações destas configurações seria por meio da eletrofisiologia visual, uma vez que já se sabe que estes estímulos podem gerar respostas corticais específicas para mecanismos cromáticos. A próxima sessão descreve brevemente os resultados do estudo que se propôs a investigar estas respostas, destacando os pontos mais relevantes para realização do atual trabalho.

Respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos

O estudo eletrofisiológico não invasivo da visão de cores é classicamente realizado através do registro do potencial cortical provocado visual (VECP¹) gerado por redes senoidais cromáticas apresentadas no padrão onset-offset (Carden, Kulikowski, Murray, & Parry, 1985). Este registro fornece uma representação da ativação das células do córtex visual primário que ocorrem enquanto um sujeito é exposto a determinado estímulo (Gerth, Delahunt, Crognale & Werner, 2003). A resposta eletrofisiológica provocada pelas redes senoidais cromáticas tem como característica a apresentação de uma polaridade negativa, denominada N1, que ocorre em torno de 100 ms após a exposição ao estímulo (Carden et al., 1985; Rabin, Switkes, Crognale, Schneck & Adams; 1994; Porciacci & Sartucci, 1999; Suttle & Harding, 1999; Gomes et al., 2006; 2008; 2010; Souza et al., 2008). Além da polaridade negativa, tem sido observado que duas polaridades positivas, denominadas P1 e P2, também ocorrem consistentemente em resposta a estes estímulos, aparecendo por volta de 70 e 230 ms, respectivamente. Não se sabe exatamente que parâmetros do estímulos provocam essas deflexões. A Figura 8 mostra um exemplo de registro de resposta cortical para apresentação de redes cromáticas isoluminantes.

¹ VECP é a sigla em inglês para *Visual Evoked Cortical Potential*, que traduzido para o português significa Potencial Cortical Provocado Visual, também denominado, por alguns autores na literatura científica, de Potencial Evocado Visual.

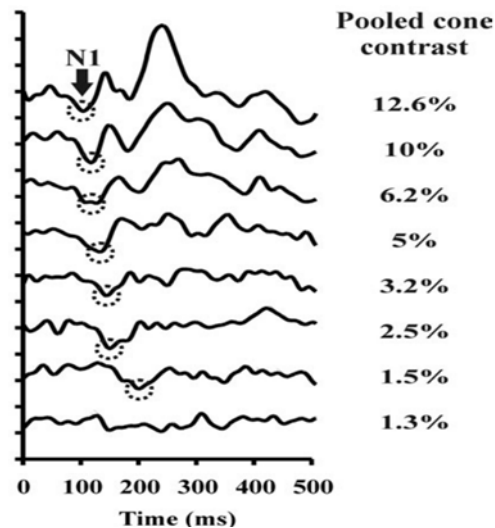


Figura 8. Respostas corticais provocados por estímulos cromáticos isoluminantes. Cada forma de onda foi gerada por redes cromáticas com diferentes contrastes; quanto maior o contraste, maior a amplitude do componente N1. Adaptado de Souza et al. (2008).

Um dos pré-requisitos para a realização dos registros eletrofisiológicos para o contraste de cor em redes senoidais é a realização de um protocolo psicofísico para a equalização de luminância entre os diferentes componentes de cor das redes senoidais, chamado de fotometria com *flicker* heterocromático - HFP (Gomes et al., 2006). A percepção de diferença de brilho entre os componentes cromáticos das redes senoidais ocorre devido às diferentes distribuições de tipos de fotorreceptores na retina. Neste protocolo psicofísico são mostradas as redes cromáticas em alta frequência temporal próxima a resolução temporal do sistema cromático e é possível detectar um piscamento dependente unicamente da diferença de brilho. O observador controla a diferença de brilho e indica a condição de estimulação cujo o piscamento é mínimo ou ausente (condição de isoluminância perceptual).

A necessidade da realização do protocolo psicofísico para encontrar a isoluminância perceptual torna o procedimento para obter respostas eletrofisiológicas específicas para mecanismos oponentes em cor mais longo e possivelmente cansativo para a pessoa testada.

Além disso, pessoas com dificuldade de compreender comandos teriam dificuldade de realizar o procedimento psicofísico.

O trabalho de Raílson da Cruz Salomão e colegas da Universidade Federal do Pará (Salomão et al., 2019) propôs uma alternativa ao uso de redes senoidais cromáticas para obter respostas corticais específicas para mecanismo cromático. Nesse trabalho, as respostas corticais cromáticas obtidas a partir de redes senoidais isoluminantes foram comparadas às respostas provocadas por redes pseudoisocromáticas. O uso de estímulo pseudoisocromático não requer procedimento adicional para isolar os mecanismos de cores. O estímulo pseudoisocromático já tem intrinsicamente um ruído espacial de tamanho e luminância que impede que a discriminação entre o alvo e o fundo ocorra por outras pistas que não sejam as cromáticas.

Além disso, Salomão et al. (2019) também investigaram se os estímulos pseudoisocromáticos gerariam ou não respostas corticais em sujeitos daltônicos. Participaram da pesquisa 11 sujeitos tricomas normais e um daltônico congênito. Os resultados mostraram que as respostas corticais para redes pseudoisocromáticas eram equivalentes em forma de onda, amplitude e latência às respostas corticais geradas pelas redes senoidais cromáticas isoluminantes. Também foi averiguado que o indivíduo daltônico apresentou VECPs pequenos ou ausentes perante os estímulos, enquanto que para os tricomas normais, os VECPs foram robustos. Assim, a principal conclusão foi que o estímulo pseudoisocromático gera VECPs semelhantes aos gerados pelas redes senoidais cromáticas, podendo ser uma alternativa ao uso destas, já que não é necessário realizar testes psicofísicos antes para equalizar o brilho das redes. A Figura 9 representa as formas de onda resultantes desses experimentos.

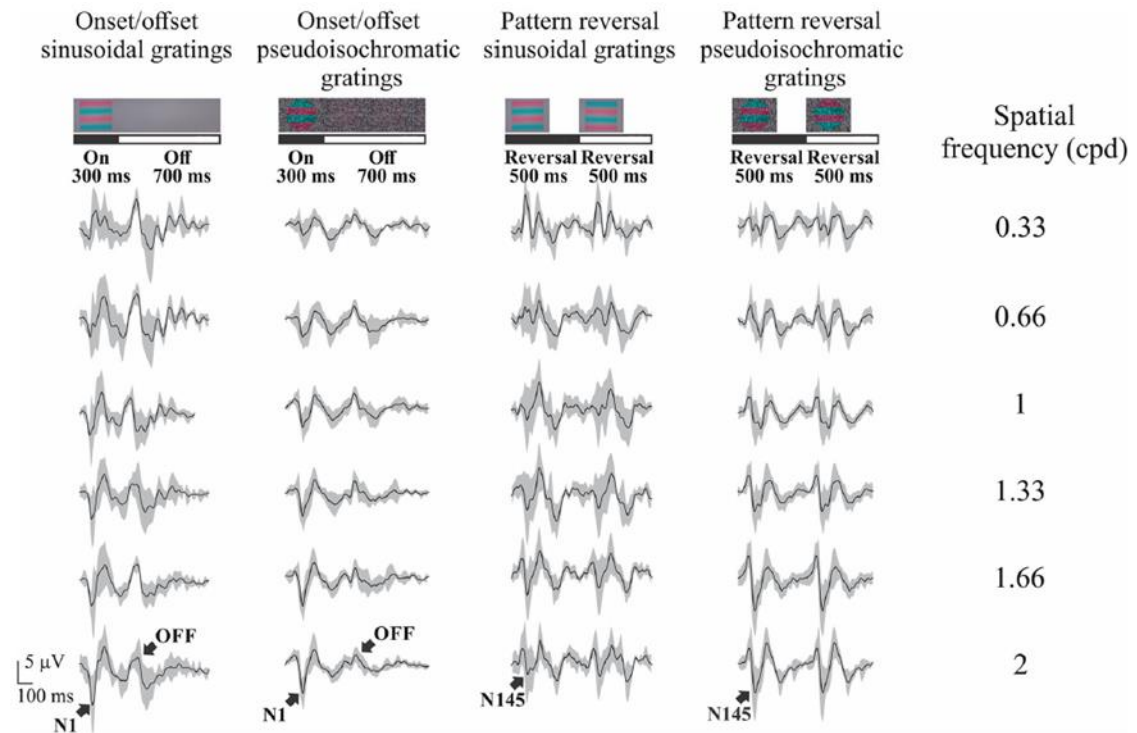


Figura 9. Comparação das respostas corticais provocadas por redes senoidais cromáticas e por estímulos pseudoisocromáticos em diferentes frequências espaciais. Adaptado de Salomão et al. (2019).

Justificativa

Estímulos pseudoisocromáticos podem ser usados para gerar respostas corticais específicas para mecanismos de cores. Por meio de seu uso, podemos investigar os substratos eletrofisiológicos das modificações perceptuais entre o ruído de luminância e a discriminação de cores observada na psicofísica visual (Souza et al., 2014; Mendez et al., 2016; Linhares et al., 2016; Loureiro et al., 2018). Nesta dissertação será investigado se as modificações do ruído de luminância modificam as respostas corticais de cor geradas por estímulos pseudoisocromáticos. Caso a alteração das respostas corticais seja observada pela modificação do ruído de luminância, poderá se sugerir que os mecanismos de inibição da discriminação de cor mediados pelo ruído de luminância já ocorrem em níveis de processamento tão iniciais como o córtex visual primário; caso não sejam observadas mudanças nas respostas corticais

pela modificação do ruído de luminância, pode-se inferir que a influência do ruído de luminância sobre a discriminação de cor deve ocorrer em níveis corticais superiores.

Objetivos

Geral

Avaliar a influência de modificação do ruído de luminância sobre respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos

Específicos

Avaliar a influência da modificação da amplitude do ruído de luminância sobre as respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos.

Avaliar a influência da alteração do número de níveis de luminância sobre as respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos.

Método

Desenho experimental

Esta pesquisa é um estudo observacional transversal para avaliar os efeitos da modificação do ruído de luminância sobre as respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos.

Aspectos éticos

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará, protocolo #991.803 (ANEXO 1). Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE- Apêndice A), que continha informações gerais sobre o experimento e sobre seu caráter voluntário, explicitando a possibilidade de eles deixarem de participar da pesquisa, a qualquer momento, sem ônus algum. Também estavam descritos os riscos e benefícios da pesquisa e os

cuidados tomados quanto à questão do sigilo. A assinatura do documento indicou concordância com os termos e condições da pesquisa.

Participantes

A amostra foi composta por 16 participantes tricromatas saudáveis, com idade entre 24 e 36 anos ($26,5 \pm 3,4$ anos), sendo nove mulheres e sete homens. Nenhum participante apresentava histórico de condições de saúde que pudessem produzir alterações nos dados eletrofisiológicos (p. ex. epilepsia) ou na percepção visual de cor.

Ambiente experimental e equipamentos

O sistema usado para os experimentos foi composto pelo Sistema ViSaGe (sistema de estimulação visual) e o sistema CED de registro eletrofisiológico. O sistema ViSaGe (Cambridge Research System, CRS, Rochester, Reino Unido) foi controlado por um microcomputador para geração dos estímulos visuais através de linguagem de programação MATLAB (R2017b, Mathworks, MA, EUA) e uso da *CRS toolbox for Matlab* (CRS). O sistema ViSaGe controlou a apresentação de estimulação visual em um monitor colorido 21'' (resolução espacial de 800 x 600 pixel, resolução temporal de 120 Hz, resolução de cores de 14 bits por canhão, modelo Mitsubishi Diamond Pro 2070SB, Mitsubishi, Tóquio, Japão). O monitor teve a luminância de cada canhão linearizada através do programa de computador *vsgDesktop* (CRS) e colorímetro *ColorCal II* (CRS).

Os estímulos foram mosaicos de círculos que cobriam toda a tela do monitor. Um subconjunto de círculos cujas cromaticidades (CIE1976: vermelho, $u' = 0,267$, $v' = 0,469$; verde, $u' = 0,129$, $v' = 0,469$) eram diferentes da cromaticidade do campo do estímulo (CIE1976: $u' = 0,1977$, $v' = 0,469$) e formavam uma rede horizontal verde-vermelha com diâmetro de $7,25^\circ$. O mosaico foi composto por 2448 círculos que variavam em tamanho e luminância. A frequência espacial da rede cromática pseudoisocromática foi de 2 cpg. Esta frequência espacial foi usada porque foi mostrado no estudo de Salomão et al. (2019) que ela

gerava respostas corticais com maior amplitude que outras frequências espaciais na faixa entre 0,33 e 2 cpg. O estímulo foi apresentado com 300 ms de aparecimento e 700 ms de desaparecimento (modo *onset-offset*). Dois experimentos testaram duas diferentes formas de manipulação do ruído de luminância, mantendo-se a luminância média (15 cd/m²) do estímulo em todas as condições:

- (i) No primeiro experimento, foram testados 16 participantes da amostra. Nele, houve variação da amplitude de luminância entre as condições, mantendo-se o número de níveis de luminância constante (cinco níveis). A Tabela 1 apresenta a amplitude de luminância e as luminâncias mínima e máxima em cada condição.

Tabela 1. Amplitude de luminância, máxima e mínima luminância em cada uma das condições do primeiro experimento.

Amplitude	Máxima Luminância	Mínima Luminância
20 cd/m ²	25 cd/m ²	5 cd/m ²
12 cd/m ²	21 cd/m ²	9 cd/m ²
4 cd/m ²	17 cd/m ²	13 cd/m ²
1 cd/m ²	15,5 cd/m ²	14,5 cd/m ²

- (ii) No segundo experimento, foram testados sete participantes da amostra². Houve variação do nível de luminância entre as condições, mantendo-se a amplitude de luminância em 20 cd/m². A Tabela 2 apresenta o número de níveis de luminância e os respectivos valores presentes em cada condição.

² Neste segundo experimento a amostra foi menor devido a coleta de dado ainda estar em andamento, o objetivo é que, quando concluída a coleta, a quantidade de sujeitos testados em cada experimento seja igual.

Tabela 2. Níveis de luminância apresentados em cada uma das condições do segundo experimento.

Níveis	Valores de Luminância (cd/m ²)
2 níveis	5 e 25
5 níveis	5, 10, 15, 20, 25
11 níveis	5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23 e 25

A Figura 10 mostra exemplos de estímulos do primeiro experimento, no qual foi mantido o número de níveis de luminância (5 níveis) e foi modificada a amplitude do ruído de luminância entre as condições. A Figura 11 mostra exemplos de estímulos do segundo experimento, no qual foi mantida a amplitude do ruído de luminância (amplitude de 20 cd/m²) e foram modificados os valores dos níveis de luminância do ruído.

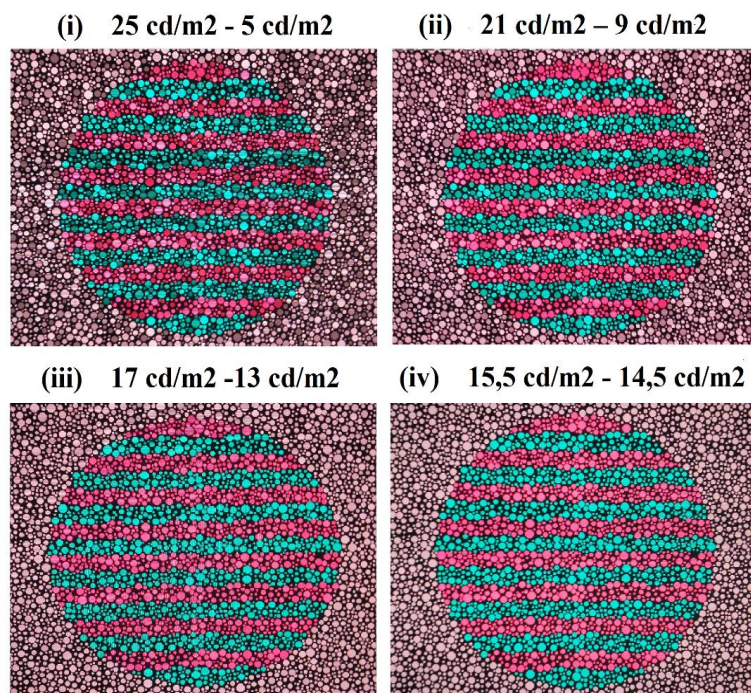


Figura 10. Exemplos de estímulos utilizados no primeiro experimento. Sobre cada estímulo está descrito os limites do ruído de luminância usados nele. Em todos os estímulos foi mantida a luminância média (15 cd/m²) e o número de níveis de luminância do ruído (cinco níveis).

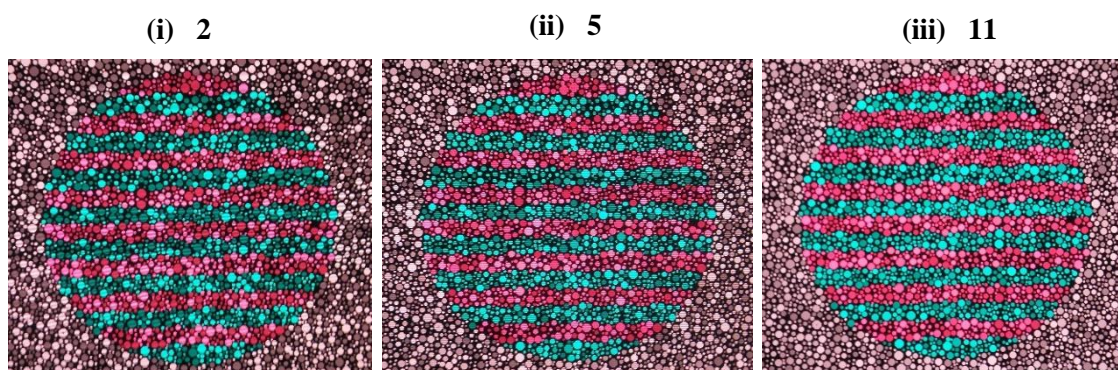


Figura 11. Exemplos de estímulos utilizados no segundo experimento. Sobre cada estímulo está descrito o número de níveis de ruído contidos nele. Em todos os estímulos foi mantida a luminância média (15 cd/m^2) e a amplitude da luminância (20 cd/m^2).

A atividade cortical foi registrada por eletródios de superfície de ouro posicionados na cabeça do participante em três posições: Oz (ativo), Fpz (referência) e Fz (terra). Os dois primeiros compuseram a unidade funcional de registro que capta a atividade elétrica do cérebro enquanto o participante visualiza os estímulos. O terceiro era o responsável pelo aterramento do sujeito. O sinal analógico captado pelo eletródios foi conduzido a um amplificador diferencial (modelo CED 1902-11/2, Cambridge Electronic Design, CED, Cambridge, Reino Unido) que amplificava a diferença de voltagem entre eletródios do canal de registro (ativo e de referência) em 50000 vezes. Este sinal, já amplificado, foi conduzido para a placa conversora de dados analógicos em dados digitais (modelo Micro 3, CED) para que os dados resultantes pudessem ser digitalizados em uma frequência de amostragem de 1000 Hz e filtrado entre 0,1 e 100 Hz e, posteriormente, fossem registrados e armazenados no microcomputador. O programa Spike 2 (versão 27.10, CED) foi usado para realizar os registros eletroencefalográficos.

A coleta dos dados ocorreu no Laboratório de Neurologia Tropical do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará. O participante sentou-se confortavelmente a 1,5 m de distância em uma cadeira na frente do monitor. Em seguida, 3 eletródios foram

acoplados sobre seu couro cabeludo. A tarefa consistiu na apresentação de cada estímulo uma única vez ao participante, o qual ele deveria observar durante 3 minutos, totalizando 180 varreduras de 1 s. A luz da sala de teste foi apagada durante os registros eletrofisiológicos. Havia um intervalo de aproximadamente um minuto entre a apresentação de um estímulo e outro, que teve a finalidade de evitar o prejuízo no desempenho em decorrência de cansaço ou adaptação visual. A Figura 12 mostra um esquema da sequência dos procedimentos e equipamentos envolvidos no registro do potencial cortical provocado visual (VECP).

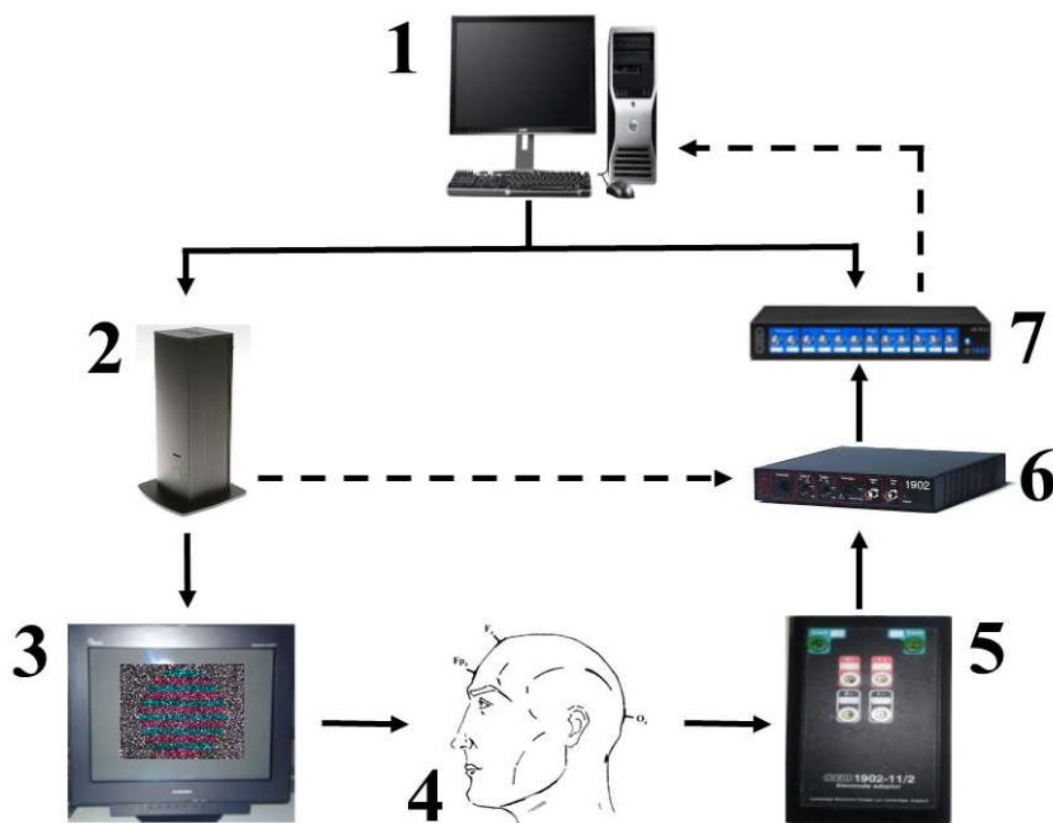


Figura 12. Esquema representativo do fluxo de registro de potenciais corticais provocados visuais (VECP): 1) Microcomputador responsável pela geração dos estímulos e aquisição dos dados; 2) Placa gráfica responsável pela geração dos estímulos; 3) Monitor em que eram exibidos os estímulos; 4) Representação do participante, com os eletrodos sobre o couro

cabeludo; 5) Caixa receptora de eletródios; 6) Amplificador diferencial; 7) Placa conversora analógica digital. Imagem adaptada de Salomão (2015).

Análise de dados

Para ambos os experimentos foi analisada a amplitude e latência dos componentes P1, N1 e P2 da resposta cortical para o contraste de cor do estímulo pseudoisocromático. A amplitude da resposta foi medida entre a linha de base e pico de amplitude do componente negativo (N1) esperado em torno de 120 ms e dos componentes positivos (P1 e P2) esperados em torno de 70 ms e 230 ms, respectivamente. A linha de base foi calculada a partir da média dos primeiros 10 ms do registro. As latências dos componentes foi o tempo entre o aparecimento do estímulo e o pico de amplitude de cada componente.

Foi realizado um teste ANOVA de um critério para avaliar o efeito da amplitude do ruído de luminância sobre a amplitude ou a latência dos componentes da resposta cortical provocada pelo contraste de cor do estímulo pseudoisocromático. Foi realizado também um teste ANOVA de um critério para avaliar o efeito do número de níveis de luminância do ruído do estímulo pseudoisocromático sobre a amplitude e latência dos componentes da resposta cortical provocada pelo contraste de cor.

Resultados

Efeitos da variação da amplitude de luminância do ruído do estímulo pseudoisocromático sobre a resposta cortical provocada visual cromática (Primeiro experimento)

A forma de onda encontrada para todas as condições de estimulação foi caracterizada pela presença de três componentes: positivo (P1) – negativo (N1) – positivo (P2). As formas de ondas médias provocadas para cada condição de estimulação são mostradas na Figura 13.

As amplitudes e latências médias dos componentes do VECP para as condições de estimulação com diferentes amplitudes de luminância do ruído do estímulo pseudoisocromático são mostradas na Tabela 3.

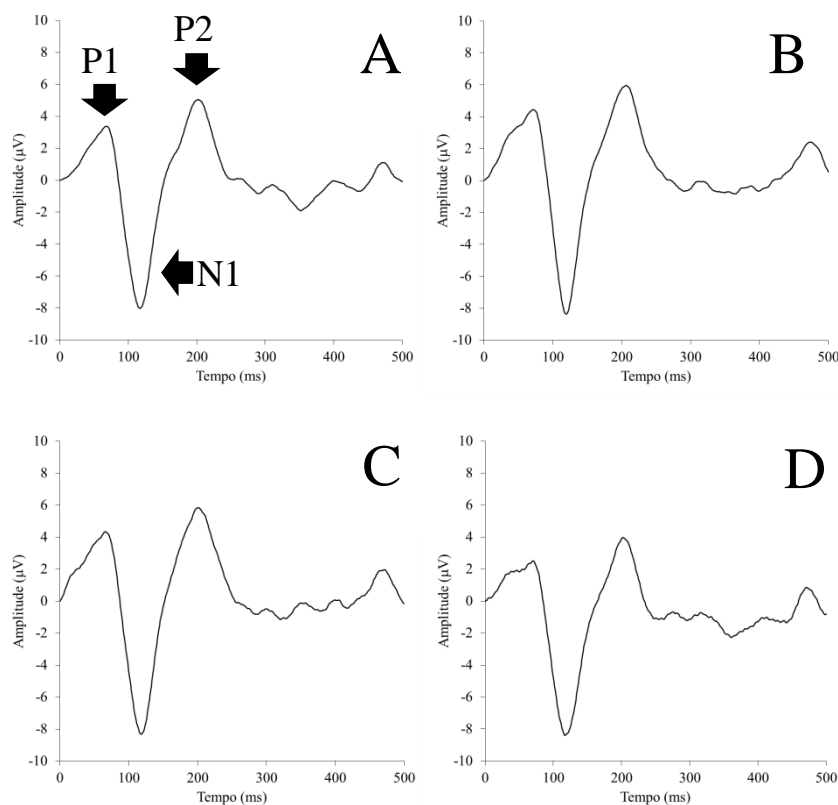


Figura 13. Forma de onda média ($n = 16$) dos participantes para as condições de amplitude de luminância do ruído de 20 cd/m^2 (A), 12 cd/m^2 (B), 4 cd/m^2 (C) e 1 cd/m^2 (D). Os componentes P1, N1 e P2 (indicados pelas setas) da resposta para o aparecimento do contraste cromático do estímulo foram encontrados em todos os sujeitos.

Tabela 3. Média e desvio padrão das amplitudes e latências dos componentes P1, N1 e P2 em cada condição de estimulação.

Condição	P1		N1		P2	
	Amplitude (μV)	Latência (ms)	Amplitude (μV)	Latência (ms)	Amplitude (μV)	Latência (ms)
20 cd/m ²	5 \pm 2,7	66,3 \pm 12,9	9,8 \pm 5,8	120,1 \pm 11,5	6,9 \pm 5,6	200,1 \pm 26
12 cd/m ²	5,7 \pm 3,5	64,6 \pm 12,2	9,3 \pm 7,5	121,8 \pm 13,3	7,8 \pm 6,8	214,1 \pm 40,7
4 cd/m ²	5,4 \pm 3,6	59,9 \pm 16,9	9,1 \pm 6,6	121 \pm 11,8	7,2 \pm 4,8	200,9 \pm 26,6
1 cd/m ²	4,1 \pm 3	56,5 \pm 19,8	10,1 \pm 6,1	121 \pm 12,3	6,2 \pm 6,6	204,8 \pm 35,6

Não houve efeito significativo da modificação da amplitude de luminância do ruído do estímulo sobre a amplitude dos componentes P1 ($F[3,60] = 0,6452$, $p = 0,5929$), N1 ($F[3,60] = 0,0744$, $p = 0,97$) e P2 ($F[3,60] = 0,5183$, $p = 0,67655$). O mesmo aconteceu com as latências, não houve efeito da modificação da amplitude de luminância sobre a latência dos componentes P1 ($F[3,60] = 1,0987$, $p = 0,3578$), N1 ($F[3,60] = 0,0509$, $p = 0,98$) e P2 ($F[3,60] = 1,0384$, $p = 0,3831$).

Efeitos da variação do número de níveis de luminância do ruído do estímulo pseudoisocromático sobre a resposta cortical provocada visual cromática (Segundo experimento)

A forma de onda encontrada para todas as condições de estimulação, assim como no primeiro experimento, foi dominada pela presença de um componente negativo (N1) com pico em torno de 120 ms. As formas de ondas médias provocadas para cada condição de estimulação são mostradas na Figura 14.

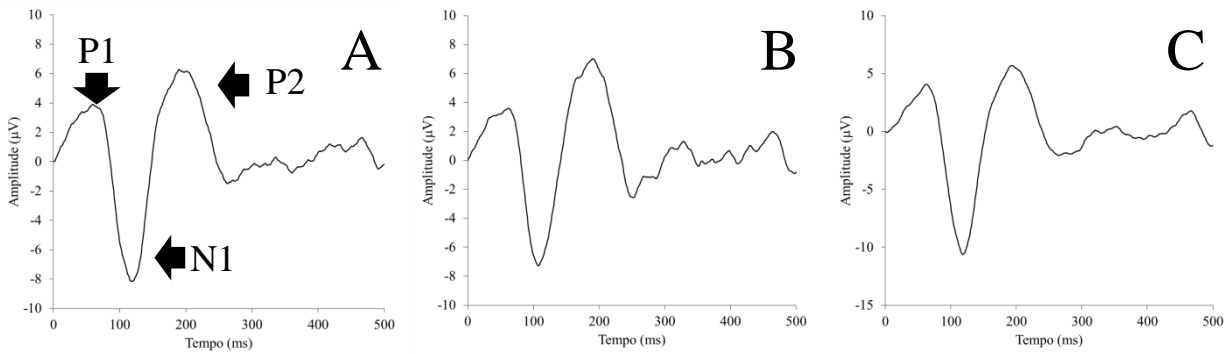


Figura 14. Forma de onda média ($n = 7$) dos participantes para as condições de 2 níveis (A), 5 níveis (B) e 11 níveis (C) de luminância do ruído. Os componentes P1, N1 e P2 (indicados pela seta) da resposta para o aparecimento do contraste cromático do estímulo foram encontrados em todos os sujeitos.

As amplitudes e latências médias dos componentes da resposta cortical para as condições de estimulação com diferentes níveis de luminância do ruído do estímulo pseudoisocromático são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4. Média e desvio padrão das amplitudes e latências dos componentes da resposta cortical em cada condição de estimulação com diferentes níveis de luminância.

Nível	P1		N1		P2	
	Amplitude (μV)	Latência (ms)	Amplitude (μV)	Latência (ms)	Amplitude (μV)	Latência (ms)
2	$5 \pm 2,1$	$58,9 \pm 16,5$	$10,8 \pm 9,8$	$125,9 \pm 13,9$	$8,1 \pm 5,7$	$214,6 \pm 35,8$
5	$4,6 \pm 2,5$	$52,8 \pm 16,9$	$9,9 \pm 6$	$119,7 \pm 15,3$	$8,4 \pm 7,3$	$193,4 \pm 25,3$
11	$4,2 \pm 2,6$	$62,1 \pm 3,6$	12 ± 7	$123,6 \pm 12,5$	$6,9 \pm 6,9$	$202,2 \pm 13,1$

Não houve efeito significativo da alteração do número de níveis de luminância do ruído do estímulo sobre a amplitude dos componentes P1 ($F[2,18] = 0,1847$, $p = 0,8339$), N1 ($F[2,18] = 0,121$, $p = 0,89$) e P2 ($F[2,18] = 0,1057$, $p = 0,8998$). Assim como aconteceu no primeiro

experimento, não foi observado efeito significativo da modificação do nível de luminância sobre a latência dos componentes P1 ($F[2,18] = 0,8327$, $p = 0,5457$), N1 ($F[2,18] = 0,347$, $p = 0,71$) e P2 ($F[2,18] = 1,1412$, $p = 0,3423$).

Discussão

As respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos foram primeiramente estudadas na dissertação de mestrado de Raíson da Cruz Salomão realizada na Universidade Federal do Pará (Salomão, 2015; Salomão et al., 2019). Esse trabalho mostrou que as repostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos eram semelhantes a respostas provocadas por redes senoidais cromáticas em tricomas saudáveis e que estas respostas eram ausentes em sujeitos dicromatas. A presente dissertação buscou dar continuidade às investigações de respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos e testar paradigmas experimentais que tem mostrado efeito sobre as respostas psicofísicas para estimulação pseudoisocromática.

O principal resultado da atual dissertação foi mostrar que manipulações de parâmetros do ruído de luminância de estímulos pseudoisocromáticos não produziram efeitos significativos sobre as respostas corticais provocadas por estes estímulos. Foi observado que as modificações do número de níveis e das amplitudes de luminância do ruído geraram respostas corticais semelhantes.

Uma possível explicação para a ausência de efeito da modificação do ruído de luminância sobre a resposta cortical cromática decorreria do fato de o tipo de contraste de luminância presente nos estímulos pseudoisocromáticos ser complexo, contendo uma grande faixa de contraste e distribuição não uniforme destes contrastes, semelhantemente ao que ocorre em imagens naturais. Estudos têm mostrado que neurônios individuais no córtex visual primário não são bons preditores do contraste de imagens naturais (Movshon & Simoncelli,

2014; Weliky, Fiser, Hunt, & Wagner, 2003), apesar de que a resposta resultante da atividade integrada de diferentes locais de V1 podem ser fortemente relacionadas à estrutura de contraste local da imagem natural. Como o potencial cortical provocado visual representa uma atividade cortical espacialmente localizada, menor seria a chance de encontrar correlatos eletrofisiológicos com a detecção global do contraste não homogêneo dos estímulos pseudoisocromáticos. Assim, é possível que a integração dos sinais globais oriundos de V1 ocorra em áreas corticais superiores a ele, como sugerem Movshon e Simoncelli (2014), ao descreverem diversos estudos que mostraram que respostas dos neurônios de V1 são insensíveis a informações de padrões mais complexos de percepção visual, enquanto que este tipo de estímulos tiveram efeitos de ativação robustos em células da área V2 do córtex, o que, segundo os autores, indica que haja uma integração, em vias superiores do processamento visual, das informações elementares de cenas visuais naturais recebidas por V1.

Faz-se necessário também ponderar sobre as diferenças entre os resultados psicofísicos dos estudos de Souza et al. (2014) e Loureiro et al. (2018) em relação aos eletrofisiológicos mostrados na presente dissertação. O estudo de Souza et al. (2014), que objetivou avaliar o efeito da variação dos números de níveis de luminância do ruído de luminância de estímulos pseudoisocromáticos sobre a discriminação limiar de cores de sujeitos com visão normal, teve como principal achado que quanto menor o número de níveis de ruído de luminância maior o limiar de discriminação de cores dos sujeitos. Já o estudo de Loureiro et al. (2018), que investigou os efeitos da diminuição da amplitude do ruído de luminância de estímulos pseudoisocromáticos sobre a discriminação de cores em sujeitos dicromatas congênitos e tricromatas normais, constatou que menores amplitudes de luminância do ruído favorecem o desempenho dos sujeitos nas tarefas de discriminação de cores. Na presente dissertação, também foram testados estes paradigmas para avaliar os efeitos da modificação dos números de níveis de luminância e da amplitude do ruído de luminância sobre as respostas cortical

provocada por estímulo pseudoisocromático. Ao comparar os resultados, pode-se observar que, ainda que as alterações em parâmetros do estímulos impliquem em mudanças na resposta psicofísica como demonstrado pelos estudos citados, não há modificações equivalentes nas respostas corticais.

A ausência deste efeito sobre a resposta cortical provocada visual pode ser um indicador de que o córtex visual primário e as vias neurais anteriores a ele não estão envolvidos no mecanismo de interação de cor e luminância que modificam as respostas psicofísicas de percepção de cor. O que sugere que essas interações devem ocorrer em níveis corticais superiores ao córtex visual primário e devem envolver, não apenas componentes sensoriais, mas também redes corticais relacionadas a processamentos mais complexos, como os envolvidos com respostas de atenção. Neste caso, uma possível interpretação seria que as modificações do ruído levam a percepção de distratores de contrastes de luminância na cena visual o que deve diminuir nossa atenção para o estímulo cromático e piorar o desempenho nas tarefas psicofísicas.

O estudo de Highsmith e Crognale (2010), que assim como no presente estudo utilizou estímulos com contraste cromático e VECP, mostrou que as respostas transientes para redes senoidais cromáticas não eram afetadas quando a atenção visual do observador era dividida durante apresentação espacialmente contígua do estímulo gerador da resposta cortical e estímulos distratores. No presente estudo, foi avaliado o efeito das manipulações do ruído de luminância sobre componentes iniciais e tardios da resposta cortical provocada visual. Em ambos os tipos de componentes não foi observado efeito significativo sobre as latências e a amplitudes. Estes resultados sugerem que, ainda que o ruído funcione como distrator, a resposta cortical transiente para o aparecimento do contraste de cor não é afetada pela perda de atenção.

Entender o quanto as respostas atencionais podem ter efeitos em desempenhos psicofísicos de discriminação de cores, bem como em seus componentes corticais, é de suma

relevância do ponto de vista prático, uma vez que podem ter implicações no modo como os estímulos serão manuseados em intervenções e testes e, em última instância, no desempenho dos sujeitos.

Por fim, deve-se considerar que as comparações aqui realizadas possuem limitações decorrentes das diferenças existentes entre o atual estudo e os estudos da psicofísica. As matizes utilizadas, as características dos sujeitos, os tipos de tarefas realizadas são diferenças importantes que devem ser levadas em consideração.

Explicações mais conclusivas sobre o que de fato explica essa ausência de efeito do ruído de luminância sobre as respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos ainda são necessárias. Outras questões ainda podem ser investigadas, como por exemplo: outras manipulações de parâmetros do ruído gerariam o mesmo efeito? Os resultados são restritos ao padrão onset-offset ou estímulos utilizando padrão reverso mostrariam resultados semelhantes? Quais resultados teríamos se usássemos outras medidas, como a ressonância magnética funcional? Estas questões além de trazerem novas reflexões poderiam esclarecer os resultados do presente estudo.

Conclusão

Esta dissertação visou avaliar a influência de modificação do ruído de luminância sobre respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos. Os dados obtidos aqui possibilitaram avaliar esta influência, bem como realizar um detalhamento das características destas respostas. Os resultados deste trabalho indicam a insensibilidade da resposta cortical às mudanças nos parâmetros de estímulos pseudoisocromáticos. Essa descoberta aumenta a utilidade desse tipo de medida para a avaliação da visão de cores, pois, independentemente de parâmetros adotados por diferentes pesquisadores e laboratórios, as respostas corticais encontradas serão semelhantes.

Referências

- Barbur, J. L., Birch, J., & Horlow, J. A. (1993). Colour vision testing using spatiotemporal luminance masking. In Drum, B (Ed.). *Colour vision deficiencies XI*, 417-426. Dordrecht: Kluwer.
- Carden, D.; Kulikowski, J. J.; Murray, I. J., & Parry, N. R. A. (1985). Human occipital potentials evoked by the onset of equiluminant chromatic gratings. *Journal Physiology*, 344-369.
- Di Russo, F., Martinez, A., & Hillyard, S. A. (2003). Source analysis of event-related cortical activity during visuo-spatial attention. *Cerebral Cortex*, 13, 486–499. doi:10.1093/cercor/13.5.486
- Gerth, C., Delahunt, B. P., Crognale, M. A., & Werner, J. S. (2003). Topografia do VEP de início de padrão cromático. *Journal of Vision*, 3(5), 171-182. doi: 10.1167 / 3.2.5
- Gomes, B. D., Souza, G. S., Rodrigues, A. R., Saito, C. A., Silveira, L. C. L., & da Silva Filho, M. (2006). Normal a dichromatic color discrimination measured with transient visual evoked potential. *Visual Neuroscience*, 23, 617–627.
- Gomes, B. D., Souza, G. S., Lima, M. G., Rodrigues, A. R., Saito, C. A., da Silva Filho, M., & Silveira, L. C. (2008). Color discrimination ellipses of trichromats measured with transient and steady state visual evoked potentials. *Visual Neuroscience*, 3, 333-9.
- Gomes, B. D., Souza, G. S., Saito C. A., da Silva Filho M., Rodrigues A. R., Ventura D. F., & Silveira, L. C. (2010). Cone contrast influence on components of the pattern onset/offset VECP. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 30, 518–524.
- Goulart, P. R., Bandeira, M. L., Tsubota, D., Oiwa, N. N., Costa, M. F., & Ventura, D. F. (2008). A computer-controlled color vision test for children based on the Cambridge Colour Test. *Visual Neuroscience*, 25(3), 445.

- Goulart, P. R. K., Bonci, D. M. O., Galvão, O. F., Silveira, L. C. L., & Ventura, D. F. (2013). Color Discrimination in the Tufted Capuchin Monkey, *Sapajus* spp. *Plos One*, 8(4), e62255.
- Linhares, J. M., João, C. A.; Silva, E. D., de Almeida, V. M., Santos, J. L., Alvaro, L., & Nascimento, S. M. (2016). Assessing the effects of dynamic luminance contrast noise masking on a color discrimination task. *Journal of the Optical Society of America A*, 33(3), A178–A183. doi: 10.1364/JOSAA.33.00A178
- Loureiro, T. M. G., Brodeur, K., Shade, G., Brito, F. A. C., Salomão, R. C., Miquilini, R., Moci, 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. (2018). Effect of the Decrease in Luminance Noise Range on Color Discrimination of Dichromats and Trichromats. *Front Behavioral Neurociencia*, 12, 292. doi: 10.3389/fnbeh.2018.00292
- Mancuso, K., Neitz, M., & Neitz, J. (2006) An adaptation of the Cambridge Colour Test for use with animals. *Visual Neuroscience*, 23(3-4), 695-701. doi: 10.1017/S0952523806233364
- Méndez, C. 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., (2016). Color discrimination is affected by modulation of luminance noise in pseudoisochromatic stimuli. *Frontiers in Psychology*, 7, 1006. doi: 10.3389/fpsyg.2016.01006
- Mollon, J. D., & Reffin, J. P. (1989). A computer-controlled colour vision test that combines the principles of Chibret and Stilling. *The Journal of Physiology*, 414, 5P.
- Mollon, J. D. (2003) The origins of modern color science. In Shevell, S. (Ed) Color Science, Optical Society of America, Washington.

- Moreira, C. R. (2017). *Influência da luminância de fundo em estímulos pseudoisocromáticos sobre a discriminação de cores*. Dissertação de mestrado não publicada, Universidade Federal do Pará, Brasil.
- Movishon, A. J., & Simoncelli, E. (2014). Representation of naturalistic image structure in the primate visual cortex. *Cold Spring Harb Symp quant boil*, 79, 115-122. *Doi:10.1101/sqb.2014.79.024844*.
- Porciatti, V., & Sartucci, F. (1999). Normative data for onset VEPs to red-green and blue yellow chromatic contrast. *Clinical Neurophysiology*, 110, 772-781.
- Reffin, J. P., Astell, S., & Mollon, J. D. (1991). Trials of a computer-controlled colour vision test that preserves the advantages of pseudoisochromatic plates. In: B. Drum, J. D. Moreland, & A. Serra. *Colour Vision Deficiencies X*. (1^a ed., pp. 69 -76). Dordrecht: Springer.
- Rabin, J., Switkes, E., Crognale, M., Schneck, M. E. & Adams, A. J. (1994). Visual evoked potentials in three-dimensional color space: correlates of spatio-chromatic processing. *Vision Research*, 34, 2657–2671.
- Regan, B. C., Reffin, J. P., Mollon, J. D. (1994). Luminance noise and the rapid determination of discrimination ellipses in colour deficiency. *Vision Research*, 34, 1279-1299. doi: 10.1016/0042-6989(94)90203-8
- Regan, D. (2000). *Human perception of objects: early visual processing of spatial form defined by luminance, color, texture, motion, and binocular disparity*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Salomão, C. S. (2015). *Potencial cortical provocado visual gerado por estímulos pseudoisocromáticos*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Pará, Brasil.
- Salomão, C. S., Martins, I. C., Risuenho, B. B., Guimarães, D. L., Silveira, L. C., Ventura, D. F., & Souza, G. S. (2019). Visual evoked cortical potential elicited by

- pseudoisochromatic stimulus. *Documenta Ophthalmologica*, 138, 43-45. doi 10.1007/s10633-018-09669-0ser
- Souza, G. S., Gomes, B. D., Lacerda, E. L. M., Saito, C. A. Da Silva Filho, M., & Silveira, L. C. L. (2008). Amplitude of the transient visual evoked potential (tVEP) as a function of achromatic and chromatic contrast: contribution of different visual pathways. *Visual Neuroscience*, 25 (3), 317-325. 10.1017/S0952523808080243
- Souza, G.S., Gomes, B. D., & Silveira, L. C. L. (2011).Comparative neurophysiology of spatial luminance contrast sensitivity. *Psychology & Neuroscience*, 4 (1), 29-48.
- 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. (2014). Low number of luminance levels in the luminance noise increases color discrimination thresholds estimated with pseudoisochromatic stimuli. *Frontiers in Psychology*. doi: 10.3389/fpsyg.2014.01291
- Stilling, J. (1877). *Die Prüfung des Farbensinnes beim Eisenbahn- und Marine-personal*. Cassel: Theodor Fischer.
- Suttle, C.M., & Harding, G. F.A. (1999). Morphology of transient VEPs to luminance and chromatic pattern onset and offset. *Vision Research*, 39, 1577–1584. doi:10.1016/S0042-6989(98)00223-5
- Weliky, M., Fiser., Hunt, R. H., Wagner, D. N. (2003). Coding of natural scenes in primary visual cortex. *Neuron*, 37(4), 703-718. doi: 10.1016/S0896-6273(03)00022-9

Apêndice A



Universidade Federal do Pará

Núcleo de Teoria e Pesquisa do Comportamento

Programa de Pós-graduação em Neurociências e Comportamento

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO CONFORME O DISPOSTO
NA RESOLUÇÃO 196/1996 DO CONSELHO NACIONAL DE SAÚDE

Senhor (a) participante,

Esta pesquisa, cujo título é "Ausência de efeito do ruído de luminância sobre as respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos" tem como objetivo avaliar a influência de modificação do ruído de luminância sobre respostas corticais provocadas por estímulos pseudoisocromáticos". Estes estímulos se caracterizam pela aplicação do princípio da camuflagem para a identificação do objeto sobre um fundo e tem sido amplamente usados para a avaliação da visão de cores. A tarefa a ser realizada pelo participante consiste na observação de estímulos durante 3 minutos em um monitor de computador, concomitante a isso 3 eletrodos serão acoplados sobre seu couro cabeludo pra que registros eletrofisiológicos sejam realizados (este procedimento não é invasivo). A tarefa será realizada de quatro a seis vezes, havendo um intervalo de aproximadamente um minuto entre cada apresentação, com a finalidade de evitar o prejuízo no desempenho em decorrência de cansaço ou adaptação visual. O participante deverá sentar-se confortavelmente a 1,5 m de distância em uma cadeira na frente do monitor. A coleta dos dados ocorrerá no Laboratório de Neurologia Tropical do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará. A pesquisa possui riscos mínimos para o participante, mas pode gerar possíveis desconfortos em decorrência de ele ter que permanecer por um tempo significativo sentado, se em algum momento for verbalizado ou sinalizado qualquer queixa relativa as condições da pesquisa, os testes serão finalizados. Os benefícios para o participante é que ele passará por testes que podem detectar possíveis alterações na sua discriminação de cores. Esta pesquisa também contribuirá para produzir conhecimento científico relevante sobre metodologias utilizadas em testes de visão de cores que usam estímulos pseudoisocromáticos, bem como contribuir para uma melhor compreensão da fisiologia da visão de cores como um todo.

Os resultados obtidos poderão torna-se públicos com finalidades acadêmicas (em artigos, congressos, etc), entretanto, caso isso ocorra, os participantes serão identificados apenas com letras, números ou nomes fictícios, garantindo assim, o total sigilo de seus dados pessoais. A qualquer momento o participante poderá desistir de participar da pesquisa, sem nenhum impedimento ou prejuízo. Também a qualquer tempo do estudo poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável, para ter acesso aos resultados parciais ou totais, assim como para sanar possíveis dúvidas que vierem a surgir. Possíveis danos morais e éticos provocados, comprovadamente, pela pesquisa serão amparados e/ou reparados pelos pesquisadores. Maiores informações sobre a autorização para realização desta pesquisa podem ser adquiridas no Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos/CEP/NMT/UFPA - Av.

Generalíssimo Deodoro, 92, bairro Umarizal, CEP: 66055-240 fone 3201-0961, e-mail cepbel@ufpa.br.

Pesquisadora responsável: Belanny Barbosa Lopes

End.: Av. Generalíssimo Deodoro, 92, Umarizal

Fones: (91)980679161/984139669

E-mail: belanny777@gmail.com

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO:

Declaro que estou ciente do conteúdo e finalidade da pesquisa, me disponibilizando espontaneamente a participar e a fornecer meus dados conforme as condições explicitadas acima. A assinatura deste documento indica a minha concordância com os termos e condições da pesquisa.

Assinatura do participante

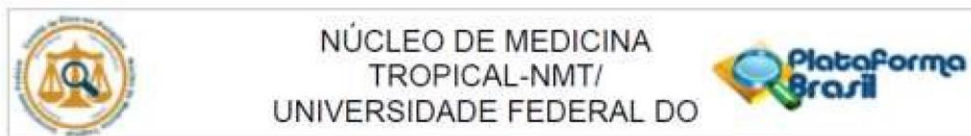
Belém, _____ de 201__

Núcleo de Medicina Tropical, Av. Generalíssimo Deodoro, 92 – Umarizal CEP 66.055-240 Belém – PA. (CEP- NMT/UFPA) – Av. Generalíssimo Deodoro, 92, 1º andar, Umarizal – CEP: 66.055-240 – Belém – Pará. Tel: (91) 3201-6857. E-mail: cepbel@ufpa.br

Anexo 1

Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa do Núcleo de Medicina Tropical da Universidade Federal do Pará

	NÚCLEO DE MEDICINA TROPICAL-NMT/ UNIVERSIDADE FEDERAL DO	
PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP		
DADOS DO PROJETO DE PESQUISA		
Título da Pesquisa: AVALIAÇÃO DA RESPOSTA CORTICAL PROVOCADA POR ESTÍMULOS PSEUDOISOCROMÁTICOS EM HUMANOS		
Pesquisador: Railson Cruz Salomão		
Área Temática:		
Versão: 2		
CAAE: 38826414.7.0000.5172		
Instituição Proponente: Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA		
Patrocinador Principal: MINISTERIO DA CIENCIA, TECNOLOGIA E INOVACAO Núcleo de Medicina Tropical-NMT/ Universidade Federal do Pará - UFPA MINISTERIO DA EDUCACAO Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP FUNDAÇÃO AMAZONIA PARAENSE DE AMPARO A PESQUISA - FAPESPA		
DADOS DO PARECER		
Número do Parecer: 991.803		
Data da Relatoria: 11/03/2015		
Apresentação do Projeto:		
Trata-se de projeto de dissertação de mestrado acadêmico, no qual busca-se avaliar experimentalmente a viabilidade da adoção de estimulação visual pseudoisocromática na realização de medidas eletrofisiológicas do potencial cortical provocado visual, quando do estudo da fisiologia da visão de cores humana. O texto introdutório do protocolo é claro sobre o assunto em questão e justifica bem a necessidade desta investigação, frente os procedimentos adotados no presente para o estudo da visão de cores.		
Objetivo da Pesquisa:		
Os objetivos foram apresentados, sendo estes:		
Geral:		
Avaliar a aplicabilidade de estímulos pseudoisocromáticos para o estudo de mecanismos cromáticos através do potencial cortical provocado visual.		
Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92 Bairro: Umarizal CEP: 66.055-240 UF: PA Município: BELEM Telefone: (91)3201-0961 E-mail: cepbel@ufpa.br		



Continuação do Parecer: 991.803

Específicos:

Avallara a influencia do modo de apresentacao, frequencia espacial e contraste de cor das placas pseudoisocromaticas sobre o potencial cortical provocado visual. Comparar os resultados eletrofisiologicos obtidos com placas pseudoisocromaticas com resultados psicofisicos. Comparar o potencial cortical provocado visual gerado por estímulos pseudoisocromaticas e com redes senoidais.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Foi declarado que o possivel risco a que poderão se submeter os sujeitos será o de fadiga fisica, devido a realização prolongada da medida do eletrorretinograma de avaliação visual e o risco ao sigilo dos dados pessoais. Contudo, foi afirmado a disponibilidade de tempo de repouso aos participantes e guarda das informações pessoais destes.

Quanto aos beneficios, foi apresentado que pela participação das pesquisas, os voluntários terão uma avaliacao medica visual importante. Para a ciencia, o beneficio sera o de contribuir para aumentar os conhecimentos sobre a visao de cor em seres humanos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Foi informado que 30 individuos com visão normal para cores de ambos os sexos e 10 individuos discromatopsicos serao recrutados atraves de convite direto entre conhecidos dos integrantes da pesquisa, funcionarios e estudantes da UFPA. Os exames iniciais, para os que concordarem em participar do estudo, bem como os demais procedimentos de avaliação visuais apresentados nos métodos serão realizados no Núcleo de Medicina Tropical da UFPA, tendo sido todos descritos.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos foram apresentados e estão de acordo com o preconizado pela CONEP.

Na última avaliação deste protocolo foi apenas solicitado o ajuste do cronograma, para início das coletas a partir da aprovação pelo CEP, solicitação esta acatada e executada pelo pesquisador.

Recomendações:

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Uma vez que a pendência verificada na última avaliação deste protocolo foi resolvida, é dado o parecer aprovado. Assim, informa-se ao pesquisador a obrigatoriedade de retorno de relatório de término de pesquisa, via plataforma brasil, quando da finalização do cronograma de atividades!

Situação do Parecer:

Aprovado

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92

Bairro: Umarizal

CEP: 66.055-240

UF: PA

Município: BELEM

Telefone: (91)3201-0961

E-mail: cepbel@ufpa.br



NÚCLEO DE MEDICINA
TROPICAL-NMT/
UNIVERSIDADE FEDERAL DO



Continuação do Parecer: 991.803

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

Parecer realizado Ad-referendum pelo coordenador, devido a solução de pendências já solucionadas pelo pesquisador.

BELEM, 19 de Março de 2015

Assinado por:
ANDERSON RAIOL RODRIGUES
(Coordenador)

Endereço: Av. Generalíssimo Deodoro, 92
Bairro: Umarizal
UF: PA **Município:** BELEM
Telefone: (91)3201-0961

CEP: 66.055-240

E-mail: cepbel@ufpa.br