

**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências da Saúde
Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho**

2017

WILLIAN BARELA COSTA

**Neurotecnologia não invasiva, empregando
teste de luminância para identificação
implícita de daltonismo**

**MONOGRAFIA SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO, POLO XERÉM, VISANDO A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS: BIOTECNOLOGIA**

Duque de Caxias, Rio de Janeiro

2017

Willian Barela Costa

Neurotecnologia não invasiva, empregando teste de luminância para
identificação implícita de daltonismo

Monografia apresentada à graduação em
Ciências Biológicas, Polo Xerém, Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do grau de
bacharel em Biotecnologia.

Orientador: Mario Fiorani

Duque de Caxias, Rio de Janeiro

2017

A minha família pelo apoio e companheirismo de transformar esse sonho em realidade. A Prof^a. Daniela Uziel pela clareza e inteligência ao dar conselhos e guiar-me nos caminhos tortuosos da universidade e ao Mario Fiorani pela orientação e renovação das esperanças demonstrando que existe um ótimo ambiente de trabalho nos laboratórios das arcaicas universidades.

Agradecimentos

A disseminação da ciência e promotores como Ray Kurzweil e Aubrey De Grey que me inspiraram a sonhar em dar um passo adiante em minha formação e me ingressar em uma universidade acreditando na potencialidade da ciência para a humanidade

A minha família por parte de pai inicialmente por acreditar desde o começo que era possível, respeitando e apoiando minha decisão, posteriormente por parte de mãe por terem entendido, acreditado e me ajudado financeiramente.

Ao meu orientador Mario Fiorani por ter me dado essa oportunidade, ensinado muito e ter tido paciência em toda complicação de estar presente no laboratório devido a distância que é Xerém.

A Superest por ter me auxiliado financeiramente, sem isso nada disso teria sido possível.

A minha madrinha Maria Elena e amigo Eugênio Bravin por recuperar as esperanças no início e ver que realizar o curso na universidade era possível.

A funcionária Arnalda que nos momentos de crise financeira me ajudou com todo suporte discreto e cuidado de mãezona.

Aos professores Juliana Martins Guimarães Soares, Luciana Ferreira Romão, por terem aceitado participar da minha banca avaliadora e ao Bruss Reboucas pela ágil e inteligente revisão.

Aos meus amigos Caroline Macedo, Fernando Limoeiro, Maiara Lima, Camila Cristane, Verônica Valadares, Guilherme Monteiro, Jonas Degrave, Fernanda Road, Eugênio Bravin, Sorim, Conrado Sales e Úrsula Bastos que foram uma segunda família para mim no Rio de Janeiro.

Ao Olabi e HUB UFRJ, por caminhar em áreas do pionerismo.

E a todos não citados aqui que fizeram parte dessa etapa da minha vida.

“Neurotechnology may benefit from questioning what kinds of low-information-content signals we can read and write before we try to upload and download consciousness.”

Christopher deCharms, CEO da *Omneuron*

RESUMO

Costa, Willian Barela. **Neurotecnologia não invasiva, empregando teste de luminância para identificação implícita de daltonismo**. Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Monografia submetida a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Polo Xerém, Duque de Caxias, 2017.

A percepção do movimento mínimo (MMT – Minimum Motion Technique) é o processo visual em que o indivíduo é capaz de perceber um padrão de direções e velocidades quando os estímulos são apresentados em diferentes posições e intervalos de tempo apropriados. Anstis e Cavanagh (1983) demonstraram que dois estímulos de barras alternando a luminância com sobreposição parcial causa percepção de movimento mínimo na direção das luminâncias combinadas correspondentes e em casos de isoluminância, o movimento é imperceptível. Segundo Anstis e Cavanagh (1989), usando a metodologia descrita em 1983, a eficiência luminosa é mensurável em crianças de 1 a 3 meses. O presente projeto propõe o uso da eficiência da luminância de Anstis e Cavanagh (1983) para uma nova modalidade de diagnóstico para daltonismo tanto em adultos quanto em crianças usando respostas não-declarativas, os movimentos oculares, causados pela percepção do movimento mínimo em um processo automatizado e de fácil acesso, tanto para clínicas como para uso comum.

ABSTRACT

Costa, Willian Barela. **Non-invasive neurotechnology, using a luminance test for implicit identification of color blindness.** Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Monograph submitted to Universidade Federal of Rio de Janeiro, Polo Xerém, Duque de Caxias, 2017.

Minimal Motion Technique (MMT) is visual stimulation procedure capable of inducing the perception of stimulus motion with specific direction and velocity based on the position and relative onset timing of static stimuli. Anstis and Cavanagh (1983) have shown that luminance alternating, partially overlapping two bar stimuli induce minimum movement perception in the direction corresponding to their combined luminances. In cases of isoluminant stimuli the motion is imperceptible. According to Anstis and Cavanagh (1989), using the methodology they described in 1983, luminance efficiency is already measurable in children aged 1 to 3 months. This project proposes the use of the luminance efficiency method described by Anstis and Cavanagh (1983) for a novel diagnostic procedure capable of detecting color blindness in both adults and children using non-declarative responses, such as ocular movements, caused by the perception of minimal movement in an automated process that is easily accessible for both clinic and common use.

Lista de ilustrações

Figuras

Figura 1 - Experiência Visual de um daltônico no trânsito

Figura 2 - Experiência visual de daltônicos na elétrica

Figura 3 - Experiência visual de daltônicos na dificuldade que crianças enfrentam na escolha do lápis

Figura 4 - Esquema do espectro eletromagnético e luz visível

Figura 5 - Comportamento da onda quando incidida sobre um objeto

Figura 6 - Trajetória do raio luminoso no globo ocular

Figura 7 - Fotorreceptores

Figura 8 - Espectros de sensibilidade para os três cones

Figura 9 - Sistema de cores Munsell, ilustrando tonalidade, luminosidade e saturação respectivamente

Figura 10 - Manifestação cromossômica do daltonismo

Figura 11 - Percepção do movimento global

Figura 12 - Percepção do mínimo movimento pela luminância

Figura 13 - Interpretação da Rampa

Figura 14 - Respostas

Figura 15 - Resposta neutra

Figura 16 - Respostas, padrão de normais FM 100 - HUE

Figura 17 - Teste FM-100 Hue, Caso 1

Figura 18 - MMT Vermelho X Verde, Caso 1

Figura 19 - MMT Verde X Azul, Caso 1

Figura 20 - Teste FM-100 Hue, Caso 2

Figura 21 - MMT Vermelho X Verde, Caso 2

Figura 22 - MMT Vermelho X Azul, Caso 2

Figura 23 - Teste FM-100 Hue, Caso 3

Figura 24 - MMT Vermelho X Verde, Caso 3

Figura 25 - Teste FM-100 Hue, Daltônico

Figura 26 - Comparação de isoluminâncias do daltônico em relação as médias com exceção

Figura 27 - MMT Vermelho X Verde, daltônico

Figura 28 - MMT Vermelho X Azul, daltônico

Figura 29 - Diagrama de caixa em teste Wilconxon rank sum, Vermelho X Verde

Figura 30 – Clusters de dados multidimensional, barras grossas

Figura 31 – Clusters de dados multidimensional, barras finas

Quadros

Quadro 01 - Profissões que requerem a avaliação de cores

Quadro 02 - Classificação dos receptores sensoriais

Quadro 03 - Classificação das discromatopsias

Quadro 04 - Testes de discromatopsias

Quadro 05 - Dados

Lista de Siglas

BRAIN Initiative - *Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*

DAC - Deficiência na Avaliação das Cores

EPFL - Escola Politécnica Federal de Lausana

FM-100Hue - Farnsworth-Munsell 100

HBP- Human Brain Project

LGN - Núcleo Geniculado Lateral

L - Longo

M - Médio

MMT - Técnica de Movimento Mínimo

NIH - National Institutes of Health

S – Curto

SVM – Support Vector Machine

W - onda (wave)

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 NEUROTECNOLOGIAS	1
1.2 PROBLEMÁTICA DO DALTONISMO	2
2 EMBASAMENTO TEÓRICO	13
2.1 A PSICOFÍSICA DA PERCEPÇÃO	13
2.2 O ESTÍMULO: LUZ	14
2.3 A TRANSDUÇÃO DOS SINAIS NEURAIS	16
2.4 A PSICOFÍSICA DAS CORES	17
2.5 A VARIEDADE DE MANIFESTAÇÕES DO DALTONISMO	20
2.6 COGNIÇÃO: O REFLEXO OPTOCINÉTICO E A PERCEPÇÃO MÍNIMA DO MOVIMENTO	25
2.7 TECNOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO DE DISCROMATOPSIAS	27
2.8 APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS EM CRIANÇAS	30
2.9 MMT: TESTE DA EFICIÊNCIA DE LUMINÂNCIA	31
2.9.1 MMT IMPLÍCITO PARA HUMANOS	32
3.0 OBJETIVOS	33
3.1 OBJETIVOS GERAIS	34
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	34
4.0 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 CONDIÇÕES IDEAIS	35
4.1.1 CONFIGURAÇÕES DO MONITOR	35
4.2 AUTOMATIZAÇÃO	35
4.2.1 SCRIPTS DE AUTOMAÇÃO	36
4.3 OUTRAS OBSERVAÇÕES E PROTOCOLOS	37
4.4 PREPARO	37
5.0 RESULTADOS	37
5.1 RAMPA	37
5.2 RESPOSTAS DOS SUJEITOS	38
5.3 TESTE FM - 100 HUE	39
5.4 DADOS	40
5.5 EXCEÇÕES DE ANÁLISES E TRATAMENTO DE CASOS ESPECIAIS	45
6.0 DISCUSSÃO	50
6.1 O DALTÔNICO	50
6.2 ANÁLISE DE DADOS	52

6.3 OBSERVAÇÕES	55
7.0 CONCLUSÕES	56
8.0 PERSPECTIVAS FUTURAS	56
8.1 DADOS AMOSTRAIS	56
8.2 SCRIPTS	56
8.4 NOVAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	57
8.4.1 O MMT IMPLÍCITO PARA MACACOS	57
8.5 VERIFICAÇÃO EM BEBÊS	58
8.6 RESSALVAS	58
9.0 REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 NEUROTECNOLOGIAS

O século XX foi marcado pelas pesquisas na biologia notadamente no campo da genética. Na primeira metade do século XXI o foco deslocou-se para as neurociências e, especificamente, para a biologia da mente (KANDEL ERIC R. *et al.*, 2014).

O pensamento é marcado por um crescente interesse nos benefícios que as pesquisas neurocientíficas trazem em termos de novas tecnologias. Apoiado por uma série de grandes projetos internacionais consecutivos como o projeto *Decade of the Brain*, que iniciou em 1990, seguido do *The Decade of the Mind Project*, em 2013, *Human Brain Project* (HBP) na Escola Politécnica Federal de Lausana (EPFL) com investimento inicial de um bilhão de euros e a *BRAIN Initiative* (*Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies*) pelo *National Institutes of Health* (NIH), na busca de avanços substanciais, insights, inovações por intermédios de neurotecnologias.

O mercado de neurotecnologias é atualmente avaliado em \$145 bilhões e cresce 9 % anualmente (MERIAN, 2011). Tais tecnologias talvez possam fornecer novas maneiras de acessar o segredo, uma ferramenta, para abrir a "caixa preta" dos mecanismos que regem a mente (WHITE *et al.*, 2014). O departamento de neurotecnologia da University of Freiburg¹ definiu com consistência o que as neurotecnologias são:

Ferramentas técnicas e computacionais que medem e analisam sinais químicos e elétricos no sistema nervoso, seja no cérebro ou em nervos nos membros. Estes podem ser utilizados para identificar as propriedades da atividade do sistema nervoso, entender como o cérebro funciona, diagnosticar as condições patológicas, ou controlar dispositivos externos (neuropróteses, 'interfaces cérebro-máquina') e meios técnicos, a fim de interagir com o sistema nervoso para alterar a sua atividade, como por exemplo, para restabelecer a entrada sensorial, tais como: os implantes cócleares para restaurar a audição ou estimulação cerebral profunda para interromper tremores e tratar outras condições patológicas.

¹ Disponível em: <<https://http://www.neurotechnology.uni-freiburg.de/definicion>> Acesso em Abril, 2017.

Neurotecnologias envolvem interações com o órgão responsável pelo tratamento da informação e identidade. Articulando sobre consciência, de acordo com os neurocientistas Giulio Tononi e Christof Koch (2016): “[...] é a essência da dedução no pensamento ocidental, Descartes ‘je pense, donc je suis’ (penso logo existo). Tudo o mais - o que eu acho que eu sei sobre o meu corpo, sobre outras pessoas, cães, árvores, montanhas e estrelas, é inferencial”.

Estudos neurocientíficos e suas aplicações vêm carregados de discernimentos éticos e morais por envolver o “ser”, a formação dele e o custo agregado. Em fato disto abordagens não invasivas são mais valorizadas, como ressaltado por Jan-Hendrik Heinrichs (2012), no caso de uma estimulação não invasiva: “é uma boa relação risco-benefício, não-invasivo e com reversibilidade, bem como o seu baixo esforço e custo tem boas chances de se tornar uma ferramenta difundida na ciência, medicina e até mesmo em uso leigo”.

O presente estudo almeja o desenvolvimento de uma nova ferramenta que utiliza neurotecnologia de baixo custo, não invasiva, por mecanismos implícitos e automatizados para o diagnóstico de daltonismos.

1.2 PROBLEMÁTICA DO DALTONISMO

A deficiência de visão colorida ou o daltonismo, é a desordem genética mais comum em humanos, afetando aproximadamente 8% de homens e 0.5% das mulheres além de ser uma condição intratável e não progressiva (BARRY L COLE, 2007; SIMUNOVIC, 2010; MIYAHARA et al., 2004; DÉBORA GUSMÃO MELO *et al.*, 2014). A avaliação da visão colorida é uma ferramenta importante para estabelecer as cores percebidas ou para selecionar candidatos para trabalhos específicos onde a visão tricromática normal é desejável ou obrigatória. Além disso, demonstrou-se que a avaliação da visão de cores tem alto valor de diagnóstico e preditivo em uma variedade de disfunções visuais congênitas, degenerativas e adquiridas (NATÁLI VALIM *et al.*, 2016).

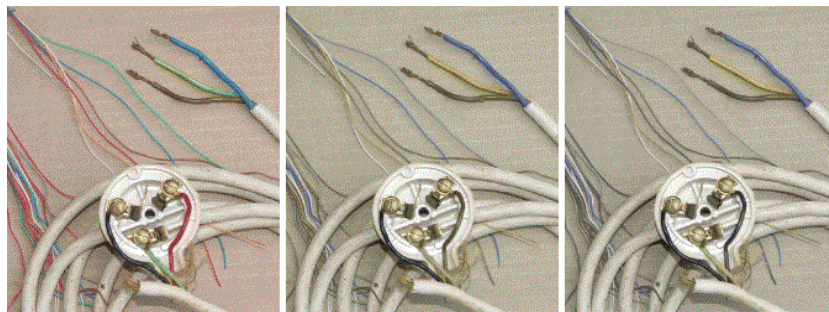
A cor é elemento fundamental para comunicação, inclusão sociocultural e aprendizado. A significação da cor pode abranger aspectos denotativos e conotativos. No sentido denotativo, é comum usar a cor como referência direta na qualificação de objetos (por exemplo, “o carro vermelho”, “a camisa verde”, etc.). Os significados conotativos referem-se às associações sugeridas pela cor (por exemplo, num sinal de trânsito a cor verde informa que o cruzamento está livre para passagem). Situações nas quais a cor é usada com sentido conotativo incluem, além dos sinais de trânsito, as legendas de mapas, a identificação de fios elétricos, o reconhecimento do grau de maturação de frutas ou cozimento de alimentos (BARRY L COLE, 2007). Para exemplificar os espectros de confusão presente no mundo colorido dos dicromatas, COLE produziu uma série de figuras alterando as cores afetadas.

Figura 1 - Experiência Visual de um daltônico no trânsito



Em sentido denotativo, as cores dos carros na figura 1 podem ser confundidas como é o caso do carro vermelho a direita da imagem, e em casos conotativos, as cores dos sinais que significam “pare” podem passar despercebidos pela semelhança com preto. Fonte: BARRY L COLE, 2007.

Figura 2 - Experiência visual de daltônicos na elétrica



Em trabalhos elétricos os sentidos conotativos agregados as cores dos fios elétricos podem ficar confusos. Como demonstrado na figura 2, os casos do verde e bege ou vermelho, verde e bege no centro da tomada para avaliar a situação. Fonte: BARRY L COLE, 2007.

Figura 3 - Experiência visual de daltônicos na dificuldade que crianças enfrentam na escolha do lápis



Variação da confusão denotativa na faixa do vermelho em tomada de decisão por cores de lápis no material escolar na figura 3. Fonte: BARRY L COLE, 2007.

Segundo Piaget (2010), a partir dos sete anos, durante o estágio de operações concretas, a criança descobre as relações de cor e cor-objeto, que passam então a ser explicitadas nos seus desenhos. Antes disso, o uso de cores nos desenhos infantis depende do interesse emocional e não guarda relação com a realidade.

Uma relação breve sobre como a discromatopsia impacta a importância da visão colorida nas profissões:

QUADRO 1 - PROFISSÕES QUE REQUEREM A AVALIAÇÃO DE CORES

OCUPAÇÕES QUE ENVOLVEM AVALIAÇÃO DE CORES	
Avaliação de cores e controle de qualidade de cor em indústrias de tintas, têxteis e plásticos	A cor normal é necessária porque todas as pessoas com deficiência na avaliação de cores (DAC) têm alguma redução da discriminação de cor e aqueles com DAC leve fará avaliações de cores anômalas que não são aceitáveis para aqueles com visão de cor normal. Os empregadores costumam testar a visão de cor dos funcionários antes de serem designados para um trabalho de avaliação de cores. Isso pode incluir testes de aptidão de cores usando um teste como o <i>ISCC Color Aptitude test</i> para selecionar aqueles com habilidade superior entre

	aqueles com visão de cor normal.
Pintor e decorador	Os pintores podem ser obrigados a misturar cores para combinar com uma cor de amostra ou uma cor existente. Nenhum padrão de visão de cor formal. A visão de cor normal é desejável.
Fabricação de armários e marcenaria	DAC pode ter desvantagens em madeiras e manchas de madeira, embora haja pouca evidência empírica para confirmar isso.
TRANSPORTE	
Marítimo	<p>A visão de cor é necessária para os oficiais de convés e os guardas de navegação de embarcações comerciais.</p> <p>Padrões de visão de cores para oficiais e tripulantes abaixo do convés excluem aqueles com DAC moderada a grave.</p>
Aviação	<p>Os pilotos comerciais devem passar por um teste de lanterna, o que exclui 75% a 80% dos candidatos com DAC se a lanterna Farnsworth for usada, como é na Austrália e EUA. Outros testes de lanterna utilizados na Europa têm uma maior taxa de falha. As vezes, uma isenção é concedida para aqueles que falham no padrão de visão de cor, mas isso pode restringir as oportunidades de emprego.</p> <p>Os pilotos privados com DAC podem ser restringidos (por exemplo, ao voo diurno) se falharem aos testes com os padrões de visão</p>

	<p>de cor para pilotos.</p> <p>Os controladores aéreos têm de passar no padrão de cores para pilotos, mas a visão de cor normal é necessária na Austrália (e possivelmente outros países), devido à introdução de monitores de computador elaboradamente codificados por cores para controle de tráfego aéreo.</p> <p>Pessoal de terra do aeroporto pode ser submetido a um teste de visão de cores para excluir aqueles com DAC moderada a grave, porque sinais coloridos e marcações são usadas em aventais do aeroporto.</p>
Ferrovia	<p>Os condutores de comboios e os sinalizadores são geralmente obrigados a ter visão de cor normal, porque as luzes de sinalização são fundamentais para a segurança ferroviária.</p> <p>Trabalhadores ferroviários em outras posições críticas de segurança têm de passar um teste de visão de cores, geralmente um teste de lanterna, que exclui aqueles com DAC moderada a grave.</p>
Motorista	<p>Os motoristas de ônibus e bonde estão freqüentemente sujeitos ao teste de visão de cores. O padrão pode exigir visão de cor normal ou passar um teste de lanterna. Muito poucas jurisdições têm um padrão de visão de cores para condutores privados ou condutores comerciais. Aqueles com DAC</p>

	<p>moderada a severa devem ser advertidos do risco de cometerem erros com luzes de sinalização, especialmente aquelas com DAC de protans (confusão na faixa do vermelho). Os motoristas com DAC são ajudados por sinais de cores residuais, especialmente se os sinais estiverem bem desenhados (por exemplo, sinal verde, sinal vermelho de alta intensidade), por pistas de posição e o fluxo de outro tráfego.</p>
DEFESA E FORÇAS DE SEGURANÇA	
Forças Armadas	<p>As forças armadas têm padrões de visão de cores que se aplicam a uma ampla gama de ocupações dentro das forças armadas, mas não todas. Visão de cores normal pode ser necessária para ocupações críticas, como pilotos de aeronaves e oficiais e tripulação do convés na marinha. Caso contrário, a passagem em um teste de lanterna é geralmente necessária, o que exclui 75% a 90%, dependendo da lanterna utilizada.</p>
Polícia	<p>A polícia tem que ser capaz de reconhecer as cores das luzes de sinalização, sem hesitação, especialmente quando a condução for de em risco. Eles precisam ser capazes de usar cor para identificar e descrever pessoas e veículos, para descrever evidências usando descritores de cor e ser capaz de procurar objetos marcados por cor. Geralmente há uma exigência de visão de</p>

	<p>cor para entrada na força policial. Em algumas jurisdições a visão de cor normal pode ser necessária, mas geralmente o padrão é baseado em um teste de lanterna, que exclui cerca de 80% dos indivíduos com DAC.</p>
Serviços de incêndio e salvamento	<p>Os bombeiros precisam ser capazes de reconhecer códigos de cores em recipientes de substâncias perigosas e em tubulações. A cor da chama é um sinal importante para julgar a natureza de um incêndio. Os <i>drivers</i> de aparelhos de fogo precisam reconhecer as cores do sinal de trânsito sem hesitação, especialmente quando estão em risco. Os trabalhadores de resgate precisam ser capazes de procurar objetos marcados pela cor. Os serviços de incêndio e salvamento geralmente têm um padrão de visão de cores que exclui aqueles com DAC moderada a grave.</p>
OCUPAÇÕES QUE NECESSITAM RECONHECER CORES DE SUPERFÍCIE	
Técnico de telecomunicações / chefe de linha, técnico em eletrônica	<p>Os cabos de telecomunicação são codificados por cores com 10 ou mais cores e não há redundância. As empresas de telecomunicações geralmente têm um padrão interno de visão de cores para seus técnicos e agentes de linha. Aqueles com DAC moderada a grave DAC não deve optar por treinar como um técnico de telecomunicações / agente de linha.</p>
Eletricista	<p>Os cabos elétricos são codificados por cores,</p>

	<p>mas normalmente com um número limitado de cores (verde, preto, vermelho, azul, mas as vezes laranja, castanho, creme, violeta e cinza). Pode haver redundância (por exemplo, listras verdes e amarelas no Terra e alfanuméricos) vide Figura 2, mas nem sempre, por isso há um risco de erro se as cores são confusas. Isto pode ocorrer especialmente com cabos velhos ou sujos ou quando a luz é fraca. Eletricistas podem ser submetidos a um teste de comércio na entrada para treinamento. Aqueles com moderada a severa DAC não deve optar por treinar como um eletricista.</p>
<p>Monitoramento de redes de energia e telecomunicações ou processos industriais ou outros sistemas complexos</p>	<p>Redes de energia e telecomunicações, processos industriais e outros sistemas complexos são freqüentemente monitorados usando monitores de computador codificados por cores. Estes podem usar 10 ou mais cores. Muitas vezes há redundância, mas nem sempre. Mesmo quando há redundância, aqueles com DAC serão mais lentos e mais propensos a cometer erros. Muitos empregadores testam a visão de cores para garantir que aqueles empregados monitorando processos ou sistemas por meio de telas de computador codificadas por cores sejam capazes de distinguir as cores. Isto será particularmente relevante nos sectores em que os erros podem conduzir a graves perdas econômicas ou perda de vidas. Os testes de visão de cor excluirão aqueles com</p>

	DAC moderada a grave, mas a visão de cor normal é por vezes necessária quando as consequências do acidente são muito graves.
Médico	<p>Não há nenhum padrão de visão de cor para entrar em um curso médico (exceto em alguns países orientais, notadamente Japão, mas que recentemente relaxou seus requisitos). No entanto, o diagnóstico de doenças muitas vezes requer cores para ser reconhecido (palidez, erupções cutâneas, icterícia, cianose, vermelhidão da inflamação, sangue no vômito e fezes, teste de imobilização para diabetes e outros testes de diagnóstico codificados por cores). Sabe-se que médicos com DAC podem deixar de ver as cores de diagnóstico de doenças e podem assim cometer erros. Médicos com DAC devem saber que eles têm visão de cor anormal para que eles possam evitar erros quando a cor é importante para o diagnóstico ou optar por praticar em um ramo da medicina que não é dependente de cor para o diagnóstico.</p>
Optometrista	<p>Não existe um padrão de visão de cor para entrar em um curso de optometria, mas os optometristas com DAC terão problemas para diferenciar na retina hemorragia de pontos de pigmento de melanina (eles podem usar um filtro livre de vermelho para ajudar), julgando a palidez da cabeça do nervo óptico e vendo inflamação da superfície anterior do olho e da pele</p>

	circundante.
Dentista	Não há nenhum padrão de visão de cor para a entrada em um curso odontológico, mas dentistas com DAC terão problemas para ver a inflamação oral e julgar a saúde dos pacientes da cor da pele. Eles também podem ter problemas para visualizar a cor dentária na odontologia restaurativa e protética e devem ser encorajados a procurar o conselho de seu assistente com visão de cor normal para fazer a correta combinação de cores.
Patologista e outras ocupações nas ciências biológicas que envolvem histologia	Os patologistas usam manchas coloridas para diferenciar as estruturas celulares e marcar o tecido doente. Os patologistas com DAC têm demonstrado cometer mais erros com certas manchas do que aqueles com visão de cor normal. Não há necessidade de visão de cor para patologistas, mas recomenda-se que os patologistas com DAC tomem consciência de sua deficiência de visão de cores e sejam ajudados a encontrar estratégias adaptativas para evitar o erro.
Horticultor	A cor das flores e das frutas é importante na horticultura. DAC pode ser uma desvantagem, mas não há nenhuma evidência para mostrar que este é o caso. Os colhedores de frutos com DAC podem ser mais lentos e deixar de ver as frutas a serem colhidas.
Negociante de frutas	A cor é usada para avaliar a maturidade da

	qualidade dos frutos.
OCUPAÇÕES QUE ENVOLVEM A JUSTIÇA ESTÉTICA DE COR	
Arquiteto : decorador, gráfico. Artista/designer fashion	Geralmente, nenhuma dessas profissões têm um padrão de visão de cores para entrada nessas ocupações, mas DAC moderada a severa será uma desvantagem. Eles podem se adaptar, como muitos artistas que têm DAC, limitando sua paleta de cores para azuis, amarelos, brancos, cinzas e negros. Aqueles com DAC devem pensar cuidadosamente antes de decidir sobre carreiras deste tipo. COLE relatou uma anedota de como uma assistente de loja de departamentos deuteranopia adaptada: ela pediu para ser transferida para a parte preto e branco de homens formais e pediu a um colega para organizar camisas coloridas, seguindo uma ordem de cores.

O quadro 1 não está completo; Há várias outras ocupações para as quais a visão de cor anormal pode ser uma desvantagem, incluindo identificar e classificar gemas no comércio de jóias, graduadores de algodão e lã, usando mapas codificados por cores como geógrafo, meteorologista ou demógrafo e avaliando a frescura da carne na carne em processamento (BARRY L COLE, 2007).

A usabilidade do termo genérico “daltonismo” está associada ao primeiro cientista inglês, John Dalton, a publicar sobre defeitos da visão. Suas observações e anotações em *“Extraordinary facts relating to the vision of colours”*, formaram a expressão “daltonismo”. Os defeitos de visão colorida são classificados em duas dimensões: uma dimensão qualitativa que avalia se a visão colorida está afetada, e uma dimensão quantitativa que descreve a extensão da perda discriminatória (SMITH *et al.*, 2003).

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1 A PSICOFÍSICA DA PERCEPÇÃO

O ser humano é um organismo complexo, produto da evolução, uma máquina biológica capaz de realizar performances cognitivas agrupadas de maiores níveis observados na natureza. Incorpora inúmeros sistemas cognitivos como: atenção, juízo, raciocínio, discurso, imaginação e aprendizado. Todos esses sistemas cognitivos são resultados de processamentos de informações paralelas pelos neurônios, mecanismos de atividades herdados de gerações passadas e de interações com o ambiente. Todo organismo está em constante interação com o meio por uma série de capacidades perceptivas, onde a informação do ambiente que é detectada (por intermédio de sensores) seja ela, por exemplo, densidade, luminosidade, textura e codificada por linguagens sensoriais no organismo.

O filósofo grego Aristóteles definiu cinco sentidos - visão, audição, tato, gustação e olfato, ligados aos órgãos respectivos: olhos, ouvidos, pele, língua e nariz. A informação sensorial é definida como a atividade neural originada da estimulação de células receptoras em partes específicas do corpo (KANDEL ERIC R. et al., 2014). Nesse contexto, a psicofísica é importante para entender o efeito dos receptores sensoriais nas informações neuronais. A psicofísica descreve as relações entre as características físicas de um estímulo e os atributos da experiência sensorial enquanto a fisiologia sensorial examina as consequências neurais de um estímulo, como o estímulo transduzido por receptores sensoriais e processado pelo encéfalo (KANDEL ERIC R. et al., 2014).

Um exemplo clássico para entender melhor a psicofísica é a sensibilidade de um sistema sensorial que Weber propôs em 1834 em relação ao peso. Podemos diferenciar 1Kg de 2Kg, mas dificilmente distinguiremos 70Kg de 71Kg, porque a detecção está associada a relatividade das variações e não ao valor específico de cada alteração. Atualmente as classificações dos receptores sensoriais são bem estabelecidas:

Quadro 02 - Classificação dos receptores sensoriais

Sistema Sensorial	Modalidade	Estímulo	Classe de receptor	Células receptoras
Visual	Visão	Luz (fótons)	Fotorreceptor	Bastonetes e cones

Auditivo	Audição	Som (ondas de pressão)	Mecanorreceptor	Células ciliadas na cóclea
Vestibular	Equilíbrio	Gravidade, aceleração e movimento da cabeça	Mecanorreceptor	Células ciliadas no labirinto vestibular
Gustatório	Gustação	Substâncias químicas	Quimiorreceptores	Botões gustatórios
Olfatório	Olfato	Substâncias odoríferas	Quimiorreceptores	Neurônios sensoriais olfatórios
Somatosensorial	Tato, propriocepção, dor, prurido e visceral.	Mecânico, químico e térmico.	Mecanorreceptores, quimiorreceptores e termorreceptores.	Neurônios dos gânglios das raízes dorsais e nervos craniais.

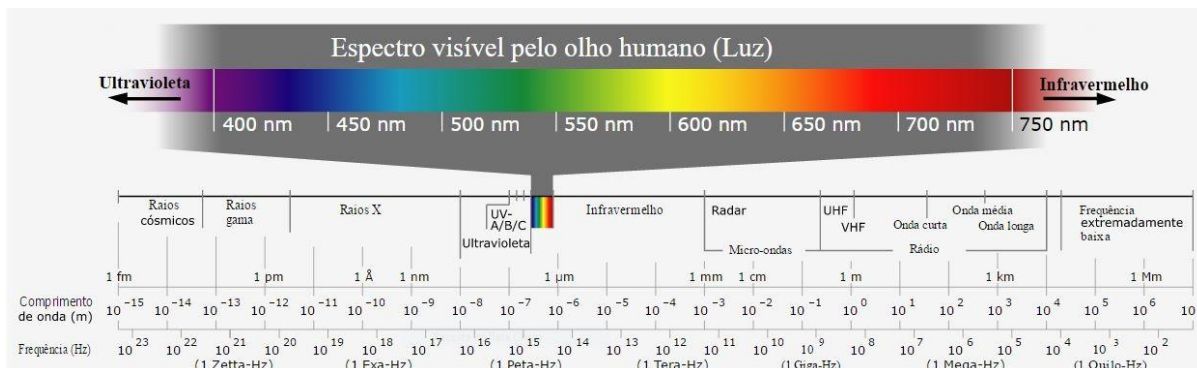
Fonte editada: KANDEL ERIC R. et al., 2014.

2.2 O ESTÍMULO: LUZ

“Um raio luminoso é a propagação no espaço de campos elétricos e magnéticos (onda eletromagnética) e que, portanto, a ótica, o estudo da luz visível, é um ramo do eletromagnetismo” (Halliday & Resnick, 10ª Edição). A luz no vácuo se propaga a 300 000 Km/s, pode ser considerado onda e partícula. A natureza da onda luminosa pode ser descrita pelo seu comprimento de onda e como esta modifica a cor do objeto no qual incide (PUC RIO, nº 0621484/CA).

A percepção da imagem e todos seus elementos, cores, luminosidade, contornos, contrastes se inicia com a captação da luz visível que representa uma pequena parcela de toda onda eletromagnética (380 nm luz azul a 750 nm luz vermelha) que se propaga no espaço como apresentado na Figura 4.

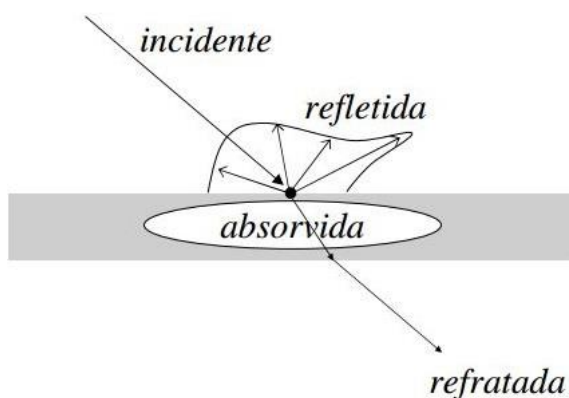
Figura 4 - Esquema do espectro eletromagnético e luz visível



Na imagem é metrizado qual o tipo de onda eletromagnética é apresentada de acordo com seu comprimento de onda (em Hz) em ordem logarítmica. É ressaltado na parte superior o pequeno intervalo de comprimento do espectro referente a luz visível. Fonte: Wikipédia- Repositório digital².

As ondas se propagam no ar até encontrarem uma superfície, quando então são refletidas, refratadas e absorvidas dependendo das características atômicas de cada matéria, conforme esquematizado na Figura 5. A imagem formada durante a Visão é produto da capacidade sensorial de captação do comprimento da onda somado ao processamento da informação no encéfalo.

Figura 5 - Comportamento da onda quando incidida sobre um objeto



Quando uma onda incide sobre um objeto, o objeto absorve uma parte da onda eletromagnética, reflete e refrata o resto. Fonte: PUC - Repositório digital³.

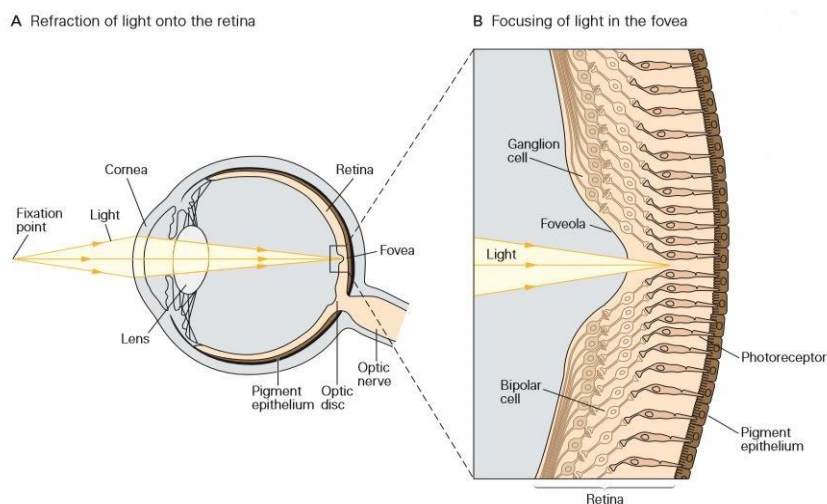
A luz refletida pelo objeto atinge o globo ocular, é refratada na interface lágrima/córnea, passa pela câmara anterior, refratando-se novamente no cristalino, humor vítreo e por fim atinge

² Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_vis%C3%ADvel> Acesso em Abril, 2017.

³ Disponível em: <https://webserver2.tecgraf.puc-rio.br/~mgattass/fcg/livro/02_Luz_e_Cor2009_01_21.pdf> Acesso em Abril, 2017.

as células fotorreceptoras da retina, responsáveis por transduzir a luz visível em sinais neurais que, por sua vez, são processados pelas células ganglionares (Figura 6).

Figura 6 - Trajetória do raio luminoso no globo ocular

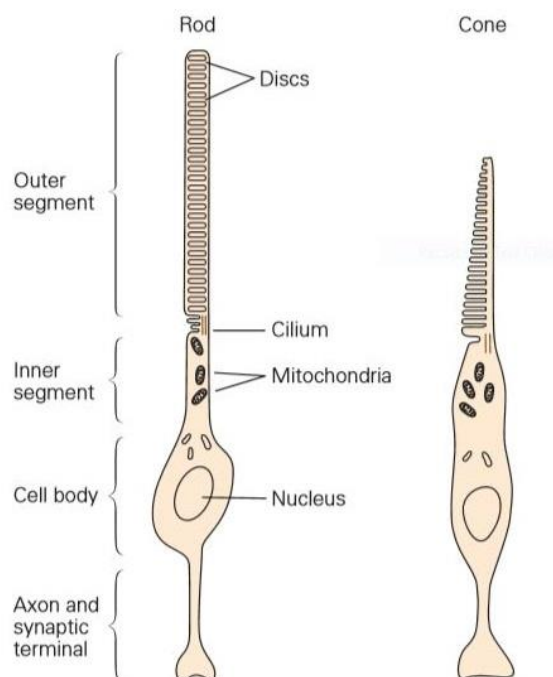


Fonte: KANDEL ERIC R. et al., 2014.

2.3 A TRANSDUÇÃO DOS SINAIS NEURAIIS

Os fotorreceptores são células que possuem a maquinaria de absorção de fótons oriundos do estímulo luminoso. Despertam cascatas de sinalizações intracelulares, químicas e elétricas que levam ao processamento do sinal neural. As células dividem-se em dois tipos: cones e bastonetes (Figura 7). Os cones são sub-divididos em S (*small*), M (*medium*), L (*large*) referentes ao comprimento de onda absorvido curto, médio e longo respectivamente. Os cones e os bastonetes possuem diferenças tanto morfológicas quanto estruturais.

Figura 7 - Fotorreceptores



Bastonete a esquerda e cone a direita. São estruturas semelhantes, porém não idênticas. Fonte: KANDEL ERIC R. et al., 2014.

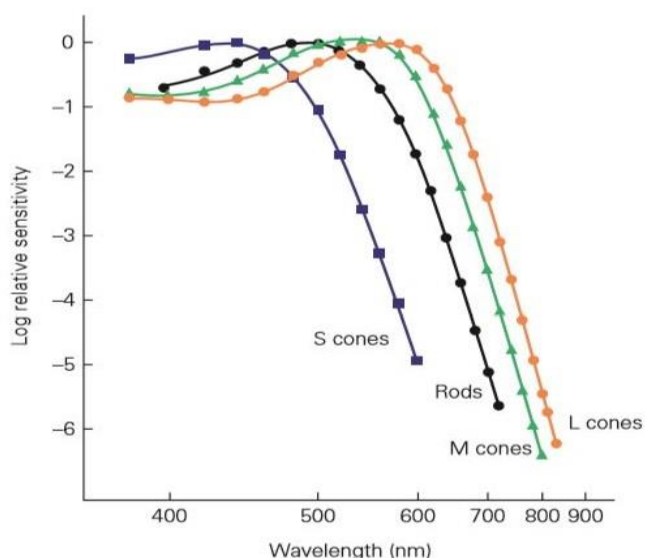
Ambos os fotorreceptores possuem complexos proteicos transmembrânicos com sítio ativo chamado de opsina e corpo de proteína retinal, que são responsáveis por absorver fótons. Nos bastonetes são nomeados como rodopsinas e nos cones, conopsinas. Dependendo do comprimento de onda, diferentes sub-tipos de conopsinas são preferencialmente excitadas, mudando a sua conformação de cis para trans, gerando a metarrodopsina II altamente instável que desencadeia a cascata. A fototransdução gera hiperpolarização celular na presença de luz e despolarização na ausência de luz, tendo glutamato como neurotransmissor.

2.4 A PSICOFÍSICA DAS CORES

O sistema visual é capaz de processar contraste, cor, resolução espacial, movimento e luminosidade. Contraste acromático é essencialmente captado pelos bastonetes enquanto cor é captada por cones, por meio de conopsinas tipo S (espectro de luz azul, pico 440 nm), M (espectro de luz verde, pico 545 nm), L (espectro de luz vermelho, 565 nm) (WEBVISION⁴, 2017). Toda cor percebida nos tricromatas derivam da combinação das fototransduções originada nos cones (Figura 8).

⁴ Disponível em: <<http://webvision.med.utah.edu/>>, Acesso em Maio, 2017.

Figura 8 - Espectros de sensibilidade para os três cones



“Em cada comprimento de onda, a sensibilidade é inversamente proporcional à intensidade da luz necessária para evocar uma resposta neural”. Fonte: KANDEL ERIC R. et al., 2014.

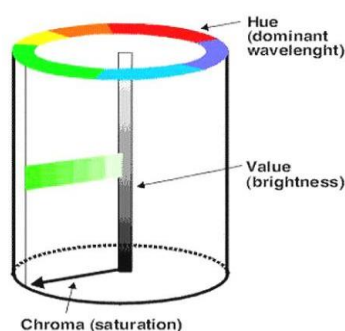
Na Figura 8 percebe-se a sensibilidade em relação ao comprimento de onda. É importante salientar que os espectros dos cones M e cones L possuem uma pequena sobreposição na sensibilidade. Isso acontece porque os aminoácidos da opsina M e L possuem uma identidade de 96 %. (KANDEL ERIC R. et al., 2014).

Os genes responsáveis pela síntese das opsinas, de comprimento de onda longo (L), e médio (M) estão localizados no cromossomo X, e o gene da opsina de comprimento de onda curto (S) está localizado em um cromossomo autossômico, o cromossomo 7 (NATHANS *et al.*, 1986a). As designações genéticas oficiais para os genes das opsinas humanas são: OPN1LW, OPN1MW e OPN1SW; designam, respectivamente, o gene da opsina 1 sensível ao comprimento de onda longo (também chamado de gene LWS), o gene da opsina 1 sensível ao comprimento de onda médio (também chamado de gene MWS) e o gene da opsina 1 sensível ao comprimento de onda curto (também chamado de gene SWS1). Os genes OPN1LW (LWS) e OPN1MW (MWS) estão arranjados em tandem no cromossomo X, implicando que eles são lidos em sequência (NATHANS *et al.*, 1986b; VOLLRATH, NATHANS & DAVIS, 1988). LWS e MWS são muito semelhantes entre si, compartilhando mais de 98% da sequência nucleotídica, enquanto eles só compartilham cerca de 40% da sequência nucleotídica com SWS1, indicando que LWS e MWS originaram-se por meio de uma duplicação genética relativamente recente (NATHANS *et al.*, 1986b). Devido às suas similaridades, os genes da

opsina L e M são propensos a recombinação homóloga desigual, a qual possui profundas implicações para a função visual (NEITZ & NEITZ, 2012).

As cores podem ser descritas em termos de tonalidade, luminosidade e saturação. Munsell criou vários diagramas representativos baseado na percepção da visão colorida em humanos (WEBVISION, 2017).

Figura 9 - Sistema de cores Munsell, ilustrando tonalidade, luminosidade e saturação respectivamente



No diagrama observa-se como cada elemento compõe as cores. Fonte: WEBVISION, 2017.

Na figura 9, o diagrama tridimensional é possível entender como os três elementos compõem e influenciam a formação das cores.

Os sinais neurais produzidos pelos cones e bastonetes possuem canais de processamento diferentes conhecidos como vias Parvo, Magno e Koniocelular. As vias passam pelo núcleo geniculado lateral (NGL) do tálamo. Elas chegam em camadas celulares morfologicamente distintas que recebem informações de diferentes tipos de células ganglionares da retina e projetam para diferentes camadas no córtex visual primário (JASNA MARTINOVI, 2015). Cerca de 80% das células ganglionares retinianas são do tipo midget e conectam-se à via parvocelular; 10% são do tipo parasol e conectam-se à via magnocelular (PERRY *et al.*, 1984); 9% são do tipo biestratificado e conectam-se à via koniocelular (KAAS *et al*, 1978). O corpo geniculado lateral apresenta seis camadas, sendo as duas ventrais magnocelulares, as quatro dorsais parvocelulares e as camadas intermediárias koniocelulares. Foram identificadas células koniocelulares também dentro das camadas parvo e magnocelulares (HENDRY E YOSHIOKA, 1994; HENDRY E REID, 2000). Os campos receptores dos neurônios parvocelulares são menores do que os campos dos magnocelulares, conferindo a eles alta resolução espacial. Suas respostas ao estímulo são lentas e mantidas, conferindo a eles baixa resolução de estímulos em movimento (LIVINGSTONE E HUBEL, 1987).

Campos receptores de neurônios magnocelulares recebem informação dos cones L, M e S e, em geral, não codificam cores, embora alguns deles mostrem alguma sensibilidade a este parâmetro, ao serem tonicamente suprimidos por luz vermelha difusa e não por luz branca. Os neurônios magnocelulares são mais sensíveis a variações de luminância do que os parvocelulares. Respondem bem a estímulos com menos de 10% de contraste luminoso, mas saturam em contrastes menores do que os parvocelulares. Os magnocelulares possuem menor resolução espacial devido aos seus campos receptores serem duas a três vezes maiores do que os campos receptores dos parvocelulares. Os magnocelulares apresentam ainda menor latência e respostas transitórias ao estímulo, e por isso são mais sensíveis a altas frequências temporais e processam estímulos em movimento (LIVINGSTONE E HUBEL, 1987).

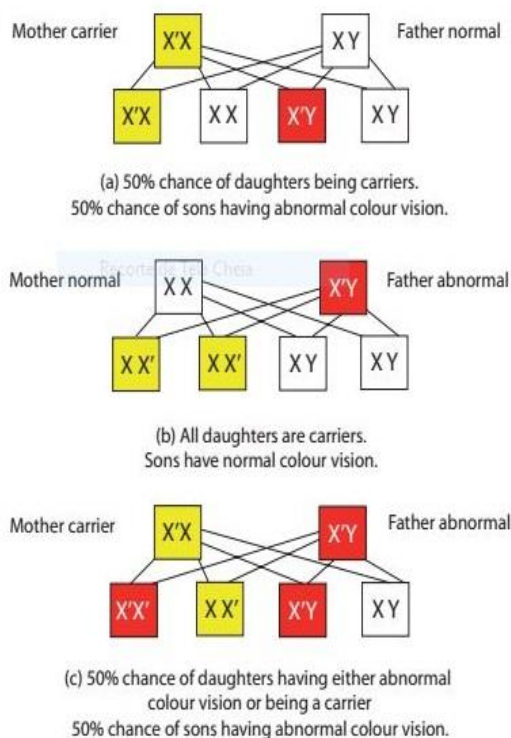
Os neurônios koniocelulares são morfologicamente células muito pequenas (KAAS *et al*, 1978; CASAGRANDE, 1994). Possuem moderada resolução espacial e velocidade de condução intermediária. Seus campos receptores recebem informação de cones S, com a característica de azul “center on” e oponência azul/amarelo (CASAGRANDE, 1994).

2.5 A VARIEDADE DE MANIFESTAÇÕES DO DALTONISMO

“O material genético responsável pela codificação das opsinas pertence a uma superfamília de genes que inclui também os genes das proteínas receptoras do odor e do paladar” (JACOBS, 2009). No locus 7q32.1 encontra-se o gene da opsina do cone azul; os genes dos fotopigmentos dos cones vermelho e verde encontram-se no locus Xq28 (NEITZ, 2000; DEEB, 2004; 2005).

Uma mutação relativamente comum no gene da opsina leva a uma substituição de uma cisteína por uma arginina no aminoácido de posição 203 da proteína (cys203arg). A substituição desse aminoácido, além de resultar em um desaparecimento de uma ponte dissulfeto e em deficiência de visão colorida vermelho-verde, causa também distrofia retinal (SIMUNOVIC, 2010). Defeitos do daltonismo afetam principalmente a distinção das cores vermelho e verde, por envolverem alterações em proteínas expressas por cones específicos, ou mesmo pela ausência de cones responsáveis por absorver os comprimentos de onda nesta faixa do espectro (LILLO, ÁLVARO & MOREIRA, 2014). Os defeitos de visão de cores ligados aos genes das opsinas MWS e LWS, encontram-se localizados no cromossomo X, estão geralmente associados a genes recessivos. Isto explica porque a incidência de daltônicos em mulheres é menor que em homens, como demonstrada na Figura 10.

Figura 10 - Manifestação cromossômica do daltonismo



O daltonismo está atrelado ao gene recessivo no cromossomo X. Na primeira situação da figura 10, em que apenas a mãe é carreadora do gene, apenas filhos homens podem manifestar o daltonismo, enquanto filhas serão carreadoras por possuírem um cromossomo X a mais para dominar a expressão gênica e não ter a anormalidade manifestada. O mesmo acontece se caso o pai for carreador. Nesse caso, ele é necessariamente daltônico, pois o sexo masculino possui apenas um cromossomo sexual X (2ª situação). Mulheres terão o daltonismo manifestado se ambos os sexos paternais carregarem um cromossomo X com o gene recessivo, o que probabilisticamente diminuí muito a incidência de daltonismo no sexo feminino. Fonte: BARRY L COLE, 2007.

Nas discromatopsias, por convenção, são usados prefixos gregos para primeiro, segundo e terceiro - "protos", "deuteros" e "tritros" - para determinar deficiências na percepção das cores vermelha, verde e azul, respectivamente (BRUNI; CRUZ, 2006). Assim, temos as situações biológicas de: monocromatismo, dicromatismo e tricromatismo. O monocromatismo tem a visão em perspectiva monocromática. O dicromatismo, ausência ou problemas no funcionamento de um dos três cones, ramifica-se em: protanopia, deuteranopia ou tritanopia. O funcionamento parcial dos cones, podem ser do tipo protanomalia, deuteranomalia ou tritanomalia. Distinções cromáticas referentes ao eixo vermelho-verde ocorrem em maior frequência. Estima-se que 5% dos homens sejam deuteranômalos. Defeitos envolvendo os cones azuis são raros, com prevalência de cerca de 1:13.000 (COLE, 2007). Em um contexto geral para as discromatopsias temos:

Quadro 03 - Classificação das discromatopsias

Classificação	Prevalência	Mecanismo	Característica
MONOCROMATISMO			
Monocromacia Típica	Rara	Inicialmente, acreditava-se ser devido a uma ausência total de cones, ou mutações nas opsinas a eles associadas. Sabemos agora ser o resultado de mutações nas subunidades alfa e beta de canais catiônicos específicos de cones.	Cego para visão de cores. Falta de percepção das cores. Cores são apenas distinguíveis por brilho. Muito insensível a luz vermelha. Nystagmus. Baixa acuidade visual. Fotofobia indolor.
Monocromacia do cone azul	Rara	Apenas o cone S (azul) está presente.	Cego para visão de cores. Cores são apenas distinguíveis por brilho. Visão de cores rudimentar na faixa de visão mesópica da ativação do bastonete e cone. Muito insensível a luz vermelha. Nystagmus. Baixa acuidade visual (de

			6/12 a 6/24). Fotofobia indolor.
DICROMATISMO			
Protanotopia	1% de homens e 0.01% das mulheres	Ausência do cone L (vermelho).	Capacidade de identificar cores muito reduzida. Confunde vermelho, amarelo e verde; confunde também branco, verde, azul e roxo. Diminuição da sensibilidade à luz vermelha.
Deuteranopia	1% de homones e 0.01% das mulheres	Ausência do cone M (verde) de pigmentação	Capacidade de identificar cores muito reduzida. Confunde vermelho, amarelo e verde; confunde também branco e verde.
Tritanopia	Incidência de 1 em 13,000; afeta ambos os gêneros com igual probabilidade	Ausência do cone S (azul).	Capacidade de identificar cores muito reduzida. Confunde azul com azul-verde e verde; confunde também branco com amarelo.
TRICOMATISMO ANÔMALO			
Protanomalia	1% de homens e 0.03% das mulheres	Cone L (vermelho) é afetado, onde o	Pode confundir o branco com o verde e

		espectro de absorção é deslocado para comprimentos de onda mais curtos.	confundir os vermelhos, amarelos e verdes, mas a perda de discriminação de cor varia muito entre indivíduos. Reduzida sensibilidade à luz vermelha. Por exemplo, irá adicionar excesso de vermelho na correspondência de cores $\text{red} + \text{green} = \text{yellow}$.
Deuteranomia	5% dos homens e 0,35% das mulheres	Espectro da absorção do cone M (verde) deslocado para comprimentos de onda mais longos.	Pode confundir o branco com o verde e confundir os vermelhos, amarelos e verdes, mas a perda de discriminação de cor varia muito entre indivíduos. Reduzida sensibilidade à luz verde; por exemplo, irá adicionar excesso de verde na correspondência de cores $\text{red} + \text{green} = \text{yellow}$.
Tritanomalia	Raro	Perda parcial do pigmento do cone S	Perda da discriminação de cor

			para azul, azul-verdes e verdes.
--	--	--	----------------------------------

(BARRY L COLE, 2007)

2.6 COGNIÇÃO: O REFLEXO OPTOCINÉTICO E A PERCEPÇÃO MÍNIMA DO MOVIMENTO

O reflexo optocinético é uma resposta cognitiva importante para estudar daltonismo e este depende de como os olhos respondem a apresentação de uma imagem. A estabilização de uma imagem retiniana é efetuada com o auxílio de 5 movimentos oculares: as sacadas, vergência, perseguição, reflexo vestibulo ocular e o reflexo optocinético. Os movimentos oculares respondem de acordo com o objeto observado, sua velocidade de deslocamento, seu movimento e a resposta da cabeça. Ambos os reflexos vestibulo ocular e optocinético são involuntários e sua principal diferença é a capacidade de acompanhar a velocidade de um objeto. Enquanto o vestibulo ocular acompanha altas velocidades de um objeto com auxílio de movimentos oculares resultantes dos movimentos da cabeça, o reflexo optocinético responde a movimentos lentos e prolongados na perseguição dos olhos sem auxílio dos movimentos da cabeça.

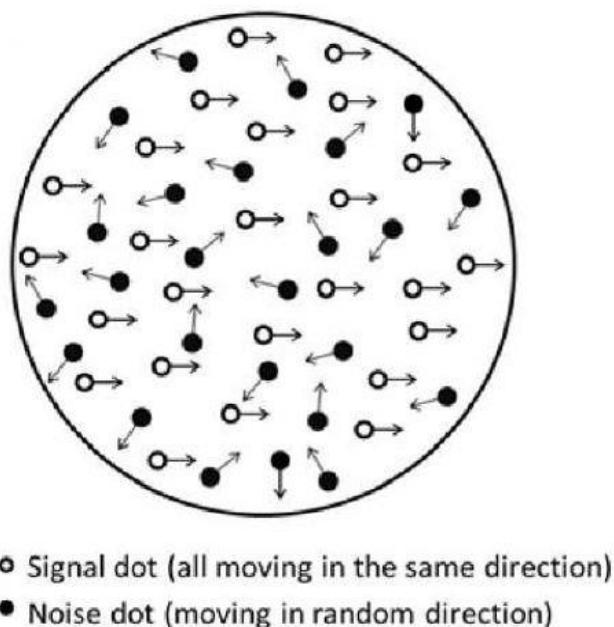
Nystagmus é uma modalidade de reflexo, uma resposta involuntária com movimentos oculares rápidos (sacadas) no sentido oposto à direção de movimento do objeto.

Dado um sistema, o movimento mínimo é caracterizado quando um conjunto de objetos estáticos geram a percepção de movimento em um sentido específico. Utilizando a percepção do movimento global, Tzu-Ying Yu *et al* comprovaram que é possível registrar dados psicofísicos de crianças de 2 anos de idade. Segundo a literatura, a percepção do movimento global em humanos emerge de 1 a 3 meses de idade, e continua a se desenvolver na infância. Dependendo do estágio de desenvolvimento, diferentes áreas corticais são responsáveis pelo processamento do movimento. Em adultos, a região *middle temporal* (V5/MT) tem um importante papel (TZU-YING YU *et al*, 2013). Este tipo de abordagem permite avaliar se a criança possui síndrome de Williams, dislexia do desenvolvimento, paralisia cerebral ou um histórico de parto prematuro ao apresentar déficit neste tipo de percepção.

O teste de Tzu consiste em um sistema de pontos com movimentos aleatórios (considerado ruído). A partir de um determinado momento, um sub-grupo desses pontos se move de forma coordenada em uma direção específica. A medida que este sub-grupo aumenta

de tamanho, o indivíduo perceberá um movimento global sincronizado, como demonstrado na Figura 11.

Figura 11 - Percepção do movimento global



Os pontos pretos se movem em direções aleatórias enquanto os brancos respeitam um padrão que geram a percepção do movimento global. Fonte: TZU-YING YU *et al*, 2013.

Explorando a percepção mínima de movimento, Anstis e Cavanagh (1983) criaram um teste baseado na luminância. A discriminação cromática em crianças emerge entre 1 a 2 meses de idade, mas estas apresentam dificuldade com grandes estímulos espectrais (TELLER D *et al*, 1978; HAMER *et al*, 1982; PACKER O *et al*, 1984; VARNER D *et al*, 1985). Todavia, a percepção de cor e luminância possui vias de processamento distintas, como as vias parvo e magno-celular descritas. Neste caso, a percepção de luminância é realizada geralmente pelos bastonetes e varia apenas em situações com a do daltonismo, onde a luminância do vermelho será captada em menor grau na via acromática do que por células em perfeitas condições de expressão de rodopsinas (ANSTIS E CAVANAGH, 1983,1984, 1989). A efetividade do teste foi comprovada analisando dados de 39 bebês na faixa etária de 1 a 3 meses de idade (ANSTIS E CAVANAGH, 1989).

2.7 TECNOLOGIAS DE DIAGNÓSTICO DE DISCROMATOPSIAS

Os testes utilizados em clínica seguem critérios de acessibilidade, facilidade de interpretação dos resultados e aplicabilidade (BARRY L COLE, 2007). Além disso, eles obedecem à padronização de reprodução de cores proposta pela CIE (*Commission Internationale de l'Eclairage*). Geralmente, não existe um teste de visão de cores ideal, aplicável para todos os casos, que forneça um diagnóstico com 100 % de acurácia. Assim, o uso de dois ou três testes independentes forneceria um resultado mais confiável, embora isso nem sempre seja possível na prática.

Quadro 04 - Testes de discromatopsias

Teste	Capacidade	Interpretação
<p>Ishihara</p> <p>Apresenta-se uma figura em formato de placa com vários pixels de cores próximos e o objetivo é identificar o número que eles formam.</p>	<p>Detecta a DAC em protans e deutans com alta sensibilidade e especificidade.</p>	<p>Erros em três ou mais das placas de Ishihara indicam DAC na faixa do vermelho-verde, com uma pequena chance de erro (2%). Cinco ou mais erros indicam certamente DAC para vermelho-verde. O Número de erros não é uma medida confiável da gravidade do déficit. Entretanto, sujeitos que fazem muito poucos erros provavelmente terão um déficit leve, enquanto aqueles que fazem um grande número de erros podem ter déficits leves ou graves.</p>
<p>Richmond HRR (2002)</p> <p>O mesmo propósito da placa</p>	<p>Detecta DAC de protan e deutan com uma</p>	<p>Dois ou mais erros com os seis símbolos nas quatro</p>

de Ishihara, mas a identificação se refere a símbolos.	sensibilidade e especificidade apenas ligeiramente menor do que o teste de Ishihara. Considerado um teste de confirmação ideal para o teste de Ishihara.	placas de rastreio verde-avermelhadas indicam uma visão de cor anormal, mas 4% dos sujeitos com visão de cor normal irão cometer dois erros. Três ou mais erros indicam certamente DAC na faixa vermelho-verde. A maioria (98%) daqueles com defeito vermelho / verde cometem três ou mais erros
	Detecta defeitos tritan	Não foram encontrados dados sobre a detecção de defeitos tritan com o teste Richmond HRR 2002, mas as placas de triagem do teste HRR original detectaram defeitos tritan, mas não em todos dos sujeitos.
	Pode diferenciar protan, deutan e tritan.	Classificação correta de protan ou deutan em 86% dos casos, 3% erroneamente classificados e o restante ambíguo. Defeitos claramente diferenciados em tritans, se detectados
	Classifica a gravidade como leve, média e forte.	Os erros nas primeiras cinco placas de classificação indicam DAC leve (30% DACs). Erros nas próximas

		<p>três placas de classificação = DAC médio (45% DACs)</p> <p>Erros nas duas últimas placas de classificação = DAC forte (25% DACs). No entanto, o significado de "médio" e "grave" é incerto, uma vez que alguns DAC leves são classificados como "médio" ou "forte" e dicromatas podem ser classificados como "médio".</p>
<p>Medmont C100</p> <p>Mede a sensibilidade espectral relativa usando fotometria de cintilação para diferenciar protans e deutanos. Ele deve ser capaz de diagnosticar o sinal de Schmidt.</p>	<p>Distingue protan ou deutan com alta sensibilidade e especificidade. Teste para aqueles que falharam no teste de Ishihara, pois os pacientes com visão natural podem fazer ajustes negativos ou positivos e há alguma sobreposição nas configurações médias de observadores normais e DAC, mas não há sobreposição de configurações protan e deutan.</p>	<p>A magnitude do ajuste médio não é um índice da severidade de DAC. O Medmont C100 não deve ser utilizado para detectar DAC ou julgar a sua gravidade.</p>
<p>Farnsworth D15</p> <p>O teste consiste na organização de degrados de cores muito próximas. O tamanho da amostragem de</p>	<p>Categoriza aqueles com visão de cor anormal como 'leve' ou 'moderado / grave'.</p>	<p>Uma falha é definida como dois ou mais cruzamentos diametrais e indica DAC moderada / grave (60% de DAC). Uma passagem indica</p>

cores é maior para testes mais refinados.		uma DAC "leve" (40% de CVD).
	Pode diferenciar defeitos de protan, deutan e tritan.	A diferenciação só é possível quando a DAC é suficientemente forte para que sejam feitos cruzamentos diametrais.

(BARRY L COLE, 2007)

2.8 APLICAÇÃO DE DIAGNÓSTICOS EM CRIANÇAS

O diagnóstico precoce das discromatopsias em crianças é importante para direcionar a inclusão social. Nesta faixa etária existe uma atividade intensa de aprendizado, e a falta da informação referente a um déficit na percepção de cor gera impactos psicológicos e educacionais ainda na escola primária. A maioria dos estudiosos concordam que testes de visão de cor devem ser realizados em algum momento da vida da criança, e que os oftalmologistas deveriam testar a visão de cor em todos os novos pacientes. No entanto, este não é sempre o caso. Cerca de um quinto a um terço das pessoas com tais deficiências não estão cientes que a possuem (SIMUNOVIC, 2010; BARRY L COLE, 2007; THOMSON & EVANS, 1990).

Crianças em idade escolar não estão atentas para suas deficiências de visão colorida. Em alguns casos, cerca de 60% de tricromatas anômalos e 30% de dicromatas não estavam cientes de suas deficiências enquanto estavam na escola (COLE, 2007).

O estudo de visão colorida e sensibilidade espectral em adultos é muito antiga, porém é relativamente novo em crianças. As razões para este início tardio são metodológicas, já que o problema central no estudo da visão colorida de crianças está na escolha do estímulo para experimentos. O processamento da visão colorida de crianças é diferente dos adultos. Portanto, testes criados para adultos não possuem a mesma eficiência em crianças. Por exemplo, utiliza-se até o número 5 nas placas de Ishihara quando adaptado para crianças, já que esses são os primeiros números que a criança aprende (BUTTERWORTH-HEINEMANN, 1998). Outras adaptações preveem símbolos e formas geométricas para crianças acima de 6 anos (BUTTERWORTH-HEINEMANN, 1998), no qual o desenvolvimento neural apresenta um sistema cognitivo capaz de interpretar e perceber esse tipo de informação corretamente. A Sociedade Britânica de Pediatria, por exemplo, recomendou que todas as crianças entre 11-15

anos sejam triadas pelo teste de Ishihara. Antes dessa faixa etária, a investigação deve ser conduzida apenas em crianças que manifestarem dificuldades para usar a cor (POLNAY, 1995).

Os professores devem estar preparados para identificar crianças suspeitas de portarem discromatopsia e encaminhá-las para uma avaliação adequada. A detecção do defeito de visão cromática pode orientar as práticas de ensino e levar a uma adaptação das técnicas pedagógicas (LEWIS *et al.*, 1990; GORDON, 1998; LOGAN; GILMARTIN, 2004). Estudos das dificuldades no ensino apresentam três fatores gerais: (1) - o material didático ou as práticas de ensino (ver Figura 3), (2) - as dificuldades de relacionamento com colegas e (3) - as dificuldades com professores. Evidências de bullying foram encontradas relatando a sensação de constrangimento por ser alvo de brincadeiras e deboche de colegas, assim como a percepção de despreparo dos professores para lidar com a situação. A falta de preparo dos professores levam a avaliações errôneas. Reportou-se penalização por professores durante as avaliações e mesmo acusações de indolência por alunos daltônicos terem-se esquivado de tarefas escolares que envolviam pintura em público. Uma possível falta de preparo dos professores para suspeitar da possibilidade de um aluno ter um defeito de visão cromática gerou situações vexatórias, tendo contribuído para um sentimento de falha do sistema escolar (DÉBORA GUSMÃO MELO *et al.*, 2014). Embora a discromatopsia não pareça comprometer o grau de escolaridade alcançado pelos acometidos, Grassivaro-Gallo e colegas (1998) encontraram um desempenho escolar significativamente menor comparando 82 crianças daltônicas com um grupo controle pareado, embora curiosamente não houvesse diferença no desempenho em artes. Relatos de desconforto, vergonha e ansiedade no ambiente escolar, são sentimentos aparentemente comuns entre pessoas com discromatopsia (BARRY L COLE, 2004).

Testes de diagnóstico em crianças abaixo de cinco anos apresentam uma maior complexidade devido a baixa capacidade de coordenação, concentração e cooperação associados à idade (BARRY L COLE, 2007; TZU-YING YU *et al*, 2013).

2.9 MMT: TESTE DA EFICIÊNCIA DE LUMINÂNCIA

Em 1983, Ansist e Cavanagh desenvolveram um método robusto para detecção de movimento a partir de estímulos isoluminantes baseado no fato que as células ganglionares do tipo M, responsáveis pela percepção de movimento rápido, são completamente cegas para cor e extremamente sensíveis à luminância (ver DACEY E PACKER, 2003). Este método, denominado ‘Técnica de Movimento Mínimo’ (*MMT – Minimum Motion Technique*), gera a percepção de movimento quando as cores testadas não são isoluminantes, e esta percepção de

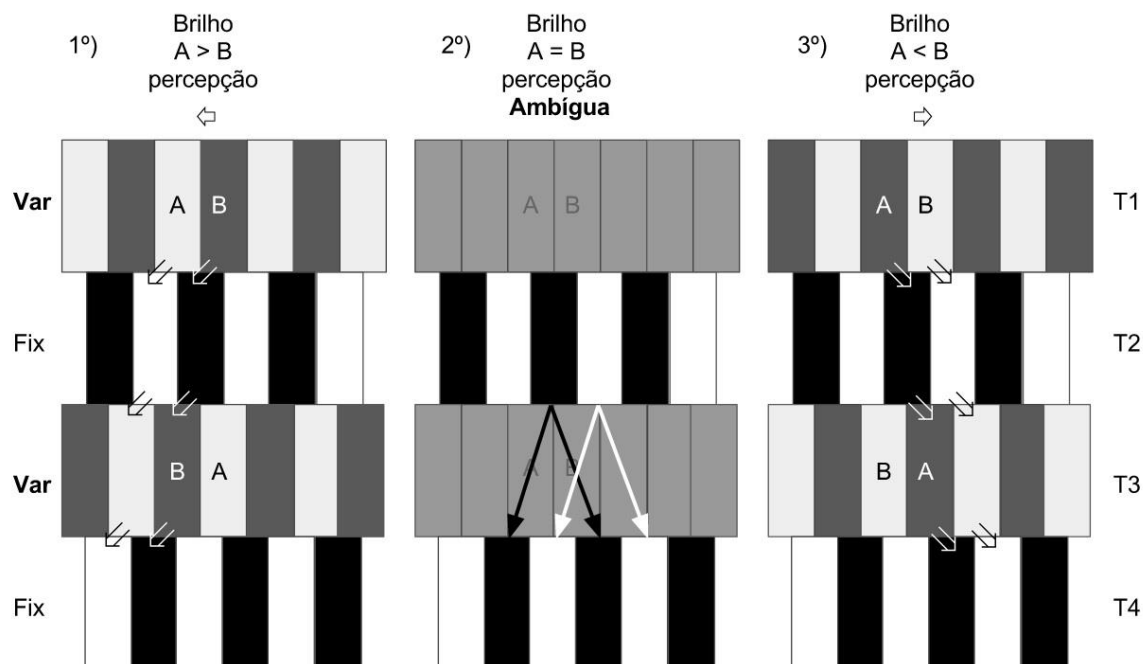
movimento cessa quando as cores se tornam isoluminantes (ANTIS E CAVANAGH, 1983). Assim, em testes psicofísicos o sujeito experimental tem que indicar explicitamente se está percebendo movimento através da identificação correta do sentido do movimento. Este método utiliza a apresentação sequencial de quatro estímulos, dois pares de padrão de barras, estáticos, apresentados sequencialmente ('4 tempos') gerando a percepção de movimento aparente (ANSTIS, 1980) .

2.9.1 MMT IMPLÍCITO PARA HUMANOS

Em 1984 Cavanagh e colaboradores utilizam o MMT para pesquisa de daltonismo. Estes autores utilizam um método implícito de avaliar a percepção de movimentos pelos sujeitos experimentais através do reflexo optocinético. Este é um reflexo oculomotor (involuntário) que age na estabilização da imagem na retina fazendo com que os olhos tentem seguir o movimento de deslocamento da imagem total do campo visual (fase lenta). Ao chegar próximo ao limite da movimentação ocular, o sujeito faz um movimento ocular rápido, sacádico (fase rápida), na direção oposta àquela de movimentação do objeto na tentativa de fixá-lo novamente (ANTIS E CAVANAGH, 1984). Este método implícito permite a avaliação sem a necessidade de se instruir o sujeito experimental, sem que este tenha que emitir uma resposta explícita e foi utilizado com sucesso em crianças (MAUER *et al.*, 1989). Neste primeiro estudo a avaliação do reflexo optocinético foi feita através da observação direta dos movimentos oculares por um pesquisador 'treinado'.

O experimento consiste na sobreposição de pares de faixas de barras. No primeiro par de faixas, temos as cores sendo analisadas (por exemplo, verde e vermelho). No segundo par de faixas, temos cores intermediárias (cinza, preto e branco), ou a cor resultante da combinação das cores do primeiro par de faixas (no caso do exemplo verde e vermelho, teríamos o amarelo). A sobreposição das faixas seguirá metade do quadro anterior ($\frac{1}{4}$ do ciclo), e o movimento aparente será induzido pela luminância dos quadros. Variando a luminância, no exemplo da Figura 12, o movimento percebido será na direção das maiores luminâncias combinadas. Em situações que as luminâncias são percebidas igualmente pelo observador, este será seu ponto isoluminante (equiluminante), onde nenhum movimento é percebido.

Figura 12 - Percepção do mínimo movimento pela luminância



Na figura 12 observa-se 3 condições, onde cada situação tem quatro tempos de sobreposição de faixas com barras (T1,T2,T3 e T4). As faixas são predeterminadas em variáveis (Var) e fixas (Fix). Nas variáveis estão as cores a serem analisadas e nas fixas a combinação das cores destas (vermelho e verde = amarelo) ou uma cor neutra. O teste analisa a luminância, então independente da cor, indicado nas barras por A e B, o que irá variar são suas luminâncias. Portanto na 1º condição no T1 a cor A é mais luminante do que B, sua combinação com a faixa fixa se dará nos quadros claros e com B o mesmo com os escuros. Essa combinação em 4 tempos provocará a sensação do movimento mínimo no sentido esquerdo. Posteriormente a luminância de A diminuirá tanto que encontrará a 3º condição, em que B tem maior luminância e se combinará com a barra clara provocando o movimento no sentido oposto (no caso direto). Intercalando a variação das luminancias de A e B encontraremos a isoluminancia, 2º situação, em que a luminancia de ambos são iguais e o movimento é ambíguo nas duas direções ficando totalmente confuso. As três condições representam um ciclo do experimento.

3.0 OBJETIVOS

O diagnóstico para daltonismo é realizado pelas tecnologias abordadas no Quadro 4, mas apresenta dificuldades. Em âmbito geral, para um diagnóstico eficaz, múltiplos testes são necessários e estão sujeitos a erros quanto menor a idade do sujeito (TZU-YING YU *et al*, 2013). O indivíduo informa sua percepção de forma voluntária. Assim estão passivos de erros por haver uma tomada de decisão. O diagnóstico precoce de crianças são os mais falhos. Como todo o processo de avaliação é manual, ele consome tempo e necessita de auxílio por parte de especialistas ou professores informados, o que dependendo das condições sociais podem se tornar inviáveis.

3.1 OBJETIVOS GERAIS

- Produzir um sistema que seja barato
- Automatizado
- Não necessite de uma grande capacidade cognitiva do sujeito
- Seja realizado por respostas involuntárias
- Possa ser aplicado logo no primeiro ano de vida da criança
- Ser útil e compatível com novas tecnologias, como por exemplo wearables, como esighteyewear, realidades virtuais como oculus rift por proporcionar sua calibração automatizada, identificando a sensibilidade exata da percepção visual da visão de cores.
- Possa ser utilizado em monitores, tablets ou celulares encontrados em consultórios clínicos comuns, escolas primárias e até mesmo na própria residência de uma pessoa leiga no assunto.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O teste desenvolvido por Anstis e Cavanagh, 1983, levanta discussões do método utilizado para captar as sacadas. Os pesquisadores não utilizaram um equipamento de eletrooculograma (EOG) para registrar os sinais involuntários dos movimentos oculares. A abordagem foi totalmente manual, observando-se os olhos de cada sujeito. Isto traz questionamentos e a necessidade de validar os dados. Portanto, os objetivos específicos desse estudo são:

- Criar e reproduzir a automação do teste de diagnóstico de daltonismo por luminância e testar as rotinas de programação (scripts), utilizando respostas voluntárias.
- Replicar o experimento e validar dados descritos por Anstis e Cavanagh no processo automatizado para a percepção de movimento mínimo de luminância.
- Verificar uma primeira resposta de um sujeito daltônico adulto.

4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do atual estudo baseia-se em proporcionar as condições ideais, automatizar os processos e realizar pré-análise de diagnóstico para futuros passos.

4.1 CONDIÇÕES IDEAIS

O experimento necessita do controle da luminância para a percepção de movimento mínimo. Portanto, é necessário medir a luminância emitida em um monitor com alta resolução e placa de processamento gráfico. As respostas voluntárias são captadas pelo teclado ou mouse ao pressionar o botão.

Descrições dos equipamentos:

- Monitor EIZO FG2421
- Capacidades computacionais: Windows 7 Professional (OS), 64bits, Intel core i5 3.00 GHz.
- Colorímetro Color CAL II Cambridge research system
- Luxímetro Digital MLM-I333, Mimipa.

4.1.1 CONFIGURAÇÕES DO MONITOR

O monitor EIZO foi configurado para luminância máxima e toda simulação do experimento está em uma resolução digital de 1920 x 1080.

4.2 AUTOMATIZAÇÃO

Linguagens computacionais para controle automatizado:

- MATLAB R2013b (8.2.0.701), 64 bits
- Toolbox Psychtoolbox 3.0.12, 5 outubro 2014

As variáveis controladas pelas linguagens:

- Interfaces de comunicação com periféricos (colorímetro e monitor, por exemplo) que auxiliam na medição de luminância, geram estímulos e captam respostas
- Medir e padronizar luminância
- Calibrar os canhões dos Monitores para uma luminância precisa
- Gerar o estímulo
- Guardar a resposta
- Analisar estatisticamente os dados obtidos

4.2.1 SCRIPTS DE AUTOMAÇÃO

Ao todo são 7 scripts, que podem ser encontrados no repositório digital do Git Hub⁵, denominados:

1. mmt_ramp23
2. m_eye_distance.m
3. ColorCAL2.m
4. m_I2RGB
5. m_LUM2CANN.m
6. m_otuliers
7. m_grid_rect

Descrição resumida acerca dos scripts:

1: Script de interface com usuário, ajuste de parâmetros para geração do estímulo e integração dos scripts periféricos.

2: Definição do tamanho dos pixels (os inputs são os tamanhos da tela, em cm, e a função acessa o tamanhos da tela do screen de apresentação em pixels através do psychtoolbox).

3: Mensuração da luminância dos canhões de cores emitidas pelo monitor para padronizar o experimento se comunicando com o hardware de mensuração (ColorCALL).

4: Geração de valores compondo a variação de luminâncias RGB respeitando uma equação inversamente proporcional para gerar pontos isoluminantes.

5: Calibração padronizada da luminância em valores de canhões de cores do monitor.

6: Eliminação de pontos outliers de ruídos e erros que o usuário comete em uma avaliação comportamental.

7: Geração dos estímulos (barras).

⁵ Disponível em < <https://github.com/will-bc/MMT-Minimum-Motion-Technique-> > Acessado em Junho, 2017.

4.3 OUTRAS OBSERVAÇÕES E PROTOCOLOS

Todos os indivíduos foram colocados em uma sala com iluminação padrão 100 candelas/cm² a uma distância de 57.3 cm do monitor. Foram gerados dois protocolos para cada condição de experimento, sendo elas a comparação das cores: neutro em escala de cinza, vermelho e verde, vermelho e azul; por fim verde e azul. Algumas configurações são padrões em todas as configurações. Importante ressaltar que foram 10 trials (i.e. repetições) de ciclos do experimento, como consta no ramp versão 23, que gera o protocolo de interface. Cada protocolo possui frequência espacial 1 e 2 °C de largura, barras finas e grossas respectivamente para cada análise de duas cores.

4.4 PREPARO

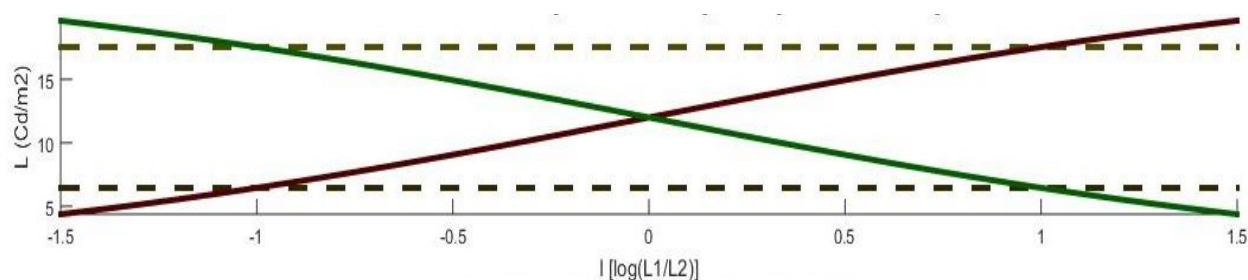
Inicialmente, uma ficha de inscrição com informações de cada indivíduo é preenchida. Logo depois, a pessoa é preparada no local e realiza-se o teste FM - 100 Hue de daltonismo reconhecido como funcional. Os testes de luminância iniciam-se com a escala neutra repetidas vezes até o indivíduo entender como funciona o experimento e ser capaz de gerar um conjunto de dados confiáveis. Protocolos com cores são executados, primeiro todos com barras maiores e depois as menores, respeitando a ordem: vermelho X verde, vermelho X azul e verde X azul.

5.0 RESULTADOS

Inicialmente, realizamos dois tipos de experimentos: um sobre o comportamento da rampa e outro das respostas do sujeito na rampa (ver Figura 13 e 14). Realizamos também um teste de daltonismo, já bem consolidado, que é o FM - 100 Hue.

5.1 RAMPA

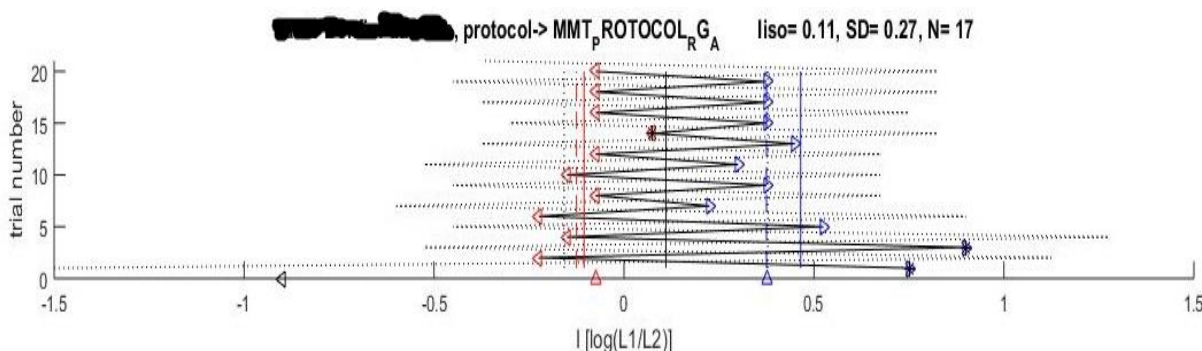
A rampa é um gráfico indicativo de quais luminâncias estão sendo aplicadas nas cores, como demonstrado na Figura 13.

Figura 13 - Interpretação da Rampa

No gráfico observamos no eixo Y o valor de luminância (em Cd/m²) aplicado às cores, e no eixo X o valor da equação de isoluminância em função logarítmica. O valor “0” no eixo X representa a isoluminância (ou seja, quando $L1 = n$ e $L2 = n$, $n/n = 1$, $\log 1 = 0$). O experimento inicia-se em sentido aleatório e percorre a rampa inteira em um ciclo de experimento. Neste processo, a luminância varia.

5.2 RESPOSTAS DOS SUJEITOS

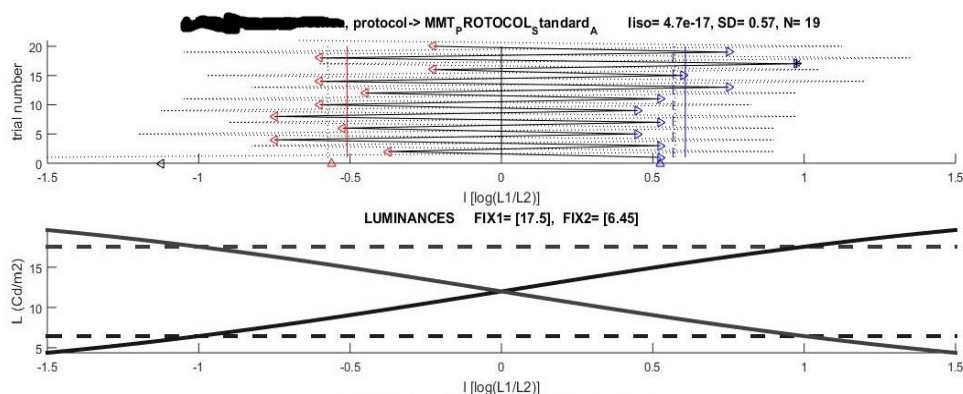
Nas respostas é possível identificar em que momento da rampa o sujeito percebeu um sentido de movimento, qual foi este sentido, e quanto tempo demorou para perceber a inversão (Figura 14, abaixo).

Figura 14 - Respostas

No gráfico da figura 14, o eixo Y representa o número a repetição (trial number). Portanto, em 10 ciclos, são gerados 20 respostas. No eixo X, encontra-se representado o valor de isoluminância conforme dado pela fórmula expressa na legenda da Figura 13. As direções das setas representam em que sentido o sujeito identificou o movimento e a cor delas representa qual o sentido que a rampa estava variando em função das luminâncias das barras: vermelho significa da esquerda para direita, e azul da direita para esquerda. Os pontos pretos nas setas indicam que o dado foi muito desproporcional ao padrão de respostas e foram considerados outliers. A razão pode ser devido a uma desatenção do sujeito, ou um clique errado no mouse. Por esse motivo, o ponto é considerado como um outlier e foi descartado. A linha preta vertical significa a média dos resultados, o que representaria o ponto isoluminante do sujeito. As linhas azuis e vermelhas não tracejadas representam a média das respectivas setas, e a linha tracejada representa a mediana. Os valores no canto superior direito representam, respectivamente, liso = valor da média geral (linha preta), SD = valor do desvio padrão, N= número de respostas válidas. O desvio padrão neste caso é um valor estatístico que expressa a dificuldade do sujeito de perceber o movimento em determinadas luminâncias.

Para validar a influência do brilho nas cores, testes neutros são realizados para verificar a veracidade. Os dados necessitam, então, serem compatíveis com o ponto isoluminante real da equação, como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Resposta neutra

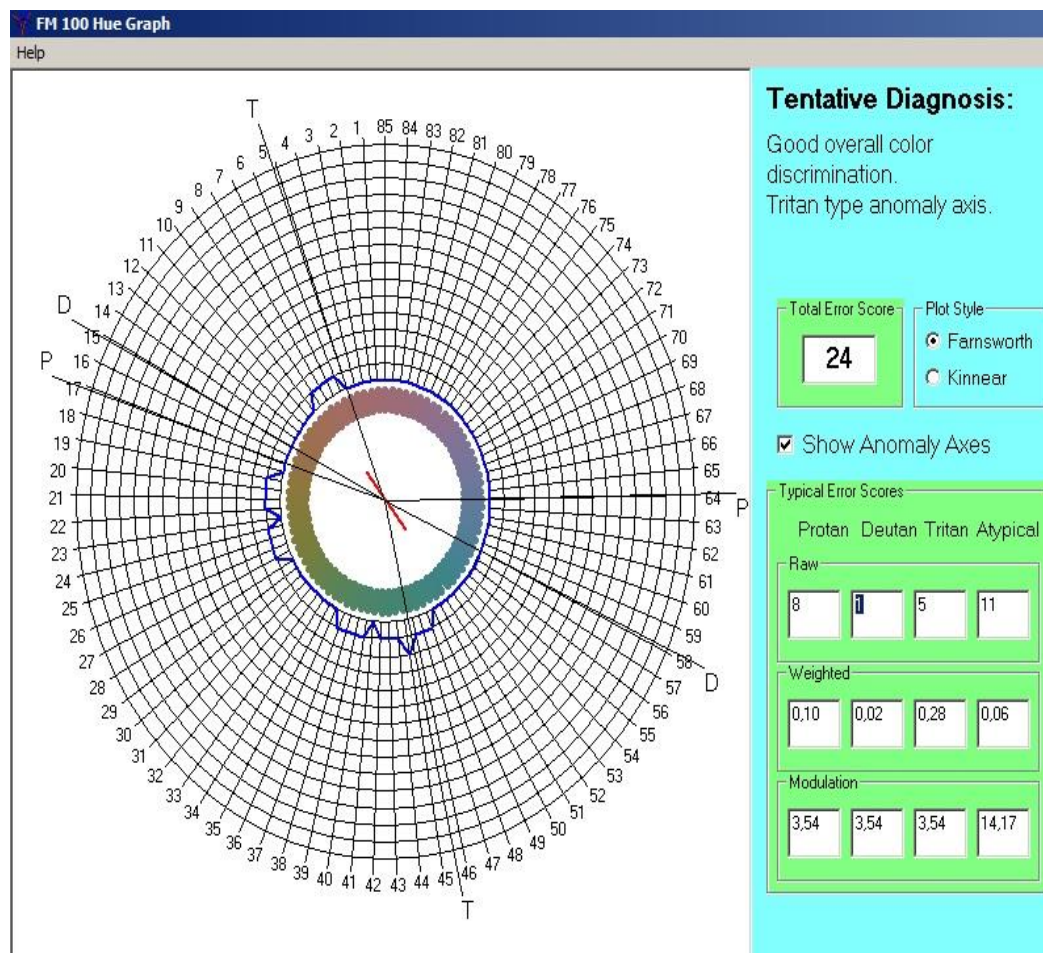


No gráfico de resposta observa-se que a média é muito próxima de zero, $liso = 4.7 \cdot 10^{-17}$, identificando que sem a interferência de cores o ponto isoluminante é quase exato e o dado é neutro.

5.3 TESTE FM - 100 HUE

O teste de Farnsworth-Munsell 100 é um dos testes de visão de cor famosos e indica a severidade do daltonismo e/ou potencial de sensibilidade cromática. A resposta obtida por esse teste está exemplificada na Figura 16. Esta será um validador que os dados do teste de luminância estão corretos.

Figura 16 - Respostas, padrão de normais FM- 100 HUE



No gráfico, os erros do sujeito são distribuídos de acordo com a variação de cores, que são degraus de vermelho a verde, de verde a azul e azul a vermelho. No caso acima foram identificados 24 erros cromáticos (Total Error Score). Abaixo de 50 é considerado normal. Entre 50 e 150 indica uma pequena insensibilidade cromática, e acima de 150 é caracterizado com daltonismo. Os erros em vermelho são distribuídos em protan, os de verde em deutan, os azuis em tritan e intermediários em atípicos.

5.4 DADOS

Os dados se separam em duas grandes análises de condições: para barras grossas, (quando o protocolo tem frequência espacial igual a dois); para barras finas (frequência espacial igual a um).

Quadro 05 - Dados

1º CONDIÇÃO, BARRAS GROSSAS - FREQUÊNCIA ESPACIAL 2

Situação experimental de análise sem exceções:	
Número de sujeitos	12
Média do teste neutro	-0,0148
Desvio Padrão geral do teste neutro	0,43583333
Vermelho X Verde	
Número de sujeitos	11
Média geral para normais	0,164
Desvio Padrão geral	0,444
Vermelho X Azul	
Número de sujeitos	10
Média geral para normais	0,2
Desvio Padrão geral	0,397
Verde X Azul	
Número de sujeitos	9
Média geral para normais	-0,035
Desvio Padrão geral	0,386
Situação experimental de análises com exceções:	
Vermelho X Verde	
Número de sujeitos	5 (45 % de padrão)
Média geral para normais	0,228
Desvio Padrão geral	0,508
Vermelho X Azul	

Número de sujeitos	4 (40% de padrão)
Média geral para normais	0,2975
Desvio Padrão geral	0,4325
Verde X Azul	
Número de sujeitos	5 (55% de padrão)
Média geral para normais	0,0508
Desvio Padrão geral	0,426
Análise do daltônico	
Vermelho X Verde	
Média Geral	0,7
Desvio Padrão	0,64
Vermelho X Azul	
Média Geral	0,66
Desvio Padrão	0,1
Verde X Azul	
Média Geral	0,29
Desvio Padrão	0,62
2° CONDIÇÃO, BARRAS GROSSAS - FREQUÊNCIA ESPACIAL 1	
Situação experimental de análise sem exceções:	
Número de sujeitos	12
Média do teste neutro	0,0033666
Desvio Padrão geral do teste neutro	0,4025

Vermelho X Verde	
Número de sujeitos	9
Média geral para normais	0,12633
Desvio Padrão geral	0,4988
Vermelho X Azul	
Número de sujeitos	8
Média geral para normais	0,25775
Desvio Padrão geral	0,45
Verde X Azul	
Número de sujeitos	8
Média geral para normais	0,106375
Desvio Padrão geral	0,5
Situação experimental com exceções :	
Vermelho X Verde	
Número de sujeitos	7 (77% de padrão)
Média geral para normais	0,06633
Desvio Padrão geral	0,4022
Vermelho X Azul	
Número de sujeitos	4 (50% de padrão)
Média geral para normais	0,255
Desvio Padrão geral	0,4725
Verde X Azul	

Número de sujeitos	7 (87% de padrão)
Média geral para normais	0,05442
Desvio Padrão geral	0,51
Análise do daltônico	
Vermelho X Verde	
Média Geral	0,57
Desvio Padrão	0,58
Vermelho X Azul	
Média para direita (caso especial)	0,645
Desvio Padrão	-
Verde X Azul	
Média Geral	0,31
Desvio Padrão	0,66

Média geral inclui a média de todos os dados dos sujeitos. O mesmo se aplica para desvio padrão geral. A análise foi separada em duas partes devido à heterogeneidade dos dados.

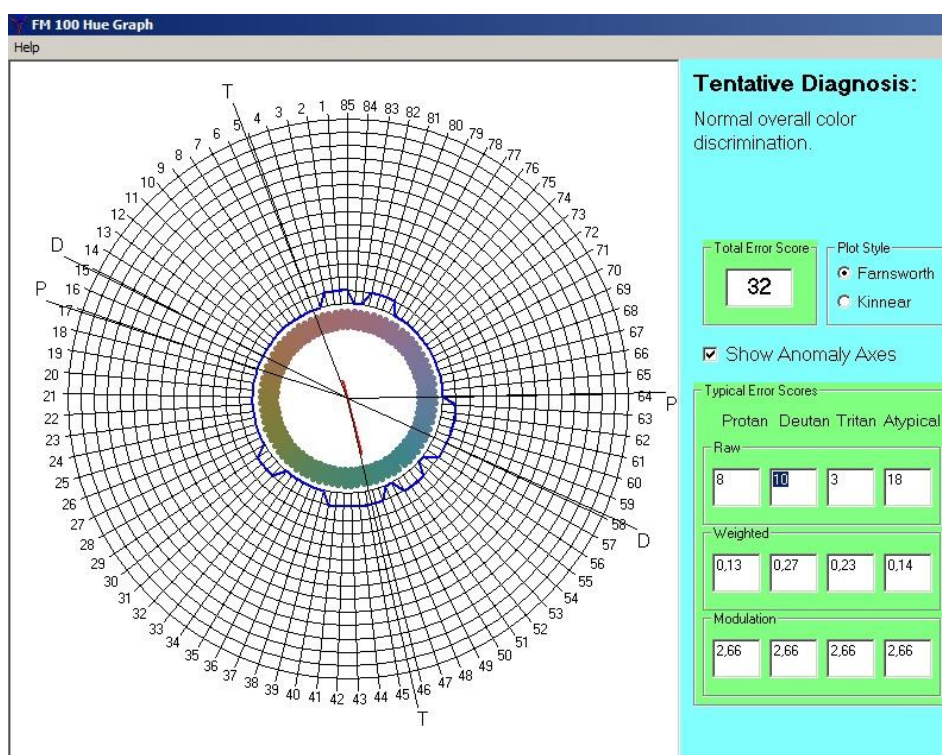
Foram analisados ao todo 12 sujeitos, sendo um daltônico. Os dados seguiram um ótimo critério de confiança quando comparados com o teste FM- 100 Hue e também quando analisados com o teste neutro de MMT (abordado no Quadro 5 com a média geral próxima do zero, -0,0148 ou 0,0033), tanto para barras finas e grossas, evidenciando a importância da influência das cores na luminância. A concordância com o teste de FM - 100 Hue também trouxe variabilidade e casos que têm que ser tratados como exceção. A sensibilidade de um sujeito está ligada às opsinas presentes nos receptores e suas variações na sequência de aminoácidos no sítio de reconhecimento. Algumas pessoas tendem a ser mais sensíveis do que outras, mas isso não quer dizer que possuam alguma deficiência na visão das cores. Esse panorama faz com que a natureza das respostas sejam variadas e específicas para cada sujeito.

5.5 EXCEÇÕES DE ANÁLISES E TRATAMENTO DE CASOS ESPECIAIS

Quando as análises identificam indivíduos que possuem uma diferença considerável no seu ponto isoluminante, dizemos que este indivíduo é mais sensível à luminância de uma cor do que outra, ou precisa de mais brilho de uma determinada cor. As análises sem exceções (i.e. com todos os sujeitos) não discrimina isso, já as com exceções (i.e. sem os outliers) excluem esses indivíduos do espaço amostral e utiliza somente aqueles com respostas próximas que geram o padrão que foi o mais comum na população. A coleta de dados para protocolos de barras grossas foi maior que a coleta das barras finas. Portanto, barras grossas foram usadas para avaliar os casos especiais:

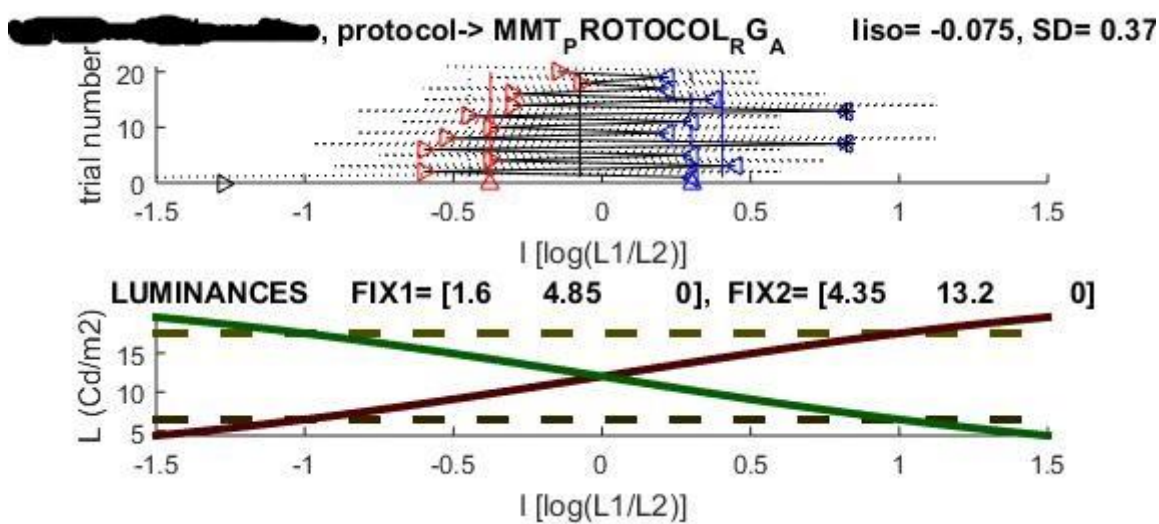
- Caso 1

Figura 17 - Teste FM-100 Hue, Caso 1



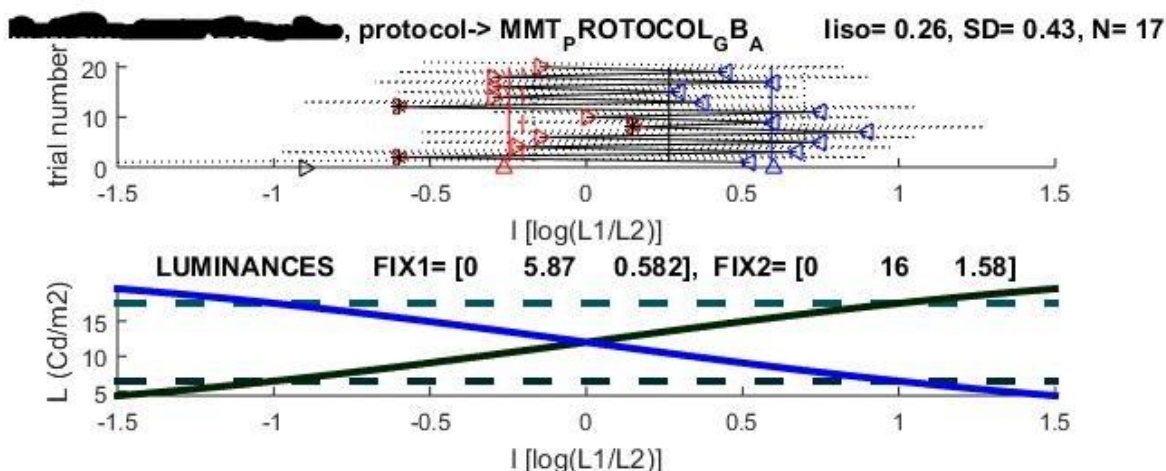
Neste caso, o padrão de erros tende a ser maior para a percepção do verde (10 erros); depois para o vermelho (8 erros) e, por fim, para o azul com um valor baixo de erros (3 erros).

Figura 18 - MMT Vermelho X Verde, Caso 1



A isoluminância média do sujeito está deslocada para a esquerda (valor de -0.075). Comparando com a rampa, isto significa que o sujeito precisa de mais luminância no verde para identificar o movimento, corroborando com o teste FM-100Hue que também indicou uma dificuldade na percepção do verde. Notar que a direção das setas nesta figura não informam a respeito da percepção do sentido das barras do sujeito (em função de termos usado uma versão antiga do setup).

Figura 19 - MMT Verde X Azul, Caso 1

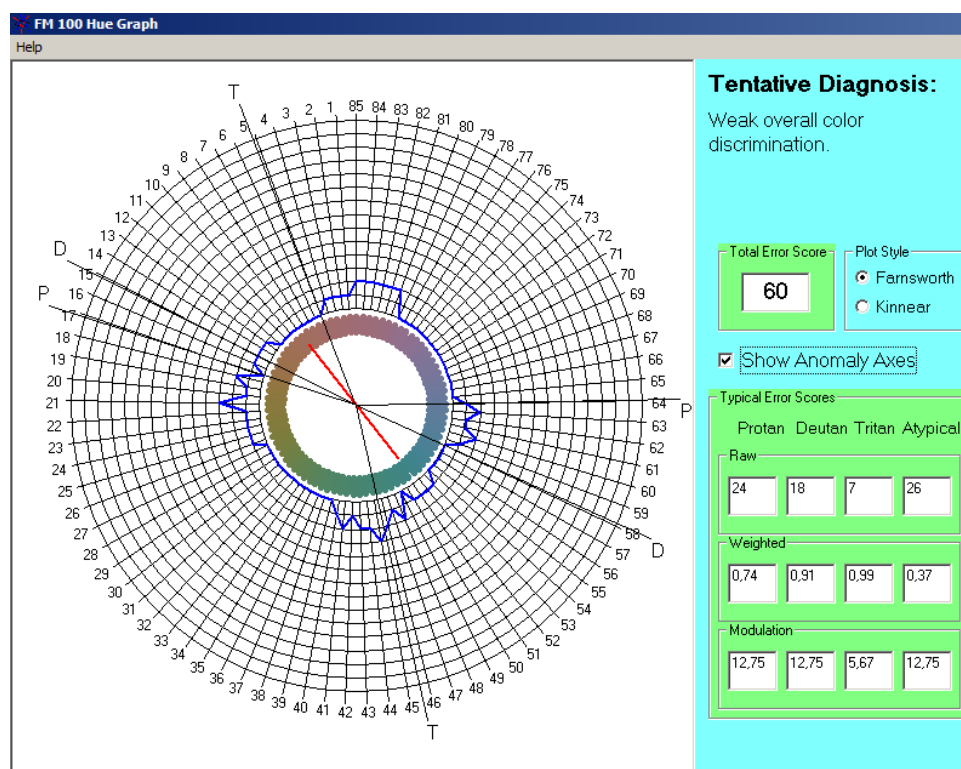


O ponto de isoluminância do sujeito encontra-se deslocada para a direita, indicando que a percepção do movimento mínimo necessita de mais luminância no verde quando comparada com a rampa.

O sujeito do Caso 1 foi considerado uma exceção. Os sujeitos normais geralmente cometiam mais erros na percepção do vermelho, deslocando o ponto de isoluminância média aproximadamente 0,2 para a direita, como demonstrado no Quadro 5 de dados para barras grossas. No entanto, o sujeito do Caso 1 apresentou um deslocamento para a esquerda, como evidenciado na Figura 18, corroborando os dados da Figura 17. A Figura 19 é mais uma indicação do deslocamento para luminâncias maiores na faixa do verde.

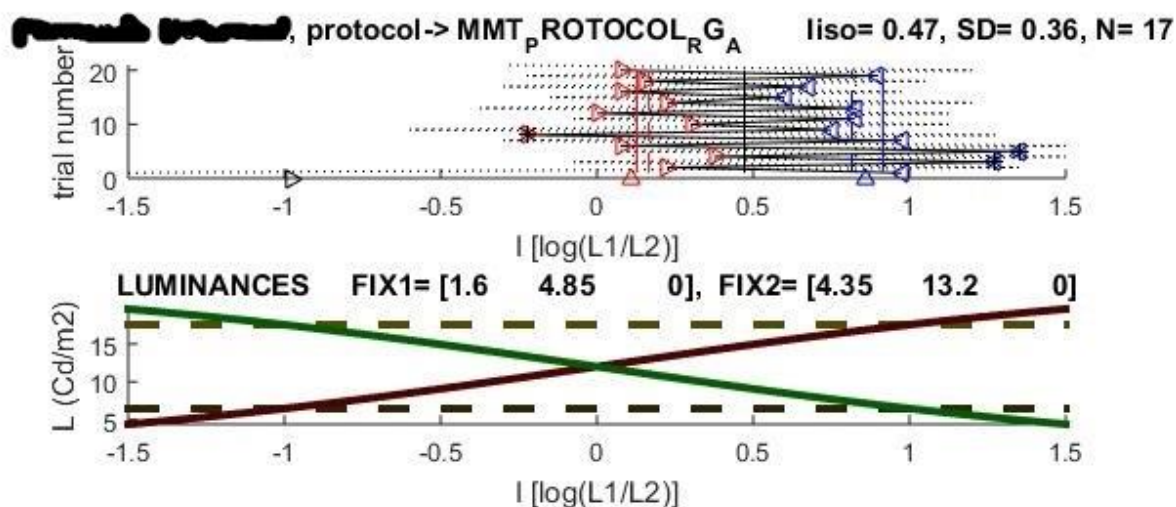
- Caso 2

Figura 20 - Teste FM-100 Hue, Caso 2



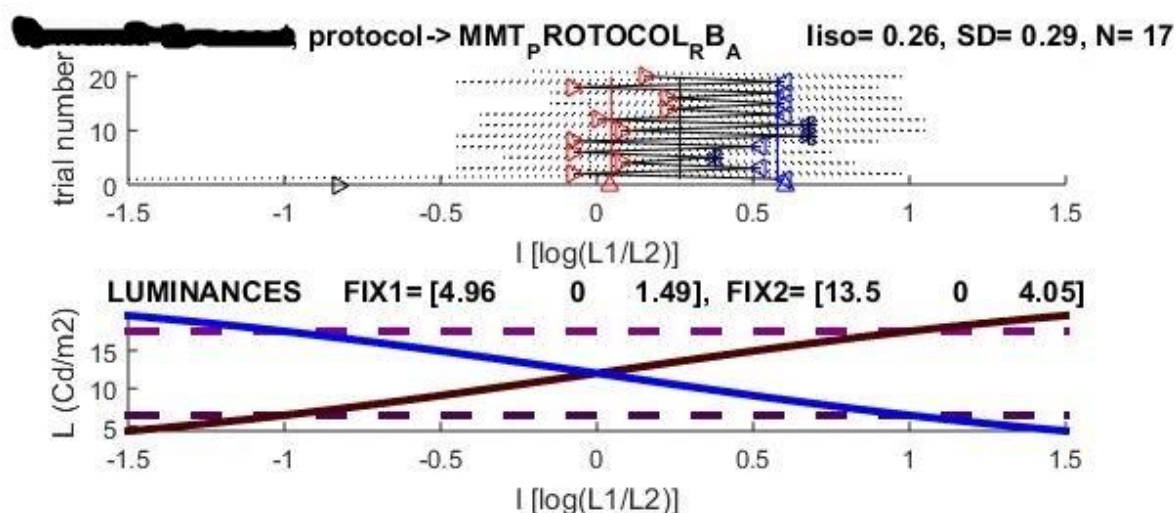
O padrão de erros tende a ser maior para a percepção do vermelho (24 erros); depois para o verde (18 erros) e, por fim, para o azul com um valor baixo de erros (7 erros).

Figura 21 - MMT Vermelho X Verde, Caso 2



O ponto de isoluminância do sujeito encontra-se deslocado para direita, indicando que a percepção do movimento mínimo necessita de mais luminância no vermelho quando comparada com a rampa.

Figura 22 - MMT Vermelho X Azul, Caso 2

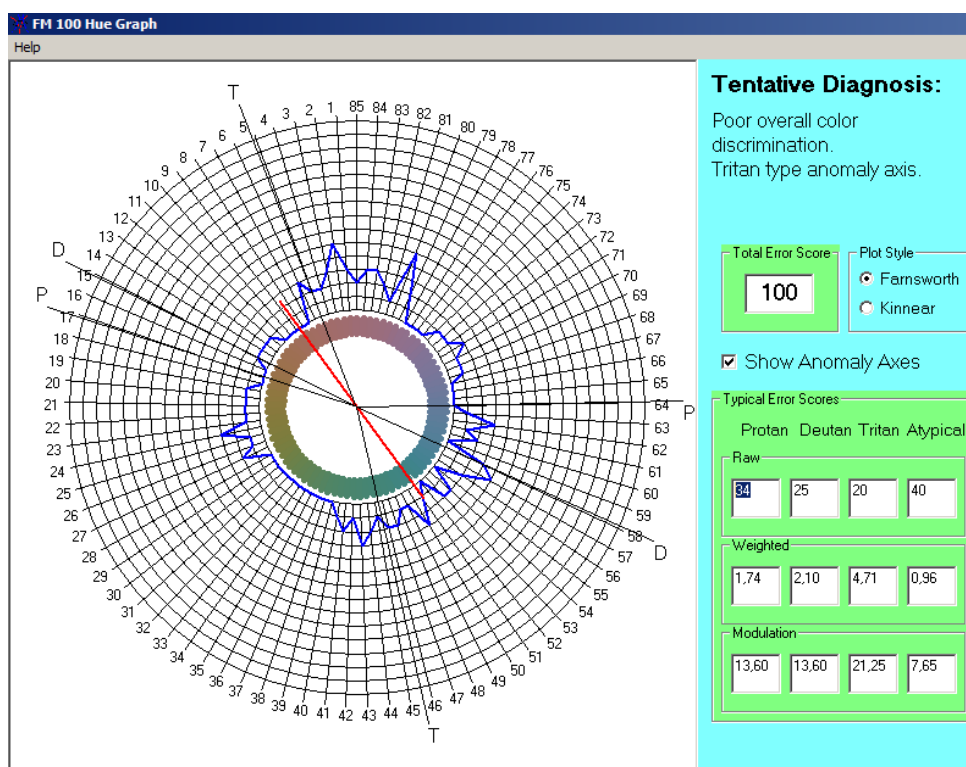


Como na Figura 21, este sujeito também apresenta o ponto de isoluminância deslocado para direita, indicando que a percepção do movimento mínimo necessita de mais luminância no vermelho quando comparada com a rampa.

Nota-se que cada sujeito considerado exceção demonstra um perfil de sensibilidade bem particular. Neste caso sua média de vermelho e verde é o dobro da população comum (Figura 21), mas contra-intuitivamente sua sensibilidade de vermelho e azul são iguais ao padrão (Figura 22). A inclusão de sujeitos não daltônicos, porém com pequenos deslocamentos anômalos, como este, influenciam em cálculos gerais para determinação de padrões. Uma abordagem alternativa de análise em cluster tem mais a nos dizer sobre as particularidades dos dados do que cálculos gerais.

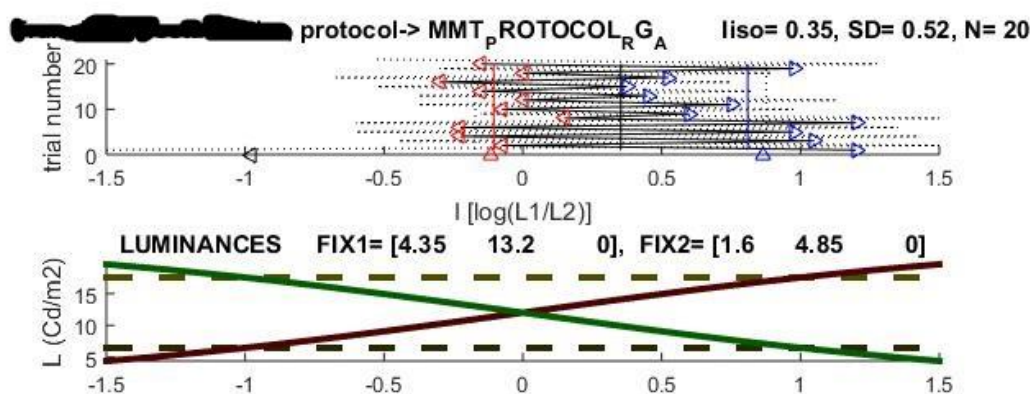
- Caso 3

Figura 23 - Teste FM-100 Hue, Caso 3



Neste caso, o padrão de erros tende a ser maior para a percepção do vermelho (34 erros); depois para o verde (25 erros) e, por fim, para o azul com um valor mais baixo de erros (20 erros).

Figura 24 - MMT Vermelho X Verde, Caso 3



O ponto de isoluminância do sujeito é deslocado para a direita, indicando que a percepção do movimento mínimo necessita de mais luminância no vermelho quando comparada com a rampa.

O Caso 3 obteve mais erros no teste FM-100Hue do que o Caso 2. No entanto, seu teste de luminância resultou em uma maior sensibilidade ao vermelho em comparação ao Caso 2, visível nas Figuras 23 e 24 respectivamente. Este mesmo sujeito reportou impaciência ao realizar o teste FM-100Hue, e que não estava tudo da maneira correta. O mesmo não aconteceu

com a metodologia do MMT. Isso demonstra que o teste de luminância pode vir a ser mais dinâmico para alguns sujeitos.

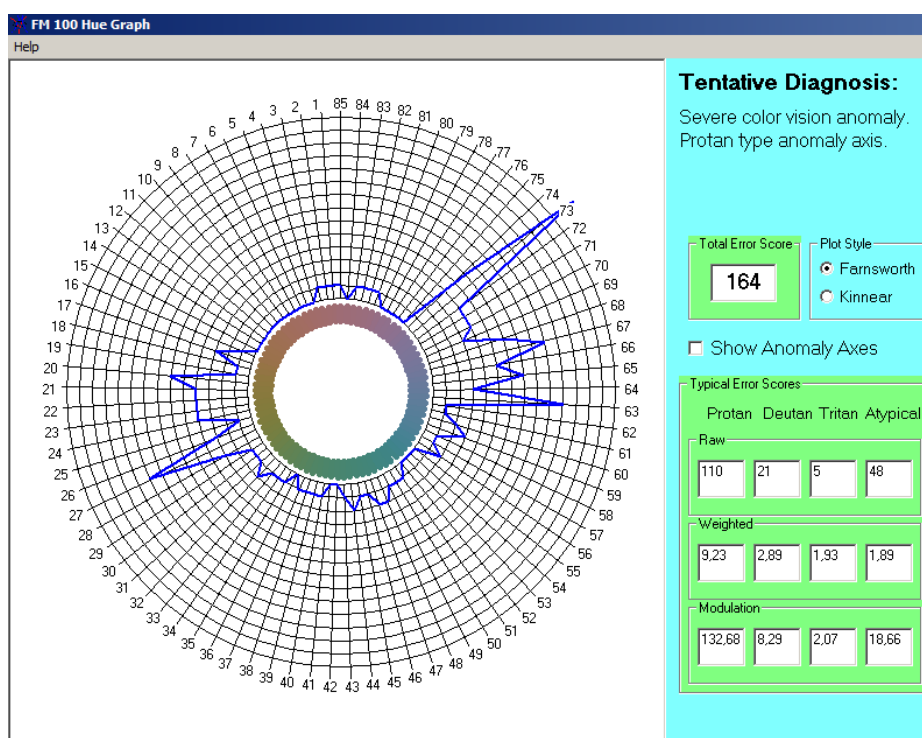
6.0 DISCUSSÃO

O teste de luminância apresentou boa separação de dados quando a análise é em daltônico. No caso de anômalos os dados possuem uma complexidade a ser estudada.

6.1 O DALTÔNICO

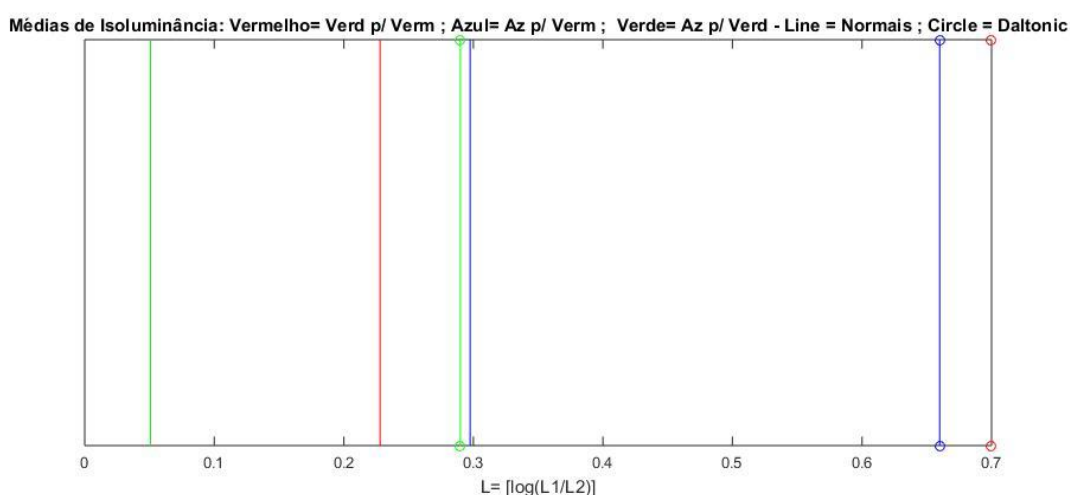
O sujeito daltônico para o vermelho cometeu erros expressivos no teste FM-100Hue. O mesmo ocorreu no teste de luminância quando comparado com os padrões, como demonstra as Figuras 25 e 26.

Figura 25 - Teste FM-100 Hue, Daltônico



Neste caso, observou-se erros críticos na percepção do vermelho (110 erros). Erros relacionados à percepção do verde e azul foram relativamente baixos (21 e 5 erros, respectivamente).

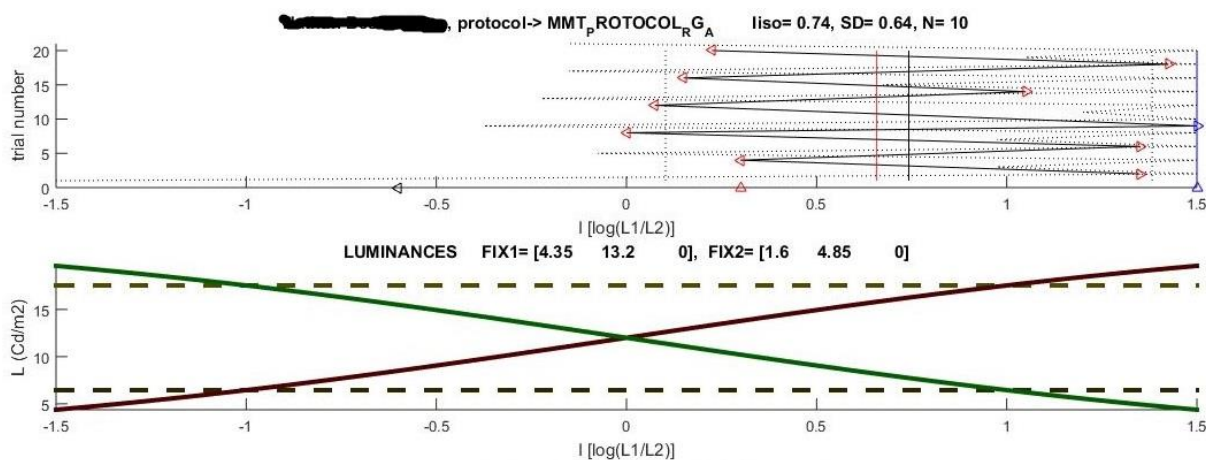
Figura 26 - Comparação de isoluminâncias do daltônico em relação as médias com exceção



Eixo X representa o deslocamento da variação dos pontos de isoluminância acima do zero. Cada cor representa um deslocamento de média; vermelho, por exemplo, representa o deslocamento do verde (números negativos não demonstrados) para o vermelho (números positivos). As linhas verticais acompanhadas com círculos representam as médias do daltônico.

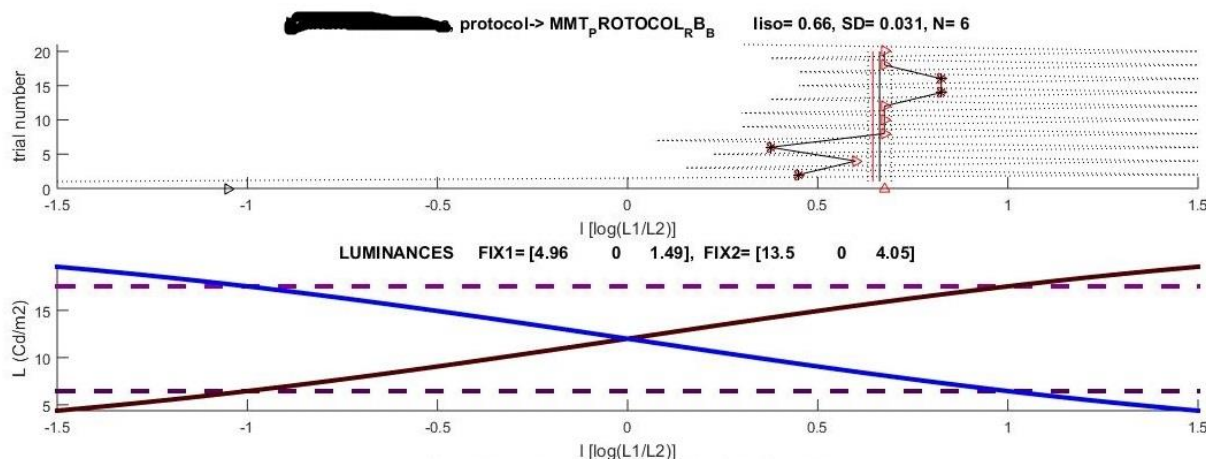
Alguns aspectos dos resultados precisam ser melhor interpretados. Por exemplo, conforme ilustrado na Figura 27, porque o sujeito daltônico demora para responder em altas faixas do vermelho e a rampa volta, causando o efeito de várias resposta em um sentido da rampa (seta vermelha). Outro é o caso da Figura 28, que sua insensibilidade é tão alta quando a luminância do azul está presente que o teste não identifica o outro sentido devido a falta de capacidade do canhão do monitor emitir o vermelho.

Figura 27 - MMT Vermelho X Verde, daltônico



O ponto de isoluminância média deslocada para direita, sugerindo a necessidade de maior luminância na faixa do vermelho quando comparado com a rampa.

Figura 28 - MMT Vermelho X Azul, daltônico

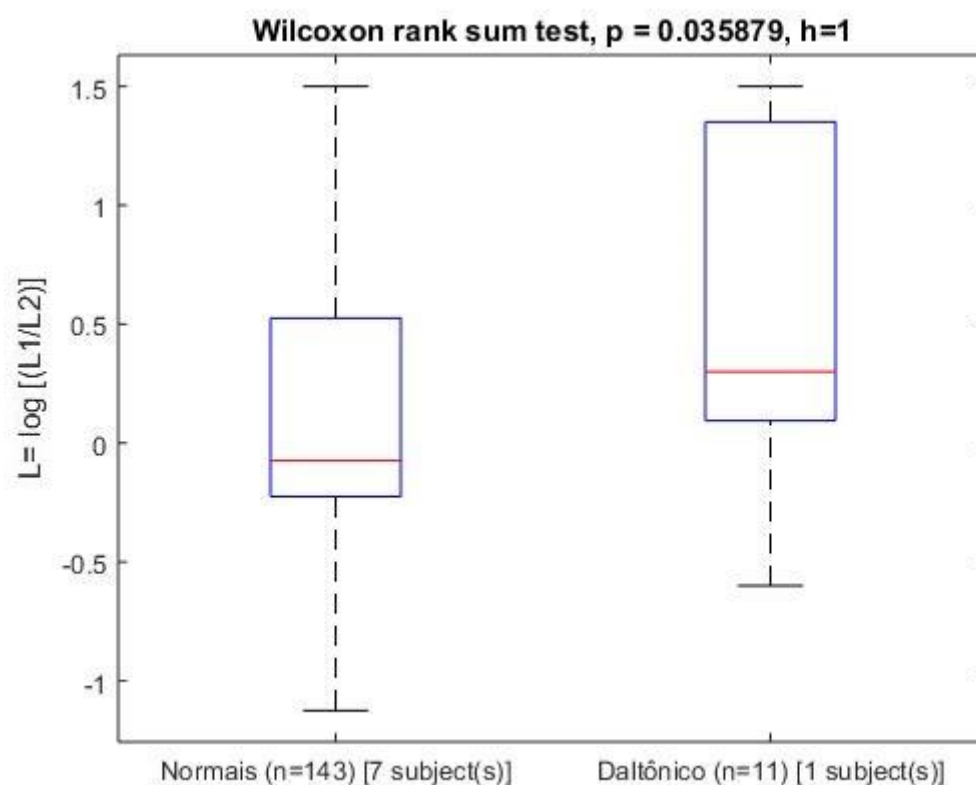


Apenas um sentido de movimento pelas listras é identificado pelo usuário, demonstrado pela indicação à direita da seta.

6.2 ANÁLISE DE DADOS

Gerando uma análise estatística usando o teste Wilconxon rank sum pareado para dados não paramétricos no MATLAB, na qual a hipótese nula, $h=0$, indica que dois grupos de dados são idênticos e o daltônico pertence à população padrão. O resultado deu falso, $h=1$, comparando as respostas dos indivíduos padrões com exceção em relação as respostas do daltônico para vermelho X verde com $p < 5\%$, com melhor visualização na Figura 29.

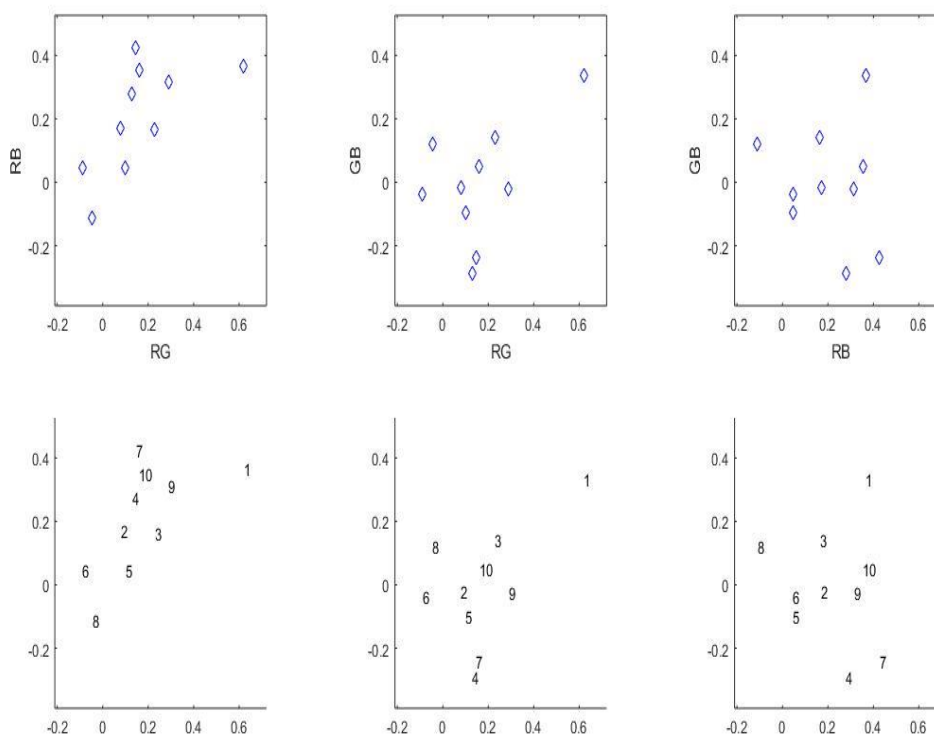
Figura 29 - Diagrama de caixa em teste Wilcoxon rank sum, Vermelho X Verde



Em cada caixa, a marca central é a mediana, as bordas da caixa são os percentis 25% e 75%, e os bigodes se estendem aos pontos de dados mais extremos.

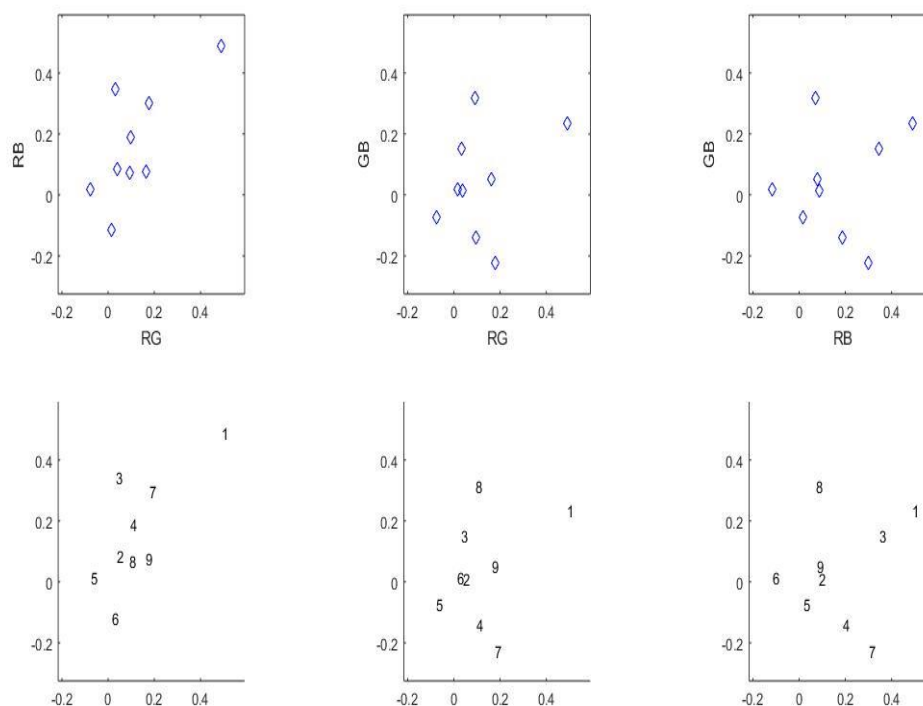
Devido a complexidade de perfis de sensibilidades cromáticas particulares (ver 5.5 Exceções de análise e tratamento de casos especiais), uma análise multidimensional foi realizada. A geração de clusters de dados tridimensionais facilitam a análise de padrões espaçados, como em casos de percepção anômala. No caso de daltonismo o diagnóstico se mostra claro com grandes diferenças de deslocamento na média isoluminante, ver Figura 30 e 31.

Figura 30 – Clusters de dados multidimensional, barras grossas



Os pontos são as médias isoluminantes dos sujeitos nos eixos. Os eixos representam a equação de isoluminância em condições experimentais variadas. As condições são red x green (RG, vermelho e verde), red x blue (RB, vermelho e azul) e green x blue (GB, verde e azul). A variação acontece do menor brilho para o maior, portanto red x green varia nos valores da equação isoluminante de pouca luminância vermelha (*i.e.* números negativos) para muita luminância vermelha (*i.e.* números positivos) em um eixo. Logo em green x blue varia de pouca luminância no verde (*i.e.* números negativos) para muita luminância no verde (*i.e.* números positivos) em um eixo. Os números representam os sujeitos para poder discriminar cada ponto. Esta análise foi feita sem exceções para todos os sujeitos que possuíam dados completos em todas as condições. Observação especial para o número 1, ele representa o daltônico.

Figura 31 – Clusters de dados multidimensional, barras finas



Os números respeitam os mesmos sujeitos da Figura 30. A coleta de dados para protocolos de barras grossas e finas não foi igualitária. Portanto nesta condição o N é menor. Observação especial para o sujeito 9, pois não é o mesmo e não esta presente na Figura 30.

Analisando a dispersão dos dados da Figura 30 e 31, é notável que o daltônico (*i.e.* número 1) é distante dos outros conjuntos de dados, principalmente no que se refere as dimensões envolvendo o vermelho. Os sujeitos 4, 7 e 8, identificam respostas particulares, sugerindo alguma anômalia na percepção da visão de cores. A variação da largura das barras, grossas (frequência espacial, 2) e finas (frequência espacial, 1), possuem diferenças de deslocamentos nos resultados.

6.3 OBSERVAÇÕES

Sujeitos cansados ou com um déficit de atenção relataram dificuldades em realizar o teste. Estes não conseguiram identificar o movimento corretamente e ficaram assim confusos. Esse aspecto pode ser um indicativo de limitação do teste, mas também uma potencial ferramenta de diagnóstico para déficits de atenção ainda não explorada.

O teste MMT foi reproduzido com sucesso. Sua capacidade de diagnosticar daltônicos foi confirmada apesar dos poucos sujeitos que participaram desse estudo.

O nosso setup para o diagnóstico de Daltonismo usando MMT encontra-se automatizado e funcional, mas os métodos analíticos necessários para análise dos resultados

ainda são rudimentares e necessitam serem melhorados para testes de grandes grupos. Consideramos a automatização a melhor estratégia para eliminar overlap de dados e tratar cada sujeito de forma personalizada em grupos. Como apontado no Item 4.5, esses casos podem se manifestar de diversas maneiras, e a abordagem automática torna o teste MMT viável para clínica, integração com outras tecnologias e uso comum.

No item 4.7 (Análise de dados) os sujeitos 4 e 7 nota-se nos gráficos multidimensionais algumas respostas contra-intuitivas quando comparadas a relação do verde nas dimensões GB e RG. Os dados também demonstram deslocamentos em relação as barras. As condições experimentais das barras podem ser exploradas para gerar mais clareza na separação dos grupos de dados. Portanto mais estudos precisam ser realizados para entender a relação de largura das barras e as combinações experimentais das barras (i.e. RG, RB e GB).

7.0 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos específicos desse projeto, a criação, a aplicação do teste e a coleta de dados foi realizado com sucesso. O setup ainda necessita de melhorias pontuais, uma coleta de dados ampliada e estudada para progredir nas próximas etapas do projeto almejando os objetivos globais.

8.0 PERSPECTIVAS FUTURAS

O projeto precisa ser avançado nos seguintes aspectos: dados amostrais, scripts, novas condições experimentais e verificação em bebês.

8.1 DADOS AMOSTRAIS

Mais dados precisam ser coletados para explorar o maior número de padrões de exceções, principalmente no que se refere a população daltônica para identificar as melhores estratégias de analisar utilizando o gráfico ramp. Isto proporciona uma acurácia maior em um diagnóstico de sensibilidade e, caso necessário, evidenciar algum problema na visão das cores do sujeito.

8.2 SCRIPTS

Na Figura 28 observa-se que o daltônico tem um tempo de resposta demorado, o que causa respostas em uma única direção da rampa. Isto pode ser um fenômeno comum entre os

daltônicos. Dessa forma, poderíamos estabelecer um tempo limite da rampa, antes dela voltar, como forma de corrigir este evento.

Novas abordagens analíticas devem ser incorporadas ao nosso setup. Gerar análise de clusters de dados tridimensionais são a melhor maneira de separar as variações dos grupos. Para isto métodos de machine learning, como SVM (support vector machine), são próximos passos para conclusões e estudo mais refinado.

8.4 NOVAS CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Todos os nossos dados foram obtidos por resposta comportamental manual (o click). Aproveitando os avanços tecnológicos, poderemos futuramente usar, como resposta implícita, o movimento ocular por meio do monitoramento não invasivo dos olhos ('eye tracker') utilizando câmeras do próprio hardware. Isso facilitaria a aquisição dos dados e sua análise. Contamos com a possibilidade do uso de vários tipos de câmara para a aquisição da imagem ocular, barateando o custo do setup. Por fim, a resposta implícita dos olhos tem a vantagem de ser mais rápida que todo processo de tomada de decisão envolvido no clique manual diminuindo desvios padrões e médias menos deslocadas.

Setar mais variações do comprimento das barras são importantes. A intenção é gerar protocolos com maiores potenciais para proporcionar separações de dados tridimensionais claros, para integração de análises inteligentes como SVM.

8.4.1 O MMT IMPLÍCITO PARA MACACOS

Em 1990, Logothetis e Charles aplicaram o MMT para avaliar o ponto isoluminância em macacos. Para isto, eles passaram a utilizar uma medida objetiva do reflexo optocinético através do registro dos movimentos oculares utilizando uma técnica invasiva ('scleral search coil' ou uma bobina implantada na esclera). Estudos subsequentes utilizaram técnicas não invasivas ('eye tracker') para registrar o reflexo optocinético, tanto em humanos quanto em macacos (Chaudhuri and Albright 1992). Antes de inicializar testes com bebês e crianças, macacos do Novo Mundo talvez sejam os melhores modelos para o estudo do Daltonismo em crianças por serem dicromáticas e por apresentarem um nível de cooperação comparável para realizar o experimento.

8.5 VERIFICAÇÃO EM BEBÊS

Somente após um exaustivo estudo utilizando o nosso teste de Daltonismo em adultos e macacos, estaremos aptos para testá-los em bebês, onde verificaremos a eficiência como citado na literatura (ANSTIS E CAVANAGH, 1989), a reprodutibilidade e a popularização em larga escala.

8.6 RESSALVAS

Como pode ser visto acima, o MMT tem sido utilizado academicamente já há algum tempo para classificação de discromatopsias. No entanto, na forma em que tem sido aplicado demanda testes e aparatos (*setups*) complexos. No presente momento, a evolução do ‘hardware’ computacional nos oferece aparelhos, tal como os ‘pads’, com uma qualidade gráfica extremamente alta, no que se refere à resolução de imagem e de cor.

Assim, nossa proposta é desenvolver um teste implícito (não-declarativo) simples, baseado em aparelhos de fácil acesso, para o diagnóstico de discromatopsias. A ideia é que estes testes possam ser utilizados precocemente em crianças, antes do desenvolvimento da linguagem e, eventualmente, em animais.

9.0 REFERÊNCIAS

Anstis SM e Cavanagh P, 1983, **A minimum motion technique for judging equiluminance**. In Color Vision: Physiology e Psychophysics, Mollon JD e Sharpe LT, editors. London, Academic Press, pp. 155-166.

BARRY L COLE, 2007, **The handicap of abnormal colour vision**. Clin Exp Optom. 87(4-5):258-75.

BARRY L COLE, 2007, **Assessment of inherited colour vision defects in clinical practice**. Clin Exp Optom. 90(3):157-75

Bento-Torres *et al.* (2016). Psychophysical **Evaluation of Congenital Colour Vision Deficiency: Discrimination between Protans and Deutans Using Mollon-Reffin’s Ellipses and the Farnsworth-Munsell 100-Hue Test**. *PLoS ONE*, 11(4), e0152214. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0152214>.

Casagrande, VA. **A third parallel visual pathway to primate area V1**. Trends Neurosci., v.17, n.7, p.305-310, 1994.

- Cavanagh P, Anstis SM, e Mather G, 1984: **Screening for color blindness using optokinetic nystagmus**. Invest Ophthalmol Vis Sci. 25(4):463-6.
- Chaudhuri, A. & Albright, T. D. 1990. **A new technique for estimating chromatic isoluminance in humans and monkeys**. Visual Neuroscience, 5, 605-608.
- Chaudhuri e Albright 1992 **Heterochromatic Fusion Nystagmus- its use in estimating chromatic equiluminance in humans and monkeys**. Vision Res. 32 (9): 1745-1759.
- Cole BL, 2004, **The handicap of abnormal colour vision**. Clin Exp Optom. 87(4-5):258-75.
- Couto, 2006, **Preenchimento Perceptual em Tricromatas e Dicromatas**. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília. Disponível em: <http://www.wirelessbrasil.org/sites/marcia_couto/tese_01.html>. Acessado em junho, 2017.
- Cumberland P, Rahi JS e Peckham CS, 2004. **Impact of congenital colour vision deficiency on education and unintentional injuries: findings from the 1958 British birth cohort**. BMJ. 6; 329(7474):1074-5
- Débora Gusmão Melo *et al.*, 2014, **Os “daltônicos” e suas dificuldades- condição negligenciada no Brasil?** Physis 24(4):1229-1253
- Dacey e Packer, 2003. **Colour coding in the primate retina- diverse cell types and cone-specific circuitry**. Curr Opin Neurobiol. 13(4):421-7. Review.
- Giulio Tononi & Christof Koch, 2015, **Consciousness: here, there and everywhere?.** Phil.Trans. R. Soc. B 2015 370 20140167. DOI: 10.1098/rstb.2014.0167
- Gordon, N. **Colour blindness**. Public Health, v. 112, n. 2, p. 81-84, 1998.
- Grassivaro-Gallo P, Panza M, Viviani F e Lantieri PB, 1998, **Congenital dyschromatopsia and school achievement**. Percep Motor Skills; 86: 563-567.
- Halliday & Resnick, **Fundamentos da física**, 10ª Edição, 2016.
- Jan-Hendrik Heinrichs, 2012, **The promises and perils of non-invasive brain stimulation**. Elsevier, International Journal of Law & Psychiatry, Volume 35, Issue 2, March - April. doi.org/10.1016/j.ijlp.2011.12.006.

Jasna Martinovic, 2015, **Magno-, Parvo-, Koniocellular Pathways**. Encyclopedia of Color Science and Technology, pp 1-5.

Jeremy Geelen, 2012, **The Emerging Neurotechnologies: Recent Developments and Policy Implications**. University of Ottawa, Canada ISSP. Disponível em: <
<http://www.horizons.gc.ca/eng/content/emerging-neurotechnologies-recent-developments-and-policy-implications-0>>. Acessado em junho, 2017.

Julio Lillo *et al*; **An experimental method for the assessment of color simulation tools**. *Journal of Vision* 2014;14(8):15. doi: 10.1167/14.8.15.

Kaas, J.H. et al. **Patterns of retinal terminations and laminar organization of the lateral geniculate nucleus of primates**. J. Comp. Neurol., v.182, p.517–54, 1978.

Kandel Eric R. *et al.*, **Princípios de Neurociências**. 5º Ed. Mc Graw Hill. Artmed. 2014
 Anstis SM, 1980: **The perception of apparent movement**. Phil Trans Roy Soc Lond, B 290:153-168.

Logothetis NK, Charles ER. 1990 **The minimum motion technique applied to determine isoluminance in psychophysical experiments with monkeys**. Vision Res. 30(6):829-38.

Maurer D, Lewis TL, Cavanagh P, Anstis S. 1989 **A new test of luminous efficiency for babies**. Invest Ophthalmol Vis Sci. 30(2):297-303.

Michael Kalloniatis & Charles Luu, 2012, **Webvision**. Disponível em: <
<http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/>>. Acessado em junho, 2017.

Miyahara *et al.*, 2004, **Computerized color-vision test based upon postreceptoral channel sensitivities**. Vis Neurosci.21(3):465-9.

Natáli Valim *et al.*, 2016, **Psychophysical Evaluation of Congenital Colour Vision Deficiency: Discrimination between Protans and Deutans Using Mollon-Reffin's Ellipses and the Farnsworth-Munsell 100-Hue Test**. Cropper SJ, ed. *PLoS ONE*. 2016;11(4):e0152214. doi:10.1371/journal.pone.0152214.

NATHANS *et al.*, 1986b, **Molecular genetics of human color vision: the genes encoding blue, green, and red pigments**, DOI: 10.1126/science.2937147.

VOLLRATH, NATHANS & DAVIS, 1988, **Tandem array of human visual pigment genes at Xq28**, DOI: 10.1126/science.2837827.

National Eye Institute, 2015, **Facts About Color Blindness**. NIH. Disponível em <https://nei.nih.gov/health/color_blindness/facts_about>. Acessado em junho, 2017.

PUC RIO, Fundamentos da colometria, nº 0621484/CA.

Ramachandran N, Wilson GA e Wilson N, 2014, **Is screening for congenital colour vision deficiency in school students worthwhile- A review**. Clin Exp Optom.;97(6):499-506.

Sanes JR, Masland RH. 2015, **The types of retinal ganglion cells: current status and implications for neuronal classification**. Annu Rev Neurosci. 8;38:221-46.

Simunovic MP. 2010, **Colour vision deficiency**. Eye (Lond). 24(5):747-55. Review.

SMITH *et al.*, 2003, **Spatial frequency processing in inferred PC- and MC-pathways**, Vision Research, Elsevier, September, 2003.

Tutis Vilis, 2015, The Physiology of the Senses Lecture 11 - Eye Movements. The Physiology of the Senses. Disponível em: <<http://www.tutis.ca/Senses/L11EyeMovements/L11EyeMovements.pdf>>. Acessado em junho, 2017.

Tzu,... e Thompson 2013 **Global Motion Perception in 2-Year-Old Children- A Method for Psychophysical Assessment and Relationships With Clinical Measures of Visual Function Invest Ophthalmol Vis Sci**. 54(13):8408-19.

WHITE *et al.*, 2014, **The Promise of Neurotechnology in Clinical Translational Science**. Clinical Psychological Science, Vol 3, Issue 5, pp. 797 - 815. doi: 10.1177/2167702614549801

Xie *et al.*, 2014, **Color vision deficiency in preschool children: the multi-ethnic pediatric eye disease study**. Ophthalmology. 121(7):1469-74.