

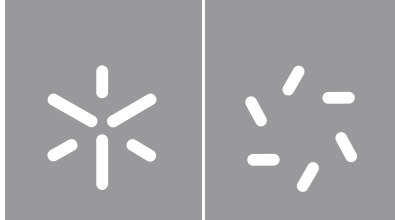


**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Cátia Isabel Ferreira Magalhães

**A influência de monitores e condições  
de iluminação ambiental na percepção  
da cor de objetos**





**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Cátia Isabel Ferreira Magalhães

**A influência de monitores e condições  
de iluminação ambiental na percepção  
da cor de objetos**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Optometria Avançada

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor João Manuel Maciel Linhares**

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações**  
**CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Um reconhecível e sincero obrigado aos pilares da minha vida, pais e irmão, todo o vosso consolável apoio, incentivo, suporte e paciência, foram essências para a conclusão desta etapa.

Um agradecimento especial ao meu orientador científico, Professor Doutor João Linhares, pela oportunidade que me deu em poder realizar este magnífico projeto, pela partilha de conhecimentos, pela ajuda e conselhos.

A todas as pessoas que fazem parte do Laboratório da Cor, a todos os observadores voluntários que participaram neste estudo e a todos os meus amigos (em especial à Joana, à Bia e ao Rogério). Obrigada do fundo do meu coração!

Ao meu querido maestro e amigo Sr. Henrique, pela incrível paciência, compreensão e incentivo. E à Banda de Música de Felgueiras.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

# **A influência de monitores e condições de iluminação ambiental na percepção da cor de objetos**

## **RESUMO**

**Objetivo:** Perceber se o monitor utilizado para apresentação de estímulos visuais, conjugado com iluminação ambiental específica, influencia a escolha do ponto acromático em estímulos de cores e formas diferentes.

**Métodos:** Neste estudo psicofísico, fizeram parte 30 observadores. Foi estimado o ponto acromático de diferentes estímulos (disco, banana, face e lego) na sua versão normal e desconstruída (eidolon). Estes foram exibidos em quatro monitores a cores LCDs diferentes. Dos quais, três foram controlados e um foi calibrado em cor e luminância. A cor dos estímulos foi ajustada considerando o espaço CIELAB mantendo  $L^*$  constante, variando apenas  $a^*$  (tonalidades verde-vermelho) e  $b^*$  (tonalidades azul-amarelo). As condições de iluminação ambiental conjugadas em cada monitor variaram entre condição de iluminação ambiental ligada e desligada.

**Resultados:** Através do teste estatístico de Wilcoxon não paramétrico e Teste-t pareado paramétrico foram comparados, para uma única amostra (30 observadores), a influência dos monitores; das condições de iluminação ambiental e dos estímulos. Verificou-se que existem diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0.050$ ) comparando os resultados obtidos utilizando o monitor calibrado e o monitor controlado, quer nos resultados obtidos utilizando a iluminação ambiental ou nenhuma iluminação, na generalidade, estas diferenças permaneceram mesmo quando a categoria do estímulo foi alterada.

**Conclusões:** A seleção do ponto acromático é independente da categoria do estímulo. Realizar a experiência com a iluminação ambiental ligada ou desligada, impacta nos resultados obtidos, assim como utilizar monitores diferentes, pelo que induzem variações na amostragem da cor. No entanto, alterar as condições de iluminação ambiental parecem ter uma influência superior.

**Palavras-chave:** Iluminação, Monitores, Percepção visual, Visão das cores

# **The influence of screens and environmental lighting condition on color perception of objects**

## **ABSTRACT**

**Objectives:** To understand whether the monitor used for presenting visual stimuli, combined with specific environmental lighting, influences the achromatic point choice in stimuli of different colors and shapes.

**Methods:** In this psychophysical study, 30 observers took part. The achromatic point of different stimuli (disc, banana, face and lego) in their normal and deconstructed (eidolon) version was estimated. These were displayed on four different LCD color monitors. Of which, three were controlled and one was calibrated in color and luminance. The color of the stimuli was adjusted considering the CIELAB space keeping  $L^*$  constant, varying only  $a^*$  (green-red hues) and  $b^*$  (blue-yellow hues). The conjugated environmental lighting conditions in each monitor varied between on and off environmental lighting condition.

**Results:** Using the non-parametric Wilcoxon statistical test and parametric paired t-test, the influence of the monitors, environmental lighting conditions and stimuli were compared for a single sample (30 observers). It was found that there are statistically significant differences ( $p < 0.050$ ) comparing the results obtained using the calibrated monitor and the controlled monitor, whether in the results obtained using the environmental lighting or no lighting, overall, these differences remained even when the stimulus category was changed.

**Conclusions:** The achromatic spot selection is independent of the stimulus category. Performing the experiment with the ambient lighting on or off impacts the results obtained, as does using different monitors, so they induce variations in color sampling. However, changing the environmental lighting conditions seem to have a greater influence.

**Keywords:** Colour vision, Displays, Lighting, Visual perception



## ÍNDICE

<b>DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE.....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS .....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>2</b>
2.1 <b>Sistema visual.....</b>	<b>2</b>
2.1.1 Fotorreceptores .....	6
2.1.2 Do olho ao cérebro .....	9
2.2 <b>Perceção visual .....</b>	<b>12</b>
2.3 <b>Espetro eletromagnético.....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Sensibilidade espectral dos fotorreceptores.....	16
2.4 <b>Mistura de cores .....</b>	<b>17</b>
2.5 <b>Teoria da visão das cores .....</b>	<b>20</b>
2.6 <b>Colorimetria .....</b>	<b>21</b>
2.6.1 Primários e triestímulos .....	21
2.6.2 Diagramas cromáticos .....	24
2.6.3 Testes de avaliação da visão das cores .....	32
2.6.3.1 Testes de placas pseudoisocromáticos .....	33
2.7 <b>Perceção da cor .....</b>	<b>35</b>
2.8 <b>Tipos de iluminação.....</b>	<b>36</b>
2.9 <b>Perceção e iluminação .....</b>	<b>41</b>
2.10 <b>Metamerismo .....</b>	<b>45</b>

2.11	<b>Constância de cores .....</b>	<b>45</b>
2.12	<b>Sobre dispositivos eletrônicos .....</b>	<b>46</b>
2.12.1	Tipos de monitores .....	46
2.12.2	Cor em dispositivos eletrônicos .....	50
2.13	<b>Familiaridade e memória cromática .....</b>	<b>53</b>
2.14	<b>Faces.....</b>	<b>54</b>
2.15	<b>Imagiografia hiperespectral .....</b>	<b>55</b>
<b>3.</b>	<b>HIPÓTESES E OBJETIVOS DO ESTUDO .....</b>	<b>57</b>
3.1	<b>Formulação do Problema.....</b>	<b>57</b>
3.2	<b>Hipóteses do Estudo .....</b>	<b>57</b>
3.3	<b>Objetivos do Estudo .....</b>	<b>57</b>
<b>4.</b>	<b>AMOSTRA, MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>58</b>
4.1	<b>Tipo de Estudo.....</b>	<b>58</b>
4.2	<b>Seleção da amostra de estudo .....</b>	<b>58</b>
4.3	<b>Material e métodos.....</b>	<b>59</b>
4.4	<b>Desenho experimental .....</b>	<b>61</b>
4.5	<b>Estímulo .....</b>	<b>64</b>
4.6	<b>Montagem experimental.....</b>	<b>69</b>
4.6.1	Procedimento experimental.....	70
4.7	<b>Análise de resultados.....</b>	<b>71</b>
4.7.1	Validação dados .....	71
4.7.2	Análise estatística .....	72
<b>5.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....</b>	<b>77</b>
5.1	<b>Caracterização da amostra .....</b>	<b>77</b>
<b>6.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>80</b>
6.1	<b>Estímulo uniforme - Disco .....</b>	<b>80</b>
6.2	<b>Estímulos complexos – Face, Lego e Banana .....</b>	<b>83</b>
6.3	<b>Influência das categorias de estímulos .....</b>	<b>101</b>
6.4	<b>Estímulos originais .....</b>	<b>104</b>
<b>7.</b>	<b>RESUMO DA DISCUSSÃO.....</b>	<b>106</b>

<b>8.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>107</b>
<b>9.</b>	<b>TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>108</b>
<b>10.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>109</b>
<b>11.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>121</b>

## ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

$\lambda$	Comprimento de onda
k	Temperatura em kelvins
°	Grau (ângulo de arcos)
%	Taxa ou proporção em relação ao número 100
/	Divisão
A	Iluminante A CIE
$a^*, b^*$	Coordenadas cromáticas do espaço CIELAB
ABE	Área de corpo extraestriado
AFF	Área de face fusiforme
APP	Área parahipocampal
B	Iluminante B CIE
Cd	Candelas
cm	Centímetros
CIE	Commission Internationale de l'Eclairage (Comissão Internacional de Iluminação)
CIELAB	Espaço de cor tridimensional de coordenadas cromáticas $L^*$ , $a^*$ e $b^*$
CIELUV	Espaço de cor tridimensional de coordenadas cromáticas $L^*$ , $u^*$ e $v^*$
CPP	Córtex parietal posterior
CRT	Cathode ray tube (Tubo de raios catódicos)
CSL	Color science laboratory
D	Iluminante D CIE
FL	Lâmpada/iluminante fluorescente
GCL	Camada de células ganglionares
HPL	Lâmpada/iluminante de descarga de alta pressão
ICC	International color consortium (Consórcio internacional de cores)

ILM	Membrana limitadora interna
INL	Camada nuclear interna
IPL	Membrana plexiforme interna
IV	Radiação infravermelha
K	Temperatura em kelvin
L	Fotorreceptor cone sensível a comprimento de onda longo
LCD	Liquid crystal display (Display de cristal líquido)
LED	Light emitting diode (Díodo emissor de luz)
LGN	Núcleo lateral geniculado
m	Metro
mm	Milímetro
$mm^2$	Milímetro quadrado
ms	Milissegundo
M	Fotorreceptor cone sensível a comprimento de onda médio
MT	Área temporal medial no córtex
nm	Nanómetro
NFL	Camada de fibra nervosa
OLM	Membrana limitadora externa
ONL	Camada nuclear externa
OPL	Camada plexiforma externa
$p$	Parâmetro de significância estatística
<i>RGB</i>	Red, Green, Blue (Vermelho, verde, azul)
RPE	Epitélio pigmentar da retina
S	Fotorreceptor cone sensível a comprimento de onda curto
sRGB	Espaço de cor RGB padronizado

SPSS	Statistical Package for Social Sciences
$S_E$	Estímulo equi-energérico
$\tan \theta$	Tangente de um ângulo
TC	Temperatura de cor
TCC	Temperatura de cor correlacionada
TI	Córtex inferotemporal
UV	Radiação ultravioleta
$u^*, v^*$	Coordenadas cromáticas do espaço CIELUV
$u', v'$	Coordenadas cromáticas do diagrama cromático uniforme CIE 1976
V1	Área visual 1 ou Córtex visual estriado ou Córtex visual primário
V4	Área visual V4
V5	Área visual V5
x	Cromossoma x
XIX	Século em numeração romana equivalente ao intervalo anual de 1801 a 1900
x, y	Coordenadas no plano cartesiano
x, y e z	Coordenadas de cromaticidade
X, Y e Z	Valores triestímulos

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema representativo de uma segmentação horizontal do globo ocular correspondente ao olho direito, com indicação do nome de algumas das suas principais estruturas (adaptado de (6)).	..... 2
Figura 2 Ilustração esquemática da organização da retina por camadas. Da camada mais externa para a mais interna: Epitélio pigmentar da retina (RPE), Segmentos externos dos fotorreceptores, Segmentos internos dos fotorreceptores, Membrana limitadora externa (OLM), Camada nuclear externa (ONL), Camada plexiforme externa (OPL) Camada nuclear interna (INL), Camada plexiforme interna (IPL), Camada de células ganglionares (GCL), Camada de fibra nervosa (NFL), Membrana limitadora interna (ILM). O percurso da luz inicia-se na camada mais interna e prolonga-se até à mais externa (adaptado de (6)).	..... 5
Figura 3 A  Configuração esquemática dos fotorreceptores cone (à esquerda) e bastonete (à direita). “N” representa o núcleo e “M” representa mitocôndria. B  Configuração esquemática dos segmentos externos do cone e bastonete. (adaptado de (6)).	..... 8
Figura 4 a) Visão lateral do percurso visual passando pelo olho, seguindo para o núcleo geniculado lateral e área recetora visual do córtex. (b) corte horizontal do cérebro visto de cima apresentando a distribuição das fibras óticas no quiasma ótico (adaptado de (10)).	..... 10
Figura 5 Representação cíclica e dinâmica do processo visual através de etapas individuais (estímulo, eletricidade, experiência/ação e conhecimento) envolvidas na criação da nossa percepção visual aos estímulos no ambiente. O estímulo reúne três aspetos: o estímulo ambiental (conjunto de estímulos oferecidos pelo ambiente), estímulo percebido (estímulo selecionado como o centro da atenção) e o estímulo nos recetores (imagem retiniana do estímulo). A eletricidade é composta por: transdução (criação de resposta elétrica em resposta à luz) transmissão (ativação sequencial de neurónios) e processamento (processamento neural através da interação entre neurónios). Experiência e ação agrupa a percepção (experiência sensorial), o reconhecimento (capacidade em categorizar o estímulo) e ação (atividade motora). No topo do disco é apresentada a etapa do conhecimento com o objetivo de destacar a influência que a informação adquirida pelo percetor pode comprometer as várias etapas do processo visual (adaptado de (10)).	..... 13

Figura 6 Espectro eletromagnético. Extensão desde comprimento de onda curto até comprimento de onda longo, mostrando a pequena gama de luz visível (adaptado de (10)).	15
Figura 7 Sensibilidade espectral para os fotorreceptores bastonetes (linha curva com pontos à esquerda) e para fotorreceptores cones (linha curva à direita) em função do comprimento de onda (adaptado de (10)).	17
Figura 8 Demonstração esquemática de mistura subtrativa. A mistura dos primários subtrativos, amarelo, magenta e ciano resulta no preto (adaptado de (21)).	18
Figura 9 Disco de cor de Newton. Nas extremidades do disco são apresentados os três primários aditivos através de linhas completas: vermelho, verde e azul. As linhas a tracejado indicam os três primários subtrativos: amarelo, ciano e magenta. O ponto central no interior do disco indica o ponto branco. Esta figura representa a relação entre os primários aditivos e subtrativos e o resultado da mistura de cor aditiva (adaptado de (21)).	19
Figura 10 Funções de correspondência de cor CIE 1931 expressas em valores triestímulos em função do comprimento de onda (adaptado de (19)).	21
Figura 11 Funções de correspondência de cor CIE 1931 (linhas completas). Funções de correspondência de cor CIE 1964 (linhas tracejadas) (adaptado de (19)).	22
Figura 12 Diagrama cromático CIE (x,y). O locus espectral está localizado ao longo da linha curva com os comprimentos de onda associados. O ponto $SE$ indica o estímulo equi-energético com coordenadas $x = y = z = 1/3$ . O área do triângulo formado pelos vértices (R, G e B) representa as cores que podem ser formadas pelos triestímulos (R, G e B) (adaptado de (19)).	25
Figura 13 Diagrama cromático CIE (x,y). O locus espectral está localizado ao longo da linha curva com os comprimentos de onda associados. A linha reta representa a linha púrpura (adaptado de (6)).	26
Figura 14 Diagrama cromático CIE (x,y). O comprimento de cada linha representa três vezes a diferença perceptual de cor para luminância constante num campo visual de $2^\circ$ (adaptado de (19)).	27
Figura 15 Diagrama cromático uniforme CIE ( $u'$ , $v'$ ). Simula a uniformidade das linhas (adaptado de (19)).	27



Figura 16 Representação do espaço CIELUV. $L^*$ , disposto no plano vertical, representa a luminosidade. $u^*$ e $v^*$ dispostos num plano horizontal, representam a cor e tonalidade. $huv$ representa o plano de constante tonalidade-ângulo sendo o eixo $L^*$ uma aresta. $Cuv^*$ são cilindros que contém o eixo $L^*$ . $Suv^*$ representa uma superfície cônica de constante saturação com eixo $L^*$ e o ápice na origem (adaptado de (19)).....	29
Figura 17 Representação do espaço CIELAB. Cilindro de cor constante ( $Cab^*$ ) e plano de tonalidade constante ( $hab$ ). $a^*$ e $b^*$ representam a cor e a tonalidade (adaptado de (27)). .....	31
Figura 18 Exemplo de uma placa de teste Ishihara. (a) placa com o número 74 quando observada por um tricromata. (b) visualização da mesma placa quando observada por portadores de deficiência no vermelho-verde (adaptado de (10)). .....	35
Figura 19 Potência espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda. As linhas curvas representam as diferentes temperaturas (expresso em K) emitidas pelo corpo negro. Escala normalizada a 560 nm (adaptado de (19)).....	38
Figura 20 Representação da distribuição espectral CIE da potência radiante (quantidade radiométrica) para os diferentes iluminantes. As letras A, B, C indicam o tipo de iluminante (adaptado de (24)).....	40
Figura 21 Representação simulada da luz do dia através da distribuição espectral CIE da potência radiante para os iluminantes $D75$ , $D65$ , $D55$ e $D50$ . Escala normalizada para 100 a um comprimento de onda de 560 nm (adaptado de (24)).....	40
Figura 22 Representação gráfica da intensidade relativa por comprimento de onda da lâmpada de tungstênio, representada pela linha laranja, e da luz solar, representada pela linha branca (adaptado de (10)).....	42
Figura 23 O gráfico mostra o logaritmo da sensibilidade em função do tempo no escuro. As três curvas coloridas representam a adaptação ao escuro, iniciando o seu processo em sensibilidade baixa (ou seja, adaptado à luz) e, ao logo do tempo, vão decaindo para sensibilidade alta (ou seja, adaptado ao escuro). A curva azul representa a adaptação dos bastonetes, a curva verde representa a adaptação dos cones e a curva vermelha representa duas fases de adaptação onde a primeira fase representa a quebra da adaptação dos cones e dos bastonetes na segunda fase (adaptado de (10)). .....	43

Figura 24 Diagrama cromático CIE 1991. Os comprimentos de onda monocromáticos estão representados acompanhando a linha curva. As letras R, G e B representam os fósforos vermelho, verde e azul, respetivamente. A área do triângulo, formado pelos vértices R, G e B, representam a gama de reprodução de cores de um monitor CRT típico (adaptado de (71)).	47
Figura 25 Esquema representativo da organização interna de um monitor LCD. Fazem parte da sua constituição, de baixo para cima: luz de fundo, uma placa transmissora de filme fino em vidro, painel de cristal líquido e filtro de cor RGB (adaptado de (77)).	49
Figura 26 Estrutura básica de um monitor OLED (adaptado de (85)).	50
Figura 27 Representação ilustrativa tridimensional do gamut de cores de um típico dispositivo eletrónico incorporado no espaço de cores CIE XYZ. Grande parte das cores presentes no espaço de cores CIE XYZ não se encontram dentro do gamut de cores, particularmente cores brilhantes e escuras (adaptado de (64)).	51
Figura 28 Cubo de cor tridimensional com coordenadas RGB. Representa as cores exibíveis do monitor no espaço de cor CIE XYZ. Os cinzentos situam-se ao longo da diagonal (adaptado de (64)).	52
Figura 29 O gráfico à esquerda mostra uma imagem hiperespectral bidimensional de uma lesão da pele humana hiperpigmentada (mancha castanha), o gráfico à direita mostra o espetro representativo para um pixel da imagem à esquerda (adaptado de (122)).	56
Figura 30 Diagrama ilustrativo de todas as condições experimentais percorridas para um observador. Os monitores (1, 2, 3 e 4) são os mesmos para as duas condições de iluminação ambiental ligada (à esquerda) e desligada (à direita). Para a condição de iluminação ambiental desligada tem como requisito uma adaptação ao escuro.	61
Figura 31 A imagem representa um exemplo da realização de duas condições experimentais para o mesmo observador e mesmo monitor sob condições de iluminação diferentes. A imagem à esquerda representa a execução experimental de um observador para uma condição experimental num monitor sob condição ambiental ligada e a imagem à direita representa o mesmo observador e o mesmo monitor sob condição iluminação desligada. Nota: o esquema não está à escala.	62
Figura 32 Estímulo disco aleatoriamente colorido.	65

Figura 33 Estímulo banana aleatoriamente colorido. ....	65
Figura 34 Estímulo lego aleatoriamente colorido. ....	66
Figura 35 Estímulo face aleatoriamente colorido. Nota: para efeitos de experiência, este estímulo não permaneceu ocultado pela barra preta. ....	66
Figura 36 Estímulos eidolons aleatoriamente coloridos. a) estímulo eidolon correspondente ao estímulo banana, b) estímulo eidolon correspondente ao estímulo lego e c) estímulo eidolon correspondente ao estímulo face. ....	67
Figura 37 Ilustração de uma fração sequencial dos estímulos em ordem aleatória, seguindo a indicação da seta, e sob fundo preto apresentados num ensaio. Nota: para efeitos de experiência, o estímulo face não permanecia ocultada pela barra preta. ....	68
Figura 38 Representação da disposição experimental constituída pelos monitores utilizados na experiência colocados sob uma mesa plana. Da esquerda para a direita, os monitores (à esquerda) representados na figura são: 1, 2 e 3. O monitor representado à direita corresponde ao monitor 4. Nota: o esquema não está à escala. ....	69
Figura 39 Ilustração do estímulo disco aleatoriamente colorido (imagem à esquerda) e dessaturado (imagem à direita). ....	71
Figura 40 Diagrama ilustrativo para o estudo da influência dos monitores e condições de iluminação ambiental para o estímulo disco considerando 480 respostas. Para a influência dos monitores, a) representa a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental ligada e b) representa a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental desligada. Para a influência das condições de iluminação ambiental c) representa a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 3 ou monitor 2 ou monitor 1 e d) representa a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 4. ....	74
Figura 41 Diagrama ilustrativo para o estudo da influência dos monitores e condições de iluminação ambiental para o estímulo face para o estímulo lego e para o estímulo banana. À esquerda estão representadas as categorias normais (240 respostas) e à direitas estão representadas as categorias	

eidolons (240 respostas). Para a influência dos monitores, a) e c) representam a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental ligada e b) e d) representam a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental desligada. Para a influência das condições de iluminação ambiental e) e f) representam a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 3 ou monitor 2 ou monitor 1 e g) e h) representam a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 4. As letras a), b), e) e g) representam a categoria normal e as letras c), d), f) e h) representam a categoria eidolon. .... 75

Figura 42 Diagrama ilustrativo para o estudo da influência das categorias para o estímulo disco, para o estímulo face, para o estímulo lego e para o estímulo banana. a) e c) representam a troca de categoria para o monitor 3 ou monitor 2 ou monitor 1. b) e d) representam a troca de categoria para o monitor 4. a) e b) representam as condições de iluminação ambiental ligada e, c) e d) representam as condições de iluminação ambiental desligada. .... 76

Figura 43 Gráfico circular repartido em três setores coloridos associados à intervalo de idade (18-25, 26-35 e 36-45 anos de idade), respetiva aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa o intervalo de idade de 18-25 com 64 %, a cor laranja representa o intervalo de idade de 26-35 com 23 % e, a cor cinzenta representa o intervalo de idade de 36-45 com 13 %..... 77

Figura 44 Gráfico circular repartido em dois setores coloridos associados ao género (feminino e masculino), respetivo aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa o género feminino com 67 % e, a cor laranja representa o género masculino com 33 %.... 78

Figura 45 Gráfico circular repartido em três setores coloridos associados à etnia (indefinido, caucasiano e negro), respetivo aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa a etnia indefinido com 3 %, a cor laranja representa a etnia caucasiano com 83 % e, a cor cinzenta representa a etnia negro com 14 % . .... 78

Figura 46 Gráfico circular repartido em três setores coloridos associados à região geográfica (África, América e Europa), respetivo aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa África com 6 %, a cor laranja representa América com 17 % e, a cor cinzenta representa a Europa com 77 % . .... 79

Figura 47 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo disco considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 81

Figura 48 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 84

Figura 49 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 87

Figura 50 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 90

Figura 51 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 93

Figura 52 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 96

Figura 53 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 99

Figura 54 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média original para os estímulos banana (representado a azul), face (representado a verde) e lego (representado a vermelho). .....	105
Figura 55 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo disco considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. ....	125
Figura 56 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. ....	127
Figura 57 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. ....	129
Figura 58 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. ....	131
Figura 59 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. ....	133
Figura 60 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. ....	135
Figura 61 Diagrama cromático CIE(a*, b*) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada	

(representada pelo triângulo) para o estímulo banana eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 137

Figura 62 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo disco considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 142

Figura 63 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 144

Figura 64 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 146

Figura 65 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 148

Figura 66 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 150

Figura 67 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 152

Figura 68 Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada

(representada pelo triângulo) para o estímulo banana eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média. .... 154



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Ilustração das condições experimentais tendo em conta o tipo de monitor e o tipo de iluminação ambiental. As letras de A a H representam o tipo de condição experimental.....	63
Tabela 2 A distância indica a posição correta desde os olhos do observador ao respetivo monitor assegurando um ângulo visual estável. A coluna da esquerda identifica o monitor, a coluna da direita corresponde às distâncias do participante aos respetivos monitores. ....	70
Tabela 3 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a* e b* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O * e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. ....	82
Tabela 4 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a* e b* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O * e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. ....	82
Tabela 5 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a* e b* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O * e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. ....	85
Tabela 6 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a* e b* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O * e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. ....	85
Tabela 7 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a* e b* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O * e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. ....	88

Tabela 8 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 88

Tabela 9 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 91

Tabela 10 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 91

Tabela 11 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 94

Tabela 12 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 94

Tabela 13 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 97

Tabela 14 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 97

Tabela 15 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 100

Tabela 16 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 100

Tabela 17 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. .... 101

Tabela 18 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. .... 101

Tabela 19 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 102

Tabela 20 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. .... 102

Tabela 21 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação

ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 103

Tabela 22 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada..... 103

Tabela 23 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. .... 104

Tabela 24 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada..... 104

Tabela 25 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 126

Tabela 26 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 126

Tabela 27 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 127

Tabela 28 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação

ambiental obtidas pelo teste Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 128

Tabela 29 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 130

Tabela 30 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 130

Tabela 31 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 131

Tabela 32 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 132

Tabela 33 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 133

Tabela 34 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 134

Tabela 35 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas

pele teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 135

Tabela 36 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 136

Tabela 37 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 137

Tabela 38 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 138

Tabela 39 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. .... 138

Tabela 40 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. .... 138

Tabela 41 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 139

Tabela 42 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. .... 139

Tabela 43 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 139

Tabela 44 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada..... 140

Tabela 45 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. .... 140

Tabela 46 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 140

Tabela 47 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 143

Tabela 48 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação

ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 143

Tabela 49 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 144

Tabela 50 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 145

Tabela 51 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 146

Tabela 52 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 147

Tabela 53 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 148

Tabela 54 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 149

Tabela 55 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas



pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 150

Tabela 56 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 151

Tabela 57 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 153

Tabela 58 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 153

Tabela 59 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 154

Tabela 60 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 155

Tabela 61 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. .... 155

Tabela 62 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo

obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 155

Tabela 63 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 156

Tabela 64 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. .... 156

Tabela 65 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 156

Tabela 66 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. .... 157

Tabela 67 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. .... 157

Tabela 68 A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística (p) para as coordenadas cromáticas a\* e b\* através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de

iluminação ambiental desligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições. .... 157

*"I resemble a farsighted man who is charmed by the vast horizon and who is disturbed by the foreground only when an opaque object obstructs his view."*

Albert Einstein

À

Andreia Esteves Gomes

Uma dedicatória especial por estares sempre por perto a colorir o meu caminho

# 1. INTRODUÇÃO

Cálculos matemáticos permitem relacionar a luminância e cromaticidade da cor do monitor (1). E apesar de serem conhecidos modelos para auxiliar na precisão da reprodução a cores para diferentes monitores tendo em conta os níveis de iluminação ambiental (2), bem como a influência de texturas naturais ou artificiais na percepção cromática (3), falta ainda conhecer o efeito da cromaticidade em diferentes monitores para a mesma imagem alterando as condições de iluminação ambiental. Para tal, este trabalho teve como objetivo clarificar a influência da percepção da cor de diferentes categorias de estímulos em vários meios de reprodução de cor sob iluminação ambiental variável. Para dar resposta a este problema, e garantindo grande fiabilidade dos resultados, foram utilizadas diferentes categorias de estímulos representativos de imagens naturais, artificiais, uniformes e complexas, exibidas em diferentes tipos de monitores e, posteriormente analisadas.

No seguimento da leitura desta dissertação serão analisados os seguintes aspetos:

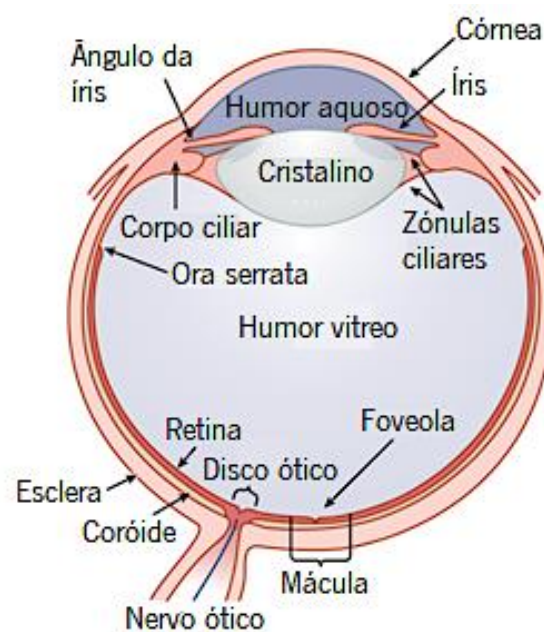
- Ao longo da REVISÃO DA LITERATURA serão encontradas informações que ajudarão a perceber como funciona a dinâmica do processo visual passando pela temática da visão das cores e, culminando em outras técnicas e informações relevantes no contexto do objetivo desta dissertação.
- A secção HIPÓTESES E OBJETIVOS DO ESTUDO proporciona uma acrescida familiarização com o princípio deste estudo.
- Em AMOSTRA, MATERIAL E MÉTODOS será apresentado a abordagem utilizada para a realização deste estudo.
- Em CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA serão apresentados os efeitos encontrados na influência entre monitores, entre condições de iluminação ambiental e, por último, entre estímulos.
- Em RESULTADOS E DISCUSSÃO serão debatidos os resultados obtidos e fomentados com bibliografia existente e, também serão sumarizadas as principais conclusões.
- Em TRABALHO FUTURO será apresentado uma linha de investigação futura.

Os resultados obtidos neste estudo podem fortalecer a validação de experiências psicofísicas virtuais em ambientes não controlados. Visa também fornecer uma vasta aplicabilidade na indústria televisiva, de fotografias, jogos virtuais e afins.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Sistema visual

É na parte anterior da cavidade orbital que o globo ocular se encontra (4). As cavidades orbitais ósseas consistem em um par de órbitas, um local de proteção para o globo ocular e seus constituintes (4). O globo ocular ocupa cerca de um terço do tamanho da órbita e os dois terços restantes são ocupados pelo seus constituintes (5) dos quais, gordura, músculos, nervos (4)(5), vasculatura e parte do aparelho lacrimal (4).



**Figura 1** Esquema representativo de uma segmentação horizontal do globo ocular correspondente ao olho direito, com indicação do nome de algumas das suas principais estruturas (adaptado de (6)).

O globo ocular, que pode ser representado através do diagrama na Figura 1, de estrutura esférica e levemente irregular (7), pode ser caracterizado em três camadas, da mais externa para a mais interna, das quais: a fibrosa, a pigmentada vascular e a nervosa (4)(7).

A camada fibrosa, ou camada externa, inclui a esclera e a córnea (4)(7)(6). Esta é a camada com maior proporção do globo ocular (7).

A esclera, parte posterior do globo ocular (4), com uma ocupação de cerca de cinco sextos (4), oferece moldagem (7) e proteção para os elementos internos do globo ocular (7)(5)(6), sendo composta maioritariamente por colagénio (6). Posteriormente, esta, é perfurada pelo nervo ótico (4)(5)(7).

Anteriormente, a esclera concede seguimento à córnea (6)(7)(5)(4) através de uma linha de ligação denominado por limbo ou junção esclero-corneana (4) fundindo-se com a conjuntiva bulbar (5).

A córnea é um tecido transparente (4)(5)(6) e o mais exposto do globo ocular (7)(6). É responsável por cerca de dois terços, o equivalente a 40.00 D, do poder refrativo (6).

A camada pigmentada vascular, ou camada intermédia, ou trato uveal, é uma estrutura contínua (4) formada pela: coróide, corpo ciliar e íris (4)(7)(5)(6).

A coróide, contínua com o corpo ciliar (6), está agarrada à esclera na região do nervo ótico (4). É uma membrana abastecida de vasos sanguíneos (4)(7), sendo o principal tecido vascular da camada intermédia (5) ocupando na parte posterior cerca de cinco sextos (7). Tem como principal função nutrir todas as camadas do globo ocular, bem como impedir a dispersão da luz no seu interior (7).

O corpo ciliar forma um anel que percorre o interior da esclera anterior (5), consiste num cruzamento de músculos ciliares que regulam a forma do cristalino (7)(6) e fornece a secreção do humor aquoso (6)(7).

A íris, estrutura mais anterior da camada intermédia, localiza-se continuamente com o corpo ciliar entre a córnea e o cristalino (7) dividindo em câmara anterior e câmara posterior (5)(4). É um diafragma fino, contrátil e pigmentado (4)(5). Permite a entrada de luz para o interior do globo ocular através da sua abertura central, a pupila (7)(4)(5)(6).

A córnea, o humor aquoso, o humor vítreo e o cristalino constituem os meios refrativos do globo ocular (4).

O humor aquoso é de natureza líquida capaz de nutrir algumas estruturas oculares (6).

O humor vítreo localiza-se entre o cristalino e a retina (5)(4). É um gel transparente constituído maioritariamente por água (5)(4). Tem como função transmitir a luz e suportar a superfície posterior do cristalino (5)(4).



O cristalino contribui com cerca de 15.00 D para o poder refrativo do globo ocular (4). É de textura transparente o que permite a entrada de luz (4)(5) e adapta-se, também, ao poder dióptrico possibilitando a visualização focada de objetos distantes e próximos (4). Quando o raio de curvatura anterior do cristalino diminui, o poder dióptrico do cristalino e, por consequente, do globo ocular, são incrementados (6). Processo este denominado por acomodação (6).

A camada nervosa, ou camada interna, é formada pela retina (7)(4)(5)(6), sendo este um elemento neural composto por várias camadas e extremamente complexo (6). É aqui que, com o auxílio dos elementos óticos, a imagem é formada (4)(6). Existe conexão entre a retina e o cérebro ocorrendo a transdução fotoquímica na retina e os impulsos nervosos são transmitidos através das vias visuais para o cérebro, participando este num nível elevado de codificação da informação visual (4).

A retina pode ser constituída por duas camadas, das quais, a camada pigmentada externa e camada neural interna (7)(4)(5).

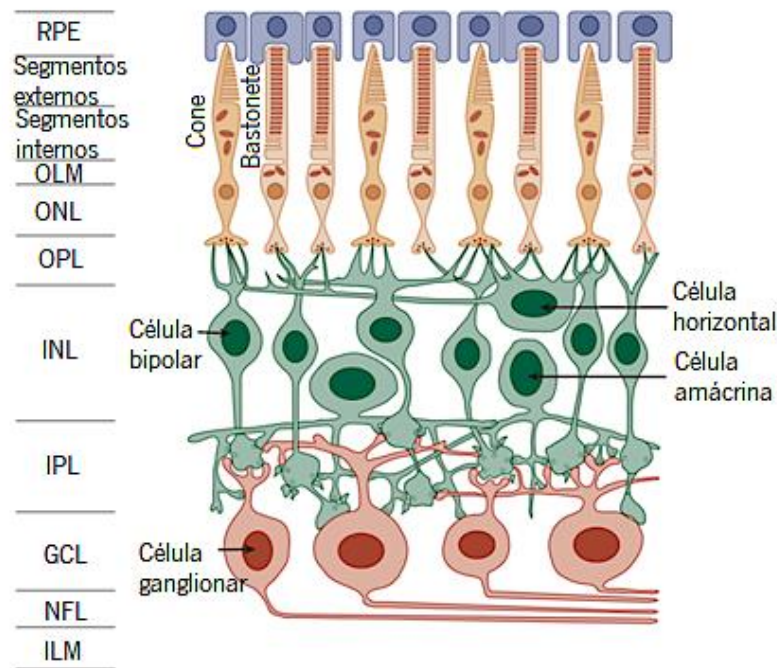
Na camada pigmentada externa, ou seja, o EPR, consiste numa camada de células pigmentadas que tem várias funções como, por exemplo, atuar como fagócitos na eliminação de detritos dos processos externos das células fotorreceptoras; absorver fotões de luz (5)(4)(7)(6) que não foram absorvidos pelos fotorreceptores (6) através de um mecanismo antirreflexo bloqueando o seu regresso aos fotorreceptores (4); entre outros. Estas células formam um elo de ligação criando uma barreira, denominada por “barreira sanguínea da retina” (5).

A camada neural interna é responsável pela visão (4)(7). É composta por milhões de fotorreceptores (cones e bastonetes), por células bipolares e por células ganglionares (4)(7). Também contém células horizontais, células amácrinas (4)(7) e células de suporte (4).

Assume-se que, tal como mostrado na Figura 2, toda a retina está dividida em dez camadas não reais, que são, de exterior para interior, as que se seguem (4):

1. Epitélio pigmentar;
2. Bastonetes e cones;
3. Membrana limitadora externa;
4. Camada nuclear externa;
5. Camada externa plexiforme;
6. Camada nuclear interna;

7. Camada interna plexiforme;
8. Células ganglionares;
9. Camada de fibra nervosa;
10. Membrana limitadora interna.



**Figura 2** Ilustração esquemática da organização da retina por camadas. Da camada mais externa para a mais interna: Epitélio pigmentar da retina (RPE), Segmentos externos dos fotorreceptores, Segmentos internos dos fotorreceptores, Membrana limitadora externa (OLM), Camada nuclear externa (ONL), Camada plexiforme externa (OPL) Camada nuclear interna (INL), Camada plexiforme interna (IPL), Camada de células ganglionares (GCL), Camada de fibra nervosa (NFL), Membrana limitadora interna (ILM). O percurso da luz inicia-se na camada mais interna e prolonga-se até à mais externa (adaptado de (6)).

A membrana limitadora externa separa os segmentos internos das células fotorreceptoras e dos seus núcleos (6); na camada nuclear externa é onde se encontram os núcleos das células fotorreceptoras; na camada externa plexiforme ocorre a transição de informação através de sinapse nos terminais das células fotorreceptores entre as células bipolares o células horizontais; Na camada nuclear interna é onde predominam os núcleos das células bipolares, células horizontais, células amácrinas e células müller (célula de suporte); na camada interna plexiforme (PI) origina-se a segunda fase das sinapses entre as células bipolares, células amácrinas e células ganglionares; na camada de células ganglionares é onde se encontram os núcleos das células ganglionares; e a camada de fibra nervosa é

composta por axónios das células ganglionares que convergem para o disco ótico (4)(6); a membrana limitadora interna por ser a camada mais interna atua como interface entre a retina e o humor vítreo (6).

As células bipolares organizam-se de modo a facilitar acesso direto do fotorreceptor cone para uma única fibra do nervo ótico através do auxílio de células ganglionares (4).

As células ganglionares, segundos neurónios da via visual, conectam-se a uma única célula fotorreceptor cónico por neurónios bipolares (4).

As células horizontais situam-se nas proximidades dos fotorreceptores e respondem ao seu neurotransmissor após excitação pela luz. É também possível que estas células horizontais integrem estímulos visuais (4).

As células amácrinas, vizinhas das células ganglionares, são ativadas pelas células bipolares que por sua vez excitam as células ganglionares (4).

Células de suporte, sendo as células de Müller uma delas, cobrem quase a totalidade da espessura da retina neural preenchendo grande parte dos espaços vagos mantendo as fibras nervosas agregadas (4).

Com base na literatura, a retina comporta um elevado grau de complexidade(6)(8) quer no processamento de informação quer no mosaico celular e sináptico (6). A organização anatómica dos elementos neurais da retina está deslocada lateralmente da região foveal permitindo que, deste modo, a luz atinja diretamente os segmentos exteriores dos fotorreceptores cones proporcionando assim a melhor visão (6).

### 2.1.1 Fotorreceptores

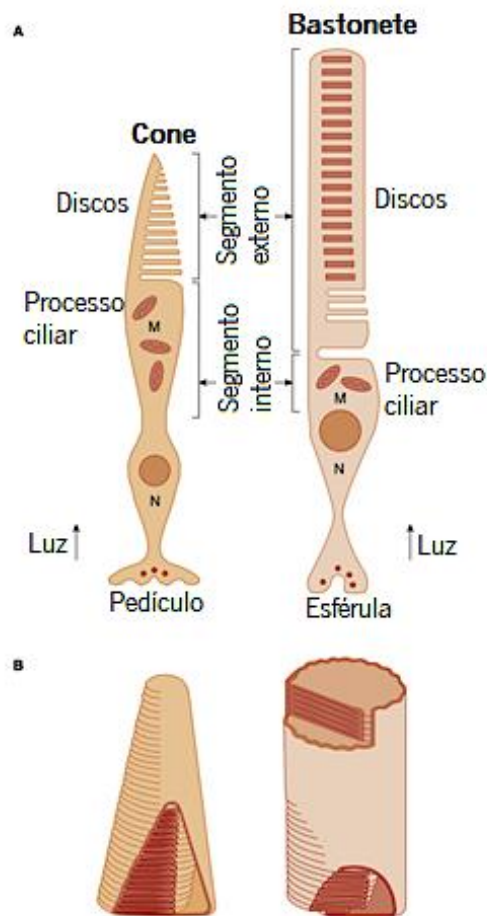
Cerca de 4.6 milhões de cones estão alojados na retina tendo um pico de densidade média de 199 000 *cones/mm<sup>2</sup>* (9), região esta denominada de foveola, sendo os únicos fotorreceptores aqui localizados (6). A sua densidade decresce pronunciadamente para a periferia (4). Estes estão especializados em visão diurna (6)(4), luz brilhante, tendo capacidade para codificar detalhes finos (4) e permite a discriminação de cor (6). E, por isso estão responsáveis pela visão fotópica (6).

As densidades de cones e bastonetes variam consoante a região da retina (4)(9)(10), sendo a variabilidade mais acentuada nas proximidades da fóvea (9).

Face à desproporcionalidade existente das quantidades dos fotorreceptores cones e bastonetes (10), sendo os bastonetes em maior quantidade e os cones em menor quantidade, leva a que exista uma alta convergência entre bastonetes e células ganglionares e, uma baixa convergência entre cones e células ganglionares (10). Isto manifesta-se em diferenças que resultam em melhor sensibilidade (isto é, é necessário menos luz para ativar resposta) atribuída aos bastonetes e a melhor visão de detalhe para os cones (10).

Existem semelhanças e diferenças destes dois fotorreceptores (6). A Figura 3 revela que ambos são portadores de um segmento externo, o qual possibilita o desencadear do primeiro passo para o processo visual (6). As suas diferenças estão na disposição anatómica, bem como na sua fisiologia destes segmentos externos (6).

O segmento exterior dos bastonetes, apresentando uma forma de bastonete (6), contém pigmentos fotossensíveis, a rodopsina, que estão inseridos no interior da membrana dos discos (4)(6)(10). Havendo cerca de 10 000 moléculas de rodopsina em apenas um disco (6). Estes discos encontram-se distribuídos transversalmente e de forma empilhada (4), tendo a sua origem na ligação ciliar (ligação do segmento externo ao segmento interno) e posteriormente ocorre uma migração destes em direção ao exterior tornando-se flutuantes (6).



**Figura 3** A| Configuração esquemática dos fotorreceptores cone (à esquerda) e bastonete (à direita). “N” representa o núcleo e “M” representa mitocôndria. B| Configuração esquemática dos segmentos externos do cone e bastonete. (adaptado de (6)).

A vasta quantidade de moléculas de rodopsina oferece uma elevada capacidade de captação de luz, o que, por conseguinte, contribui para a nossa sensibilidade em iluminação noturna (6). A absorção de apenas um fóton de luz pela molécula de rodopsina é o suficiente para ativar uma célula bastonete (6)(10), tornando-se a molécula de rodopsina transparente, o que impossibilita, deste modo, a captura de outro fóton de luz (6). Este processo é recíproco, voltando a molécula de rodopsina a seu estado normal (não transparente) cerca de 5 minutos após a absorção (6), processo este denominado por regeneração visual (10). Devido à mecânica quântica, esta absorção ocorre em maior

probabilidade na região de comprimento de onda de 507 nm, tendo as restantes regiões de comprimento de onda menor probabilidade de absorção (6).

Após a absorção do quanta de luz, a informação do comprimento de onda característico deste torna-se imparcial (6)(11). Este acontecimento designa-se por univariância (6). Deste modo, sucede o mesmo efeito para, por exemplo, 1000 quanta de 507 nm e 2000 quanta de 680 nm (6).

Os fotorreceptores cones são compostos por três fotopigmentos, designados por S (sensíveis a comprimentos de onda curto); M (sensíveis a comprimentos de onda médio); e por L (sensíveis a comprimentos de onda longo), correspondendo a uma absorção máxima de cerca de 426 nm; 530 nm; e 557 nm, respetivamente (6).

Estes pigmentos fotossensíveis regeneram a um ritmo mais rápido quando comparado com a rodopsina, demorando apenas aproximadamente 1.5 minutos para que 50% de um pigmento revitalize (estado não transparente) (6).

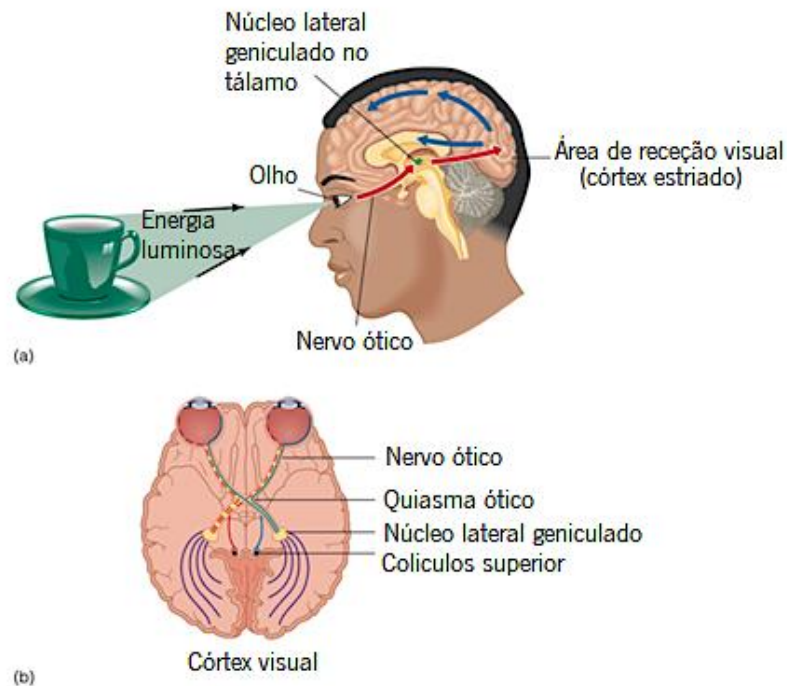
### 2.1.2 Do olho ao cérebro

O processamento da imagem inicia-se dentro da retina (6), esta analisa a imagem de modo que o sinal que envia para o cérebro não é meramente uma representação de pixéis dessa imagem (6)(8), mais do que isto, a retina tem a capacidade desenvolver cálculos específicos de imagem (8).

O processo visual tem início nas células fotorreceptoras (cones e bastonetes) (9)(10) que são neurónios especializados sensíveis à luz (12). Existem cerca de 130 milhões na retina humana (12).

Em condições de iluminação opostas (visão fotópica e visão escotópica), cada um destes fotorreceptores cones e bastonetes executam o seu papel, respetivamente (6). Fenómeno pelo qual se denomina por retina duplex (6). No entanto existe uma contribuição de ambos em condições crepusculares, isto é, em visão mesópica (6).

Para além de cones, na retina humana existem aproximadamente 92 milhões bastonetes (9) sendo estes a base para a visão noturna (6)(4), luz fraca, e reproduzem imagens em vários tons de preto e branco (4). Intervindo assim na visão escotópica(6).



**Figura 4** a) Visão lateral do percurso visual passando pelo olho, seguindo para o núcleo geniculado lateral e área recetora visual do córtex. (b) corte horizontal do cérebro visto de cima apresentando a distribuição das fibras óticas no quiasma ótico (adaptado de (10)).

Quando a luz atinge os fotorreceptores (cones e bastonetes) o sinal transformado em energia radiante é posteriormente projetado pelas células ganglionares (6)(13) em direção ao cérebro (10). Existem também interconexões laterais, que englobam as células horizontais e células amácrinas (6)(10).

A informação pode ser também transmitida de volta para os fotorreceptores através das células interplexiformes (6).

Através dos axônios das células ganglionares, a informação é expelida para fora da retina no nervo ótico, tal como visualizado na Figura 4, aqui, os sinais abandonam a retina e seguem o seu percurso em direção ao LGN (núcleo lateral geniculado) no tálamo (11)(10) e, posteriormente, prosseguem para o lobo occipital do córtex, ou seja, o córtex estriado, esta é uma área recetora visual primária (10). Do córtex estriado os sinais podem alcançar as áreas do lobo temporal, parietal e frontal (10). Existe também uma área, denominada por colíquo superior, com a função de controlar, não só, os

movimentos oculares como também capaz de controlar outros comportamentos visuais através da recepção de cerca de 10 % das fibras do nervo ótico (10).

O LGN, estrutura bilateral, encontra-se tanto no hemisfério esquerdo como no hemisfério direito do cérebro em que os sinais enviados da retina nasal de cada olho para o LGN cruzam-se e permutam as direções (6)(10). Sendo o local de cruzamento o quiasma ótico (6).

A transmissão de sinais não é a sua única função, o LGN está também capacitado para, tal como a retina, organizar a informação recebida, mas de uma maneira mais aprofundada (10).

É composto por 6 camadas (6)(10) e divide-se em três regiões distintas, das quais (6):

- Duas camadas ventrais magnocelulares, sendo estas constituídas por neurónios denominados de magno ou células M. Estas parecem estar envolvidas na codificação de movimento;
- Quatro camadas dorsais parvocelulares que contém neurónios parvo (ou células P). Desempenhando função na acuidade visual bem como na visão das cores;
- Entre estas seis camadas, regiões interlaminares, encontram-se neurónios de células konio, contribuindo para a visão das cores.

A área cortical, envolvida predominantemente na visão, é designada de córtex visual estriado; ou córtex visual primário; ou até área visual 1 (V1) e situa-se no lobo occipital do cérebro humano (6). Destaca-se no acolhimento das principais projeções retinocorticais (Retina – LGN – Córtex) e, dá início à primeira fase de processamento visual resultando em capacidades operacionais (6).

Tal como a retina e LGN, o córtex visual estriado possui neurónios de campos recetivos com áreas excitatórias e inibitórias, mas mais complexos e dispostas lado-a-lado (10). Designam-se de células simples, células complexas, e células hipercomplexas em que cada um deste tipo de células possui diferentes neurónios de orientação preferencial para que sejam estimuladas (6)(10). Sendo conhecidos por detetores de características (10).

Pensa-se que o córtex tem uma organização em colunas de orientação e dominância ocular, possibilitando a que em cada coluna haja células com afinidade para determinado tipo de orientação e uma resposta preferencial ao olho dominante (6)(10).



Para além do córtex estriado existem várias áreas visuais superiores dedicadas a processamento de sinais específicos e mais complexos (6)(14). Ao conjunto destas áreas visuais denomina-se de córtex extraestriado (6)(14).

A informação de sinais visuais chega ao córtex extraestriado através de dois caminhos que se estendem desde o córtex estriado (6)(10). O caminho que atinge o lobo temporal, ou seja, a via ventral; e o caminho que atinge o lobo parietal, ou seja, a via dorsal (6)(10).

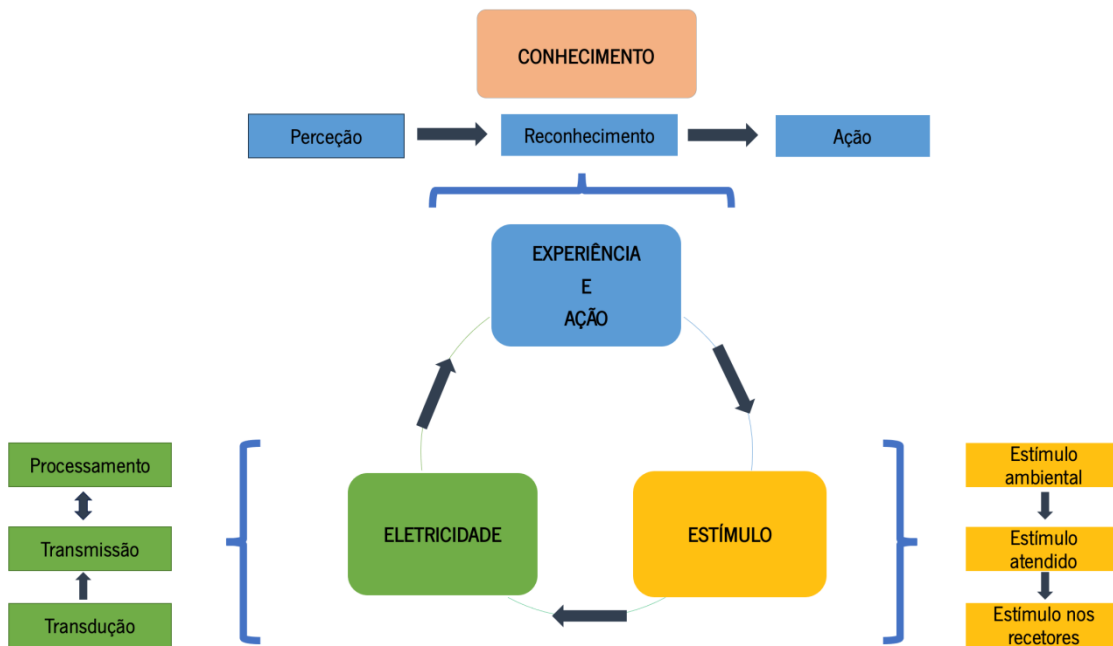
É possível que as vias parvo e magno (vias retinocorticais) possibilitem a entrada para os fluxos de processamento ventral e dorsal, respetivamente (6).

O fluxo ventral, acredita-se estar envolvido na identificação e reconhecimento de objetos, fazendo parte desta via de processamento a área visual 4 (V4) e córtex TI (córtex inferotemporal) (6)(10). A localização espacial dos objetos pode ser descodificada no fluxo dorsal, da qual a área MT ou visual 5 (V5) está englobada (6)(10). Embora existam provas de que estes dois caminhos sejam distintos, é provável que possa existir comunicações entre eles (6)(10).

Estudos em cérebro humano apontam que imediatamente abaixo do córtex TI no giro fusiforme encontra-se a AFF (10) que se crê ser portadora de neurónios especializados no reconhecimento facial (6)(10) e, outros investigadores acreditam que esta seja também uma áreas especializada de resposta a objetos complexos que se tornam familiares através da experiência visual (10). Já a área ABE é responsável apenas por determinar imagens de corpos e partes de corpos e não por faces (10). Também existe outra área, a APP, que se dedica à perceção de cenas exteriores e interiores (6)(10) dando ênfase às suas disposições espaciais (10).

## 2.2 Perceção visual

Embora a perceção visual, experiência sensorial (10) seja fortemente dependente da luz, não está exclusivamente dependente dela (15)(16). É possível realçar a existência de um complexo grau de especialização para que o percetor possa alcançar e decifrar a informação visual (6)(17)(10).



**Figura 5** Representação cíclica e dinâmica do processo visual através de etapas individuais (estímulo, eletricidade, experiência/ação e conhecimento) envolvidas na criação da nossa percepção visual aos estímulos no ambiente. O estímulo reúne três aspetos: o estímulo ambiental (conjunto de estímulos oferecidos pelo ambiente), estímulo percebido (estímulo selecionado como o centro da atenção) e o estímulo nos recetores (imagem retiniana do estímulo). A eletricidade é composta por: transdução (criação de resposta elétrica em resposta à luz) transmissão (ativação sequencial de neurónios) e processamento (processamento neural através da interação entre neurónios). Experiência e ação agrupa a percepção (experiência sensorial), o reconhecimento (capacidade em categorizar o estímulo) e ação (atividade motora). Em cima está representada a etapa do conhecimento com o objetivo de destacar a influência que a informação adquirida pelo perceptor pode comprometer as várias etapas do processo visual (adaptado de (10)).

Existe todo um processo cuja sua finalidade será a representação perceptiva, designado este como o processo perceptual. Tal como visualizado na Figura 5, este processo reparte-se por várias etapas, das quais (10):

- Estímulo:

Refere-se aos estímulos presente no ambiente, ao estímulo de destaque na nossa atenção (podendo este sofrer variações à medida que mudamos a nossa atenção) e ao estímulo transformado em imagem retiniana;

- Eletricidade:

Refere-se à conversão dos sinais elétricos nos fotoreceptores que são posteriormente direcionados até ao cérebro, fazendo parte deste processo a transdução (transformação da energia do ambiente, ou seja, luz, em sinais elétricos), a transmissão (ativação de vários neurónios) e o processamento (interações entre neurónios).

- Experiência e ação:

São o resultado de todos os processos anteriores onde o percetor é capaz de perceber, reconhecer e agir;

- Conhecimento:

O conhecimento, informação previamente adquirida, pode ter impacto influente nas várias etapas do processo perceptual.

Embora se possa descrever o processo visual numa representação cíclica, este processo sofre constantes modificações não tendo por isso um princípio nem um fim (10).

Para estudar a percepção recorre-se, não só a abordagens psicofísicas e fisiológicas, mas também à influência do conhecimento, memórias e expectativas (10). Estes últimos fatores mencionados podem controlar a atenção visual seletiva (atenção visual de cima para baixo e atenção visual de baixo para cima) e, por sua vez, restringir parte da informação visual disponível salientando aquilo que é relevante ao observador (18).

A atenção visual de cima para baixo refere-se a um sinal endógeno (18), dos quais se destacam as influências cognitivas (10). Com menos influência, na atenção visual de baixo para cima provem da seletividade criada pelas saliências físicas, tais como objetos brilhantes ou em movimento (18).

O córtex cerebral parece contribuir de maneira próxima para a percepção visual (10) tendo capacidade para organizar e integrar a informação visual com a memória e mais outros sentidos, possibilitando a visualização do que experimentamos, sendo para isso integrados nestes processos as áreas corticais superiores que analisam particularidades específicas do mundo visual (6). É presumível que a percepção visual se manifeste devido à existência de neurónios especializados alojados em áreas cerebrais tais como: a AFF, a APP e a ABE (10).

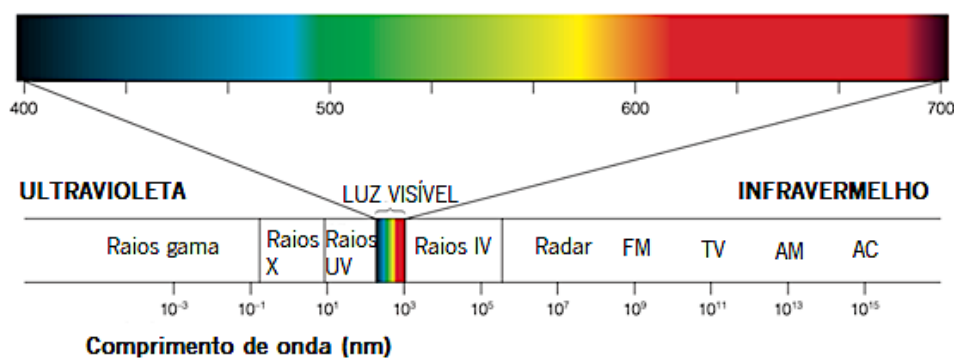
Deste modo, a percepção visual é influenciada tanto pelo estímulo visual como pela anatomia e fisiologia do sistema visual (10).

A adaptação seletiva bem como a plasticidade neural também podem afetar a percepção visual (10). Assim, neurónios de nível superior podem sofrer alterações nas suas aptidões dependendo da aprendizagem perceptual (6) e da experiência visual (10), respetivamente.

### 2.3 Espectro eletromagnético

Através do comprimento de onda, unidade expressa em nanómetros (nm) (19), é possível descrever a natureza ondulatória da radiação eletromagnética contida dentro do espectro eletromagnético (6) através das distâncias entre dois picos adjacentes das ondas eletromagnéticas.

O espectro eletromagnético, Figura 6, estende-se desde comprimentos de onda mais curto, raios gama ( $10^{-3}$ nm) até comprimentos de onda mais longo, ondas rádio ( $10^{15}$ nm) (10)(19). Os comprimentos de onda curtos contêm mais energia face ao comprimento de onda mais longos (6). Consequentemente, em contraste com a radiação infravermelho (IV), a pele e tecidos oculares quando expostos à radiação ultravioleta (UV) predispõe maior suscetibilidade a produzir danos consideráveis (6).



**Figura 6** Espectro eletromagnético. Extensão desde comprimento de onda curto até comprimento de onda longo, mostrando a pequena gama de luz visível (adaptado de (10)).

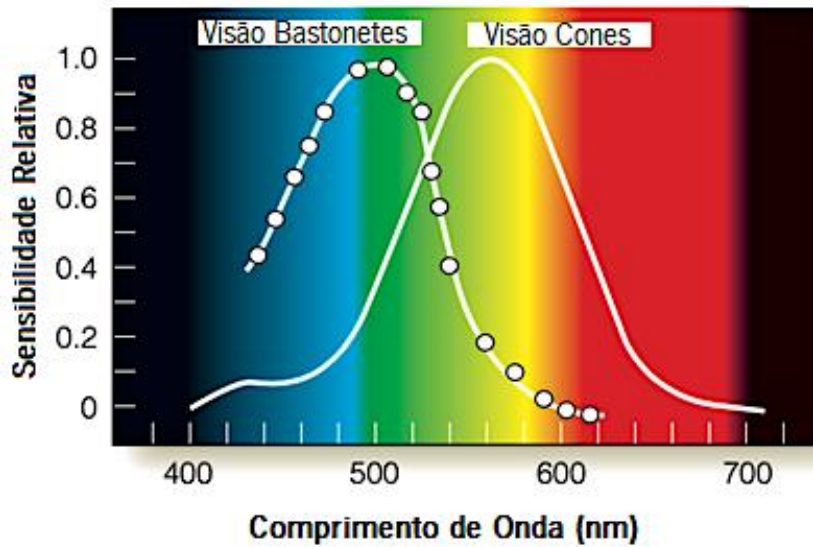
Apenas dentro do intervalo de, aproximadamente, 400 a 700 nm (onde 1nm equivale a  $10^{-9}$  m) encontra-se a radiação eletromagnética, sendo esta perceptível tanto para humanos como para alguns animais, isto é, corresponde à luz visível associada às diferentes cores do espectro eletromagnético (11)(10). Esta luz visível captada pelo olho, proveniente da reflexão em objetos no ambiente, é capaz de atingir os fotopigmentos da retina emergindo, posteriormente, para o cérebro e finalizando no desencadeamento do processo perceptual (10).

### 2.3.1 Sensibilidade espectral dos fotorreceptores

A sensibilidade da percepção do observador à luz altera tendo em conta o comprimento de onda do espectro visível (10) e o estado de adaptação do olho (20).

John Purkinje, em 1825, deparou que nas suas caminhadas matinais existia uma diferença na aparência das cores, constatando que as cores vermelhas e amarelas (cores brilhantes à luz do dia) apareciam mais escuras do que a cor azul à luz fraca do amanhecer (20). Ou seja, um deslocamento espectral acontece deslizando, gradualmente, do vermelho para o azul à medida que a iluminação diminui (19) ficando as cores cada vez menos saturadas (20). Fenómeno este denominado por desvio de Purkinje (10)(19)(20).

Tal facto se deve à retina duplex (20). Assim, existe uma diferença na sensibilidade dos fotorreceptores cones (responsável pela visão fotópica) e bastonetes (responsável pela visão escotópica), sendo as curvas de sensibilidade espectral dos fotorreceptores bastonetes mais sensíveis à luz para comprimentos de onda de 500 nm e os fotorreceptores cones mais sensíveis à luz para comprimentos de onda de 560 nm (Figura 7) (10). Tal facto possibilita que durante a adaptação ao escuro incremente a sensibilidade à luz para comprimentos de onda curto (mais próximo do azul) (10).



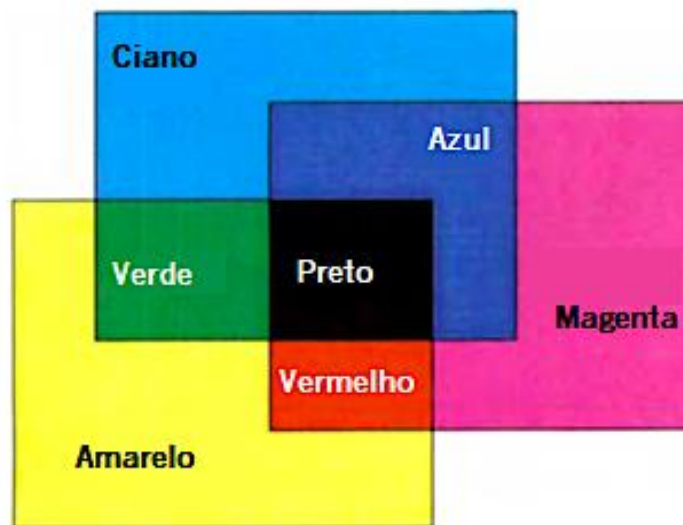
**Figura 7** Sensibilidade espectral para os fotorreceptores bastonetes (linha curva com pontos à esquerda) e para fotorreceptores cones (linha curva à direita) em função do comprimento de onda (adaptado de (10)).

## 2.4 Mistura de cores

As misturas de cores, combinações aditivas ou subtrativas, proporcionam a extensão de grande parte das cores perceptíveis do espectro de luz visível (10).

A mistura aditiva baseia-se em combinação aditiva de duas ou mais luzes coloridas de comprimentos de onda curtos, médios e longos (azul, verde e vermelho, respectivamente) que interagindo com a retina produzem a sensação de cor branca (10)(21). A combinação de três luzes coloridas com comprimentos de onda específicos permitem definir as luzes primárias aditivas, sendo que estas não podem ser obtidas através da mistura de outras cores (21).

Em monitores de televisores ou computadores, as cores são produzidas através de mistura aditiva (21)(22), por exemplo, os pixels azuis, verdes e vermelhos, estão distribuídos suficientemente próximos, de tal forma que estes se combinam produzindo, assim, uma percepção de cores proveniente da mistura aditiva criando, assim, uma percepção de mistura aditiva (21).



**Figura 8** Demonstração esquemática de mistura subtrativa. A mistura dos primários subtrativos, amarelo, magenta e ciano resulta no preto (adaptado de (21)).

Uma mistura subtrativa que advém de misturas de diferentes tintas coloridas ou pigmentos, tem como princípio a absorção seletiva dos comprimentos de onda das respectivas cores misturadas, bloqueando, deste modo, a sua reflexão (10)(21). Desta forma, tal como mostra a Figura 8, a mistura de todas as cores resultará na cor preta (10). O amarelo, o magenta e o ciano são os primários subtrativos (21).



**Figura 9** Disco de cor de Newton. Nas extremidades do disco são apresentados os três primários aditivos através de linhas completas: vermelho, verde e azul. As linhas a tracejado indicam os três primários subtrativos: amarelo, ciano e magenta. O ponto central no interior do disco indica o ponto branco. Esta figura representa a relação entre os primários aditivos e subtrativos e o resultado da mistura de cor aditiva (adaptado de (21)).

Na Figura 9 está esboçado o disco de cor de Newton, onde é possível visualizar a conexão entre primários aditivos e primários subtrativos através de mistura aditiva (21). Ao longo das extremidades do disco estão fixados os primários aditivos (representado pelas linhas completas) e os primários subtrativos ou primários aditivos secundários (representado pelas linhas a tracejado) (21). O ponto central do disco representa o branco (21). Verifica-se que, por exemplo, misturando o primário aditivo vermelho e verde resultará em amarelo que, por conseguinte, está localizado entre as cores de mistura (21). Em uma mistura aditiva de, por exemplo, vermelho e ciano poderá originar branco uma vez que o diâmetro entre estes dois passa pelo ponto central (ou ponto branco) (21). Sendo assim, o vermelho e o ciano são chamados de cores complementares, isto é, a mistura que, em proporções adequadas, origina branco (21). O mesmo raciocínio se aplica para os restantes.

Este fenómeno pode ser verificado, por exemplo, na impressão a cores (21).



## 2.5 Teoria da visão das cores

- Teoria da Tricromacia:

Investigações primordiais que remetem ao passado confrontaram a possibilidade da existência de vários tipos de recetores à luz agrupados num arranjo, de tal forma que respondam isoladamente às diferentes cores, de entre as cores perceptíveis a humanos (6). Enquadrando-se, neste contexto, a existência de milhares de recetores à luz, tendo em conta os milhares de cores que são perceptíveis (6). Em carácter contraditório, Thomas Young, em 1802, formulou uma teoria que vai ao encontro da ciência moderna da cor, referindo que (6): *“As it is almost impossible to conceive each sensitive point of the retina to contain an infinite number of particles, each capable of vibrating in perfect unison with every possible undulation, it becomes necessary to suppose the number limited; for instance to the three principal colours... and that each of the particles is capable of being put in motion more or less forcibly by undulations differing less or more from perfect unison. Each sensitive filament of the nerve may consist of three portions, one for each principal colour”*.

Posteriormente, Hermann von Helmholtz continuou os estudos de Thomas Young e, embora de forma qualitativa, não só apoiou a ideia de Thomas Young como desenvolveu uma teoria datando a presença de três diferentes recetores retinianos que reagem, de forma única, a uma determinada posição espectral e, proporcionalmente à intensidade do estímulo (21). Esta tarefa simultânea resulta em sensação de cor (21).

Estas duas teorias fundiram-se, sendo atualmente conhecidas como teoria de Young-Helmholtz (21).

Para complementar a teoria tricromática, faltavam explicações alusivas à aparência das cores.

- Teoria das cores oponentes:

Com recurso à complementaridade das cores primárias, isto é, à mistura de cores, Ewald Hering explicou a sua teoria oponente da cor devido à existência de três processos oponentes bipolares (vermelho-verde; amarelo-azul; e branco-preto) (21)(6), sendo branco-preto dedicado à codificação do brilho (6). Dessa forma não é plausível a intervenção simultânea de, por exemplo, vermelho e verde na mesma cor, mas sim, tendo apenas a contribuição de somente vermelho ou de verde (21)(6), não sendo assim possível a perceção de cor verde-avermelhada ou vermelho-esverdeada (6). O mesmo

raciocínio se aplica para os demais (21)(6). Ewald Hering verificou ainda que o resultado de uma pós-imagem origina um estímulo cromático de cor complementar (6).

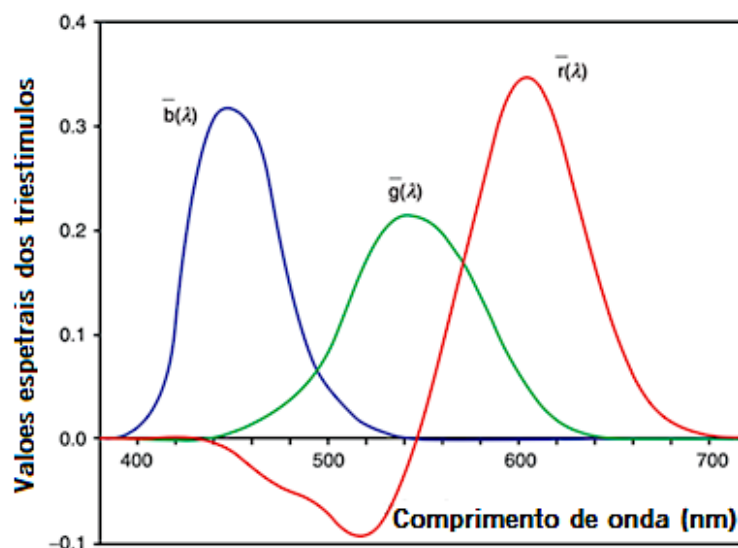
Nos termos do século XIX, Ewald Hering, fisiologista alemão, fomentou com uma possível explicação, que visa fortalecer a temática da aparência das cores (21), suportando, mais tarde, a teoria oponente da cor, que apesar de aparentemente contraditória face à teoria tricromática é considerada válida (6).

Atualmente é possível constatar a importância da teoria oponente da cor de Hering, bem como a teoria tricromática de Young-Helmholtz para explicar a natureza da visão das cores (21).

## 2.6 Colorimetria

### 2.6.1 Primários e triestímulos

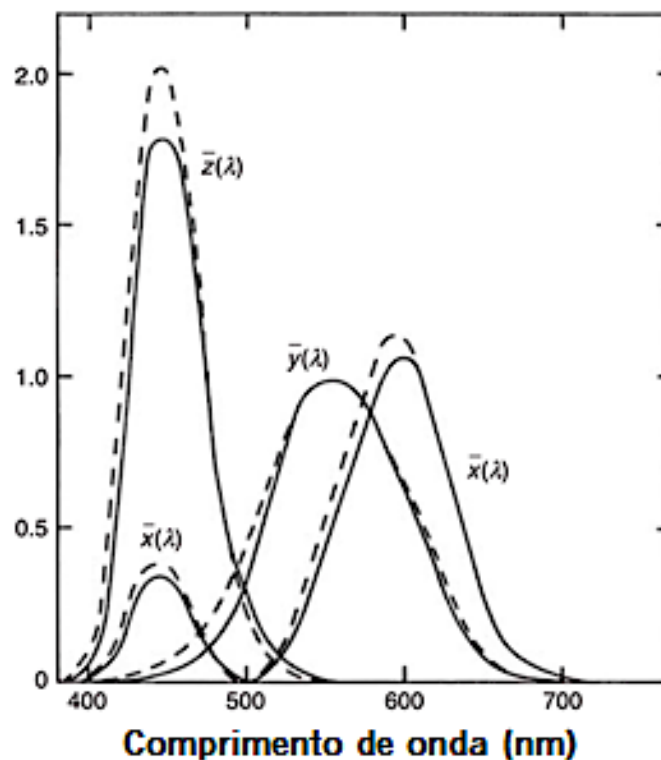
A experiência de Wright, em 1928, composta por um sistema de prismas (23)(19), consistiu em fazer gerar dois espectros através de uma fonte comum (23), com o objetivo de os fazer coincidir em cor (19). E, verificou-se que através de uma mistura aditiva de três estímulos primários, luz vermelha, verde e azul, em porções ajustadas, é possível fazer corresponder a uma determinada cor da amostra arbitrária (19)(21)(24). Tal facto só é possível devido à existência de três tipos de fotorreceptores cones espectralmente diferentes (19).



**Figura 10** Funções de correspondência de cor CIE 1931 expressas em valores triestímulos em função do comprimento de onda (adaptado de (19)).

Por derivação da experiência de Wright (24), tendo em conta um observador com visão de cor normal (25) e o intervalo do comprimento de onda de cada espectro visível (19), é possível então deduzir quais as quantidades médias desejadas de triestímulos para fazer corresponder às cores de cada espectro representado pelas curvas na Figura 10 (19)(21)(24)(25)(6). À quantidade de cada primário denomina-se por valor do triestímulo (6)(25). A Figura 10 mostra as funções de correspondência de cor, atribuídas com o respetivo símbolo  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$  e  $\bar{b}(\lambda)$ , para determinar as quantidades dos triestímulos (19)  $R(700 \text{ nm})$ ,  $G(546.1 \text{ nm})$  e  $B(435.8 \text{ nm})$ , respetivamente (19)(25) com potência radiante 72.1:1.4:1.0 aproximadamente (24)(26). O seu cálculo apenas exige medições físicas (19).

Parte da curva vermelha assume valores negativos no intervalo de cerca de 450 nm a 550 nm (6). Tal facto se deve à adição do primário vermelho à cor a equalizar para obter uma correspondência (6)(19)(21)(25)(24)(26).



**Figura 11** Funções de correspondência de cor CIE 1931 (linhas completas). Funções de correspondência de cor CIE 1964 (linhas tracejadas) (adaptado de (19)).

Com base nestes princípios, a CIE, em 1931, determinou funções de correspondência de cor padrão (25). No entanto, uma vez que estas funções de correspondência de cor contêm valores

negativos no sistema de colorimetria  $RGB$ , baseado neste sistema, a CIE estabeleceu matematicamente um novo sistema de cor, o sistema de cor  $XYZ$  que assume valores somente positivos (25)(24)(19)(6). Este sistema de colorimetria  $XYZ$  utiliza cores imaginárias (25)(24)(26)(6) mais saturadas, no entanto, estas foram baseadas em resultados de correspondência de cor muito reais (25).

Assim, os valores de triestímulos  $R$ ,  $G$  e  $B$  foram transformados em valores de triestímulos  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  da seguinte forma (19):

$$x = 0.49R + 0.31G + 0.20B,$$

$$y = 0.17697R + 0.81240G + 0.01063B,$$

$$z = 0.00R + 0.01G + 0.99B$$

De modo semelhante às funções de correspondência de cores  $\bar{r}(\lambda)$ ,  $\bar{g}(\lambda)$  e  $\bar{b}(\lambda)$ , que equivalem às quantidades de  $R$ ,  $G$  e  $B$ , respectivamente, no novo sistema de colorimetria  $XYZ$ , os valores de  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  são representados pelas funções de correspondência de cores  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  e  $\bar{z}(\lambda)$  conforme mostra a Figura 11 pelas linhas completas (19). É notável ainda que as áreas sob as curvas são iguais e, a função  $\bar{y}(\lambda)$  assemelha-se, em formato, à curva da função de eficiência luminosa espectral,  $v(\lambda)$  (19).

As funções de correspondência de cores,  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  e  $\bar{z}(\lambda)$ , podem ser calculados da seguinte forma (19):

$$\bar{x}(\lambda) = 0.49\bar{r}(\lambda) + 0.31\bar{g}(\lambda) + 0.20\bar{b}(\lambda),$$

$$\bar{y}(\lambda) = 0.17697\bar{r}(\lambda) + 0.81240\bar{g}(\lambda) + 0.01063\bar{b}(\lambda),$$

$$\bar{z}(\lambda) = 0.00\bar{r}(\lambda) + 0.01\bar{g}(\lambda) + 0.99\bar{b}(\lambda)$$

Estas funções de correspondência de cores denotam as propriedades de correspondência de cor do observador colorimétrico padrão CIE 1931 ou observador 2° (19). Uma vez que a capacidade de reprodução de cor varia consoante o tamanho do campo (ângulo de visão) disponível (19), em 1964, a CIE apresentou com um conjunto de funções de correspondência de cor,  $\bar{x}_{10}(\lambda)$ ,  $\bar{y}_{10}(\lambda)$  e  $\bar{z}_{10}(\lambda)$ , aplicados a tamanhos de campo superior a 4° (19)(24). As linhas a tracejado na Figura 11 ilustram estas funções (24).

Este novo sistema denomina-se por sistema colorimétrico padrão CIE 1964, ou, sendo que se aplica comumente para tamanhos de campo de  $10^\circ$ , é também conhecido por sistema colorimétrico CIE10 (24).

## 2.6.2 Diagramas cromáticos

A especificação de cor, fornecida pelos diagramas cromáticos, visa, de certa forma, se correlacionar com os atributos perceptuais de cor (19).

- Diagrama cromático CIE 1931 (x,y):

O diagrama cromático CIE 1931 (x,y) tal como mostra a Figura 12, de representação bidimensional, permite, de uma forma representativa, especificar a cor de um estímulo tendo em consideração os seus valores de triestímulos (25)(26), exibidos em coordenadas de cromaticidade (6)(19). Deste modo, são determináveis apenas as quantidades relativas dos primários imaginários (6), não permitindo a informação relativa à percepção da cor, uma vez que é omitida a luminância (19)(25).

Dado as seguintes equações, é possível, de forma recíproca, determinar os valores dos triestímulos (XYZ) e coordenadas de cromaticidade (x, y e z) (6)(19).

$$x = \frac{X}{X+Y+Z},$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z},$$

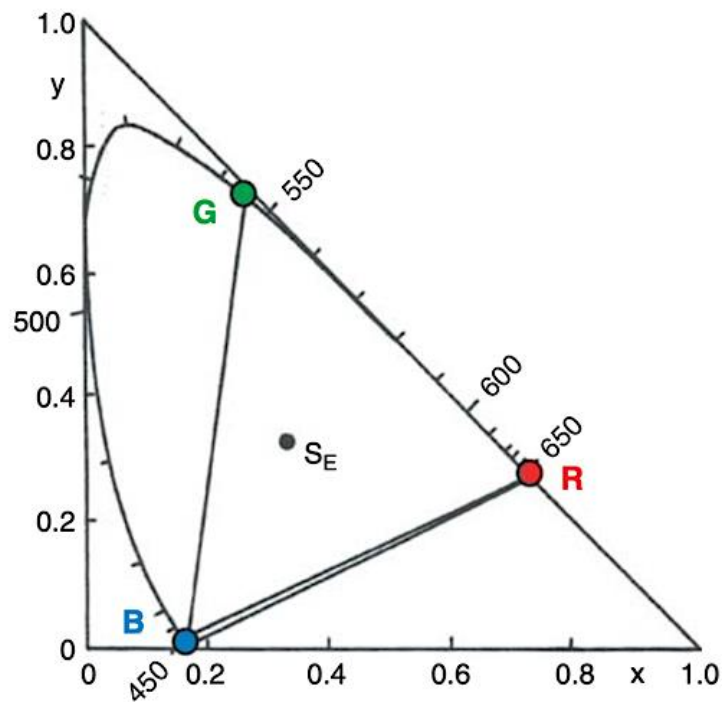
$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

Permitindo também, por exemplo, o cálculo de um terceiro estímulo  $y$ , se  $x$  e  $z$  forem conhecidos através da seguinte equação (6)(19):

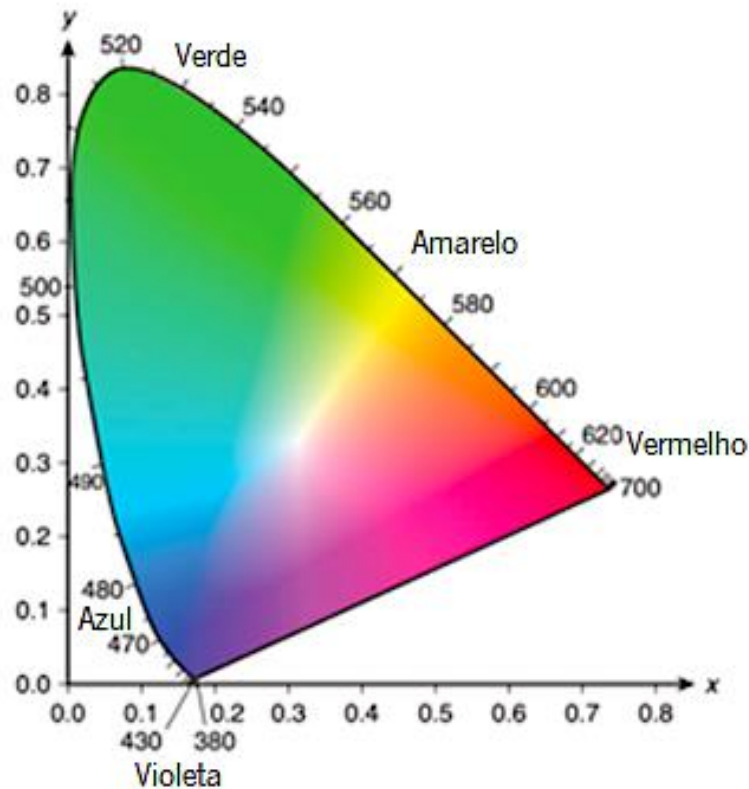
$$x + y + z = 1$$

A Figura 12 e Figura 13 ilustram o *locus* espectral delineado ao longo da linha curva, acoplados de comprimentos de onda, onde se encontram todas as cores visíveis presentes no espectro (6)(19). Todas as cores que podem ser combinadas pelas misturas aditivas pelos triestímulos estão representadas dentro da área do triângulo da Figura 12, em que  $R$ ,  $G$  e  $B$  representam os triestímulos de comprimento de onda de 700 nm, 546.1 e 435,8 nm, respetivamente (19).

O ponto  $S_E$  da Figura 12 representa um estímulo equi-energético como a luz branca com coordenadas de cromaticidade  $x = y = z = \frac{1}{3}$ , em que qualquer cor torna-se mais saturada (menos branca) no sentido remoto a este ponto (19). A linha reta que faz a ligação dos comprimentos de onda de estímulos monocromáticos de 380 nm a 700 nm (6)(26), visualizada na Figura 13, representa as misturas de azul-vermelho (6) e, designa-se por linha púrpura (26).



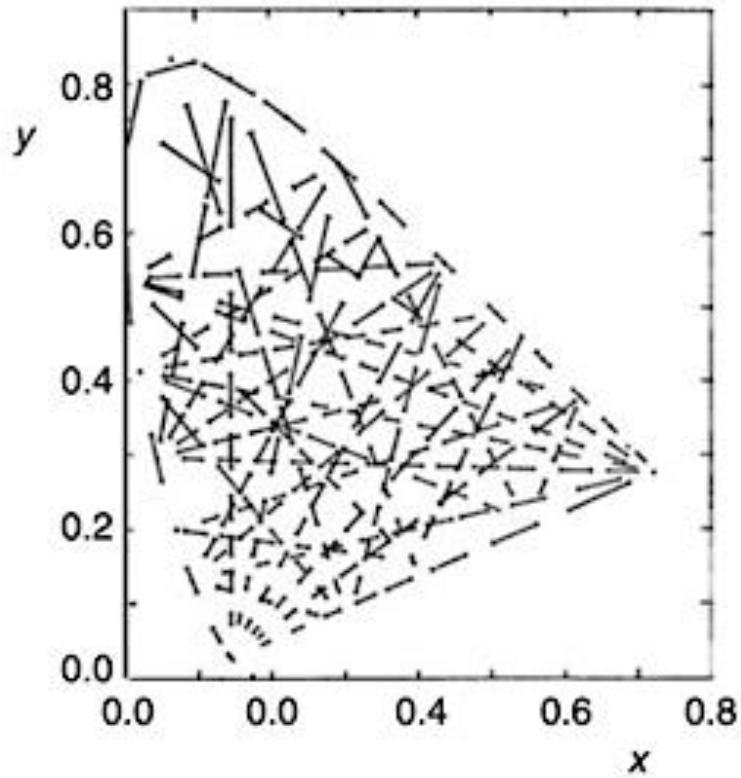
**Figura 12** Diagrama cromático CIE (x,y). O locus espectral está localizado ao longo da linha curva com os comprimentos de onda associados. O ponto  $S_E$  indica o estímulo equi-energético com coordenadas  $x = y = z = \frac{1}{3}$ . O área do triângulo formado pelos vértices (R, G e B) representa as cores que podem ser formadas pelos triestímulos (R, G e B) (adaptado de (19)).



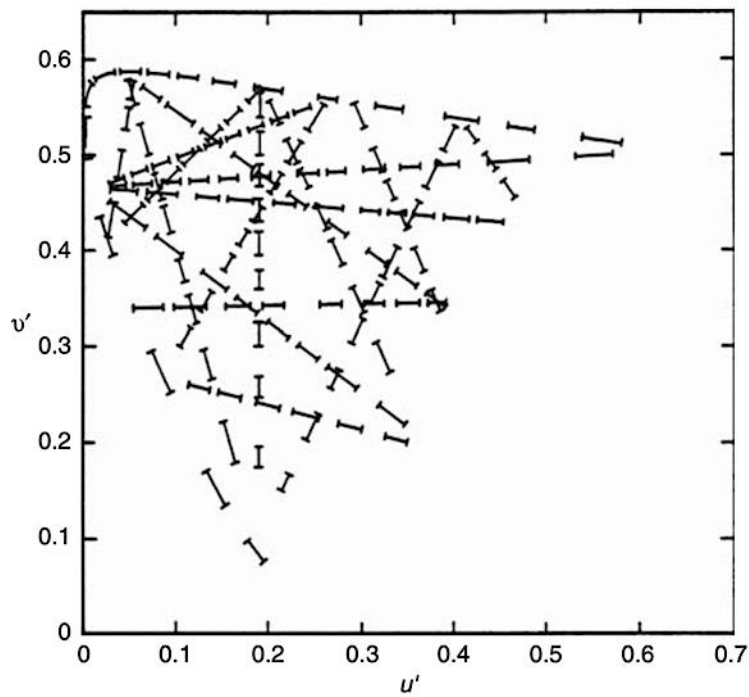
**Figura 13** Diagrama cromático CIE (x,y). O locus espectral está localizado ao longo da linha curva com os comprimentos de onda associados. A linha reta representa a linha púrpura (adaptado de (6)).

A uniformidade é um ponto delicado no que diz respeito aos diagramas de cromaticidade CIE 1931 (x,y), traduzindo-se em uma desvantagem, uma vez que não é clara a uniformidade da distribuição de cores inseridas neste tipo de diagrama (19). Esta característica torna difícil estimar a diferença perceptual de cor (19)(25). A Figura 14 demonstra este problema, onde as linhas retas representam a diferença perceptual de cor com a mesma magnitude e luminâncias constantes (19)(25). O ideal seria que estas linhas possuíssem todas o mesmo comprimento, mas, no entanto, não existe ainda nenhum diagrama com estes requisitos (19).

No sentido de tentar atenuar este problema, a CIE apresentou um novo diagrama cromático, o diagrama cromático uniforme CIE 1976 ou CIE 1974 UCS conhecido como  $u'$ ,  $v'$ , tal como mostra a Figura 15 (19). Este diagrama revela uma melhoria face ao diagrama CIE 1931, porém, não elimina o problema na sua totalidade (19).



**Figura 14** Diagrama cromático CIE ( $x, y$ ). O comprimento de cada linha representa três vezes a diferença perceptual de cor para luminância constante num campo visual de  $2^\circ$  (adaptado de (19)).



**Figura 15** Diagrama cromático uniforme CIE ( $u', v'$ ). Simula a uniformidade das linhas (adaptado de (19)).



O diagrama cromático uniforme CIE 1976 surge das seguintes equações (19)(25) obtidas a partir de transformações de valores triestímulos e coordenadas cromáticas do diagrama cromático CIE 1931 (19):

$$u' = \frac{4X}{X + 15Y + 3Z} = \frac{4x}{-2x + 12y + 3}$$

$$v' = \frac{9Y}{X + 15Y + 3Z} = \frac{9y}{-2x + 12y + 3}$$

Foram recomendados pela CIE, em 1976, dois novos espaços de cor, o CIELUV e o CIELAB, que se destacam em uma maior utilidade face aos espaços referidos anteriormente. Estes espaços de cor (CIELUV e CIELAB) são espaços tridimensionais (19)(25)(21) que têm em consideração a natureza tridimensional da cor (25), e são perceptualmente mais uniformes (21).

O espaço de cor CIELUV, Figura 16, é usualmente utilizado na indústria televisiva, enquanto que o espaço CIELAB é usualmente utilizado nas indústrias de corantes (19).

Estes espaços de cor empregam-se a cores de objetos com o mesmo tamanho e a mesma forma, estando o observador adaptado a um campo de cromaticidade similar à luz média do dia (19).

- CIELUV:

O espaço de cor CIELUV (Figura 16) é definido pelas seguintes equações (19):

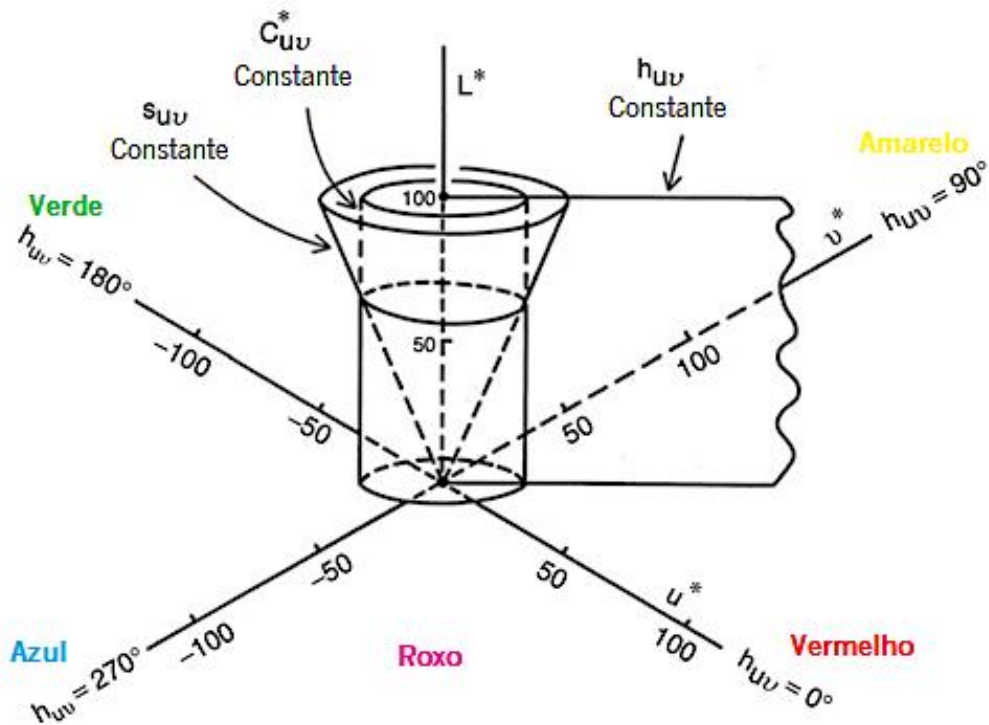
$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16,$$

$$u^* = 13L^*(u' - u'_n)$$

$$v^* = 13L^*(v' - v'_n)$$

Onde  $Y$  e  $Y_n$  representam valores triestímulos da cor do objeto de teste e valores triestímulos da cor de um objeto branco de referência, respetivamente (19). As coordenadas de cromaticidade do estímulo são representadas por  $u'$  e  $v'$ , e as coordenadas de cromaticidade do branco de referência são representadas por  $u'_n$  e  $v'_n$  (19).

A cor e a tonalidade são representadas por  $u^*$  e  $v^*$ , onde  $u^*$  indica estímulos de cor vermelho-verde e  $v^*$  indica estímulos de cor azul-amarelo.  $L^*$  indica a luminosidade (25).



**Figura 16** Representação do espaço CIELUV.  $L^*$ , disposto no plano vertical, representa a luminosidade.  $u^*$  e  $v^*$  dispostos num plano horizontal, representam a cor e tonalidade.  $h_{uv}$  representa o plano de constante tonalidade-ângulo sendo o eixo  $L^*$  uma aresta.  $C_{uv}^*$  são cilindros que contém o eixo  $L^*$ .  $S_{uv}^*$  representa uma superfície cônica de constante saturação com eixo  $L^*$  e o ápice na origem (adaptado de (19)).

- CIELAB:

Este espaço tridimensional é traçado pelas coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  definidas da seguinte forma (21):

$$L^* = 116f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - 16,$$

$$a^* = 500 \left[ f\left(\frac{X}{X_n}\right) - f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) \right],$$

$$b^* = 200 \left[ f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) - f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) \right]$$

Onde

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{X}{X_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ for } \frac{X}{X_n} > \left(\frac{6}{29}\right)^3$$

$$f\left(\frac{X}{X_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{X}{X_n}\right) + \frac{4}{29} \text{ for } \frac{X}{X_n} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3$$

E

$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{Y}{Y_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ for } \frac{Y}{Y_n} > \left(\frac{6}{29}\right)^3$$

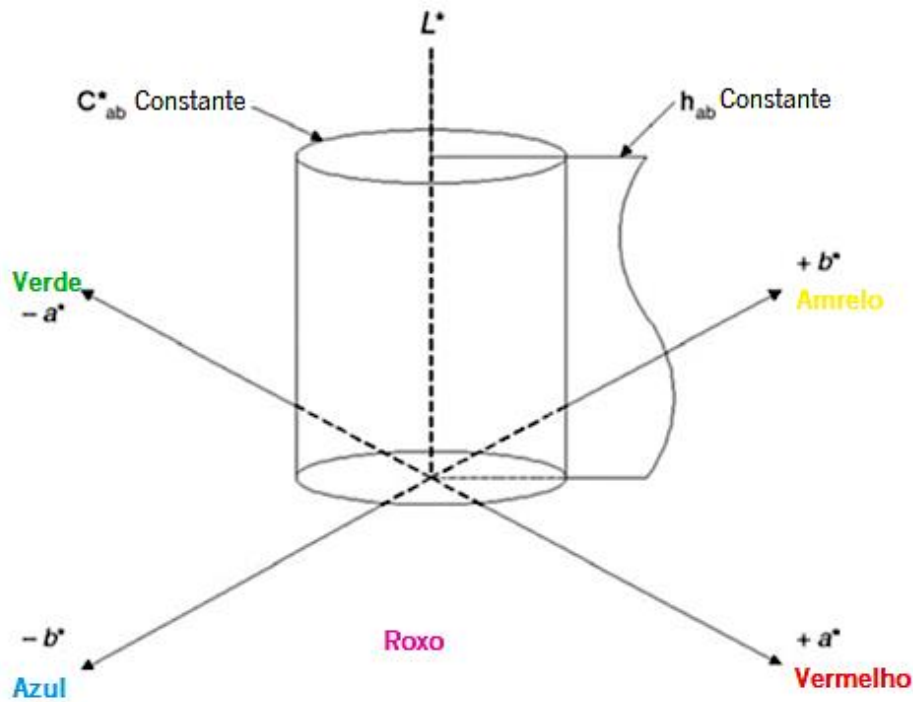
$$f\left(\frac{Y}{Y_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{Y}{Y_n}\right) + \frac{4}{29} \text{ for } \frac{Y}{Y_n} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3$$

E

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{Z}{Z_n}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ for } \frac{Z}{Z_n} > \left(\frac{6}{29}\right)^3$$

$$f\left(\frac{Z}{Z_n}\right) = \left(\frac{841}{108}\right)\left(\frac{Z}{Z_n}\right) + \frac{4}{29} \text{ for } \frac{Z}{Z_n} \leq \left(\frac{6}{29}\right)^3$$

Onde  $X, Y$  e  $Z$  representam valores triestímulos da cor do objeto de teste.  $X_n, Y_n$  e  $Z_n$  representam valores triestímulos da cor de um objeto branco de referência, sob a mesma fonte de luz que o objeto de teste.



**Figura 17** Representação do espaço CIELAB. Cilindro de cor constante ( $C_{ab}^*$ ) e plano de tonalidade constante ( $h_{ab}$ ).  $a^*$  e  $b^*$  representam a cor e a tonalidade (adaptado de (27)).

A cor e a tonalidade são representadas por  $a^*$  e  $b^*$  onde  $a^*$  indica estímulos de cor vermelho-verde e  $b^*$  indica estímulos de cor azul-amarelo.  $L^*$  indica a luminosidade (25).

Através da distância euclidiana, distância entre as coordenadas de dois estímulos, é possível determinar a grandeza da diferença da variação de cor desses dois estímulos tanto no espaço de cor CIELUV como no CIELAB (19)(25).

No espaço CIELUV a distância euclidiana,  $\Delta E_{uv}^*$ , calcula-se da seguinte forma (19):

$$\Delta E_{uv}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta u^*)^2 + (\Delta v^*)^2]^{\frac{1}{2}},$$

Para o espaço CIELAB a distância euclidiana é expressa em  $\Delta E_{ab}^*$  e, pode ser calculada da seguinte forma (19)(25):

$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{\frac{1}{2}},$$

A diferença de cor é, tipicamente, perceptível entre dois estímulos complexos se  $\Delta E_{ab}^* > 2,2$  (28) e se  $\Delta E_{ab}^* > 1$  entre dois estímulos simples (29)(30).

Com o objetivo de melhorar a uniformidade das medições das diferentes cores para o uso industrial, esta última equação sofreu várias alterações (19)(25). Dando, posteriormente, origem à seguinte equação de diferença de cor CIEDE2000 (19):

$$\Delta E_{00} = \left[ \left( \frac{\Delta L'}{K_L S_L} \right)^2 + \left( \frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right)^2 + \left( \frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right)^2 + R_T \left( \frac{\Delta C'}{K_C S_C} \right) \left( \frac{\Delta H'}{K_H S_H} \right) \right]^{0.5}$$

Onde

$$L' = L^*$$

$$\Delta L' = L'_b - L'_s$$

$$\Delta C' = C'_b - C'_s$$

$$\Delta H' = 2(C'_b C'_s)^{\frac{1}{2}} \sin\left(\frac{\Delta h'}{2}\right)$$

e

$$\Delta h' = h'_b - h'_s$$

Onde  $\Delta L'$ ,  $\Delta C'$ ,  $\Delta H'$  representam a luminosidade, croma e ângulo de tonalidade, respetivamente.  $K_L$ ,  $K_C$  e  $K_H$  indicam os parâmetros a ajustar e,  $R_T$  é um parâmetro de rotação (19).

Os espaços de cor CIEXYZ e CIELAB têm como limitação o facto de serem definidos em condições ambientais fixas (27). Existem novas gerações de espaços de cor, tais como, CIECAM97 e CIECAM02, que possibilitam uma correta cor de dados independente das condições de visualização ambiental (27).

### 2.6.3 Testes de avaliação da visão das cores

A avaliação da visão das cores pode fazer parte da bateria de testes de um exame visual (31). Dada a grande variedade de testes de avaliação da visão das cores disponíveis, tanto na clínica como na investigação, é, conveniente selecionar os testes de maior relevância tendo em consideração os seus objetivos e necessidades para a avaliação da visão das cores (32). É possível categorizar a avaliação do seguinte modo (32):

- Testes de rastreio:

Permitem apenas fazer o despiste, ausência de diagnóstico, para detetar se um indivíduo é portador ou não de deficiência.

- Testes de graduação:

Graduam em termos de severidade de deficiência.

- Testes de diagnóstico:

Avaliam a severidade de determinada deficiência de visão das cores tendo em conta as necessidades do indivíduo e caracterizam a deficiência de visão das cores.

Os testes de avaliação da visão das cores podem ser agrupados em placas de testes pseudoisocromáticas; testes de ordenação; e testes de correspondência (32).

#### 2.6.3.1 **Testes de placas pseudoisocromáticas**

Este é o tipo de teste mais frequentemente utilizado (6) e, apresenta grande variedade de modelos de desenhos de placas (32). Tipicamente são construídos com o intuito de ocultar possíveis pistas com base em diferenças de luminâncias, tendo, para isso, a figura e o fundo igual refletância (31)(32)(33). As figuras (podem ser números; optotipos; letras; símbolos; ou padrões) (32) distinguem-se do fundo devido às suas cores distintas (32)(31)(33), implicando que a figura só possa ser detetada recorrendo à discriminação da cor (33), estas cores estão contidas em linhas de confusão dicromáticas comuns. Assim, ao contrário de indivíduos normais, indivíduos portadores de deficiência em visão das cores apresentam dificuldade em decifrar a figura embutida no fundo (31)(6), isto é, é percebido como isocromático (21). Estes testes possibilitam uma distinção de deficiências de visão das cores de prota (anomalia do cone L) e deutera (anomalia do cone M), contudo, não permitem diferenciar entre dicromatas e tricromatas anómalos (6).

Para uma construção eficaz deste tipo de teste deve-se ter em consideração a seleção e reprodução de cores, o contraste de cor entre a figura e fundo e, também, o tipo e a posição da fonte de luz (21).

Nestes testes o observador é solicitado a distinguir a figura do padrão de fundo, diferenciando-a recorrendo à cor (32).

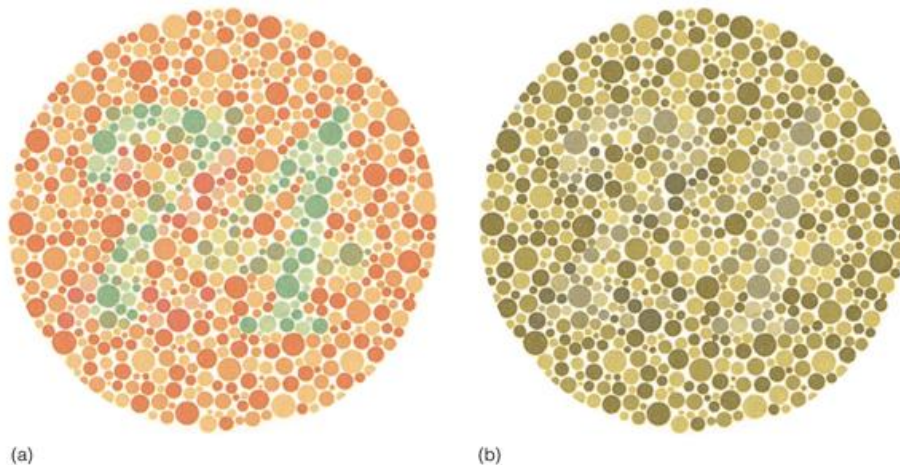
Existem vários modelos de placas, das quais, placas do tipo desaparecimento que encobre a figura do fundo de tal modo que um indivíduo com deficiência de visão da cor não consegue visualizá-la; placas do tipo transformação que possibilitam respostas diferentes entre indivíduos normais e deficientes de visão da cor (33)(21); placas do tipo ocultas que permitem apenas que as figuras sejam visíveis para indivíduos com visão das cores normal; e placas do tipo diagnóstico que são compostas por duas figuras em que uma pode ser confundida por prota e outra por deuteria, recorrendo, para isso a cores do espaço de cores onde as confusões são mais predominantes para prota e para deuteria – linhas de confusão (32)(21).

- Teste de Ishihara:

Este é o teste mais vulgarmente utilizado (32)(33)(21) em rastreio de visão das cores (33)(21). Apresenta os quatro modelos de placas pseudoisocromáticas (21). Consiste em números agregados em placas num padrão de pontos de vários tamanhos (32), tal como o exemplo apresentado na Figura 18.

Não deteta deficiências no azul-amarelo (32)(6) nem permite um diagnóstico de gravidade (32). Contudo, é útil para identificação da presença de deficiências no vermelho-verde, devendo ser utilizado com o critério de aprovação/reprovação tendo em consideração a imprecisão do teste, uma vez que é normal alguns tricromatas cometerem erros (32). Este apresenta uma queda para aprovar deuteria ligeiros, no entanto, por vezes não tem significado relevante e, a reprovar tricromatas de fraca discriminação, mas não podendo ser considerados como portadores de deficiência (32). O que é normal em qualquer regime de rastreio (21).

Apresenta três versões, das quais: 16 placas, 38 placas, e 24 placas (21). Sendo este último provavelmente o mais utilizado (21). Todas estas edições têm em comum uma placa de demonstração na primeira placa, permitindo que a sua leitura possa ser reconhecida de forma universal (21).



**Figura 18** Exemplo de uma placa de teste Ishihara. (a) placa com o número 74 quando observada por um tricromata. (b) visualização da mesma placa quando observada por portadores de deficiência no vermelho-verde (adaptado de (10)).

## 2.7 Percepção da cor

A cor é definida como um atributo de sensação visual (21)(25), fortemente dependente de uma fonte de energia eletromagnética visível (25). A sua percepção depende do observador, do iluminante e do objeto (25).

Para que a cor seja, então, perceptível, um determinado observador recebe a luz que é ou refletida (em objetos opacos) ou transmitida (em objetos transparentes) e de forma seletiva pelo objeto em direção à retina do observador juntamente com a luz da própria fonte de luz (10). A transmissão ocorre em objetos transparentes, por exemplo, em líquidos; plásticos e vidros, e a reflexão ocorre para os restantes objetos na sua forma sólida (10). Assim, os objetos têm como particularidade a reflexão ou transmissão de determinados comprimentos de onda (10). Dependendo do tipo de objeto este pode refletir mais comprimentos de onda do que outros – reflexão seletiva, quando este fenómeno ocorre designa-se por cores cromáticas (com tonalidades) (10). Pelo contrário, quando a reflexão da luz é constante ao longo de todos os comprimentos de onda, ou seja, a curva da refletância não sofre oscilação, o que origina reflexão do comprimento de onda igualmente em todo o espectro, designa-se por cores acromáticas cores (sem tonalidades), tais como, branco, preto e todos os cinzentos (10).

Embora a cor não seja uma propriedade do comprimento de onda (10), estamos também dependentes dele para criar a sensação de cor (10)(6)(24). Deste modo, utilizamos as respostas intrínsecas aos



estímulos destes comprimentos de onda e, no final atribuímos um nome à cor que experimentamos de forma a rotulá-la (10)(34).

Crê-se que para experienciar a percepção da cor, ocorre um processo composto por vários estádios que vão desde as respostas dos fotorreceptores da retina seguindo, posteriormente, para interações a nível neural (21)(35)(25) onde, possivelmente, existe uma área no córtex dedicada à informação da cor (10). A nível dos fotorreceptores, o estádio mais precoce, é gerada uma sensação luminosa (25)(10) que em estádios mais avançados, a nível neural, resulta em discriminação e aparência de cor (25)(35), isto é, em percepção da cor.

No estádio precoce, isto é, ainda no globo ocular, a teoria tricromática pode explicar o início do desencadeamento de todo o processo, manifestando resposta ao nível dos fotorreceptores da retina (10). Em estádios mais subsequentes no sistema visual, a teoria oponente da cor (ver 2.5) descreve a organização e eficiência da informação vinda dos fotorreceptores (10). Assim, o sinal tricromático é codificado por neurónios oponentes (parvo para vermelho-verde, konio para azul-amarelo, e magno para luminosidade) (6). Seguindo, depois, a informação para o cérebro (10).

Existem vários fatores que podem afetar a percepção da cor, não só parâmetros espaciais e temporais (21)(35), como também condições de iluminação ambiental, adaptação cromática, meio envolvente do objeto, orientação do objeto (10), tamanho angular do campo de visualização (25), entre outros, que podem conduzir a uma percepção ilusória da cor (10).

A luminância, o comprimento de onda e a pureza da cor (21) estão relacionadas com a tonalidade, o brilho e a saturação (26)(21)(19)(6). Esta relação não é de um para um, isto é, por exemplo, a tonalidade varia com mudanças na luminância, no comprimento de onda e na pureza da cor (21). O mesmo acontece para o brilho e saturação em que cada um varia tendo em conta mudanças na luminância, no comprimento de onda e na pureza de cor (21).

## 2.8 Tipos de iluminação

A luz pode ser especificada tendo em conta as grandezas radiométricas e fotométricas. Assim, a radiometria mede a potência gerada por uma fonte de radiação eletromagnética sem considerar a eficiência visual. A fotometria restringe-se ao efeito que parte desta radiação tem para o sistema visual, considerando que nem toda a luz que chega ao olho induz resposta visual (6). Ou induzindo resposta não o faz com intensidade constante ou intensidade igual para todos os comprimentos de onda, uma

vez que absorção dos cones tem máximos em comprimentos de onda específicos, como demonstram as curvas de sensibilidade.

As unidades radiométricas correspondem à: energia radiante; intensidade radiante; radiância; e irradiação, enquanto que as unidades fotométricas equivalem, respetivamente, à: energia luminosa (quantifica de forma não direcional a totalidade de luz emitida por uma fonte luminosa); intensidade luminosa (medida direcional de uma fonte de luz pontual); luminância (quantifica a porção de luz numa dada direção que abandona uma superfície, enquanto que a energia luminosa que incide sob uma superfície denomina-se iluminação); e luminosidade (refere-se ao fenómeno perceptual da luminância) (6).

As fontes de luz, emissores físicos de energia visível (25), podem ser obtidas de diferentes maneiras, tais, como por exemplo (19):

- Incandescência:

Gera luz através de um objeto sólido ou líquido (19) quando exposto ao calor (6), a temperaturas superiores a cerca de 1000 K. Fontes de luz como as lâmpadas de tungsténio e a luz solar são exemplos de incandescência (19).

- Descargas elétricas em gases:

A emissão de luz ocorre quando uma corrente elétrica atravessa os gases (19).

- Eletroluminescência:

Emissão de luz quando uma corrente elétrica atravessa certos sólidos (por exemplo, semicondutores). Um efeito de eletroluminescência são os LEDs, estes são capazes de fornecer uma maior eficácia de saída de luz face a lâmpadas incandescentes. São comumente utilizados em retroiluminações de monitores de computador com cristais líquidos (19). E atualmente na iluminação habitacional.

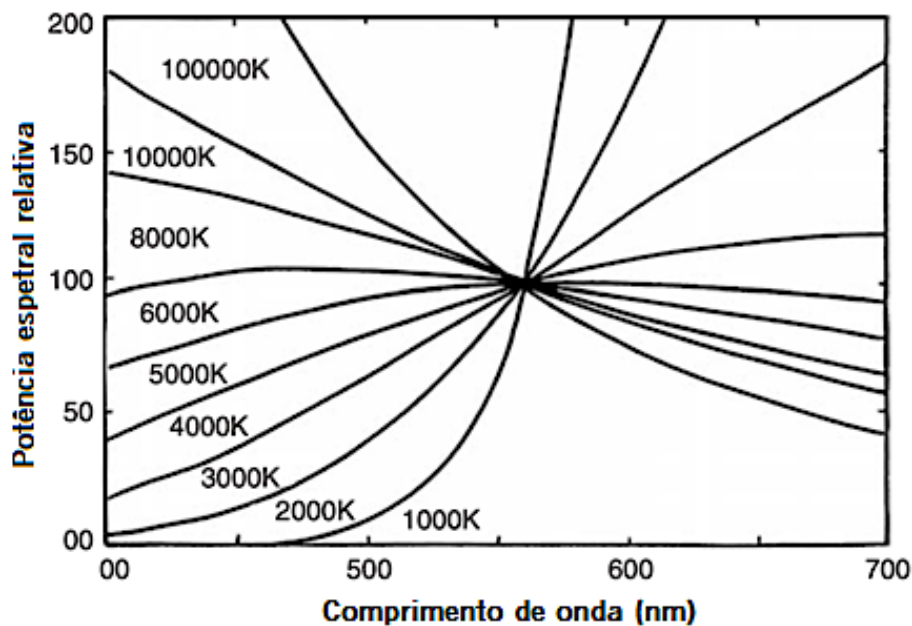
- Fotoluminescência:

A absorção de radiação por certas substâncias induz a emissão da luz em comprimentos de onda diferentes (19). Quando esta emissão é rápida ocorre fluorescência, quando a emissão é prolongada ocorre fosforescência (19). Um efeito característico da fotoluminescência é a catodoluminescência.

- Catodoluminescência:

Provém de bombardeamento de elétrons originado a emissão de luz em fósforos (19). Este fenômeno ocorre, por exemplo, em tubos de raios catódicos utilizados em televisões e monitores de computador (19).

As saídas espectrais (irradiação) de fontes de luz incandescente que se assemelham a um corpo negro ideal, construção teórica que descreve fontes de luz (6), possuem uma distribuição espectral igual a um corpo negro (24). Permitindo, deste modo, caracterizar a natureza da radiação da fonte de luz através do fator temperatura (19) que revela a cromaticidade dessa radiação (24). Assinala-se, então, que possui uma temperatura de cor (TC) (6)(19)(24). Ou seja, a iluminação caracteriza-se pela TC. A distribuição espectral de um corpo negro para várias temperaturas e em função do comprimento de onda, normalizado para comprimento de onda de 560 nm, pode ser visualizada na Figura 19, onde as linhas curvas representam a temperatura de cor a que um corpo negro foi aquecido, estando estas temperaturas relacionadas com a percepção da cor.



**Figura 19** Potência espectral de um corpo negro em função do comprimento de onda. As linhas curvas representam as diferentes temperaturas (expresso em K) emitidas pelo corpo negro. Escala normalizada a 560 nm (adaptado de (19)).

Para fontes de luz não incandescente (6), as saídas espectrais circunjacentes à de um corpo negro são caracterizadas em cor através da temperatura de radiação mais aproximada, cuja cor se assemelhe à

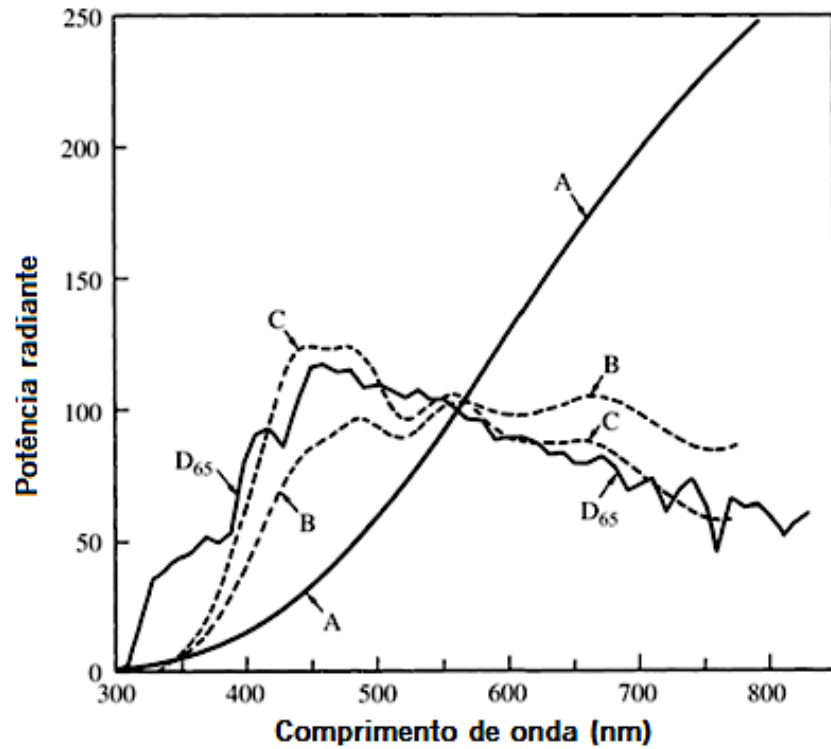
melhor percepção (19)(27) vistas com a mesma luminosidade e sob condições de visualização específicas, tendo como referência o corpo negro (19). Neste caso, chama-se temperatura de cor correlacionada (TCC) (6)(19)(27). A TCC pode ser determinada recorrendo ao diagrama de cromaticidade CIE 1976 ( $u'$ ,  $v'$ ) (19)(27).

Descritos pela sua distribuição espectral padronizada numericamente (valor da distribuição espectral descrita numericamente numa tabela padrão, e é utilizado apenas para o cálculo dos valores triestímulos), os iluminantes padrão (25)(24), visam conceder, de certa forma, uma estabilidade face a alterações específicas na aparência da cor, tais como processos de adaptação do sistema visual, fornecida pela fonte de luz (19). Assim, a CIE padronizou várias distribuições espectrais de modo a serem utilizados tendo em conta as características colorimétricas dos objetos (27).

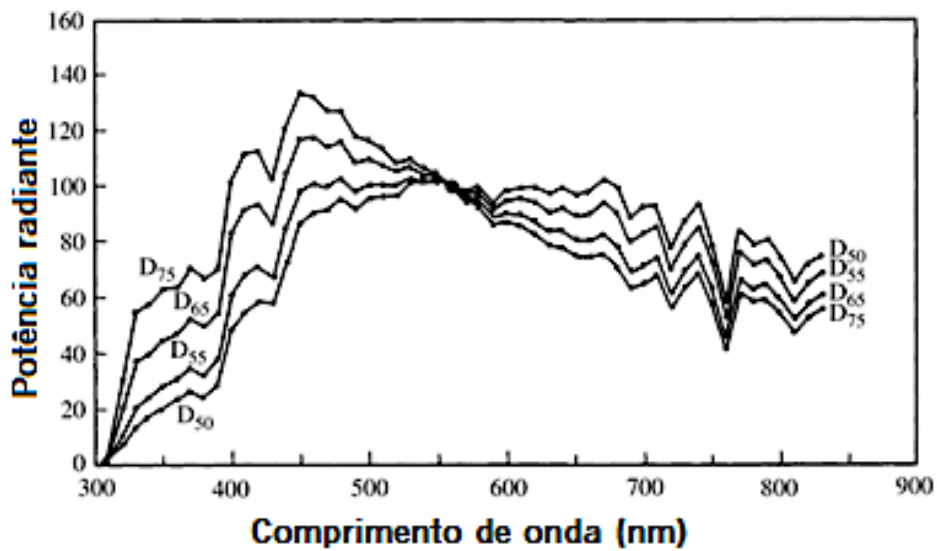
Deste modo, os iluminantes definem a cor de um objeto através de valores triestímulos  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  especificados pela distribuição espectral (24), que, por conseguinte, são reproduzíveis fisicamente em fontes de luz (19)(24)(25)(27) recorrendo à potência radiante (19)(27).

Em 1931, foi introduzido pela CIE alguns tipos de iluminantes padrão (27). Dos quais, o iluminante A, este representa a emissão de luz por fontes incandescentes com uma TCC de aproximadamente 2856 K (24)(19)(25)(6).

Os iluminantes B e C surgiram da necessidade de representação da luz do dia e, da luz do dia média, respetivamente (19), no entanto, estes caíram em desuso face a dificuldades de desempenho na região do ultravioleta do espectro (19)(27)(24). Procurando resolver este problema, a CIE, em 1964, recomendou a substituição dos iluminantes B e C por iluminantes  $D_{50}$  e  $D_{65}$ , respetivamente (24). Estes novos iluminantes fazem parte da série de iluminantes D (24)(19)(27)(25), e, uma vez que podem ser reproduzidos por fontes de luz, a sua principal função é a simulação da luz do dia, sendo esta uma fonte de luz que melhor representa um iluminante D (24)(27). Existem adicionalmente outros iluminantes D, tais como,  $D_{55}$  e  $D_{75}$  (24)(19)(27), que representam também de forma simulada a luz do dia (24)(27). Sendo que os iluminantes  $D_{50}$ ,  $D_{55}$  e  $D_{75}$  apenas serão utilizados caso o iluminante  $D_{65}$  não seja aplicável (27). Foi selecionado pela indústria gráfica o iluminante  $D_{50}$  de referência (27)(19)(25) e, para a aplicações colorimétricas o iluminante  $D_{65}$  é o iluminante de referência (25). A Figura 20 mostra a distribuição espectral dos iluminantes CIE A, B, C e o iluminante  $D_{65}$ . A Figura 21 mostra a distribuição espectral dos iluminantes  $D_{65}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{55}$  e  $D_{75}$ .



**Figura 20** Representação da distribuição espectral CIE da potência radiante (quantidade radiométrica) para os diferentes iluminantes. As letras A, B, C indicam o tipo de iluminante (adaptado de (24)).



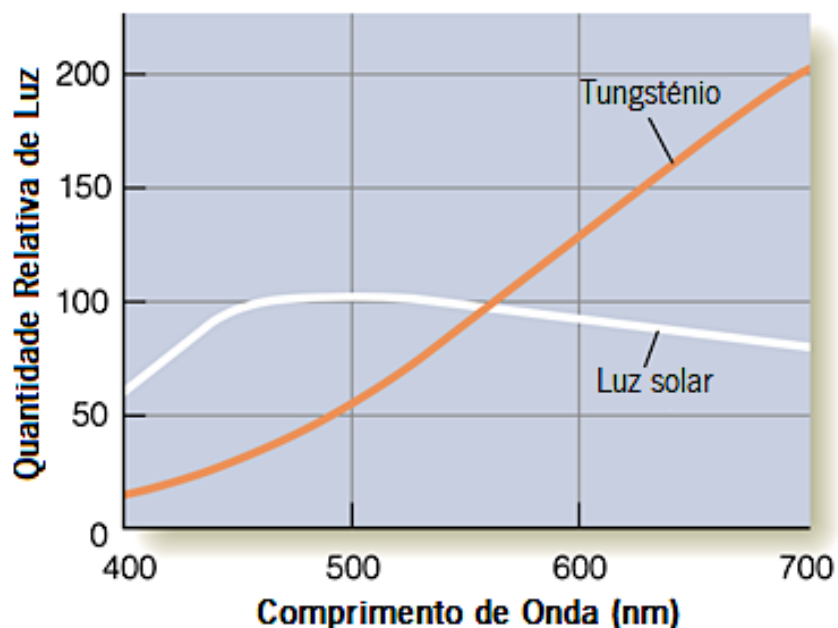
**Figura 21** Representação simulada da luz do dia através da distribuição espectral CIE da potência radiante para os iluminantes  $D_{75}$ ,  $D_{65}$ ,  $D_{55}$  e  $D_{50}$ . Escala normalizada para 100 a um comprimento de onda de 560 nm (adaptado de (24)).

Existe ainda outro iluminante, o iluminante E, que mantém constante com um poder espectral relativo de 100 para todos os comprimentos de onda (25).

A CIE recomendou outro espectro de iluminantes representativos de lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de descargas de alta pressão, com o objetivo de simulação, tal como os iluminantes D (27). Existem vários iluminantes fluorescentes, de entre todos, o iluminante FL11 destaca-se como o recomendado quando se pretende selecionar lâmpadas fluorescentes típicas e, o iluminante FL3.15, por sua vez, representa uma lâmpada fluorescente simulando o iluminante  $D_{65}$  (27). Por outro lado, os iluminantes de descargas de alta pressão são: HP1-5 (27).

## 2.9 Perceção e iluminação

As propriedades da iluminação variam com os comprimentos de onda. Tal facto é notório comparando a luz do sol com uma lâmpada de tungsténio, por exemplo (10). Tal como mostra a Figura 22, ao longo de todos os comprimentos de onda, a luz solar (descrita como luz branca), possui aproximadamente a mesma energia, no entanto, uma lâmpada de tungsténio disponibiliza maior energia para comprimentos de onda longo, parecendo, por isso, ligeiramente amarela (10). Este facto altera a perceção da cor de um determinado objeto visto sob estes dois iluminantes, contudo, parece existir um mecanismo ocular que permite um ajuste aos diferentes comprimentos de onda proporcionando uma perceção da cor aproximadamente constante sob a mudança de iluminante (10)(36), exceto em situações extremas (10), de forma a reduzir o efeito do iluminante (10)(36)(37).



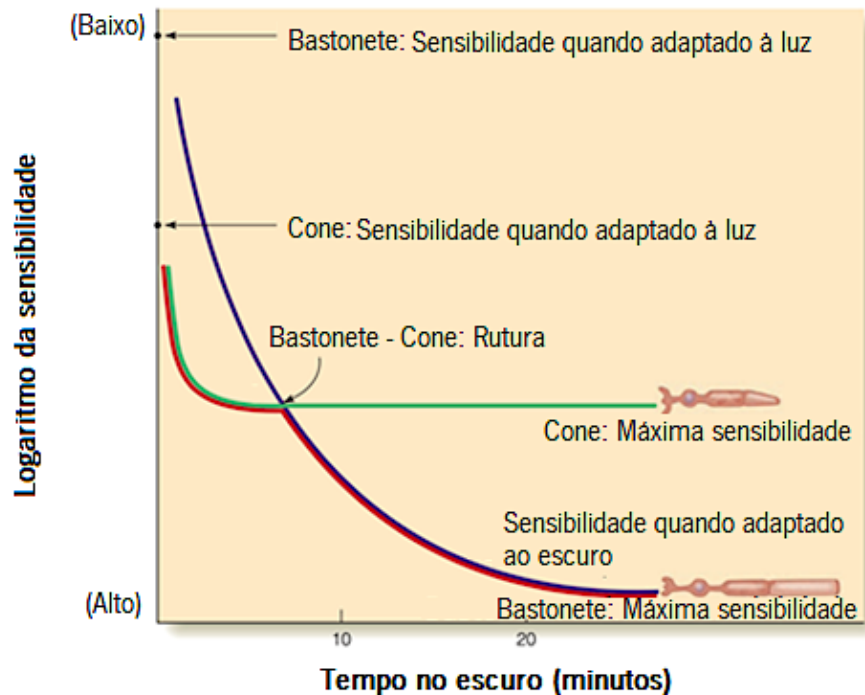
**Figura 22** Representação gráfica da intensidade relativa por comprimento de onda da lâmpada de tungstênio, representada pela linha laranja, e da luz solar, representada pela linha branca (adaptado de (10)).

Tal mecanismo ocular pode ser designado por adaptação cromática (10)(38)(39)(40)(41), esta é uma experiência sensorial compreendida numa gama temporal entre milissegundos a minutos (42). Uma adaptação cromática à luz irradiada por uma lâmpada de tungstênio, por exemplo, provoca uma diminuição na sensibilidade nos comprimentos de onda longos (isto é, adaptação) induzindo, assim, uma diminuição na saturação e brilho na cor emitida, neste caso, pela luz de tungstênio, resultando num menor efeito da luz de tungstênio sem alterar a percepção da cor (10).

Por outro lado, quando deixa de existir qualquer tipo de estímulo luminoso o processo de adaptação ao escuro é iniciado (10).

Devido aos processos diferentes de regeneração dos pigmentos (ver 2.1.1) a adaptação ao escuro é um processo mais demorado em comparação com a adaptação cromática podendo ir a dezenas de minutos para ser alcançada (10). Este processo envolve duas fases (10) que pode ser descrita pela curva vermelha presente no gráfico da Figura 23 onde a primeira parte desta curva é dedicada aos fotorreceptores cones indicando que nos primeiros 3 a 4 minutos (10) após a iniciação do processo de adaptação ao escuro a sensibilidade à luz aumenta rapidamente e estabiliza ao longo do tempo (curva a verde) indicando que foi atingido a adaptação ao escuro dos cones (10). A segunda parte da curva a vermelho é dedicada aos bastonetes onde cerca de 7 a 10 minutos após a iniciação do processo de adaptação ao escuro verificar-se que a sensibilidade à luz volta a aumentar continuamente até cerca de

20 a 30 minutos (curva a roxo) indicando que foi atingido a adaptação ao escuro dos bastonetes (10). Quer isto dizer que a sensibilidade final da adaptação ao escuro é cerca de 100 mil vezes maior do que a sensibilidade à luz medida antes do início da adaptação (10). Este processo de adaptação ao escuro desencadeia diferentes sensibilidade dos fotorreceptores cones e bastonetes que se verifica através do efeito Purkinje (ver 2.3.1) onde a sensibilidade aumenta para comprimentos de onda curtos (luz mais próxima da zona azul e verde do espectro eletromagnético) (10).



**Figura 23** O gráfico mostra o logaritmo da sensibilidade em função do tempo no escuro. As três curvas coloridas representam a adaptação ao escuro, iniciando o seu processo em sensibilidade baixa (ou seja, adaptado à luz) e, ao longo do tempo, vão decaindo para sensibilidade alta (ou seja, adaptado ao escuro). A curva azul representa a adaptação dos bastonetes, a curva verde representa a adaptação dos cones e a curva vermelha representa duas fases de adaptação onde a primeira fase representa a quebra da adaptação dos cones e dos bastonetes na segunda fase (adaptado de (10)).

Mas de que forma as várias fontes de luz influenciam a percepção cromática de objeto, ou seja, o que acontece à cor de determinado objeto visto sobre iluminações diferentes? A percepção da cor de objetos está dependente das propriedades da fonte de luz, mas também do observador e das interações físicas da luz com o objeto (absorção, reflexão, transmitância, etc.) (43). As fontes de iluminação que não se aproximam à da luz solar alteram a visualização da cor do mesmo objeto, tal como por exemplo, uma lâmpada de sódio (44).



Os LEDs, muito comumente utilizados em várias aplicações (45), estão em constante evolução tecnológica, deste modo, estes sofrem progressos nas suas características de emissão de luz branca com diversas gamas de distribuições de potência espectral e renderização de cor (46)(47). Tal facto pode influenciar a percepção da visão das cores. Existem modelos de lâmpadas fluorescentes concebidas para realçar, por exemplo, a cor da carne exposta no talho, deste modo, a lâmpada fluorescente vai realçar a cor vermelha da carne aumentando a emissão de luz na zona vermelha do espectro visível (43). As fontes de iluminação contêm partes do espectro eletromagnético, mas diferentes fontes de iluminação possuem também diferentes partes do espectro eletromagnético, desde logo, diferentes comprimentos de onda, o que resulta em diferentes características de cor (44). Pelo que existe uma influência do espectro na percepção cromática.

Alguns estudos mostram o impacto de certos iluminantes na percepção da visão das cores de objetos, em lâmpadas com temperaturas correlacionadas de cor entre 2000 K a 3000 K produzem maior alteração na visão das cores reais dos objetos (48)(49). Em particular, num estudo sobre flores iluminadas com diferentes tipos de iluminação, a lâmpada fluorescente de 3500 K intensificou a cor vermelha das flores e enfraqueceu a cor verde de flores verdes, no entanto, em flores de cor purpura-azul e purpura não alterou a sua cor (49).

A luminância é um parâmetro importante no que diz respeito à percepção da cor (50)(51). A capacidade de discriminação da cor é reduzida quando a luminância diminui abaixo de  $3,4 \text{ cd/m}^2$ , sendo este efeito mais pronunciável para níveis ainda mais baixos, onde um observador normal à visão das cores perde a capacidade em discriminar fielmente as cores, assemelhando-se a um observador tritanómalo (51). Nestas condições de baixa luminância, segundo o estudo de (50) a cor verde foi trocada por azul e, o vermelho, laranja e castanho foram confundidas entre si (50).

A iluminação natural varia constantemente (52). Ao amanhecer e anoitecer a luz é percebida como tons avermelhados enquanto que durante o período intermédio do dia é percebida em tons de azul (53). As condições atmosféricas e fatores climáticos são também exemplos da não uniformidade da iluminação natural (52). Estas características resultam na alteração da percepção de cores que é facilmente detetada em sistemas fotográficos capturados em vários momentos (53)(52).

Os dispositivos eletrónicos de apresentação de imagem estão sujeitos a diferentes tipos de reflexões de luz (proporção de luz refletida através do objeto para os olhos (10)) por serem sujeitos a diferentes condições de iluminação ambiental (54)(55). De facto, segundo a literatura, à medida que a luminância

diminui, a cor das imagens exibidas em escala de cinzentos em monitor direcionaram-se para a cor azul (56). Verifica-se que as oscilações de cor perante as variações de condição de iluminações estão em concordância com as características das fontes de luz (56), havendo uma tendência direcional da cor presenciada a aproximar-se da cor da fonte de luz (55)(56)(49).

## 2.10 Metamerismo

Foi, presumivelmente, Wihelm Ostwald, químico alemão, que terá proposto o termo “metamerismo” para denotar fenomenos quimicos que decorrem aquando dois ou mais composto quimicos diferentes são representados com a mesma formula molecular mas estruturalmente distinguíveis – isomerismo estrutural (24). Analogamente, Wihelm Ostwald, denotou igualmente que o termo metamerismo também se verifica na cor (24) quando dois espectros diferentes estimulam os fotorreceptores da mesma forma (10)(19)(21)(26)(25)(57). Este efeito resulta numa ambiguidade para a perceção da cor anulando o efeito de constância de cor (58).

O metamerismo é fenómeno crucial para qualquer sistema de reprodução de cor, tais como por exemplo, pinturas; monitores de computador ou televisão; ect. (21)(24).

## 2.11 Constância de cores

Existe uma ambiguidade entre o sistema visual e/ou o mundo físico (luz). Na qual o mundo físico é muitas vezes confundido com o fenómeno percetual, uma vez que a cor percebida pode manter-se constante mesmo sendo iluminada por luzes fisicamente distintas (15).

Apenas a refletância espectral em cada comprimento de onda comporta a característica cromática intrínseca de um objeto, no entanto, a informação biologicamente disponível (isto é, luz absorvida por cada tipo de cone) depende, não só da sensibilidade espectral do próprio cone como também do produto da iluminação e refletância para cada comprimento de onda (15).

A limitada capacidade que o sistema visual tem em manter a perceção da cor, como aproximadamente constante, de um objeto quando este é exposto a fontes de luz espectrais distintas, denomina-se por constância de cores (33)(6)(15)(59)(60)(38)(61)(62)(63). Assim, segundo Young, 1807: “*when a room is illuminated either by the yellow light of a candle, or by the red light of a fire, a sheet of writing paper still appears to retain its whiteness; and if from the light of the candle we take away some of the abundant yellow light, and leave or substitute a portion actually white, the effect is nearly the same as if*

*we took away the yellow light from white, and substituted the indigo which would be left: and we observe accordingly that in comparison with the light of a candle, the common daylight appears of a purplish hue” (33).*

Esta constância da percepção de cores manifesta-se mais proeminentemente do que a percepção de cor que seria de esperar tendo em conta os comprimentos de onda refletidos por um objeto (15). No entanto, este fenómeno não é absoluto (15). É possível notar que a constância de cor varia com o contexto de visualização bem como com a tarefa solicitada ao observador (15).

Em oposição a este fenómeno de constância de cor, a inconstância de cor que decorre das relações percebidas entre as cores sob alteração de qualquer fonte de luz espectral tem como designação constância de cor relacional (60)(15). Tendo este fenómeno como particularidade a distinção de, por exemplo, uma mudança física no objeto como é o caso da maturação da fruta (60)(15).

É provável que a diferença dimensional entre estímulos exibidos em monitores de computador para estímulos naturais, isto é, estímulos bidimensionais e tridimensionais, respetivamente, possa comprometer a constância da cor (59). Existem estudos que apoiam que a estabilidade da constância da cor pode ser fraca para estímulos exibidos em monitores comparado com estímulos presentes em ambientes reais, uma vez que a informação do ambiente está ausente (59).

## **2.12 Sobre dispositivos eletrónicos**

### **2.12.1 Tipos de monitores**

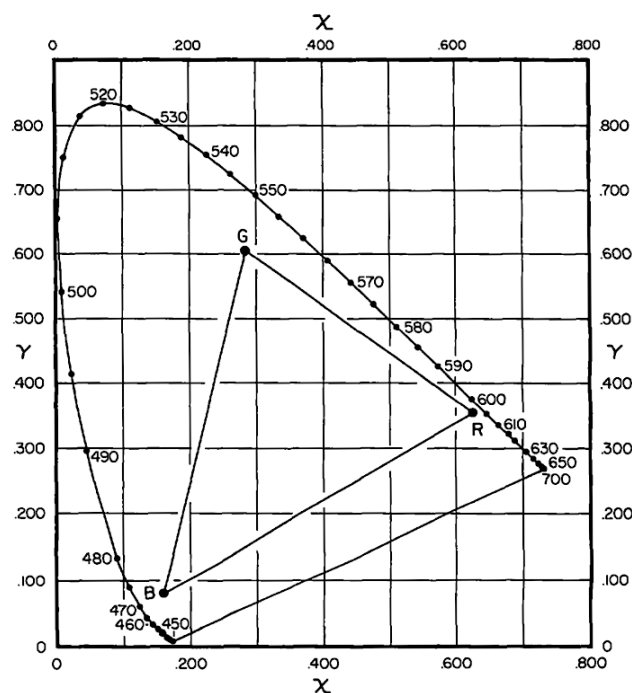
O Sistema visual lidera o campo da computação gráfica, executando um papel essencial na comunicação entre dispositivos tecnológicos e humanos, permitindo, assim, a passagem de informação visual exibida em monitor para o utilizador (64)(65). Sendo o meio transmissor dessa informação a luz que é emitida por um monitor, que será inicialmente processada pelo sistema visual e finalizando numa percepção (64)(66)(67).

Para diferentes dispositivos eletrónicos de reprodução de cores, existem vários tipos de monitores, tais como por exemplo:

- Monitor CRT:

Em 1954 o monitor CRT proporcionou a primeira transmissão a cores (68). Este segue uma tecnologia baseada em tubos de raios catódicos (68)(69) e, é composto por três fósforos (64)(68)(70) correspondendo cada um aos três primários *RGB* (Figura 24) (68)(70)(71), que quando atingidos por um feixe de elétrons, brilham (64). Cada monitor contém 1000 x 1000 pixels e em cada pixel estão alojados os três fósforos, em que quando estimulados em conjunto dão branco. A exibição de cores em monitor CRT resulta da combinação das intensidades dos fósforos (71). Ou seja, ocorre mistura aditiva de cada um dos primários, em intensidade relativas, que vai provocar a emissão de radiação diferente e que irá levar a percepções de cor diferentes. Estes são organizados de forma a que cada pixel produza um padrão de três pontos coloridos num triângulo, tal como mostra a Figura 24 (64)(71).

Os monitores CRT, como o seu espaço de cor, bem como o seu comportamento, correspondem a um monitor ideal de linguagem de cor, não é necessário uma caracterização deste dispositivo nem uma transformação de cor (27). No entanto, este tipo de monitor apresenta algumas desvantagens, como por exemplo, o limitado *gamut* de cores formada pelos fósforos (72) bem como a não reprodução de cores muito saturadas, uma vez que estas se encontram fora do seu *gamut* (70) sendo estas importantes para a percepção das imagens (72).



**Figura 24** Diagrama cromático CIE 1991. Os comprimentos de onda monocromáticos estão representados acompanhando a linha curva. As letras *R*, *G* e *B* representam os fósforos vermelho, verde e azul,

respetivamente. A área do triângulo, formado pelos vértices  $R$ ,  $G$  e  $B$ , representam a gama de reprodução de cores de um monitor CRT típico (adaptado de (71)).

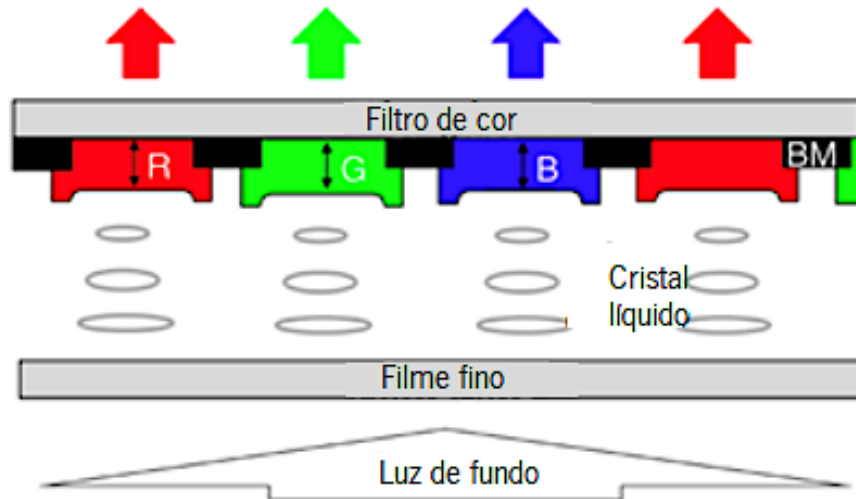
- Monitor LCD e LED:

Em comparação com os monitores CRT, os monitores LCDs são distintivos na luminância e qualidade de cor que proporcionam (73). Os monitores LCDs, chegaram ao mercado em 2000 (68)(74) vindo, cada vez mais, a superar a tecnologia dos monitores CRT (68)(74)(75).

Os componentes básicos de um monitor LCD incluem um sistema de retroiluminação, painel de cristal líquido e filtro de cor (76). No entanto, é possível acrescentar outros componentes a um monitor LCD. A Figura 25 mostra, que um exemplo de monitor LCD constituído por um sistema de retroiluminação (luz de fundo); uma placa transmissora de filme fino; painel de cristal líquido e filtro de cor  $RGB$  (77).

Os monitores LCDs são não emissivos (74)(78), ou seja, precisam de iluminação de fundo (sistema de retroiluminação) (74) podendo esta ser composta por, por exemplo, tubo fluorescente de cátodo frio (CCFL) (79). Quando a retroiluminação é composta por fontes de luz LEDs (73)(74)(80) estes monitores são denominados por monitores LEDs. Ou seja, os monitores LEDs seguem o mesmo princípio dos monitores LCDs, no entanto, diferenciam-se na retroiluminação. Os monitores LEDs, em comparação com os monitores LCDs, têm como vantagem uma exibição de imagem com maior saturação de cor, mais brilho e mais contraste (1).

O painel de cristal líquido faz gerar a propagação da luz (68). Esta luz é convertida em cor através da incorporação de três filtros de cor (74)(80)(68)(64). Cada filtro de cor, de organização vertical formando faixas originado um pixel por quadrado, permite a passagem de diferentes quantidades de luz vermelha, verde e azul (64). Sendo que cada pixel comporta três subpixels (81), dos quais: o subpixel vermelho, subpixel verde e subpixel azul. A placa transmissora de filme fino está incorporada em cada pixel o que permite um controlo sobre as imagens a cores (74).



**Figura 25** Esquema representativo da organização interna de um monitor LCD. Fazem parte da sua constituição, de baixo para cima: luz de fundo, uma placa transmissora de filme fino em vidro, painel de cristal líquido e filtro de cor *RGB* (adaptado de (77)).

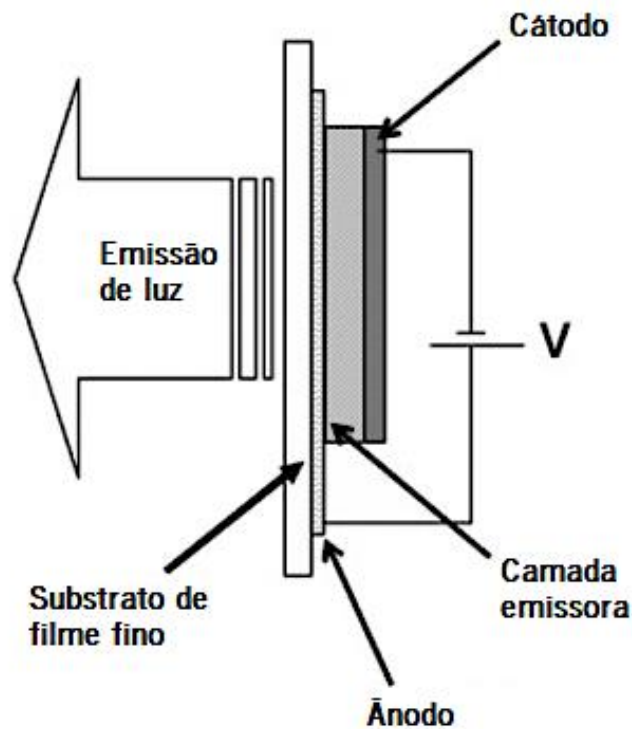
Existem também monitores de geração seguinte aos monitores LEDs que são os monitores micro-LEDs (82)(83), estes tem a mesma característica dos monitores LEDs mas diferenciam-se com LEDs em tamanho micron que são inseridos em cada pixel (82) fornecendo uma maior uniformidade de cor, maior luminosidade face à geração anterior (74)(83) e um verdadeiro estado preto (74).

- Monitor OLED

Os monitores OLEDs estão em constante expansão, vindo, cada vez mais, desafiar os monitores LCDs (74)(82)(84)(85). Estes monitores OLEDs são emissivos (86)(78)(87)(79)(88)(74)(85) não sendo por isso necessário uma unidade de retroiluminação (84)(78). Isto torna estes monitores promissores proporcionando características superiores de reprodução de cor (89) permitindo um verdadeiro estado preto (78)(83)(85)(84)(74) que advém da capacidade de cada pixel OLED poder ser desligado, conseguindo, assim, um estado completamente preto (84)(85)(78) ao contrário do que acontece em monitores LCDs onde não é possível uma ocultação completa da luz de fundo dada a sua tecnologia não emissiva (85).

Tipicamente, os monitores OLEDs (Figura 26) são constituídos pelo substrato de filme fino de material orgânico inserido entre dois elétrodos (ânodo e cátodo) (85). O princípio de funcionamento destes monitores concentra-se na aplicação de tensão entre os elétrodos gerando carga (85)(90)(84) no ânodo e cátodo e esta move-se no interior do material orgânico sendo posteriormente recombinadas,

processo pelo qual ocorre a emissão de luz vermelha, verde e azul (emissão de pixel individual) por eletroluminescência (85)(84).



**Figura 26** Estrutura básica de um monitor OLED (adaptado de (85)).

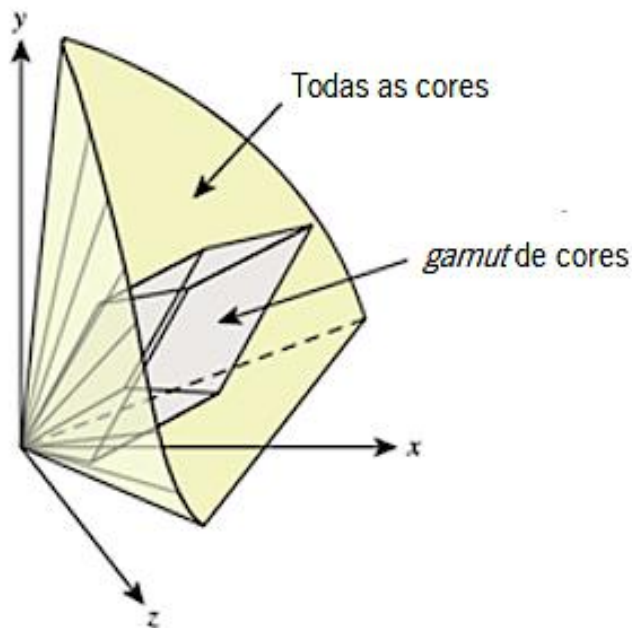
Na prática, os monitores OLED destacam-se na sua capacidade de luminosidade (74)(86) sendo monitores facilmente legíveis à luz solar (74).

### 2.12.2 Cor em dispositivos eletrônicos

A cor pode ser criada num vasto meio de tecnologias com recurso a imagens a cores, tendo estes diversos meios a capacidade de codificarem, controlarem e abordarem a cor de formas distintas. Torna-se, por isso, útil fazer a gestão da cor, isto é, é um processo de tradução de cor que tem como fim o intercâmbio entre diferentes dispositivos tecnológicos (27) sem que haja perdas de imagem, no sentido de reproduzir cores semelhantes em diferentes dispositivos (64)(27).

As cores primárias reprodutíveis, através de mistura aditiva (19), em cada monitor, isto é, *gamut* de cores (64)(91), podem ser representadas num diagrama de cor CIE XYZ (Figura 27) (64). As cores produzidas pelos diferentes monitores só podem ser exibidas quando esta se encontra dentro do seu

*gamut* de cores, assim, a representação da mesma de cor pode ser vista como diferente em dispositivos diferentes devido aos seus *gamuts* de cores (92)(64).

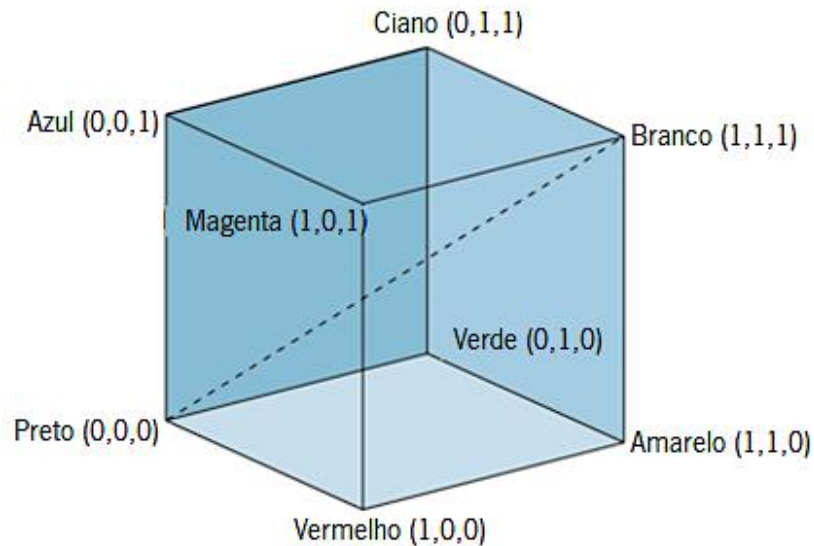


**Figura 27** Representação ilustrativa tridimensional do *gamut* de cores de um típico dispositivo eletrônico incorporado no espaço de cores CIE XYZ. Grande parte das cores presentes no espaço de cores CIE XYZ não se encontram dentro do *gamut* de cores, particularmente cores brilhantes e escuras (adaptado de (64)).

Deste modo, o espaço de cor *RGB* do dispositivo ou cubo de cor *RGB* de arranjo tridimensional, representa uma interpretação colorimétrica que especifica em termos de cores primárias (*rgb*) uma cor arbitrária, e reproduz o *gamut* de cores de cada dispositivo eletrônico, estando dependente das cores primárias capazes de serem reproduzidas pelo monitor tendo em consideração as faixas de cor ou fósforos para um monitor LCD ou CRT, respetivamente (64). Assim, cada um dos dispositivos faz uma interpretação da atribuição das combinações de cores *RGB* de acordo com a sua capacidade de reprodução de cor (*gamut* de cores) (27).

Este é delineado pelos eixos de coordenadas vermelho, verde e azul. Na diagonal encontram-se os cinzentos, as cores variam em saturação com o afastar desta diagonal (64).





**Figura 28** Cubo de cor tridimensional com coordenadas *RGB*. Representa as cores exibíveis do monitor no espaço de cor CIE XYZ. Os cinzentos situam-se ao longo da diagonal (adaptado de (64)).

Para o intercâmbio de cor entre monitores, quando a gama de cores de um monitor de origem é menor que o *gamut* de cores de um monitor de destino aplica-se a redução de gama, que pode ser por recorte ou por compressão (27). Caso contrário, pode-se aplicar uma expansão do *gamut* para se fazer uso de algum espaço de cor adicional (27).

Para isso, existem ferramentas de gestão de cor, tais como o ICC (64)(92), que permitem uma descrição/tradução do espaço de cor de um monitor, auxiliando na reprodução de cores semelhantes em diferentes dispositivos (64). À descrição/tradução do espaço de cor do monitor denomina-se por caracterização (medição da cor dos estímulos apresentados em monitores) (27). Caso haja alterações após a caracterização do monitor, como por exemplo, variação da luminosidade do monitor, recorre-se ao processo de calibração do monitor, de modo a restaurá-lo para o estado em que foi caracterizado, permitindo ajustar ou equilibrar para um estado conhecível (27).

Tanto o ICC como o sRGB possuem linguagens de cor próprias, embora, ambos recorrem ao espaço de cor CIE (27). No ICC recorre-se o espaço de cor CIEXYZ ou CIELAB, focando-se mais na impressão (artes gráficas) (27). No sRGB recorre-se o espaço de cor CIEXYZ, comumente utilizado para monitores CRT, focando-se mais no monitor (27).

## 2.13 Familiaridade e memória cromática

Determinar a percepção da cor é uma tarefa complexa. Não engloba somente coordenadas cromáticas, nem depende apenas dos processos desencadeados ao nível da retina. Adicionalmente é integrado um nível superior de processamento que se molda de acordo com as experiências anteriores de cada observador (10)(35)(93)(94)(95)(96)(97). A este fenómeno chama-se memória cromática (10)(35)(93)(94)(95)(96)(97).

Existe uma interligação entre o reconhecimento da cor de objeto com a memória para a sua identificação. Assim, a memória cromática refere-se à lembrança da cor do objeto experienciado previamente através da familiarização, mais concretamente, já existe por parte do observador uma expectativa de cor para um objeto que lhe é familiar(10)(96)(93)(35)(98)(36)(99). Tal como afirmou Hering: *“the color in which we have most consistently seen the external object”* (96).

Este fenómeno não varia em condições de iluminação ambientais diferentes (10)(35). No entanto, tipicamente, verifica-se um ligeiro efeito viés induzido pela memória cromática para a percepção da cor do objeto familiar (93)(95)(96)(97)(100). Hering explica que tal efeito se deve à criação prévia de expectativas da cor memorizada (93)(96). Este efeito resulta, particularmente, em cores mais salientes no azul-amarelo (35), em cores mais saturadas (10)(96)(97)(101)(98)(100) e também com mais luminosidade (100). No entanto, sem justificação para o facto, *Siple* e *Springer* apoiam a possibilidade de que este efeito dependa da categoria de objetos, um exemplo plausível é que para itens alimentares existe uma maior precisão (no sentido em que existe conformidade da cor do objeto real e imaginário) para a tonalidade e luminosidade, ao contrário do que acontece na saturação, parecendo esta última mais pronunciada (100). Enquanto que para itens não alimentares parece existir uma maior precisão para a saturação (100).

Esta capacidade para a sinalização da cor atribuída a um objeto familiar (categorização de cor) fortalece o reconhecimento de objetos em uma cena (10)(35), por exemplo, torna facilmente possível a distinção de um limão e de uma lima numa cena através do recurso à pista gerada pela cor que foi memorizada (35).

Embora este seja um efeito individual tendo em conta as experiências de cada observador, manifesta-se de forma idêntica na população em geral (98).

Por outro lado, atribui-se o nome *cor neutra* aos objetos não detentores de memória cromática (35). Os carros são um bom exemplo de tal facto, uma vez que podem ser vistos em várias cores, não tendo por isso uma única cor que lhe seja característica (35).

## 2.14 Faces

Contrariamente à percepção de objetos (10)(102)(103), a visualização do estímulo facial, considerado como um estímulo complexo, pode desencadear dois processos isolados (103). Num estágio precoce ocorre a deteção facial por parte do perceptor onde primeiramente advém a segmentação facial evocando a extração de características (tais como por exemplo: olho, nariz, boca), portanto, verifica-se um modelo holístico (104)(103), crê-se que este seja um processo simples, ou seja, de baixo nível (103). Após a deteção segue o reconhecimento (ou identificação) este, requer uma análise mais complexa, podendo a deteção funcionar como um filtro tornando o processo de reconhecimento mais eficaz (103). Assim, a percepção de estímulos faciais não só pode desencadear a extração de múltiplas informações como pode envolver mecanismos complexos e especializados (105)(102)(103)(104)(106). Em regiões cerebrais é possível a existência de áreas especializadas (de alto nível) no processamento de faces (10)(103)(107), sendo os estímulos visuais que não se enquadram neste modelo analisados paralelamente pelo sistema geral de reconhecimento de objetos (10)(103).

Alguns estudos revelam que a cor do tom da pele facial possa ter desencadeado evoluções nos primatas (108)(109), tais como uma aprimorada visão tricromática (109), uma vez que o aumento do desempenho para a percepção facial humana pode ser fortalecido através da tonalidade cromática da tez (epiderme da pele da face) (106)(109)(110), podendo, assim a cor funcionar como uma pista de memória e conhecimento de objetos faciais e não faciais (106), ajudando também em perceber informações adicionais, tais como a emoção (109)(110)(111)(112)(108); a saúde (109)(112); a identidade (109)(113); a categorização sexual (113); a etnia (109)(114)(115); a atratividade (109)(116)(117); etc..

Crê-se que o processamento da informação cromática e acromática facial possuam um percurso cerebral temporal diferente, ocorrendo primeiramente a codificação de sinais cromáticos, principalmente na região da boca, e, mais tarde ocorre a codificação de sinais acromáticos, chegando, no entanto, a informação cromática e acromática às áreas visuais de nível superior em simultâneo, desta forma, o cérebro atribui maior importância à informação cromática em áreas visuais iniciais permitindo assim uma compensação do atraso do processo acromático (113). Adicionalmente, a

informação acromática, principalmente presente nas regiões do olho e sobrancelha, parece auxiliar na categorização do sexo (113).

De todos os estágios de processamento facial, a cor parece ter um impacto maior nos processos de análise de baixo nível, como a segmentação facial (112)(106). Assim, a cor não parece estar diretamente relacionada com o reconhecimento facial mas, no entanto, esta pode facilitar o processo para alcançar o reconhecimento facial (112).

## 2.15 Imagiografia hiperespectral

Uma câmara fotográfica convencional RGB possibilita uma aquisição ao longo de três bandas espectrais (118)(119)(120)(121) que são, tipicamente, compostas por vários comprimentos de onda (118).

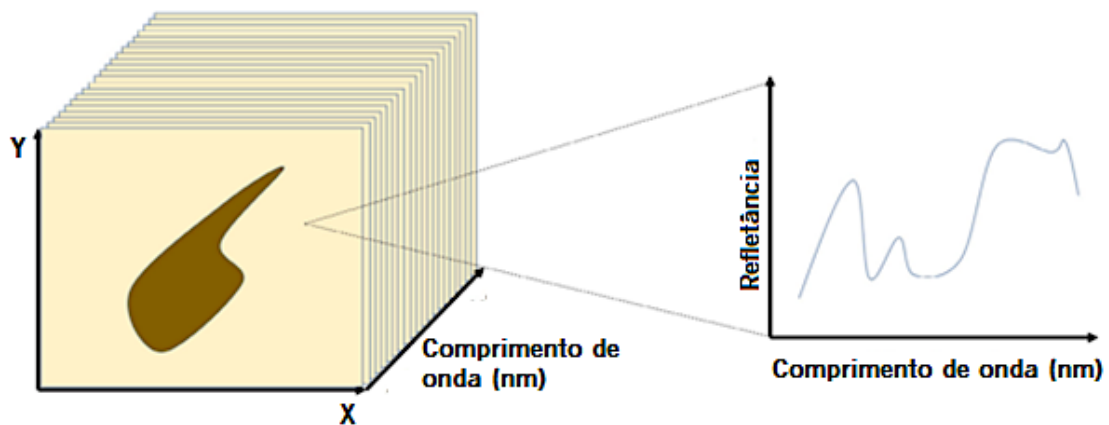
A imagem hiperespectral, ou espectroscopia de imagem, é uma técnica de análise ótica não invasiva (122) desenvolvida na década 70 (123)(124). É composta por uma câmara fotográfica digital (121)(120). Ao contrário do que sucede numa câmara convencional, as câmaras hiperespectrais superam as limitações de uma câmara convencional (121)(125)(126). Ao capturar imagem em várias bandas de comprimentos de onda (121) possibilita reproduções para além do limite da visão das cores do olho humano (122)(121)(127)(126).

Esta técnica permite quantificar e selecionar a informação contida na medida (123), tendo como princípio a aquisição de propriedades espectrais e espaciais do sinal luminoso (118) e a medição da intensidade da luz (radiância) por pixel para um grande número das bandas espectrais (122). Cada pixel da imagem inclui informação espectral (122)(119)(120)(118), o que torna possível um mapeamento das propriedades que constituem a imagem capturada (122) acompanhado de alta resolução (119)(125), precisão e detalhe (122), permitindo, não só análises colorimétricas rigorosas, como também, renderizações credíveis em dispositivos de exibição de cores (118) e, contribuir em outros domínios de aplicações (122)(121)(119).

Em imagens hiperespectrais é possível de forma simultânea recolher dados (122) em centenas de bandas de comprimento de onda adjacentes (127). Tipicamente, se o número de bandas de comprimento de onda for inferior a 10 denota-se como imagens multiespectrais (122). Em ambos os casos é possível a extração de dados em comprimentos de onda não visíveis ao olho humano, se e só

se estiverem fora do intervalo visível do espectro correspondente a, aproximadamente, 400 a 700 nm (126).

Tal como a Figura 29 mostra, pode-se representar uma imagem hiperespectral tendo em conta um espaço tridimensional, em que as coordenadas x e y representam a imagem (pixel) e a coordenada z representa as bandas de comprimento de onda. Cada pixel pode ser representado bidimensionalmente como representado no gráfico da Figura 29, à direita (126).



**Figura 29** O gráfico à esquerda mostra uma imagem hiperespectral bidimensional de uma lesão da pele humana hiperpigmentada (mancha castanha), o gráfico à direita mostra o espectro representativo para um pixel da imagem à esquerda (adaptado de (126)).

### **3. HIPÓTESES E OBJETIVOS DO ESTUDO**

#### **3.1 Formulação do Problema**

É conhecida a influência de texturas naturais ou artificiais na percepção da cor, para objetos naturais como frutas ou vegetais (3). No entanto, está ainda por determinar a influência de texturas naturais de objetos quando utilizados diferentes meios de apresentação de imagens sob condições de iluminação ambientais diferenciadas. Em particular, considerando que diferentes monitores exibem propriedades de resolução/definição de imagem e representação de cor que diferem entre si, é importante avaliar a influência do monitor utilizado na percepção da cor durante a apresentação de estímulos coloridos conjugados com condições de iluminação ambiental diferentes, para posterior avaliação psicofísica.

#### **3.2 Hipóteses do Estudo**

Com o objetivo de fornecer suporte à formulação do problema, este estudo pretende testar duas hipóteses, das quais:

Hipótese 1: A iluminação ambiental condiciona a seleção da cor de objetos.

Hipótese 2: O tipo de monitor utilizado não condiciona a seleção da cor de objetos.

#### **3.3 Objetivos do Estudo**

Para responder a estas perguntas, a mesma experiência psicofísica contendo estímulos de faces e objetos naturais e artificiais foram apresentadas em vários tipos de monitores calibrados diferentemente em cor e luminância sob iluminações ambientais variadas, de forma estrategicamente controladas.

Este estudo tem como objetivo perceber se o monitor utilizado para apresentação de estímulos visuais, conjugado com iluminação ambiental específica, influencia a percepção da cor de diferentes estímulos.

## **4. AMOSTRA, MATERIAL E MÉTODOS**

O procedimento experimental foi autorizado pela Subcomissão de Ética para as Ciências da Vida e da Saúde pelo processo CEICVS052/2021.

Esta experiência decorreu em ambiente laboratorial sob condições controladas nas instalações do Departamento de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho (Braga, Portugal), no Color Science Laboratory (CSL).

### **4.1 Tipo de Estudo**

Este trabalho enquadra-se num estudo psicofísico e observacional. Foram ocultadas possíveis pistas ao observador, de modo a não induzir enviesamento dos resultados nas respostas obtidas aos estímulos exibidos em monitores. Não existiu, juntamente, qualquer interferência em relação ao investigador/observador no decorrer experimental.

Não foram aplicadas técnicas invasivas nem contacto direto que compromettesse a integridade e saúde física entre o investigador e o observador. Apenas foram utilizados vários dispositivos eletrónicos (monitores) exclusivamente para uso visual.

### **4.2 Seleção da amostra de estudo**

Todos os observadores, recrutados a partir da comunidade académica, participaram de forma voluntária sem qualquer tipo de financiamento, tendo o direito de desistir espontaneamente sem qualquer tipo de penalização.

Foi também solicitado a cada observador a assinatura de um Consentimento Informado (Anexo 1) com o objetivo de garantir o esclarecimento de todas as dúvidas que o observador tivesse, bem como explicar qual a tarefa experimental. A assinatura do consentimento informado era um requisito obrigatório para proceder à parte experimental. As mesmas instruções experimentais (Anexo 2) foram fornecidas por escrito, permitindo que a transmissão de informação fosse igual para todos os observadores. Os dados pessoais do observador foram salvaguardados de forma anónima e confidencial. Os dados experimentais foram utilizados exclusivamente para fins científicos e não comerciais.

Sendo a percepção cromática uma condição importante para este estudo, foram despistadas em todos os observadores eventuais deficiências cromáticas na zona do vermelho/verde com base num teste rápido de rastreio de visão das cores exibido em monitor. Para tal, antes de cada experiência foi aplicado um teste de rastreio à visão das cores de Ishihara. Este teste sofreu um ajuste de forma a abranger apenas uma patela de demonstração, transformação, desaparecimento e ocultação. A patela de demonstração que serviu como controlo, correspondente ao número 12, teve como objetivo exemplificar a tarefa visual. Esta patela é corretamente identificável para todos os observadores incluindo portadores de deficiência de visão das cores. A patela de transformação consistiu na apresentação de um número que altera na sua discriminação para portadores de deficiência cromática: pessoas com visão das cores normal identificam o número 74 e pessoas com deficiência cromática observam o número 21. A patela de desaparecimento é indiscriminável para pessoas com deficiência cromática: o número 6 é apenas detetado por pessoas com visão das cores normal. A patela de ocultação é indiscriminável para pessoas com visão das cores normal, mas visível para pessoas com deficiência na visão das cores. Foi estabelecido o critério de despistagem: para um erro de leitura de patela o observador era considerado como suspeito de deficiência de visão das cores não sendo por isso considerado no estudo.

### 4.3 **Material e métodos**

A experiência foi gerada computacionalmente no Laboratório das Ciências da Cor, no Centro de Física da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Para a criação desta experiência psicofísica, recorreu-se a de três linguagens de programação: HTML que serviu para desenhar os estímulos apresentados; CSS que auxiliou na edição das características visuais dos estímulos, tais como o tamanho, a posição e a cor, e através de Java script e J query foi possível manipular a cor representada.

Para a apresentação de estímulos foram utilizados quatro monitores a cores *RGB* de ecrã plano, com diferentes características. Estes foram divididos com base no controlo e calibração de cor e daí foram estipuladas duas vias experimentais: uma experiência controlada e a experiência calibrada. Na experiência controlada (o controlo era apenas das condições experimentais, não do estímulo visual. A experiência era feita no laboratório em presença do investigador, seguindo as indicações das condições ambientais) apenas foi medida a cor apresentada pelos estímulos exibidos em monitor sem qualquer



tipo de controlo na calibração e apenas o controlo da condição de iluminação ambiental. Fizeram parte desta experiência três monitores diferentes, dos quais:

- Monitor LCD (SyncMaster 2233, Samsung Electronics Co., Ltd, Coreia do Sul) de 22 polegadas (1680 x 1050) placa gráfica NVIDIA (Geforce 3D vision ready) identificado como monitor “1”;
- Monitor LCD (iMac, Apple Inc., Califórnia) de 20 polegadas (1680 x 1050). Processador 2 GHz Intel Core 2 Duo. Placa gráfica ATI Radeon HD 2400 XT 128 MB. Identificado como monitor “2”;
- Monitor LCD (MacBook Pro, Apple Inc., Califórnia) de ecrã retina integrado com 16 polegadas (3072 x 1920). Processador 2,4 GHz Intel Core i9 de 8 núcleos. Placa gráfica Intel UHD Graphics 630 1536 MB. Identificado como monitor “3”.

Em todos estes monitores anteriormente descritos, para a realização da experiência utilizou-se um link de acesso a uma página online (mais detalhes no capítulo 4.6.1).

O processo de calibração em cor e luminância dos estímulos exibidos foi realizado com a utilização de um telespetroradiómetro (SpectraScanColorimeter, PR-650, PhotoResearch Inc., Chatsworth, California, Estados Unidos da América). O único monitor calibrado em cor e luminância foi:

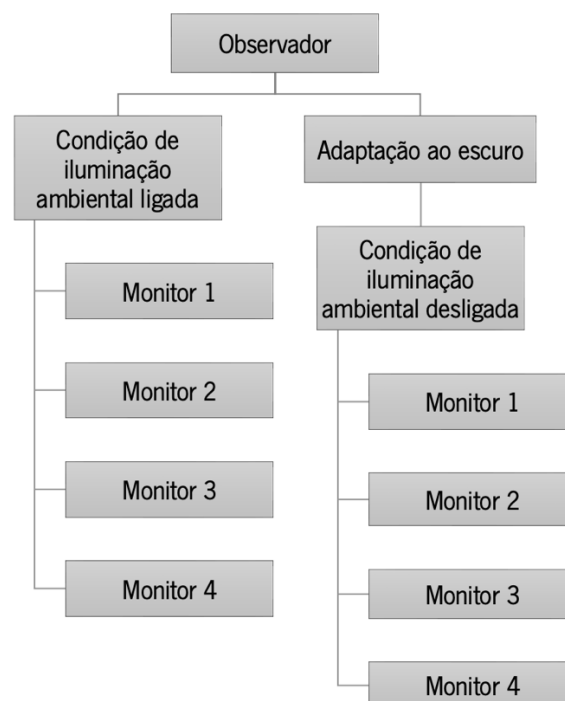
- Monitor LCD (Display++, Cambridge Research Systems, Rochester, UK) agregado com uma placa gráfica, de alta capacidade, responsável pelo processamento de imagem e cor. Identificado como monitor “4”.

Esta parte experimental era a única realizada em modo offline. Mas foi garantido que para o monitor 4, toda a experiência e a representação do estímulo fossem exatamente a mesma dos restantes monitores acima descritos. A apresentação dos estímulos no 4 era controlada através da *toolbox* CRS (Cambridge Research Systems, Rochester, UK) e *Psychtoolbox* (Psychtoolbox, Medical Innovations Incubator GmbH, Tübingen, Germany) instalada em Matlab (MathWorks, Natick, Ma 01760-2098).

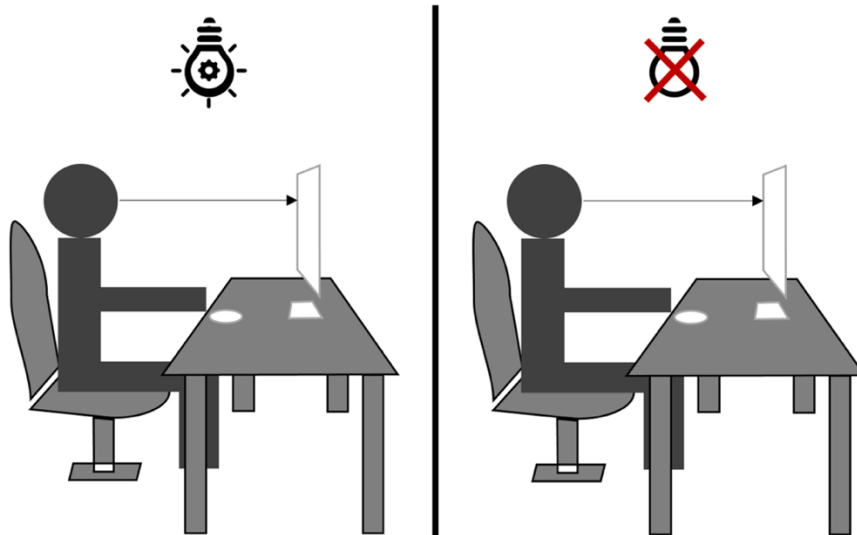
À exceção do monitor 3, todos os restantes equipamentos acima descritos encontravam-se disponíveis na Laboratório de Ciências da Cor da Escola de Ciências da Universidade do Minho.

#### 4.4 Desenho experimental

Com o objetivo de estudar a influência da percepção da cor em monitores conjugado com iluminação ambiental diferente, tal como mostra o diagrama da Figura 30, todos os monitores mencionados anteriormente foram testados em condições de iluminação ambiental ligada e desligada. Assim, cada ensaio experimental consistiu na apresentação de estímulos num monitor sob uma condição de iluminação ambiental, como exemplificado na Figura 31. Deste modo, cada monitor foi testado duas vezes, sendo uma para cada condição de iluminação ambiental diferente. A Tabela 1 resume as condições experimentais realizadas neste estudo. Apenas o monitor utilizado em cada ensaio permanecia ligado, os restantes foram suspensos ao estímulo visual.



**Figura 30** Diagrama ilustrativo de todas as condições experimentais percorridas para um observador. Os monitores (1, 2, 3 e 4) são os mesmos para as duas condições de iluminação ambiental ligada (à esquerda) e desligada (à direita). Para a condição de iluminação ambiental desligada tem como requisito uma adaptação ao escuro.



**Figura 31** A imagem representa um exemplo da realização de duas condições experimentais para o mesmo observador e mesmo monitor sob condições de iluminação diferentes. A imagem à esquerda representa a execução experimental de um observador para uma condição experimental num monitor sob condição ambiental ligada e a imagem à direita representa o mesmo observador e o mesmo monitor sob condição iluminação desligada. Nota: o esquema não está à escala.

Os observadores realizaram a experiência usando a sua refração habitual e de forma binocular.

A adaptação ao escuro decorreu durante cerca de 5 minutos (ver 2.9) e foi sempre realizada imediatamente antes de dar início à condição experimental sob condição de iluminação ambiental desligada. Esta adaptação foi feita em ambiente completamente escuro sem qualquer tipo de estímulo visual visível. Após os 5 minutos de adaptação, o observador estava apto para dar início ao respetivo ensaio sob condição de iluminação ambiental desligada onde apenas era visível a apresentação desse mesmo monitor.

Para condição de iluminação ambiental ligada, os observadores não foram sujeitos a adaptação ao escuro nem à luz e seguiam prontamente para a realização da experiência.

Todos os observadores foram submetidos a um total de oito ensaios experimentais, especificados com as letras de A a H na Tabela 1, sendo o mesmo observador para os oito ensaios experimentais diferente como mostra a ilustração na Figura 31.

**Tabela 1** Ilustração das condições experimentais tendo em conta o tipo de monitor e o tipo de iluminação ambiental. As letras de A a H representam o tipo de condição experimental.

	Monitor	Condição		Monitor	Condição
Iluminação ambiental desligada	4	<b>A</b>	Iluminação ambiental ligada	4	<b>E</b>
	1	<b>B</b>		1	<b>F</b>
	2	<b>C</b>		2	<b>G</b>
	3	<b>D</b>		3	<b>H</b>

Foi atribuída uma ordem de aleatoriedade da sequência experimental, tendo sempre as condições experimentais (especificadas pelas letras de A a H na Tabela 1) uma ordem de seguimento diferente para cada observador. Portanto, as condições experimentais foram randomizadas de ensaio em ensaio. Todos os observadores que fizeram parte deste estudo foram submetidos às mesmas condições experimentais para posterior comparação relativa (capítulo 4.6.).

A configuração experimental (Figura 30) foi estipulada para duas sessões, correspondendo a duas visitas ao laboratório para cada observador. Cada sessão (ou visita) englobou aleatoriamente quatro monitores sob condições de iluminação também ela aleatória. No total, as duas sessões em conjunto tiveram duração de, aproximadamente, 2 horas. Os observadores tiveram a opção de decidir se completavam as duas sessões seguidamente sem interrupção, ou se distribuíam de forma faseada em duas visitas em horários diferentes e convenientes ao observador.

A apresentação dos estímulos era unidirecional não sendo por isso possível retroceder para os estímulos anteriores. Não foi estipulado limite temporal de resposta, pelo que o estímulo permanecia visível até ao momento do clique. A experiência total terminava quando um arranjo de 8 estímulos x 8 tentativas de resposta x 4 monitores x 2 condições de iluminação eram completas. No total, cada observador gerava 512 respostas.

No final da experiência, todas as respostas dadas pelo observador foram guardadas segundo as seguintes variáveis:

- Características do observador (género, intervalo de idade, região geográfica, etnia, mão dominante);
- Resultados teste visão das cores (correspondentes às quatro patelas de teste Ishihara descritas anteriormente);
- Composição do ponto acromático (resposta do participante em coordenadas cromáticas CIELAB);
- Posição espacial no momento da resposta (coordenadas x,y);
- Tempo entre cada resposta (em ms);
- Condição de iluminação ambiental.

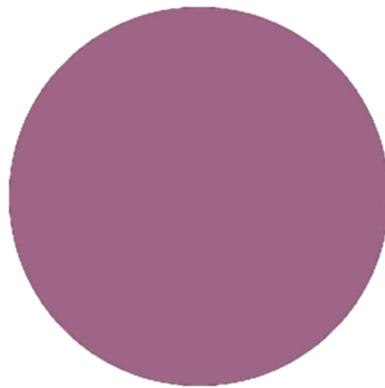
Regra geral, esta informação era enviada via email para o investigador no momento em que o observador clicasse no botão “finish” no final da experiência. No entanto, para o monitor 4 os dados eram gravados localmente.

#### 4.5 **Estímulo**

Foram utilizados quatro tipos diferentes de estímulos: disco, banana, lego e face. As seleções destes estímulos tiveram como propósito representar estímulos simples, naturais, artificial e complexos, respetivamente:

- Disco:

O estímulo disco, apresenta na Figura 32, correspondia à imagem mais simples. Foi gerado computacionalmente e apresentava uma cor uniforme e sem textura. Funcionou como estímulo de controlo de comparação com os outros estímulos.



**Figura 32** Estímulo disco aleatoriamente colorido.

- Banana:

O estímulo banana, presente na Figura 33, representava um estímulo simples e natural, extremamente familiar, ou seja, conhecível (habitualmente associado à cor amarela).



**Figura 33** Estímulo banana aleatoriamente colorido.

- Lego:

O estímulo lego, presente na Figura 34, de cor artificial (originalmente vermelha), representava um objeto artificial que pode ser familiar cuja cor pode variar.



**Figura 34** Estímulo lego aleatoriamente colorido.

- Face:

De entre todos os estímulos, o estímulo face, apresenta na Figura 35, representava o estímulo familiar mais complexo. É o estímulo visual que abrange uma maior quantidade de atributos perceptivos que são úteis para a sua descodificação e reconhecimento, usufruindo, possivelmente, de áreas neurais exclusivas para o seu processamento (ver 2.14).



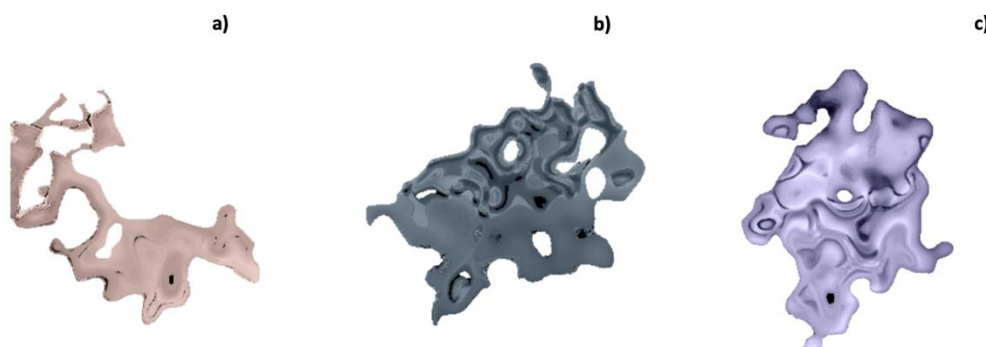
**Figura 35** Estímulo face aleatoriamente colorido. Nota: para efeitos de experiência, este estímulo não permaneceu ocultado pela barra preta.

O estímulo face foi adquirido através de uma base de dados de imagiografia hiperespectral, este instrumento encontra-se disponível no Laboratório de Ciências da Cor da Escola de Ciências da Universidade do Minho. É constituído por uma câmara digital de baixo ruído “Peltier-cooled”, com uma

resolução espacial de 1344 (H) por 1024 (V) pixéis (Hamamatsu, Model C4742-95-12ER, Hamamatsu Photonics K. K., Japão), e um filtro de cristais líquidos (Varispec, Model VS-VIS2-10-HC-35-SQ, Cambridge Research & Instrumentation, Inc., Massachusetts, EUA) colocado em frente da lente com um filtro bloqueador de infravermelhos. A descrição deste sistema de imagiologia hiperespectral, assim como, a aquisição e processamento, pode ser obtida através de outros trabalhos desenvolvidos por Foster and Sérgio *et al.* (128)(57).

- Imagens distorcidas:

Para cada uma das imagens complexas (banana, lego e face) foi gerada uma imagem distorcida (Figura 36) através de um algoritmo computacional denominado “eidolon” (129), tornando a imagem irreconhecível a nível estrutural. Este algoritmo permitia decompor a imagem original a nível espacial, mantendo totalmente a sua composição cromática, ou seja, apenas a forma da imagem mudava e a cor mantinha-se exatamente a mesma. No total, foram geradas 3 imagens distorcidas correspondentes às imagens da banana, da face e do lego.



**Figura 36** Estímulos eidolons aleatoriamente coloridos. a) estímulo eidolon correspondente ao estímulo banana, b) estímulo eidolon correspondente ao estímulo lego e c) estímulo eidolon correspondente ao estímulo face.

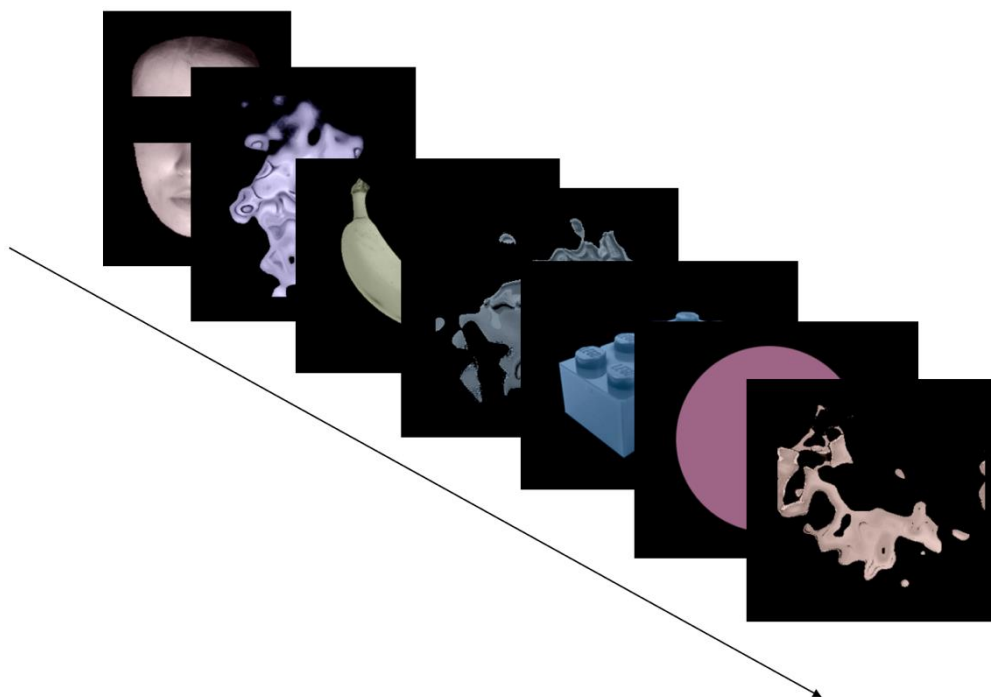
As reproduções de cores dos estímulos baseavam-se no espaço CIELAB. Este é um espaço de cor tridimensional que se aproxima da percepção de cor ao olho humano (ver 2.6.2).

A cor dos estímulos era controlada, em conformidade, pelo movimento do rato. O monitor traduzia a cor do estímulo através das coordenadas do espaço de cor CIE ( $a^*$ ,  $b^*$ ).



Para cada ensaio, uma sequência com um total de 64 estímulos (cada um dos quatro estímulos originais e eidolons foram repetidos oito vezes) individuais localizados no centro do monitor, num fundo preto, foi apresentada numa ordem temporal aleatória tal como mostra a Figura 37. Os estímulos foram sempre os mesmos nos quatro monitores.

As informações visíveis presentes no monitor ao observador incluíram apenas o estímulo sob fundo preto e a consequente variação de cor presente dentro da área desse mesmo estímulo. Essa variação de cor era induzida pelo movimento do rato, sendo que o cursor do rato foi ocultado.



**Figura 37** Ilustração de uma fração sequencial dos estímulos em ordem aleatória, seguindo a indicação da seta, e sob fundo preto apresentados num ensaio. Nota: para efeitos de experiência, o estímulo face não permanecia ocultada pela barra preta.

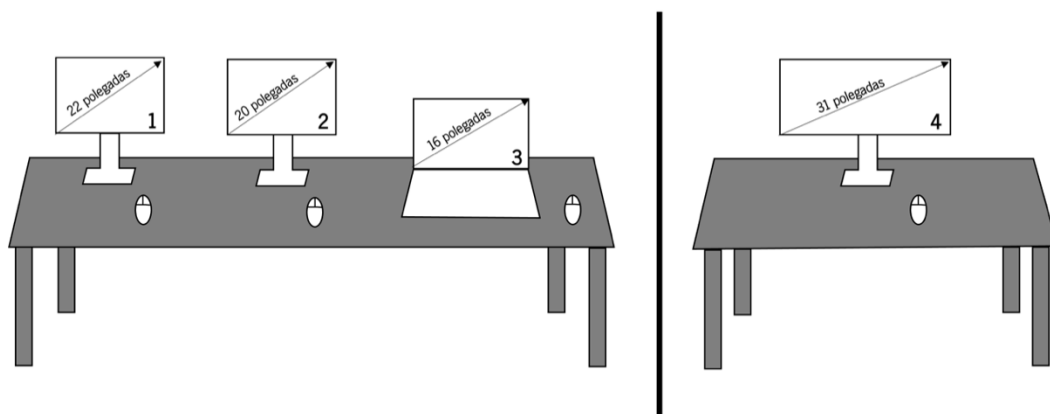
De forma oculta ao observador e investigador (ou seja, duplamente cego), a cada estímulo seguidamente substituído, a sua distribuição de cor moveu-se para distâncias diferentes em relação ao centro do monitor (variando, aleatoriamente entre 21 posições com um mínimo de -1 e um máximo de 10, em passos de 1. Estas posições correspondem à distância desde o centro do monitor ao centro do espaço de cor. Adicionalmente, o espaço representativo da cor apresentada sofria uma rotação em relação à horizontal (os ângulos variaram aleatoriamente entre: 0° a 340°, em passos de 20) em cada

ensaio. Desta forma, forçava-se o observador a mudar a posição (x,y) do rato para cada estímulo, uma vez que as posições cromáticas não correspondiam sempre à mesma cor no mesmo local.

Todas estas particularidades permitiram eliminar possíveis pistas que pudessem influenciar a percepção do observador.

#### 4.6 Montagem experimental

A Figura 38 retrata a montagem experimental utilizada neste estudo. Os monitores LCDs (1, 2, 3 e 4), descritos no subcapítulo 4.3, foram colocados em duas mesas planas retangulares onde os monitores 1, 2 e 3 partilhavam a mesma mesa e o monitor 4 numa outra mesa. As mesas foram cobertas por tecido preto e mate de modo a evitar reflexos da superfície. Toda a área ao redor das mesas foi cercada por cortinas de forma a eliminar contaminações luminosas. Assim, garantiu-se que foi utilizada a mesma fonte de iluminação (160 lux, medida com o luxímetro) para os monitores 1, 2 e 3 e, uma outra fonte de iluminação (90 lux, medida com o luxímetro) para o monitor 4, ambas incidentes a partir do teto. A fonte de iluminação consistia numa lâmpada de halógeno com a intensidade luminosa de 90 lux para o monitor 4 e 160 lux para os restantes monitores. Estas respetivas fontes de iluminação fizeram parte de todos os ensaios realizados sob condição de iluminação ambiental ligada.



**Figura 38** Representação da disposição experimental constituída pelos monitores utilizados na experiência colocados sob uma mesa plana. Da esquerda para a direita, os monitores (à esquerda) representados na figura são: 1, 2 e 3. O monitor representado à direita corresponde ao monitor 4. Nota: o esquema não está à escala.

Considerando um ângulo visual subtendido de  $6,3^\circ$ , normalizado para todos os observadores, foi assegurado que todos os estímulos apresentados nos diferentes monitores formassem o mesmo tamanho de imagem na retina do observador. Os estímulos apresentados nos monitores foram

medidos com uma régua e, com base nisso procedeu-se ao cálculo das distâncias entre o observador e o respetivo monitor, uma vez que os estímulos apresentados em cada monitor não foram manipulados para garantirem o mesmo tamanho estímulo.

As distâncias foram determinadas recorrendo à seguinte equação:

$$\tan \theta = \frac{\text{altura do estímulo}}{\text{distância}},$$

Onde  $\theta$  corresponde ao ângulo visual. A altura do estímulo corresponde à medida vertical entre os extremos do estímulo. A distância corresponde ao intervalo, em cm, entre os olhos do observador e o monitor.

Através da aplicação da fórmula anterior foi atribuída uma distância correspondente à posição de observação desde os olhos do observador até ao monitor de (Tabela 2):

**Tabela 2** A distância indica a posição correta desde os olhos do observador ao respetivo monitor assegurando um ângulo visual estável. A coluna da esquerda identifica o monitor, a coluna da direita corresponde às distâncias do participante aos respetivos monitores.

Monitor	Distância entre o observador e o monitor
1	65.8 cm
2	59.3 cm
3	43.5 cm
4	100.0 cm

#### 4.6.1 Procedimento experimental

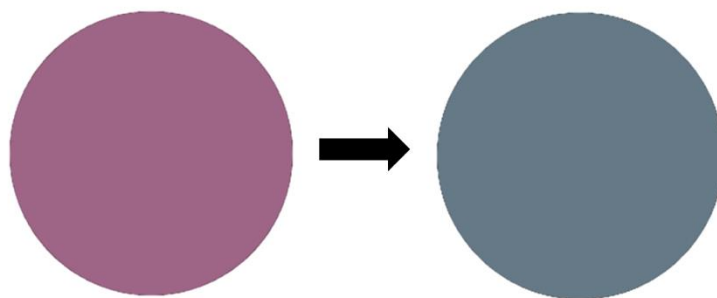
Para aceder à experiência via online utilizou-se um link de acesso: [http://www.linhares.eu/webCVT/web\\_colour\\_exp\\_inform\\_consent.html](http://www.linhares.eu/webCVT/web_colour_exp_inform_consent.html) (130) apenas para os monitores 1, 2 e 3, no monitor 4 a experiência foi realizada offline (mais detalhes estão presentes no subcapítulo 4.3). O primeiro passo solicitava à leitura e aceitação de termos e condições, disponíveis

para leitura através de uma hiperligação, que explicava a natureza da experiência e fornecia autorização para permitir que os dados fossem utilizados para fins científicos e não comerciais. Para passar à fase seguinte era necessário aceitar os termos e condições.

- Tarefa do observador:

Para os estímulos apresentados em monitores, a tarefa do observador foi estimar a sua combinação de cor como acromático (dessaturado).

Para tal, o observador tinha de movimentar livremente o rato com a sua mão dominante com o propósito em retirar a cor do estímulo aleatoriamente colorido, isto é, encontrar o ponto acromático (ou ponto cinzento) tal como exemplificado na Figura 39. No momento em que o observador encontrasse o seu ponto acromático, premia o botão esquerdo do rato e, de imediato, o estímulo definido como acromático era substituído pelo estímulo seguinte colorido com uma cor aleatória. Este processo repetia-se de igual forma até completar a sequência de todos os estímulos que se seguiram. No final, todas as respostas eram guardadas.



**Figura 39** Ilustração do estímulo disco aleatoriamente colorido (imagem à esquerda) e dessaturado (imagem à direita).

## 4.7 **Análise de resultados**

### 4.7.1 **Validação dados**

O desvio padrão foi considerado, funcionando como uma medida de dispersão/variabilidade do conjunto de dados em torno da média. Permitindo assim quantificar a homogeneidade dos dados.

Através da combinação de cores foi possível verificar se as respostas dadas pelos observadores estavam compreendidas na média referentes à escolha do ponto acromático.

A posição (x,y) do rato fornecia informações acerca da movimentação (ou não) do rato. Deste modo, foi possível verificar se o observador cumpria a sua tarefa experimental, sendo esta a procura pelo ponto acromático.

O tempo médio de resposta foi também considerado, sendo que as respostas obtidas com demasiada rapidez, bem como, demasiado demoradas foram indicadores de casos suspeitos. Caso se confirmasse tratar de um caso suspeito, o observador foi retirado da amostra.

#### 4.7.2 **Análise estatística**

A elevada densidade de dados foi primeiramente automatizada em Matlab permitindo uma análise padronizada automática.

As variáveis independentes e intra-sujeitos em estudo foram os quatro monitores (1, 2, 3 e 4), duas condições de iluminação ambiental (ligado e desligado) e oito estímulos (disco original, banana original, face original, lego original, disco distorcido, banana distorcida, face distorcida e lego distorcido). Estas variáveis eram qualitativas nominais, não tendo, por isso, uma ordem definida.

A variável dependente em estudo foi a seleção do ponto acromático representado pelas coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ . Esta variável era quantitativa contínua, uma vez que podia assumir qualquer valor numérico.

Para a descrição dos dados foi calculado o valor da média e desvio padrão, para os valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  em cada um dos monitores, para cada condição de iluminação ambiental considerando todos os estímulos (originais e distorcidas), todos os estímulos distorcidos, todos os estímulos originais, para cada estímulo original e para cada estímulo distorcido.

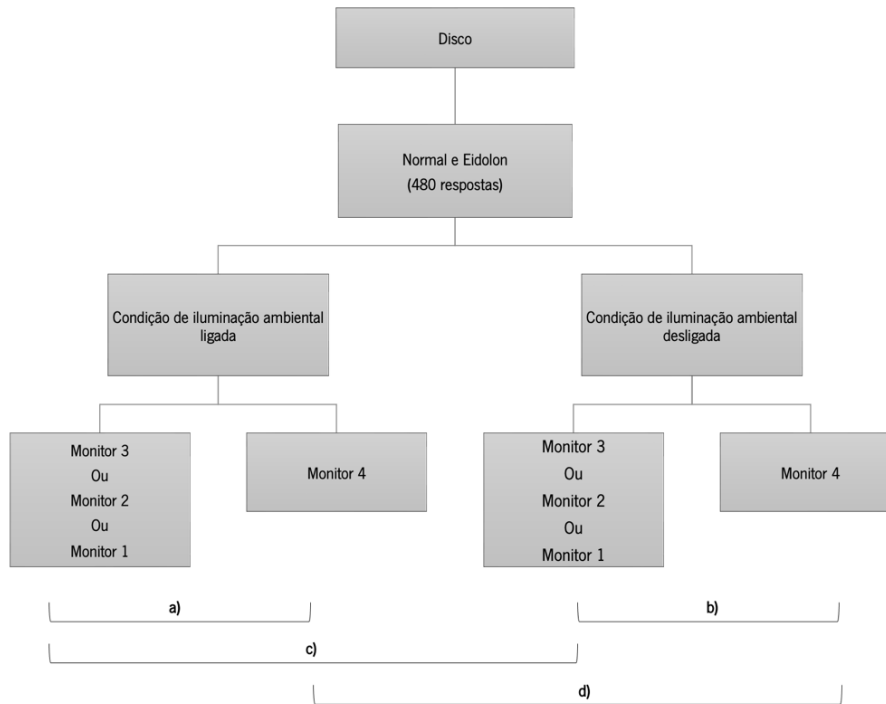
Recorrendo ao SPSS (Statistical Package for Social Sciences), versão 28.0.1.0 (IBM SPSS Statistics Inc, Chicago, IL) foi testada a normalidade das variáveis usando o teste Kolmogorov-Smirnov, uma vez que a amostra era igual a 30. Neste teste, a hipótese nula era rejeitada se o parâmetro de significância estatística ( $p$ ) fosse inferior a 0.050, desta forma, verificava-se diferença estatisticamente significativa na distribuição dos dados, isto é, os dados não seguiam uma distribuição normal. A hipótese nula era aceite se o valor de  $p$  fosse superior a 0.050, indicando que a variável em estudo deveria ter

distribuição normal. Para estudar comparações entre as variáveis era utilizado o teste de Wilcoxon se os dados não seguissem uma distribuição normal e era utilizado o Teste-t pareado se os dados seguissem uma distribuição normal.

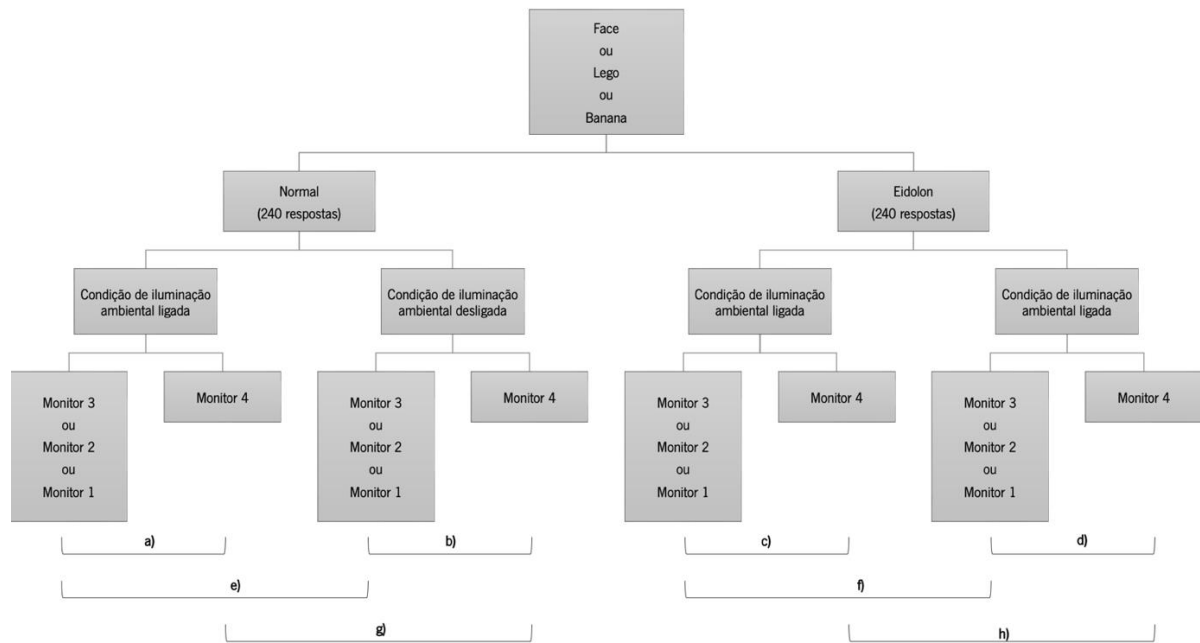
Para cada um dos estímulos foram estudadas as influências dos monitores e das condições de iluminação ambiental.

Tal como mostra o diagrama da Figura 40 e da Figura 41, para estudar a influência dos monitores, estes foram comparados pareadamente dentro das mesmas condições de iluminação ambiental. Para estudar a influência das condições de iluminação ambiental, estas foram comparadas pareadamente sem que houvesse alteração do tipo de monitor. A influência da categoria dos estímulos foi também estudada (Figura 42), sendo que para tal foi garantido que as condições de iluminação ambiental bem como o monitor fossem os mesmos.

Apenas para o estímulo disco foram consideradas 480 respostas obtidas pelo total de observadores. Os restantes estímulos (face lego e banana) foram divididos em estímulos originais (240 respostas) e eidolons (240 respostas) sendo que aqui o estudo para a influência dos monitores e para as condições de iluminação ambiental foram separadas tendo em conta o estímulo e a sua categoria.

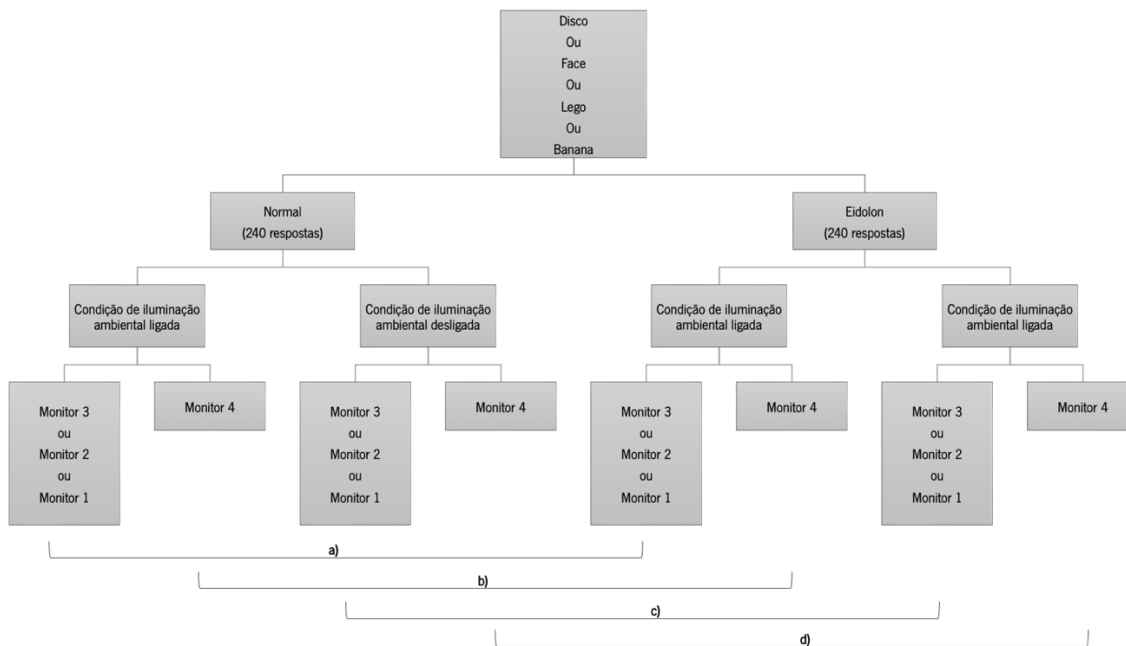


**Figura 40** Diagrama ilustrativo para o estudo da influência dos monitores e condições de iluminação ambiental para o estímulo disco considerando 480 respostas. Para a influência dos monitores, **a)** representa a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental ligada e **b)** representa a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental desligada. Para a influência das condições de iluminação ambiental **c)** representa a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 3 ou monitor 2 ou monitor 1 e **d)** representa a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 4.



**Figura 41** Diagrama ilustrativo para o estudo da influência dos monitores e condições de iluminação ambiental para o estímulo face para o estímulo lego e para o estímulo banana. À esquerda estão representadas as categorias normais (240 respostas) e à direita estão representadas as categorias eidolons (240 respostas). Para a influência dos monitores, **a)** e **c)** representam a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental ligada e **b)** e **d)** representam a troca de monitores (monitor 3 com monitor 4 ou monitor 2 com monitor 4 ou monitor 1 com monitor 4) sob condição de iluminação ambiental desligada. Para a influência das condições de iluminação ambiental **e)** e **f)** representam a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 3 ou monitor 2 ou monitor 1 e **g)** e **h)** representam a troca das condições de iluminação ambiental para o monitor 4. As letras **a)**, **b)**, **e)** e **g)** representam a categoria normal e as letras **c)**, **d)**, **f)** e **h)** representam a categoria eidolon.



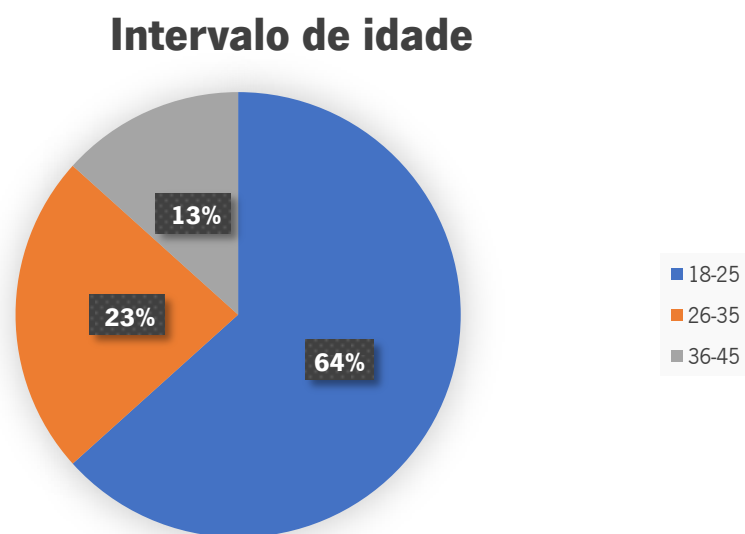


**Figura 42** Diagrama ilustrativo para o estudo da influência das categorias para o estímulo disco, para o estímulo face, para o estímulo lego e para o estímulo banana. **a)** e **c)** representam a troca de categoria para o monitor 3 ou monitor 2 ou monitor 1. **b)** e **d)** representam a troca de categoria para o monitor 4. **a)** e **b)** representam as condições de iluminação ambiental ligada e, **c)** e **d)** representam as condições de iluminação ambiental desligada.

## 5. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

### 5.1 Caracterização da amostra

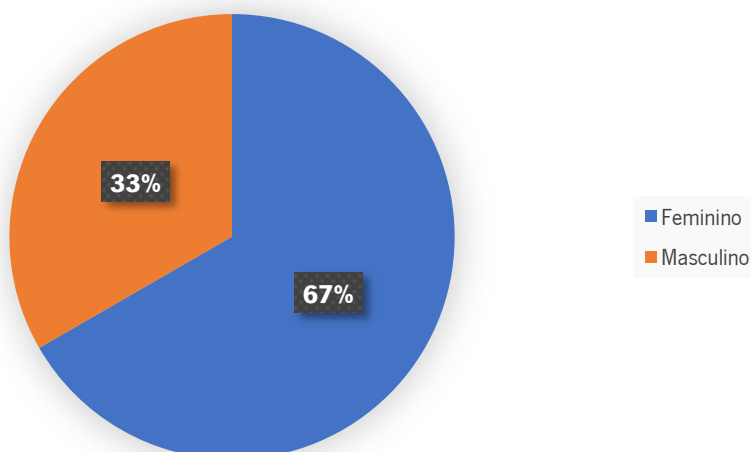
A amostra era composta por um total de 30 observadores, com idades intervalares mínimas compreendidas entre 18-25 anos e máximas entre 36-45 anos. Dos 30 observadores, 19 observadores tinham idades compreendidas entre 18-25 anos, 7 observadores tinham 26-35 anos e 4 observadores tinham 36-45, ou seja, 64 %, 23 % e 13 %, respetivamente (Figura 43).



**Figura 43** Gráfico circular repartido em três setores coloridos associados à intervalo de idade (18-25, 26-35 e 36-45 anos de idade), respetiva aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa o intervalo de idade de 18-25 com 64 %, a cor laranja representa o intervalo de idade de 26-35 com 23 % e, a cor cinzenta representa o intervalo de idade de 36-45 com 13 %.

Do género feminino fizeram parte 20 observadores e, do género masculino 10 observadores, correspondendo a 67 % e 33 % do total da amostra, respetivamente (Figura 44).

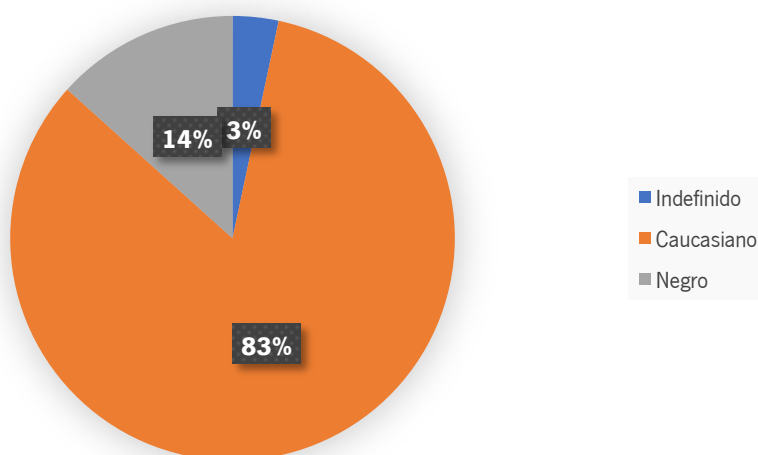
## Género



**Figura 44** Gráfico circular repartido em dois setores coloridos associados ao género (feminino e masculino), respetivo aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa o género feminino com 67 % e, a cor laranja representa o género masculino com 33 %.

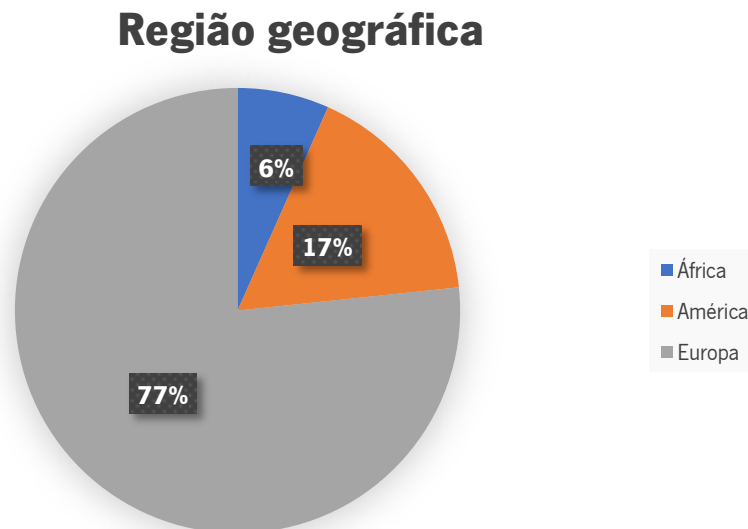
As etnias para os 30 observadores variaram entre caucasiano e negro, dos quais, 25 observadores eram caucasianos, 4 observadores eram negros e 1 observador com etnia indefinida, correspondendo a 83 %, 14 % e 3 %, respetivamente (Figura 45).

## Etnia



**Figura 45** Gráfico circular repartido em três setores coloridos associados à etnia (indefinido, caucasiano e negro), respetivo aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa a etnia indefinido com 3 %, a cor laranja representa a etnia caucasiano com 83 % e, a cor cinzenta representa a etnia negro com 14 %.

As regiões geográficas de origem oscilaram entre África, América e Europa, sendo 2 observadores da África, 5 observadores da América e 23 observadores da Europa, isto é, 6 %, 17 % e 77 %, respetivamente (Figura 46).



**Figura 46** Gráfico circular repartido em três setores coloridos associados à região geográfica (África, América e Europa), respetivo aos 30 observadores, dado em percentagem de frequência relativa. A cor azul representa África com 6 %, a cor laranja representa América com 17 % e, a cor cinzenta representa a Europa com 77 %.

Os 30 observadores tinham em comum o país onde viviam (Portugal) e a mão dominante (mão direita).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

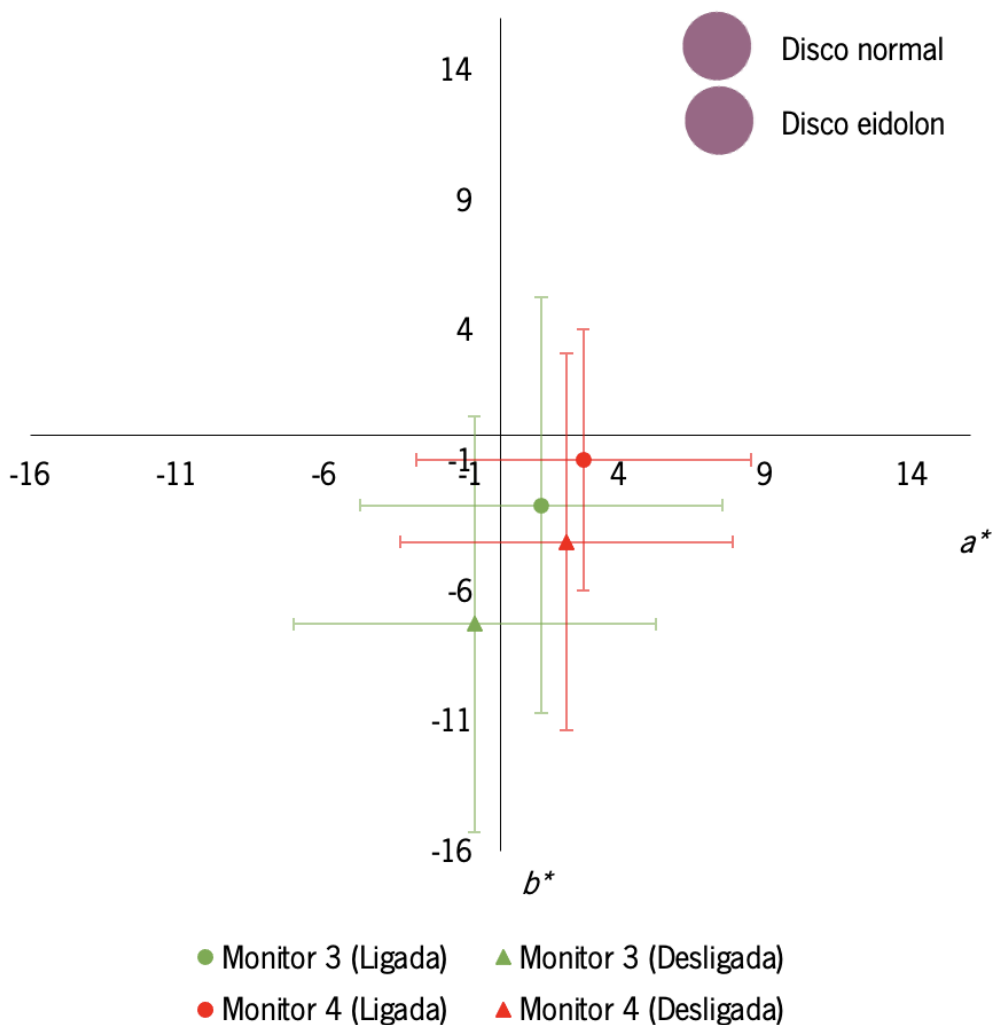
Nos seguintes tópicos serão apresentados os resultados e discussão sobre a influência dos monitores e condições de iluminação ambiental para os estímulos uniforme e complexos. Por fim, serão apresentados os resultados e discussão sobre a influência das categorias de estímulos.

Em 6.1, para o estímulo uniforme, será apresentado a influência dos monitores (ver alíneas a) e b) da Figura 40) e condições de iluminação ambiental (ver alíneas c) e d) da Figura 40). Em 6.2, para os estímulos complexos, serão apresentados a influência dos monitores (ver alíneas a), b), c) e d) da Figura 41) e condições de iluminação ambiental (ver alíneas e), f), g) e h) da Figura 41). E, em 6.3 serão apresentados a influência da categoria dos estímulos (ver alíneas a), b), c) e d) da Figura 42).

Apenas se apresentarão os resultados entre os monitores 3 e 4, por simplicidade, uma vez que como mostram os anexos (Anexo 4 e Anexo 5), entre os monitores 1, 2 e 3 não há diferenças.

### 6.1 Estímulo uniforme - Disco

O gráfico da Figura 47 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 3 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo disco (normal e eidolon – neste caso eidolon é apenas uma classificação de teste, uma vez que as duas condições utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 47** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo disco considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

Na Tabela 3 e Tabela 4 estão representados os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos pela análise estatística. Os valores de  $p$  obtidos correspondem ao resultado do teste estatístico de Wilcoxon, uma vez que os dados seguem uma distribuição não normal. A Tabela 3 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon para as diferenças entre as trocas de monitores 3 e 4 e a Tabela 4 para as trocas das condições de iluminação ambiental. Valores inferiores a 0.05 indicam significância estatística, indicando que as condições são diferentes.

**Tabela 3** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 4** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
4		<b><math>p = 0.020^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

A Figura 47 mostra que para o estímulo disco (estímulo uniforme) os dados correspondentes ao monitor 3 e 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada estão localizados no quadrante inferior direito (coordenada cromática  $a^*$  positiva e  $b^*$  negativa). Apenas o monitor 3 em condição de iluminação ambiental desligada está localizado no quadrante inferior esquerdo (coordenada  $a^*$  e  $b^*$  negativa). Os monitores 3 e 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada apresentam uma localização mais aglomerada, tendo estes em comum valores positivos de  $a^*$  relativamente próximos. Para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  o monitor 3 apresenta um maior afastamento entre as condições de iluminação ambiental ligada e desligada em comparação com o monitor 4.

Os resultados aqui apresentados mostram que existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de monitores para a mesma condição de iluminação ambiental e entre as trocas de condições de iluminação ambiental para o mesmo monitor.

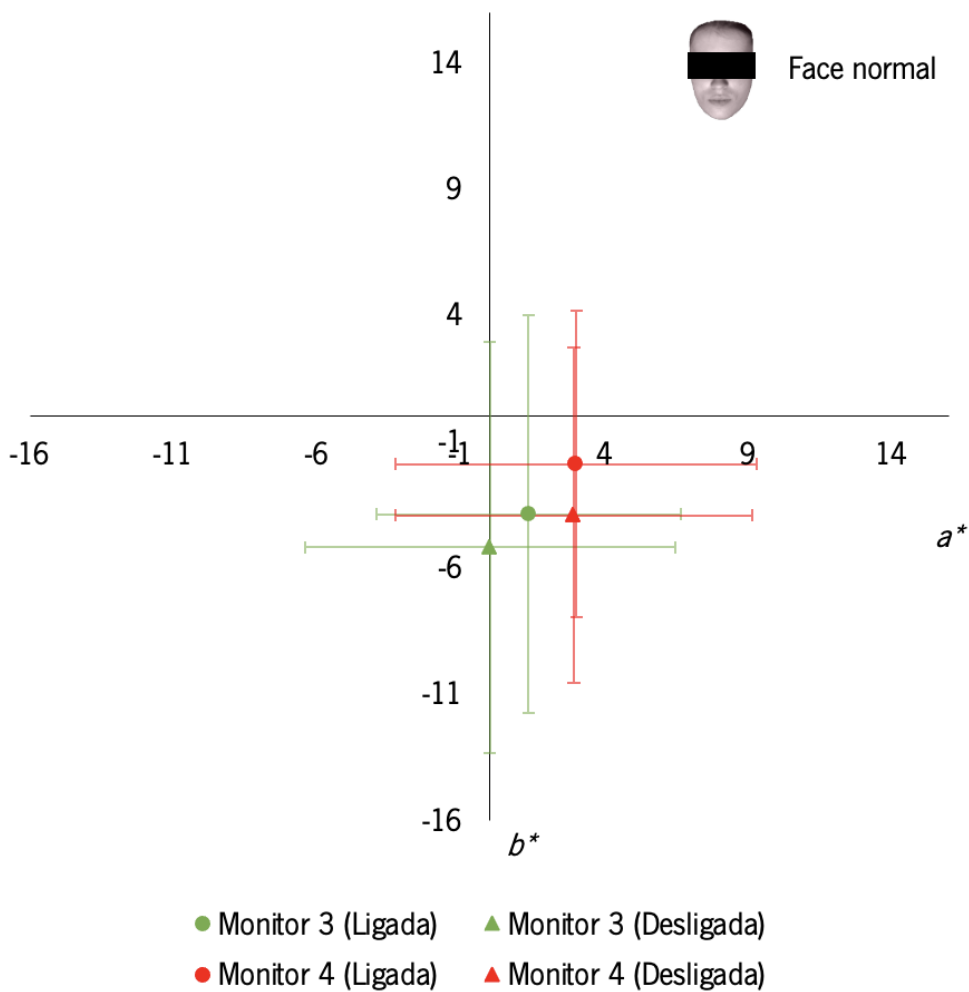
Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 3 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores e na Tabela 4 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de condições de iluminação ambiental. Essas diferenças podem ser constatadas na Figura 47 através das distâncias acromáticas associadas à diferença da troca de condições de iluminação ambiental e à troca de monitores, dado este efeito, denota-se ainda que existe uma maior distância para a troca das condições de iluminação ambiental do que para a troca de monitores, o que sugere que, aparentemente, a troca de condições de iluminação ambiental apresenta uma influência superior. Estas diferenças podem ser devidas ao facto de os monitores serem diferentes na reprodução de cor, isto é, por um ser calibrado e outro não e pela diferente montagem ambiental (ver capítulo 4.6).

## 6.2 Estímulos complexos – Face, Lego e Banana

- Estímulo face normal:

O gráfico da Figura 48 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 3 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo face normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.





**Figura 48** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

Na Tabela 5 e Tabela 6 estão representados os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos pela análise estatística. Os valores de  $p$  obtidos correspondem ao resultado do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t pareado. A Tabela 5 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t para as diferenças entre as trocas de monitores 3 e 4 e a Tabela 6 para as trocas das condições de iluminação ambiental. Valores inferiores a 0.05 indicam significância estatística, indicando que as condições são diferentes.

**Tabela 5** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p=0.004^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p=0.002^*</math></b> (Teste-t)
	Desligada	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p=0.063$ (Wilcoxon)

**Tabela 6** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	<b><math>p=0.016^*</math></b> (Wilcoxon)	$p=0.070$ (Wilcoxon)
4		$p=0.890$ (Teste-t)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Teste-t)

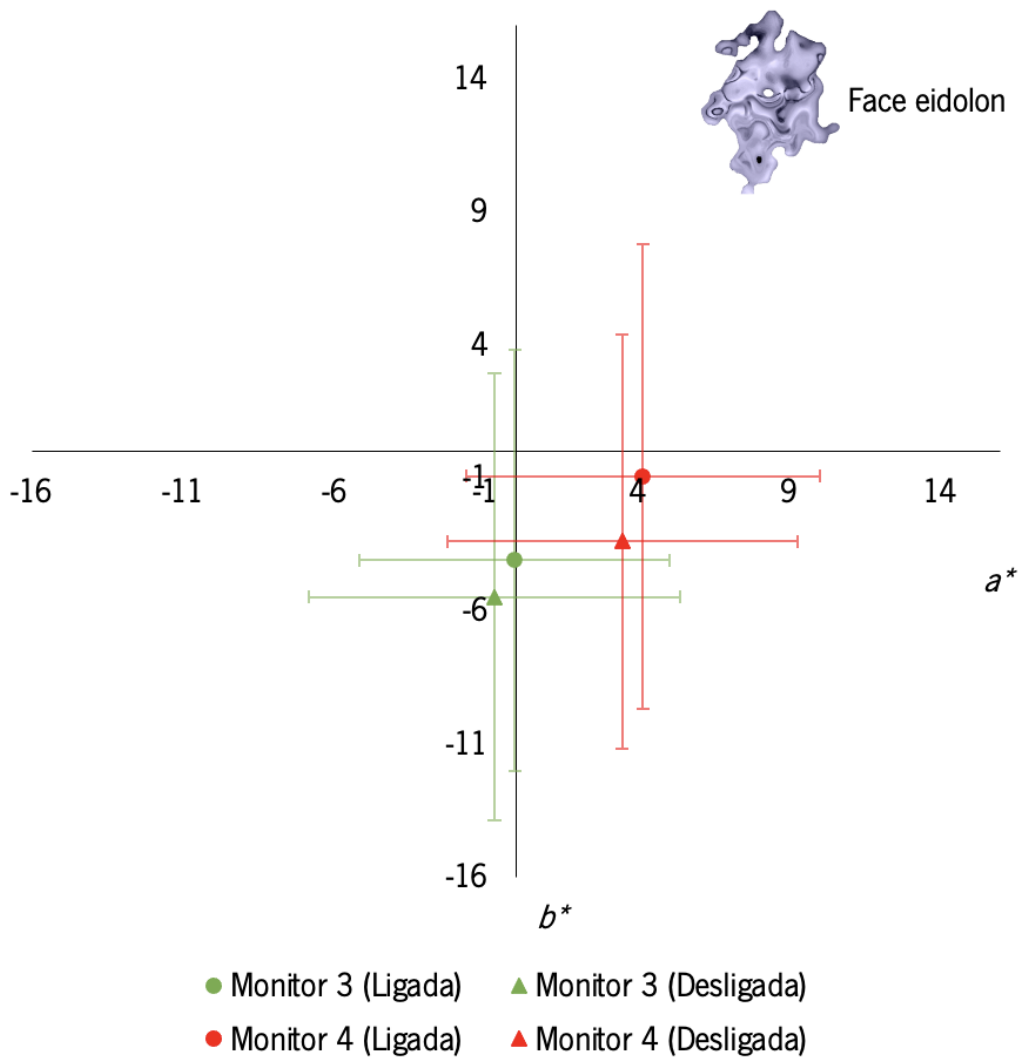
A Figura 48 mostra que para o estímulo face normal (estímulo complexo) os dados correspondentes ao monitor 3 e 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e desligada estão localizados no quadrante inferior direito (coordenada cromática  $a^*$  positiva e  $b^*$  negativa). Os mesmos monitores para diferentes condições de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente aglomeradas, tendo estes em comum valores de  $a^*$  e  $b^*$  próximos.

Os resultados aqui apresentados mostram que existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de monitores para a condição de iluminação ambiental ligada e apenas em  $a^*$  para condição de iluminação ambiental desligada. E entre trocas de condições de iluminação ambiental para o mesmo monitor existem diferenças apenas em  $a^*$  para o monitor 3 e em  $b^*$  para o monitor 4. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 5 que indica que existe diferença significativa ( $p<0,050$ , Teste-t) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores em condição de iluminação ambiental ligada e para  $a^*$  ( $p<0,050$ , Wilcoxon) em condição de iluminação ambiental desligada. A Tabela 6 que indica que existe diferença significativa ( $p<0,050$ , Wilcoxon) para  $a^*$  na troca de condição de iluminação ambiental para o monitor 3 e para  $b^*$  ( $p<0,050$ , Teste-t) para o monitor 4. Essas diferenças podem ser constatadas na Figura

48 através das distâncias acromáticas associadas à diferença da troca de condições de iluminação ambiental e à troca de monitores, dado este efeito, denota-se ainda que existem distâncias acromáticas similares para a troca das condições de iluminação ambiental e de monitores, o que sugere que, aparentemente, a troca de condições de iluminação ambiental e de monitores apresentam uma influência semelhante.

- Estímulo face eidolon:

O gráfico da Figura 49 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 3 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo face eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 49** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

Na Tabela 7 e Tabela 8 estão representados os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos pela análise estatística. Os valores de  $p$  obtidos correspondem ao resultado do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t pareado. A Tabela 7 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon para as diferenças entre as trocas de monitores 3 e 4 e a Tabela 8 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t para as trocas das condições de iluminação ambiental. Valores inferiores a 0.05 indicam significância estatística, indicando que as condições são diferentes.

**Tabela 7** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.004^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 8** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	$p = 0.189$ (Teste-t)	$p = 0.073$ (Teste-t)
4		$p = 0.375$ (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

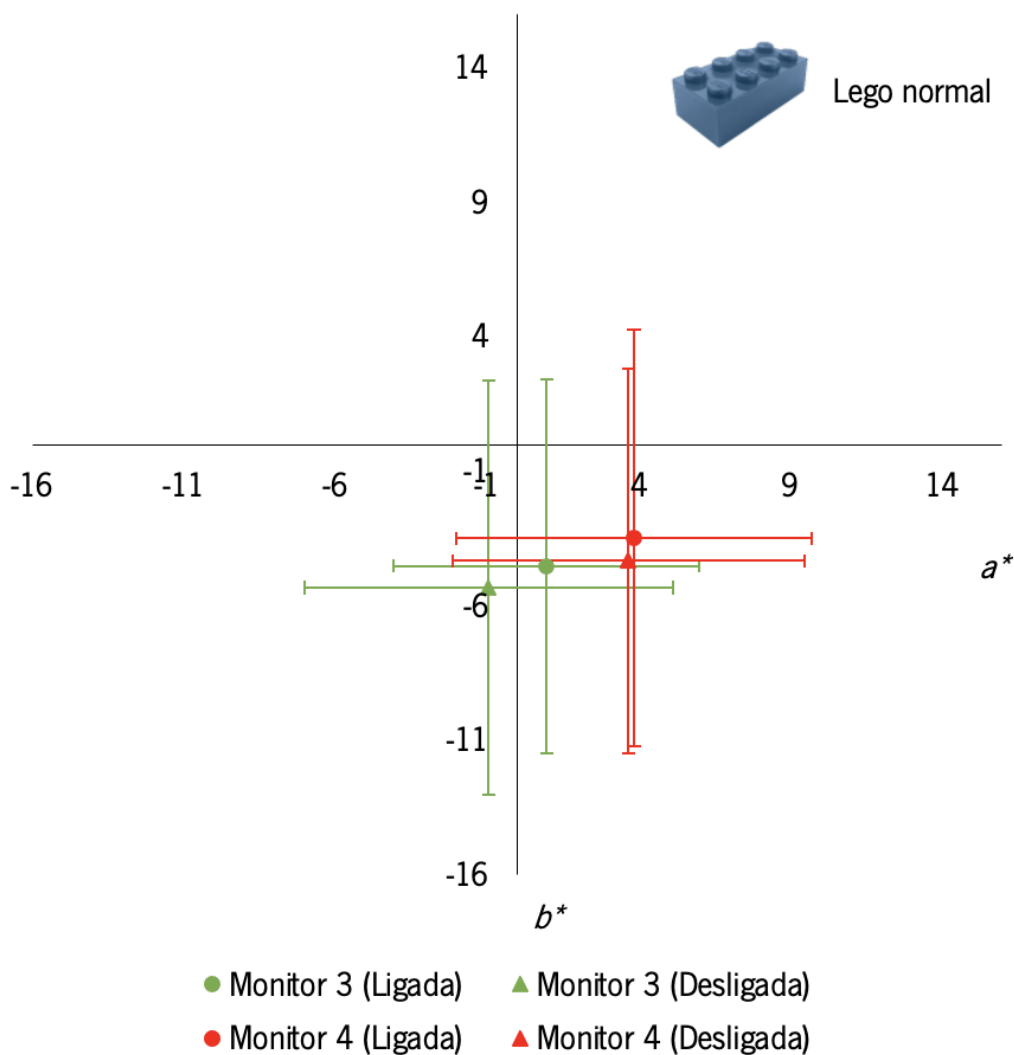
A Figura 49 mostra que para o estímulo face eidolon (estímulo amorfo) os dados correspondentes ao monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e desligada estão localizados no quadrante inferior direito (coordenada cromática  $a^*$  positiva e  $b^*$  negativa), o monitor 3 sob condição de iluminação ambiental ligada e desligada estão localizados no quadrante inferior esquerdo (coordenada cromática  $a^*$  negativa e  $b^*$  negativa). Os mesmos monitores para diferentes condições de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente aglomeradas, tendo estes em comum valores de  $a^*$  e  $b^*$  próximos. E monitores diferentes para a mesma condição de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente distantes.

Os resultados aqui apresentados mostram que existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de monitores para a mesma condição de iluminação ambiental e entre trocas de condições de iluminação ambiental para o mesmo monitor existem diferenças apenas em  $b^*$  para o monitor 4. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 7 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores e na Tabela 8 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) para  $b^*$  na troca de condição de iluminação ambiental para o monitor 4. Essas

diferenças podem ser constatadas na Figura 49 através das distâncias acromáticas associadas à diferença da troca de condições de iluminação ambiental e à troca de monitores, dado este efeito, denota-se ainda que existe uma menor distância para a troca de condição de iluminação ambiental no mesmo monitor e maior para a troca de monitores na mesma condição de iluminação ambiental.

- Estímulo lego normal:

O gráfico da Figura 50 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 3 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo lego normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 50** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

Na Tabela 9 e Tabela 10 estão representados os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos pela análise estatística. Os valores de  $p$  obtidos correspondem ao resultado do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t pareado. A Tabela 9 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon para as diferenças entre as trocas de monitores 3 e 4 e a Tabela 10 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t para as trocas das condições de iluminação ambiental. Valores inferiores a 0.05 indicam significância estatística, indicando que as condições são diferentes.

**Tabela 9** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.119$ (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.069$ (Wilcoxon)

**Tabela 10** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.096$ (Wilcoxon)
4		$p = 0.707$ (Teste-t)	$p = 0.188$ (Teste-t)

A Figura 50 mostra que para o estímulo lego normal (estímulo artificial) os dados correspondentes ao monitor 3 e 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada estão localizados no quadrante inferior direito (coordenada cromática  $a^*$  positiva e  $b^*$  negativa). Apenas o monitor 3 em condição de iluminação ambiental desligada está localizado no quadrante inferior esquerdo (coordenada  $a^*$  e  $b^*$  negativa). Os mesmos monitores para diferentes condições de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente aglomeradas, tendo estes em comum valores de  $a^*$  e  $b^*$  próximos, este efeito é mais evidente para o monitor 4. E monitores diferentes para a mesma condição de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente distantes.

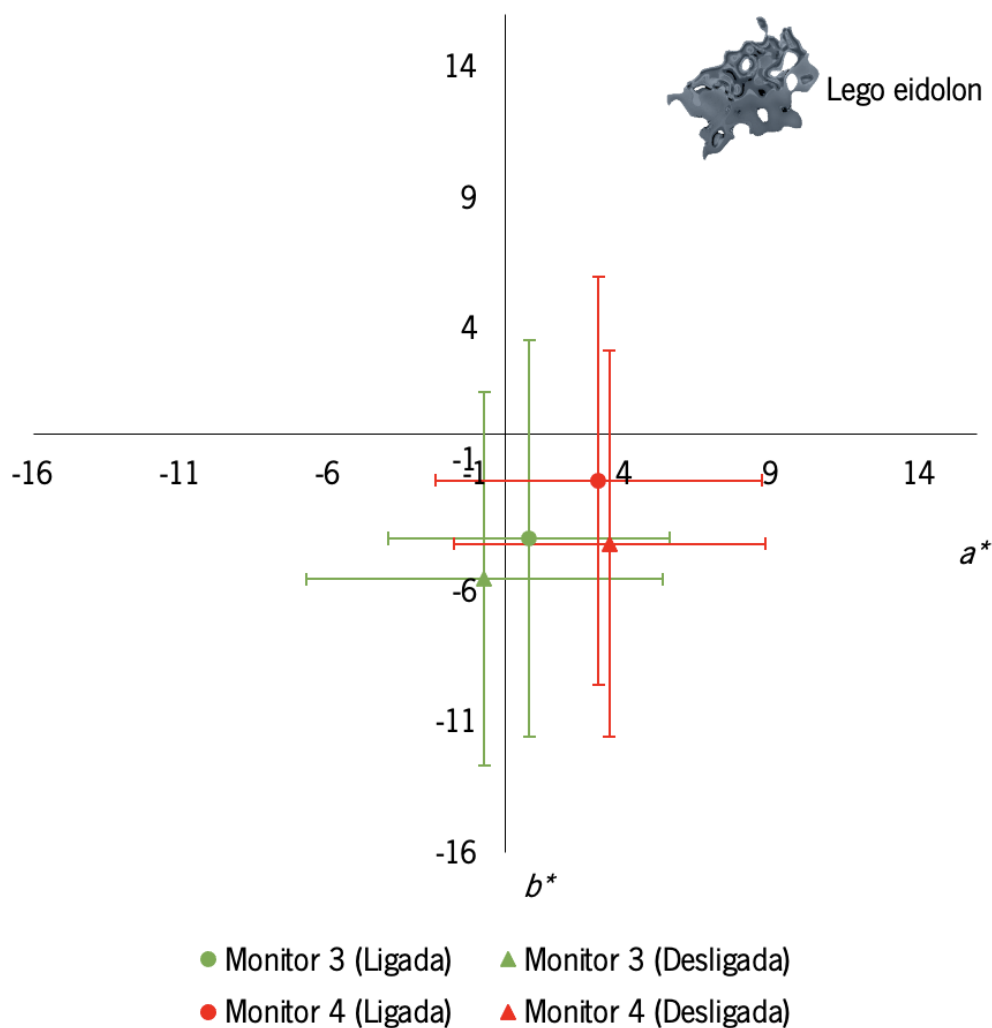
Os resultados aqui apresentados mostram que existem diferenças significativas, para a coordenada  $a^*$  na seleção do ponto acromático entre a troca de monitores para a mesma condição de iluminação ambiental ligada e desligada e entre trocas de condições de iluminação ambiental para o mesmo monitor existem diferenças apenas em  $a^*$  para o monitor 3. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 9 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) para  $a^*$  na troca de monitores e na Tabela 10 que indica que existe diferença significativa



( $p < 0,050$ , Wilcoxon) para  $a^*$  na troca de condição de iluminação ambiental para o monitor 3. Essas diferenças podem ser constatadas na Figura 50 através das distâncias acromáticas associadas à diferença da troca de condições de iluminação ambiental e à troca de monitores, dado este efeito, denota-se ainda que existe uma menor distância para a troca de condição de iluminação ambiental no mesmo monitor e maior para a troca de monitores na mesma condição de iluminação ambiental.

- Estímulo lego eidolon:

O gráfico da Figura 51 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 3 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo lego eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 51** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

Na Tabela 11 e Tabela 12 estão representados os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos pela análise estatística. Os valores de  $p$  obtidos correspondem ao resultado do teste estatístico de Wilcoxon. A Tabela 11 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon para as diferenças entre as trocas de monitores 3 e 4 e a Tabela 12 para as trocas das condições de iluminação ambiental. Valores inferiores a 0.05 indicam significância estatística, indicando que as condições são diferentes.

**Tabela 11** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.002^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.015^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 12** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	<b><math>p = 0.014^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.006^*</math></b> (Wilcoxon)
4		$p = 0.427$ (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

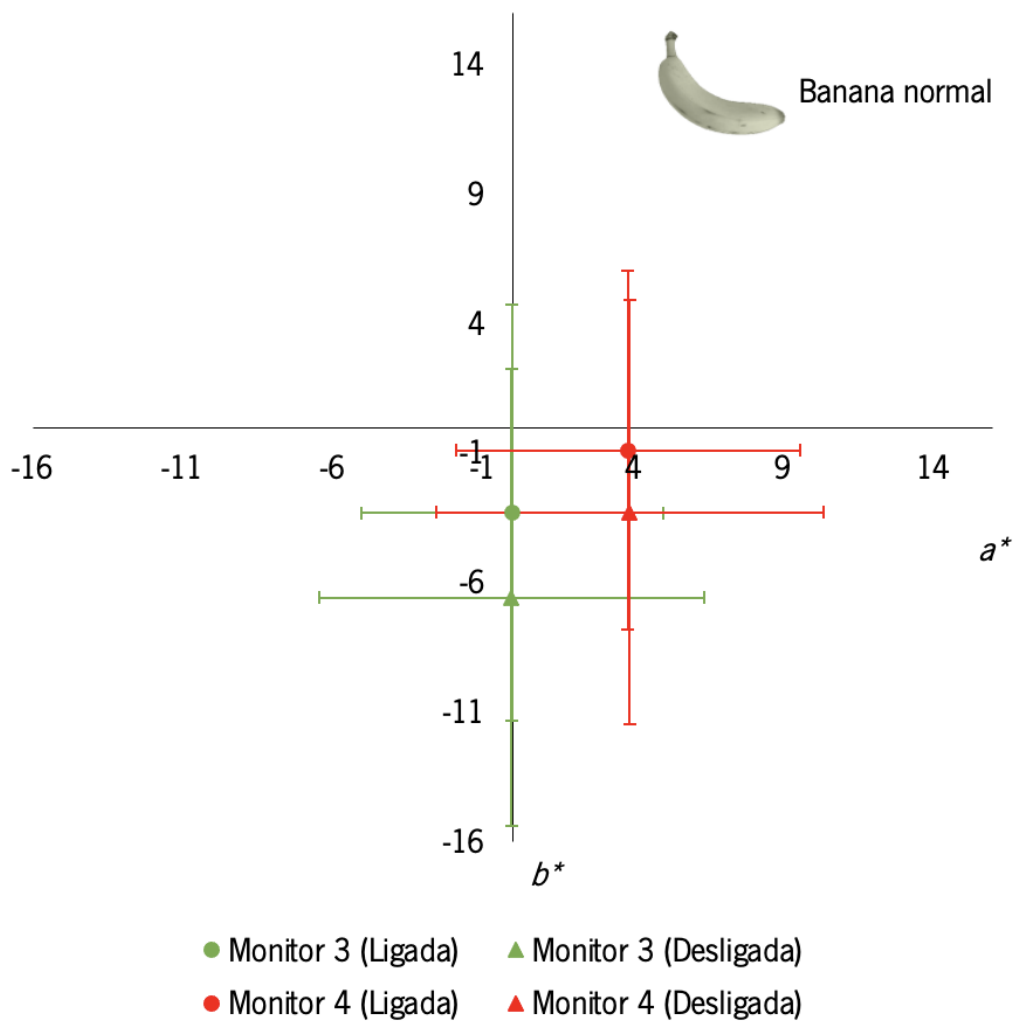
A Figura 51 mostra que para o estímulo lego eidolon (estímulo amorfo) os dados correspondentes ao monitor 3 e 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada estão localizados no quadrante inferior direito (coordenada cromática  $a^*$  positiva e  $b^*$  negativa). Apenas o monitor 3 em condição de iluminação ambiental desligada está localizado no quadrante inferior esquerdo (coordenada  $a^*$  e  $b^*$  negativa). Os mesmos monitores para diferentes condições de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente aglomeradas, tendo estes em comum valores de  $a^*$  e  $b^*$  próximos. E monitores diferentes para a mesma condição de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente distantes.

Os resultados aqui apresentados mostram que existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de monitores para a mesma condição de iluminação ambiental e entre trocas de condições de iluminação ambiental para o mesmo monitor à exceção do monitor 4 em valores de  $a^*$ . Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 11 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) para a troca de monitores e na Tabela 12 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) na troca de condição de iluminação ambiental expeto em  $a^*$  no monitor 4. Essas diferenças podem ser

constatadas na Figura 51 através das distâncias acromáticas associadas à diferença da troca de condições de iluminação ambiental e à troca de monitores, dado este efeito, denota-se ainda que existe uma menor distância para a troca de condição de iluminação ambiental no mesmo monitor e maior para a troca de monitores na mesma condição de iluminação ambiental.

- Estímulo banana normal:

O gráfico da Figura 52 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 3 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo banana normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 52** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

Na Tabela 13 e Tabela 14 estão representados os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos pela análise estatística. Os valores de  $p$  obtidos correspondem ao resultado do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t pareado. A Tabela 13 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t para as diferenças entre as trocas de monitores 3 e 4 e a Tabela 14 para as trocas das condições de iluminação ambiental. Valores inferiores a 0.05 indicam significância estatística, indicando que as condições são diferentes.

**Tabela 13** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p=0.004^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p=0.002^*</math></b> (Teste-t)
	Desligada	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p=0.063$ (Wilcoxon)

**Tabela 14** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	<b><math>p=0.016^*</math></b> (Wilcoxon)	$p=0.070$ (Wilcoxon)
4		$p=0.890$ (Teste-t)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Teste-t)

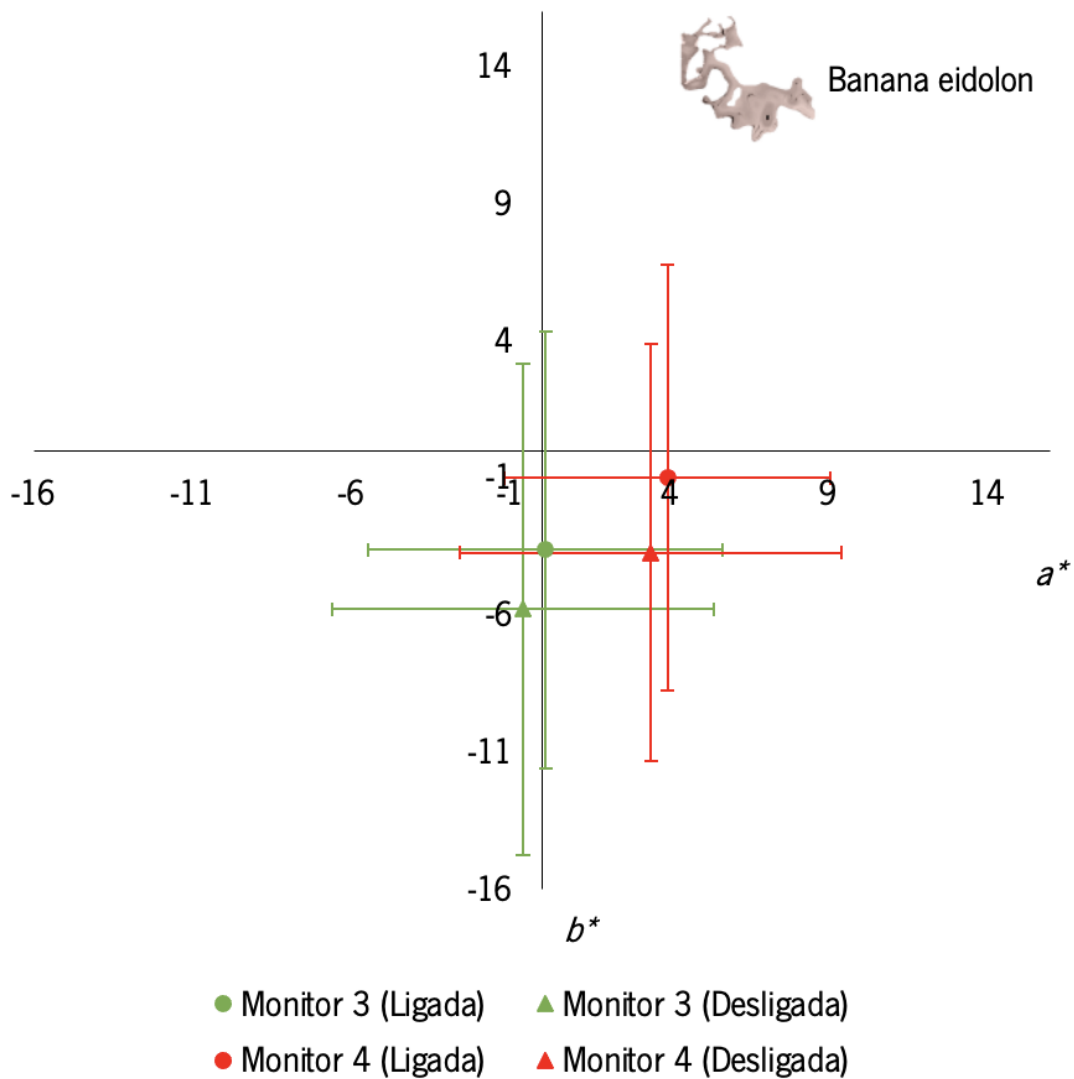
A Figura 52 mostra que para o estímulo banana normal (estímulo familiar) os dados correspondentes ao monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e desligada estão localizados no quadrante inferior direito (coordenada cromática  $a^*$  positiva e  $b^*$  negativa). O monitor 3 em condição de iluminação ambiental ligada e desligada estão localizados no quadrante inferior esquerdo (coordenada  $a^*$  e  $b^*$  negativa). Os mesmos monitores para diferentes condições de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente aglomeradas, tendo estes em comum valores de  $a^*$  e  $b^*$  próximos. E monitores diferentes para a mesma condição de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente distantes.

Os resultados aqui apresentados mostram que existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de monitores para a condição de iluminação ambiental ligada e apenas em  $a^*$  para condição de iluminação ambiental desligada. E entre trocas de condições de iluminação ambiental para o mesmo monitor existem diferenças apenas em  $a^*$  para o monitor 3 e em  $b^*$  para o monitor 4. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 13 que indica que existe diferença significativa ( $p<0,050$ , Teste-t) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores em condição de iluminação ambiental ligada e para  $a^*$  ( $p<0,050$ , Wilcoxon) em condição de iluminação ambiental desligada. A Tabela 14 indica que existe diferença

significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) para  $a^*$  na troca de condição de iluminação ambiental para o monitor 3 e para  $b^*$  ( $p < 0,050$ , Teste-t) para o monitor 4. Essas diferenças podem ser constatadas na Figura 52 através das distâncias acromáticas associadas à diferença da troca de condições de iluminação ambiental e à troca de monitores, dado este efeito, denota-se ainda que existe uma menor distância para a troca de condição de iluminação ambiental no mesmo monitor e maior para a troca de monitores na mesma condição de iluminação ambiental.

- Estímulo banana eidolon:

O gráfico da Figura 53 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 3 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo banana eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 53** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 3 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

Na Tabela 15 e Tabela 16 estão representados os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos pela análise estatística. Os valores de  $p$  obtidos correspondem ao resultado do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t pareado. A Tabela 15 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon para as diferenças entre as trocas de monitores 3 e 4 e a Tabela 16 mostra os resultados do teste estatístico de Wilcoxon e Teste-t para as trocas das condições de iluminação ambiental. Valores inferiores a 0.05 indicam significância estatística, indicando que as condições são diferentes.



**Tabela 15** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.004^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 16** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	$p = 0.189$ (Teste-t)	$p = 0.073$ (Teste-t)
4		$p = 0.375$ (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

A Figura 53 mostra que para o estímulo banana eidolon (estímulo amorfo) os dados correspondentes ao monitor 3 e 4 sob condição de iluminação ambiental ligada e o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada estão localizados no quadrante inferior direito (coordenada cromática  $a^*$  positiva e  $b^*$  negativa). Apenas o monitor 3 em condição de iluminação ambiental desligada está localizado no quadrante inferior esquerdo (coordenada  $a^*$  e  $b^*$  negativa). Os mesmos monitores para diferentes condições de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente aglomeradas, tendo estes em comum valores de  $a^*$  e  $b^*$  próximos. E monitores diferentes para a mesma condição de iluminação ambiental apresentam localizações relativamente distantes.

Os resultados aqui apresentados mostram que existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de monitores para a mesma condição de iluminação ambiental e entre trocas de condições de iluminação ambiental para o mesmo monitor existem diferenças apenas em  $b^*$  para o monitor 4. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 15 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores e na Tabela 16 que indica que existe diferença significativa ( $p < 0,050$ , Wilcoxon) para  $b^*$  na troca de condição de iluminação ambiental para o monitor 4. Essas diferenças podem ser constatadas na Figura 53 através das distâncias acromáticas associadas à diferença da troca de condições de iluminação ambiental e à troca de monitores, dado

este efeito, denota-se ainda que existe uma menor distância para a troca de condição de iluminação ambiental no mesmo monitor e maior para a troca de monitores na mesma condição de iluminação ambiental.

### 6.3 Influência das categorias de estímulos

- Estímulo disco:

Os resultados aqui apresentados mostram que não existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático do estímulo disco entre a troca de categorias para a mesma condição de iluminação ambiental no mesmo monitor. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 17 que indica que não existem diferenças significativa ( $p < 0,050$ ) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores em condição de iluminação ambiental ligada. O mesmo se verifica na Tabela 18 para a condição de iluminação ambiental desligada. Este resultado deve-se ao facto de não haver diferenças entre a categoria normal e eidolon do estímulo disco.

**Tabela 17** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.731$ (Wilcoxon)	$p=0.180$ (Wilcoxon)
4		$p=0.714$ (Wilcoxon)	$p=0.142$ (Wilcoxon)

**Tabela 18** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.616$ (Wilcoxon)	$p=0.221$ (Wilcoxon)
4		$p=0.493$ (Teste-t)	$p=0.149$ (Teste-t)

- Estímulo face:

Os resultados aqui apresentados mostram que não existem diferenças significativas, na coordenada  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de categorias do estímulo face para a condição de iluminação ambiental ligada no mesmo monitor, enquanto que para a coordenada  $a^*$  existe diferença. Para condição de iluminação ambiental desligada não existem diferenças tanto para  $a^*$  como para  $b^*$ . Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 19 que indica que não existem diferenças significativa ( $p < 0,050$ ) para  $b^*$  mas que existem diferenças em  $a^*$  ( $p > 0,050$ ) na troca de monitores em condição de iluminação ambiental ligada. A Tabela 20 mostra que não existem diferenças ( $p < 0,050$ ) em  $a^*$  e  $b^*$  em condição de iluminação ambiental desligada.

**Tabela 19** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	<b><math>p=0.002^*</math></b> (Teste-t)	$p=0.698$ (Teste-t)
4		<b><math>p=0.012^*</math></b> (Wilcoxon)	$p=0.063$ (Wilcoxon)

**Tabela 20** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.123$ (Wilcoxon)	$p=0.684$ (Wilcoxon)
4		$p=0.082$ (Wilcoxon)	$p=0.349$ (Wilcoxon)

- Estímulo Lego:

Os resultados aqui apresentados mostram que não existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de categorias do estímulo lego para a mesma condição de iluminação ambiental no mesmo monitor. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 21 que indica que não existem diferenças significativa

( $p < 0,050$ ) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores em condição de iluminação ambiental ligada. O mesmo se verifica na Tabela 22 para a condição de iluminação ambiental desligada.

**Tabela 21** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.374$ (Wilcoxon)	$p=0.371$ (Wilcoxon)
4		$p=0.149$ (Wilcoxon)	<b><math>p=0.005^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 22** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.593$ (Wilcoxon)	$p=0.773$ (Wilcoxon)
4		$p=0.765$ (Teste-t)	$p=0.845$ (Teste-t)

- Estímulo banana:

Os resultados aqui apresentados mostram que não existem diferenças significativas, tanto na coordenada  $a^*$  como na  $b^*$ , na seleção do ponto acromático entre a troca de categorias do estímulo banana para a mesma condição de iluminação ambiental no mesmo monitor. Tal facto pode ser verificado através da análise estatística presente na Tabela 23 que indica que não existem diferenças significativa ( $p < 0,050$ ) tanto para  $a^*$  como para  $b^*$  na troca de monitores em condição de iluminação ambiental ligada. O mesmo se verifica na Tabela 24 para a condição de iluminação ambiental desligada.

**Tabela 23** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.767$ (Teste-t)	$p=0.623$ (Teste-t)
4		$p=0.883$ (Wilcoxon)	$p=0.715$ (Wilcoxon)

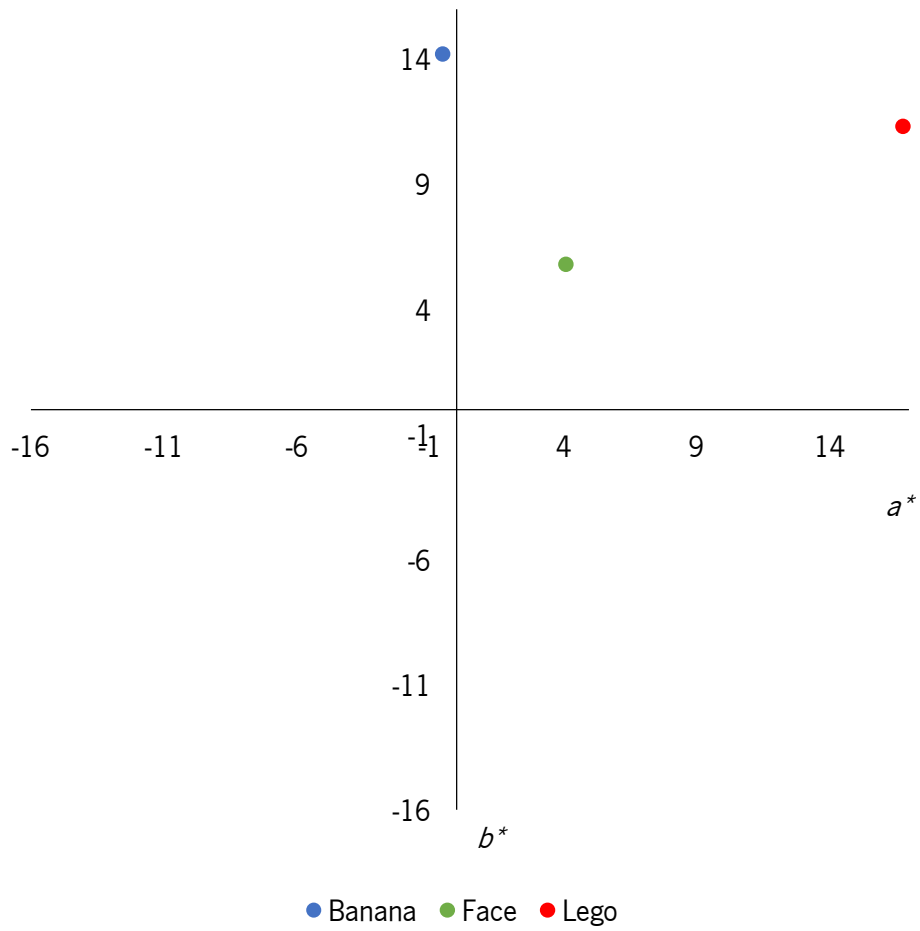
**Tabela 24** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.450$ (Wilcoxon)	$p=0.302$ (Wilcoxon)
4		$p=0.296$ (Wilcoxon)	$p=0.482$ (Wilcoxon)

#### 6.4 Estímulos originais

O gráfico da Figura 54 representa a média original de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada estímulo: estímulo banana representado a azul, estímulo face representado a verde e estímulo lego representado a vermelho. Nota: No decorrer da experiência a média dos estímulos foi sempre alterada, sendo que em nenhum dos ensaios a média dos estímulos correspondeu à sua cor original. Este gráfico mostra a cor original apenas dos estímulos banana, face e lego. Para o estímulo disco não existiu uma cor média original.

A Figura 54 mostra que os estímulos face e lego estão localizados no quadrante superior direito (coordenada cromática  $a^*$  e  $b^*$  positiva) e o estímulo banana está localizado no quadrante superior esquerdo (coordenada cromática  $a^*$  negativa e  $b^*$  positiva).



**Figura 54** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média original para os estímulos banana (representado a azul), face (representado a verde) e lego (representado a vermelho).

## **7. RESUMO DA DISCUSSÃO**

Para os diferentes estímulos verifica-se que existem diferenças na percepção da cor para a troca de monitores e na troca de condições de iluminação ambiental, no entanto, na troca de condições de iluminação ambiental verifica-se um maior ruído, ou seja, não existe uma sistematização quando foram comparados com os estímulos desconstruídos (eidolon) e construídos (normal) da mesma categoria, mas parece haver uma tendência para a diferença uma vez que para o estímulo de controlo (estímulo disco) verifica-se claramente a existência de diferenças para a troca de condições de iluminação ambiental. Seria necessário aumentar a base de dados de observadores para ajudar a classificar se a direção é no sentido da diferença ou da semelhança.

Os resultados aqui apresentados sugerem que a categoria do estímulo não influencia a seleção do ponto acromático. Alguns estudos (100)(131) sugerem que a cor é uma característica independente da informação sobre a forma e complexidade dos estímulos.

Maioritariamente existem diferenças na troca de monitores e na troca de condições de iluminação ambiental quer o estímulo seja eidolon ou normal. Estes resultados são consistente com trabalhos anteriores (132)(133)(134)(135) que mostram a percepção da cor é influenciada por diferentes tipos de monitores e por diferentes condições de iluminação ambiental.

Em comparação com o gráfico da Figura 54, os resultados aqui apresentados mostram os dados da média do respetivo estímulo ao ponto acromático encontram-se numa localização inversa ao da Figura 54, ou seja, numa direção oposta. Estes resultados sugerem que são usadas cores contrárias, em comparação à média original, de forma a anular a cor. Tal como em estudos anteriores (3)(136)(137) esta característica é verificada para o estímulo banana.

Apesar dos resultados aqui presentes foram também testados outros monitores não calibrados (monitor 1 – ver Anexo 4, e monitor 2 – ver Anexo 5) segundo os mesmos parâmetros. Verificou-se que os resultados foram equivalentes aos resultados aqui expostos.

## **8. CONCLUSÃO**

Existem diferenças significativas para todos os estímulos na troca de condições de iluminação ambiental quando o mesmo monitor é utilizado e na troca de monitores quando a mesma condição de iluminação ambiental é utilizada, ou seja, sem que haja alteração simultânea das duas condições de observação. Parece existir uma maior influência para a troca de condições de iluminação ambiental e não tanto para a troca de monitores.

Não há diferenças nas categorias de estímulos. Ou seja, os estímulos normais ou eidolons não influenciam a resposta ao ponto acromático. Desta forma, quando comparado com o disco, a complexidade espacial (forma) do estímulo não altera a resposta ao ponto acromático.



## **9. TRABALHO FUTURO**

Futuramente, com o objetivo em complementar as conclusões obtidas neste estudo, seria proveitoso realizar a mesma experiência, porém incluir diferentes iluminações com padrões espectrais diferentes e, inclusive filtros coloridos. Adicionalmente seria também interessante, não só, perceber qual o efeito do modo “Night Shift” dos monitores como também utilizar várias gamas de smartphones ou até monitores de várias dimensões. Estas particularidades iriam ajudar a perceber se influenciam a procura pelo ponto acromático e conseqüente percepção da cor por atributos físicos.

Para estudar a influência da percepção da cor ao nível psicofísico, seria igualmente interessante replicar esta experiência acrescentando estímulos faciais, por exemplo, com diferentes expressões, etnias e sexos. Acrescentar também, estímulos em cenários complexos.

Por último, seria igualmente promissor expandir o número amostral possibilitando não só uma maior diversidade cultural como também para verificar a existência de uma sistematização de resultados.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mao X, Zheng X, Wang R, Cheng H, Chen Y. Variation of LED Display Color Affected by Chromaticity and Luminance of LED Display Primary Colors. Puszynski K, editor. *Mathematical Problems in Engineering*. 27 de setembro de 2020;2020:1–14.
2. Kirchner E, van der Lans I, Perales E, Martínez-Verdú F. Improving color reproduction accuracy of an OLED-based mobile display. *Color Res Appl*. fevereiro de 2018;43(1):34–46.
3. Hansen T, Giesel M, Gegenfurtner KR. Chromatic discrimination of natural objects. *Journal of Vision*. 4 de janeiro de 2008;8(1):2.
4. Snell RS, Lemp MA. *Clinical anatomy of the eye*. Cambridge, MA: Blackwell Scientific Publications; 1989. 364 p.
5. Malhotra A, Minja FJ, Crum A, Burrowes D. *Ocular Anatomy and Cross-Sectional Imaging of the Eye*. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. fevereiro de 2011;32(1):2–13.
6. Schwartz SH, Baker&Taylor AXIS360. *Visual perception: a clinical orientation* [Internet]. 2015 [citado 6 de abril de 2022]. Disponível em: <http://qut.axis360.baker-taylor.com/Title?itemid=0014577120>
7. Marieb EN, Hoehn K. *Human anatomy & physiology*. 9th ed. Boston: Pearson; 2013. 1107 p.
8. Gollisch T, Meister M. Eye Smarter than Scientists Believed: Neural Computations in Circuits of the Retina. *Neuron*. janeiro de 2010;65(2):150–64.
9. Curcio CA, Sloan KR, Kalina RE, Hendrickson AE. Human photoreceptor topography. *J Comp Neurol*. 22 de fevereiro de 1990;292(4):497–523.
10. Goldstein E. B. *Sensation and Perception*. Em: 8th ed. Cengage Learning; 2010.
11. Solomon SG, Lennie P. The machinery of colour vision. *Nat Rev Neurosci*. abril de 2007;8(4):276–86.
12. Kennedy B, Malicki J. What drives cell morphogenesis: A look inside the vertebrate photoreceptor. *Dev Dyn*. setembro de 2009;238(9):2115–38.

13. Zaidi Q, Conway B. Steps towards neural decoding of colors. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. dezembro de 2019;30:169–77.
14. Ungerleider LG, Bell AH. Uncovering the visual “alphabet”: Advances in our understanding of object perception. *Vision Research*. abril de 2011;51(7):782–99.
15. Shevell SK, Kingdom FAA. Color in Complex Scenes. *Annu Rev Psychol*. 1 de janeiro de 2008;59(1):143–66.
16. Berthier M, Garcin V, Prencipe N, Provenzi E. The relativity of color perception. *Journal of Mathematical Psychology*. agosto de 2021;103:102562.
17. Brewer AA, Liu J, Wade AR, Wandell BA. Visual field maps and stimulus selectivity in human ventral occipital cortex. *Nat Neurosci*. 1 de agosto de 2005;8(8):1102–9.
18. Moore T, Zirnsak M. Neural Mechanisms of Selective Visual Attention. *Annu Rev Psychol*. 3 de janeiro de 2017;68(1):47–72.
19. Hunt RWG, Pointer MR. *Measuring Colour*, 4th ed. John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
20. Kelber A, Yovanovich C, Olsson P. Thresholds and noise limitations of colour vision in dim light. *Phil Trans R Soc B*. 5 de abril de 2017;372(1717):20160065.
21. Benjamin WJ, Borish IM, editores. *Borish’s clinical refraction*. 2nd ed. St. Louis Mo: Butterworth Heinemann/Elsevier; 2006. 1694 p.
22. Additive Methods. Em: *The Reproduction of Colour* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2005 [citado 1 de janeiro de 2023]. p. 18–24. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470024275.ch3>
23. Wright WD. A trichromatic colorimeter with spectral primaries. *Trans Opt Soc*. maio de 1928;29(5):225–42.
24. CIE Standard Colorimetric System. Em: *Colorimetry* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2006 [citado 4 de fevereiro de 2022]. p. 63–114. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470094745.ch3>
25. Colorimetry. Em: *Color Appearance Models* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd;

2013 [citado 4 de fevereiro de 2022]. p. 56–84. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118653128.ch3>

26. Wyszecki G, Stiles WS. Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae. 2nd ed. New York: Wiley; 1982. 950 p. (The Wiley series in pure and applied optics).

27. Schanda J, International Commission on Illumination, editores. Colorimetry: understanding the CIE system. [Vienna, Austria]: Hoboken, N.J: CIE/Commission internationale de l'éclairage; Wiley-Interscience; 2007. 459 p.

28. Aldaba MA, Linhares JMM, Pinto PD, Nascimento SMC, Amano K, Foster DH. Visual sensitivity to color errors in images of natural scenes. *Vis Neurosci.* maio de 2006;23(3–4):555–9.

29. Xu H, Yaguchi H, Shioiri S. Correlation between visual and colorimetric scales ranging from threshold to large color difference. *Color Res Appl.* outubro de 2002;27(5):349–59.

30. Ohta N. Correspondence Between CIELAB and CIELUV Color Differences. *Color Res Appl.* 1977;2(4):178–82.

31. Seshadri J, Christensen J, Lakshminarayanan V, Bassi CJ. Evaluation of the New Web-Based “Colour Assessment and Diagnosis” Test. *Optometry and Vision Science.* outubro de 2005;82(10):882–5.

32. Dain SJ. Clinical colour vision tests. *Clinical and Experimental Optometry.* 1 de julho de 2004;87(4–5):276–93.

33. Mollon JD. The Origins of Modern Color Science. Em: *The Science of Color* [Internet]. Elsevier; 2003 [citado 6 de abril de 2022]. p. 1–39. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444512512500027>

34. Visual Appreciation. Em: *The Reproduction of Colour* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2005 [citado 1 de janeiro de 2023]. p. 31–46. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470024275.ch5>

35. Witzel C, Gegenfurtner KR. Color Perception: Objects, Constancy, and Categories. *Annu Rev Vis Sci.* 15 de setembro de 2018;4(1):475–99.

36. Granzier JJM, Gegenfurtner KR. Effects of Memory Colour on Colour Constancy for Unknown Coloured Objects. *i-Perception*. abril de 2012;3(3):190–215.
37. Norman LJ, Akins K, Heywood CA, Kentridge RW. Color Constancy for an Unseen Surface. *Current Biology*. dezembro de 2014;24(23):2822–6.
38. Ma R, Kawamoto K ichiro, Shinomori K. Color constancy of color-deficient observers under illuminations defined by individual color discrimination ellipsoids. *J Opt Soc Am A*. 1 de março de 2016;33(3):A283.
39. Webster MA, Leonard D. Adaptation and perceptual norms in color vision. *J Opt Soc Am A*. 1 de novembro de 2008;25(11):2817.
40. Color Perception: Phenomena. Em: Color [Internet]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2005 [citado 27 de agosto de 2022]. p. 37–52. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0471687448.ch4>
41. The Colour Triangle. Em: The Reproduction of Colour [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2005 [citado 1 de janeiro de 2023]. p. 68–91. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470024275.ch7>
42. Kohn A. Visual Adaptation: Physiology, Mechanisms, and Functional Benefits. *Journal of Neurophysiology*. maio de 2007;97(5):3155–64.
43. Sáenz C, Hernández B, Beriain MJ, Lizaso G. Meat color in retail displays with fluorescent illumination. *Color Res Appl*. agosto de 2005;30(4):304–11.
44. Spectral Colour Reproduction. Em: The Reproduction of Colour [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2005 [citado 1 de janeiro de 2023]. p. 1–8. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/0470024275.ch1>
45. Wu CC, Wu CF, Hung CC, Huang WS, Cheng PJ. Effects of color temperature and luminance of LEDs on color judgments involving various printing materials: Effects of LEDs on color judgements. *Jnl Soc Info Display*. março de 2016;24(3):137–43.
46. Veitch JA, Whitehead LA, Mossman M, Pilditch TD. Chromaticity-matched but spectrally different light source effects on simple and complex color judgments. *Color Res Appl*. junho de

2014;39(3):263–74.

47. Kramer G, Schierz C. Color discrimination subject to illuminant and color transition. *Color Res Appl.* outubro de 2016;41(5):457–67.

48. Chae Y. Color appearance shifts depending on surface roughness, illuminants, and physical colors. *Sci Rep.* dezembro de 2022;12(1):1371.

49. Yang EM, Kang HM, Kim CS, Pak CH. Dependence of the color appearance of some flowers on illumination. *Color Res Appl.* fevereiro de 2014;39(1):28–36.

50. Ishida T. Color identification data obtained from photopic to mesopic illuminance levels. *Color Res Appl.* agosto de 2002;27(4):252–9.

51. Kulappurath SK, Shamey R. The effect of luminance on the perception of small color differences. *Color Res Appl.* outubro de 2021;46(5):929–42.

52. Yang M. Investigating seasonal color change in the environment by color analysis and information visualization. *Color Res Appl.* junho de 2020;45(3):503–11.

53. Dehesa-González M, Rosales-Silva AJ, Gallegos-Funes FJ, Kinani JMV, Ramos-Díaz E. Lighting source classification applied in color images to contrast enhancement. *Color Res Appl.* outubro de 2020;45(5):825–36.

54. Choi SY, Luo MR, Pointer MR, Li C, Rhodes PA. Changes in colour appearance of a large display in various surround ambient conditions. *Color Res Appl.* junho de 2010;35(3):200–12.

55. Komatsubara H, Kobayashi S, Nasuno N, Nakajima Y, Kumada S. Visual color matching under various viewing conditions. *Color Res Appl.* dezembro de 2002;27(6):399–420.

56. Akamine H, Morishita J, Matsuyama M, Nakamura Y, Hashimoto N, Toyofuku F. Chromaticity and correlated color temperature of the white point in medical liquid-crystal display: White point in medical liquid-crystal display. *Med Phys.* 27 de julho de 2012;39(8):5127–35.

57. Foster DH, Amano K, Nascimento SMC, Foster MJ. Frequency of metamerism in natural scenes. *J Opt Soc Am A.* 1 de outubro de 2006;23(10):2359.

58. Akbarinia A, Gegenfurtner KR. Color metamerism and the structure of illuminant space. *J Opt*

Soc Am A. 1 de abril de 2018;35(4):B231.

59. Mizokami Y. Three-dimensional stimuli and environment for studies of color constancy. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. dezembro de 2019;30:217–22.

60. Nascimento SMC, Foster DH. Relational color constancy in achromatic and isoluminant images. *J Opt Soc Am A*. 1 de fevereiro de 2000;17(2):225.

61. Arend L, Reeves A. Simultaneous color constancy. *J Opt Soc Am A*. 1 de outubro de 1986;3(10):1743.

62. Foster DH. Color constancy. *Vision Research*. abril de 2011;51(7):674–700.

63. Olkkonen M, Hansen T, Gegenfurtner KR. Categorical color constancy for simulated surfaces. *Journal of Vision*. 1 de novembro de 2009;9(12):6–6.

64. Hughes JF. *Computer Graphics: Principles and Practice*. :1262.

65. Brookshear JG, Brylow D. *Computer Science: An Overview*. 12th ed. Pearson Education Limited; 2015.

66. Russell SJ, Norvig P, Davis E. *Artificial intelligence: a modern approach*. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall; 2010. 1132 p. (Prentice Hall series in artificial intelligence).

67. Angel E, Shreiner D. *Interactive Computer Graphics: a top-down approach with shader-based OpenGL*. 6th ed. Pearson Education;

68. Anwar AR, Sajjad MT, Johar MA, Hernández-Gutiérrez CA, Usman M, Łepkowski SP. Recent Progress in Micro-LED-Based Display Technologies. *Laser & Photonics Reviews*. junho de 2022;16(6):2100427.

69. Masaoka K. Analysis of standard chromaticity gamut area metrics: Gamut area metrics. *Jnl Soc Info Display*. dezembro de 2016;24(12):741–6.

70. Yoonessi A, Kingdom FAA. Faithful representation of colours on a CRT monitor. *Color Res Appl*. outubro de 2007;32(5):388–93.

71. Neri DF. COLOR CRT CHARACTERIZATION PRESENTED SOLELY IN TERMS OF THE CIE

SYSTEM'. Perceptual and Motor Skills. 1990 :14.

72. Chorin MB, Eliav D, Roth S, Pagi A, Ben-David I. 21.3: New Metric for Display Color Gamut Evaluation. SID Symposium Digest of Technical Papers. maio de 2007;38(1):1053–6.

73. Lee VW, Twu N, Kymissis I. Micro-LED Technologies and Applications. Information Display. novembro de 2016;32(6):16–23.

74. Hsiang E, Yang Z, Yang Q, Lan Y, Wu S. Prospects and challenges of mini-LED, OLED, and micro-LED displays. J Soc Info Display. junho de 2021;29(6):446–65.

75. Day EA, Taplin L, Berns RS. Colorimetric characterization of a computer-controlled liquid crystal display. Color Res Appl. outubro de 2004;29(5):365–73.

76. Su W. Printed Organic Light Emission and Display. Em: Printed Electronics [Internet]. Singapore: John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd; 2016 [citado 15 de abril de 2023]. p. 251–86. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118920954.ch7>

77. Zhan H, Xu Z, Tian C, Wang Y, Chen M, Kim W, et al. Achieving standard wide color gamut by tuning LED backlight and color filter spectrum in LCD: sRGB reaches 100% by tuning BLU and CF spectrum. Jnl Soc Info Display. novembro de 2014;22(11):545–51.

78. Chen HW, Lee JH, Lin BY, Chen S, Wu ST. Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and future perspectives. Light Sci Appl. 1 de dezembro de 2017;7(3):17168–17168.

79. OLED Display Module. Em: OLED Displays [Internet]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2012 [citado 14 de abril de 2023]. p. 69–103. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118173053.ch4>

80. Han S, Kiselev FD, Mlejnek M. 75-2: Quantum Dots on Color Filter LCD Design Study. SID Symposium Digest of Technical Papers. junho de 2019;50(1):1067–70.

81. Langendijk EHA. A novel spectrum-sequential display design with a wide color gamut and reduced color breakup. J Soc Inf Display. 2007;15(4):261.

82. Wu Y, Ma J, Su P, Zhang L, Xia B. Full-Color Realization of Micro-LED Displays. Nanomaterials.



10 de dezembro de 2020;10(12):2482.

83. Huang Y, Hsiang EL, Deng MY, Wu ST. Mini-LED, Micro-LED and OLED displays: present status and future perspectives. *Light Sci Appl*. 18 de junho de 2020;9(1):105.
84. Hong G, Gan X, Leonhardt C, Zhang Z, Seibert J, Busch JM, et al. A Brief History of OLEDs—Emitter Development and Industry Milestones. *Adv Mater*. março de 2021;33(9):2005630.
85. Geffroy B, le Roy P, Prat C. Organic light-emitting diode (OLED) technology: materials, devices and display technologies. *Polym Int*. junho de 2006;55(6):572–82.
86. Templier F. Overview of OLED Displays. Em: Templier F, editor. *OLED Microdisplays* [Internet]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2014 [citado 14 de abril de 2023]. p. 35–51. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119004745.ch2>
87. Choi S, Jang Y, Kim K, Yun Y, Lee H, Jang J, et al. 53.4: Color Optimization for OLED Displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. junho de 2014;45(1):778–80.
88. OLED Display. Em: *OLED Displays and Lighting* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2017 [citado 14 de abril de 2023]. p. 127–46. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119040477.ch8>
89. Liu J, Chen CT, Chen CH. Introduction to Organic Light-Emitting Diode (OLED). Em: Kriss M, editor. *Handbook of Digital Imaging* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2015 [citado 15 de abril de 2023]. p. 1–49. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118798706.hdi022>
90. Maindron T. OLED: Theory and Principles. Em: Templier F, editor. *OLED Microdisplays* [Internet]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 2014 [citado 14 de abril de 2023]. p. 1–33. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781119004745.ch1>
91. Smith E, Heckaman RL, Lang K, Penczek J, Bergquist J. Measuring the color capability of modern display systems. *J Soc Inf Display*. junho de 2020;28(6):548–56.
92. Morovic J, Sun L. How Different are Colour Gamuts in Cross–Media Colour Reproduction? :15.
93. Kimura A, Wada Y, Masuda T, Goto S ichi, Tsuzuki D, Hibino H, et al. Memory Color Effect

Induced by Familiarity of Brand Logos. Bruce A, editor. PLoS ONE. 10 de julho de 2013;8(7):e68474.

94. Witzel C. An Easy Way to Show Memory Color Effects. *i-Perception*. outubro de 2016;7(5):204166951666375.

95. Mitterer H, Horschig JM, Müsseler J, Majid A. The influence of memory on perception: It's not what things look like, it's what you call them. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2009;35(6):1557–62.

96. Smet KAG, Lin Y, Nagy BV, Németh Z, Duque-Chica GL, Quintero JM, et al. Cross-cultural variation of memory colors of familiar objects. *Opt Express*. 29 de dezembro de 2014;22(26):32308.

97. Hansen T, Olkkonen M, Walter S, Gegenfurtner KR. Memory modulates color appearance. *Nat Neurosci*. novembro de 2006;9(11):1367–8.

98. Bartleson CJ. Memory Colors of Familiar Objects\*. *J Opt Soc Am*. 1 de janeiro de 1960;50(1):73.

99. Aston S, Hurlbert A. What #theDress reveals about the role of illumination priors in color perception and color constancy. *Journal of Vision*. 9 de agosto de 2017;17(9):4.

100. Siple P, Springer RM. Memory and preference for the colors of objects. *Perception & Psychophysics*. julho de 1983;34(4):363–70.

101. Ling Y, Hurlbert A. Role of color memory in successive color constancy. *J Opt Soc Am A*. 1 de junho de 2008;25(6):1215.

102. Webster MA, MacLeod DIA. Visual adaptation and face perception. *Phil Trans R Soc B*. 12 de junho de 2011;366(1571):1702–25.

103. Tsao DY, Livingstone MS. Mechanisms of Face Perception. *Annu Rev Neurosci*. 1 de julho de 2008;31(1):411–37.

104. Pascalis O, de Martin de Viviés X, Anzures G, Quinn PC, Slater AM, Tanaka JW, et al. Development of face processing: Development of face processing. *WIREs Cogn Sci*. novembro de 2011;2(6):666–75.

105. Little AC, Jones BC, DeBruine LM. The many faces of research on face perception. *Phil Trans R*

Soc B. 12 de junho de 2011;366(1571):1634–7.

106. Or CCF, Retter TL, Rossion B. The contribution of color information to rapid face categorization in natural scenes. *Journal of Vision*. 21 de maio de 2019;19(5):20.

107. Johnston RA, Edmonds AJ. Familiar and unfamiliar face recognition: A review. *Memory*. julho de 2009;17(5):577–96.

108. Benitez-Quiroz CF, Srinivasan R, Martinez AM. Facial color is an efficient mechanism to visually transmit emotion. *Proc Natl Acad Sci USA*. 3 de abril de 2018;115(14):3581–6.

109. Shimakura H, Sakata K. Color criteria of facial skin tone judgment. *Vision Research*. abril de 2022;193:108011.

110. Minami T, Nakajima K, Nakauchi S. Effects of Face and Background Color on Facial Expression Perception. *Front Psychol*. 21 de junho de 2018;9:1012.

111. Peromaa T, Olkkonen M. Red color facilitates the detection of facial anger — But how much? Osorio D, editor. *PLoS ONE*. 17 de abril de 2019;14(4):e0215610.

112. Yip AW, Sinha P. Contribution of Color to Face Recognition. *Perception*. agosto de 2002;31(8):995–1003.

113. Dupuis-Roy N, Faghel-Soubeyrand S, Gosselin F. Time course of the use of chromatic and achromatic facial information for sex categorization. *Vision Research*. abril de 2019;157:36–43.

114. Dunham Y, Stepanova EV, Dotsch R, Todorov A. The development of race-based perceptual categorization: skin color dominates early category judgments. *Dev Sci*. maio de 2015;18(3):469–83.

115. Stepanova EV, Strube MJ. Making of a Face: Role of Facial Physiognomy, Skin Tone, and Color Presentation Mode in Evaluations of Racial Typicality. *The Journal of Social Psychology*. fevereiro de 2009;149(1):66–81.

116. Vera Cruz G. The Impact of Face Skin Tone vs. Face Symmetry on Perceived Facial Attractiveness. *The Journal of General Psychology*. 3 de abril de 2018;145(2):183–98.

117. Stepanova EV, Strube MJ. Attractiveness as a Function of Skin Tone and Facial Features: Evidence from Categorization Studies. *The Journal of General Psychology*. 2 de janeiro de

2018;145(1):1–20.

118. Foster DH, Amano K. Hyperspectral imaging in color vision research: tutorial. *J Opt Soc Am A*. 1 de abril de 2019;36(4):606.

119. Chakrabarti A, Zickler T. Statistics of real-world hyperspectral images. Em: *CVPR 2011* [Internet]. Colorado Springs, CO, USA: IEEE; 2011 [citado 2 de maio de 2022]. p. 193–200. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5995660/>

120. Ennis R, Schiller F, Toscani M, Gegenfurtner KR. Hyperspectral database of fruits and vegetables. *J Opt Soc Am A*. 1 de abril de 2018;35(4):B256.

121. Ono S. Snapshot multispectral imaging using a pixel-wise polarization color image sensor. *Opt Express*. 9 de novembro de 2020;28(23):34536.

122. Ahmadi SBB, Nanekaran YA, Layazali S. Review on Hyper-spectral Imaging System. 2013;4(5):6.

123. Amigo JM, Babamoradi H, Elcoroaristizabal S. Hyperspectral image analysis. A tutorial. *Analytica Chimica Acta*. outubro de 2015;896:34–51.

124. Arad B, Ben-Shahar O. Sparse Recovery of Hyperspectral Signal from Natural RGB Images. Em: Leibe B, Matas J, Sebe N, Welling M, editores. *Computer Vision – ECCV 2016* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2016 [citado 22 de agosto de 2022]. p. 19–34. (Lecture Notes in Computer Science; vol. 9911). Disponível em: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-46478-7\\_2](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-46478-7_2)

125. Yadav D, Arora MK, Tiwari KC, Ghosh JK. Identification of most useful spectral ranges in improvement of target detection using hyperspectral data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. dezembro de 2019;22(3):347–57.

126. Aggarwal LtP, Papay FA. Applications of Multispectral and Hyperspectral Imaging in Dermatology. *Experimental Dermatology*. 7 de junho de 2022;exd.14624.

127. Dusselaar R, Paul M. Hyperspectral image compression approaches: opportunities, challenges, and future directions: discussion. *J Opt Soc Am A*. 1 de dezembro de 2017;34(12):2170.

128. Nascimento SMC, Ferreira FP, Foster DH. Statistics of spatial cone-excitation ratios in natural scenes. *J Opt Soc Am A*. 1 de agosto de 2002;19(8):1484.
129. Koenderink J, Valsecchi M, van Doorn A, Wagemans J, Gegenfurtner K. Eidolons: Novel stimuli for vision research. *Journal of Vision*. 3 de março de 2017;17(2):7.
130. Experiência psicofísica - link de acesso [Internet]. Disponível em: [http://www.linhares.eu/webCVT/web\\_colour\\_exp\\_inform\\_consent.html](http://www.linhares.eu/webCVT/web_colour_exp_inform_consent.html)
131. Hsieh TJT. Multiple roles of color information in the perception of icon-type images. *Color Res Appl*. dezembro de 2017;42(6):740–52.
132. Tseng FY, Chao CJ, Feng WY, Hwang SL. Assessment of Human Color Discrimination Based on Illuminant Color, Ambient Illumination and Screen Background Color for Visual Display Terminal Workers. *INDUSTRIAL HEALTH*. 2010;48(4):438–46.
133. Wang AH, Kuo HT, Jeng SC. Effects of ambient illuminance on users' visual performance using various electronic displays. *J Soc Inf Display*. 2009;17(8):665.
134. Peng R, Cao M, Zhai Q, Luo MR. White appearance and chromatic adaptation on a display under different ambient lighting conditions. *Color Res Appl*. outubro de 2021;46(5):1034–45.
135. Choi K, Kim T, Chang J, Suk HJ. True White Point for Television Screens Across Different Viewing Conditions. *IEEE Trans Consumer Electron*. agosto de 2018;64(3):292–300.
136. Hansen T, Olkkonen M, Walter S, Gegenfurtner KR. Memory modulates color appearance. *Nat Neurosci*. novembro de 2006;9(11):1367–8.
137. Olkkonen M, Hansen T, Gegenfurtner KR. Color appearance of familiar objects: Effects of object shape, texture, and illumination changes. *Journal of Vision*. 26 de maio de 2008;8(5):13.

## 11. ANEXOS

### Anexo 1 Consentimento informado aos voluntários



#### CONSENTIMENTO INFORMADO E ESCLARECIMENTO EXPERIMENTAL AOS VOLUNTÁRIOS

**Estudo:** A influência de monitores e condições de iluminação ambiental na percepção da cor de objetos

**Responsável:** João Manuel Maciel Linhares ([jlinares@fisica.uminho.pt](mailto:jlinares@fisica.uminho.pt))

**Investigador:** Cátia Isabel Ferreira Magalhães ([catiafmagalhaes38@gmail.com](mailto:catiafmagalhaes38@gmail.com))

Este documento tem como fim o esclarecimento para a execução do procedimento a seguir na realização deste estudo experimental e da natureza do mesmo, bem como, a obtenção do seu consentimento informado de acordo com a Declaração de Helsínquia.

Sempre que achar que algo não está explícito, por favor, questione. Apenas se concordar deverá assinar este documento. Apelo à leitura cuidadosa das informações que se seguem.

Esta experiência tem como objetivo estudar a influência do tipo de monitor e das condições de iluminação ambiental na percepção da cor de imagens digitais. Para isso serão apresentadas múltiplas imagens de categorias diferentes em quatro monitores diferentes com e sem luz ambiental.

Uma vez que a experiência será repetida em diferentes condições ambientais e de forma aleatória, a sua participação será dividida em duas sessões.

Na primeira sessão a experiência será realizada sem qualquer tipo de iluminação ambiental, ou seja, apenas os estímulos visuais dos monitores serão visíveis. A segunda sessão será realizada com iluminação ambiental.

Esta é uma experiência não invasiva, não tendo por isso qualquer risco que possa comprometer a saúde dos observadores.

A participação neste estudo é voluntária, tendo o observador o direito de desistir livremente sem que seja penalizado.

Será garantida a confidencialidade e o anonimato de todos os observadores. Os dados pessoais e os dados científicos serão cruzados através de uma chave alfanumérica individual a qual apenas os investigadores envolvidos têm acesso.

Os dados obtidos serão apenas utilizados para fins científicos e não comerciais.

Toda a experiência será realizada no Laboratório da Cor do Centro de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho.

Eu, \_\_\_\_\_, declaro que:

- Obtive o conhecimento de todos os aspetos relevantes da experiência a ser realizada;
- Tive oportunidade de questionar presencialmente o investigador, tendo sido respondido de forma satisfatória;
- Entendo que posso recusar a qualquer momento a participação ou continuidade no estudo sem quaisquer consequências;
- Autorizo que todos os dados fornecidos sejam publicados de forma anónima com os fins científicos.

Braga, de \_\_\_\_\_ de 202

Assinatura:

## Anexo 2 Instruções

### Instruções

- Antes de começar a experiência, seguir as indicações e selecionar as opções que surgem no ecrã.
- Para começar a experiência clique em “continue to experiment”.
- De seguida o monitor vai-se transformar em full screen (clique na tecla space bar) e aparecerá uma imagem.
- Mova o rato continuamente e verá que a imagem muda de cor.
- Procure retirar toda a cor da imagem, ou seja, encontre a imagem mais cinzento possível.
- Quando encontrar a imagem sem cor, mantenha a posição do rato clicando no botão direito do rato para avançar para a próxima imagem.
- Repita este processo até a experiência terminar.
- Quando a experiência terminar aparecerá um aviso, onde será solicitado a facultar o seu email (opcional) – aguardar até investigador intervir.

## Protocolo experimental

### Pré-preparação:

- Realizar marcações e anotar no calendário "COLOUR SCIENCE LAB";
- Criar tabela de randomização de condições para cada observador.

### 30 min antes da experiência:

- Averiguar montagem:
  - Ligar todos os equipamentos necessários (imagem dinâmica a decorrer);
  - Medir intensidade luminosa utilizando o luxímetro;
  - Distâncias:  
Display++ = 1m | iMac = 59.3 cm | MacBook = 43.5 cm | Samsung = ?

### Antes da experiência:

- Abrir a experiência:
  - iMac, MacBook, Samsung\* – utilização do link (browser: safari) (\*ligar a MacBook via cabo a monitor e rato)
  - Display++ - Pasta: find\_gray > Ficheiro: find\_gray\_CM
- Assinatura do consentimento informado pelo observador;
- Sentar observador **comodamente** na **devida posição** em frente ao monitor para começar a experiência;
- Leitura do procedimento experimental (Instruções) ao observador.
- *Colocar na porta o aviso "Do not turn on the lights";*
- *Desligar todas as luzes e fechar cortinas;*
- *Proceder à adaptação ao escuro do observador ≈5 minutos.*

### Durante a experiência:

- O observador seleciona o ponto acromático através do movimento habitual do rato do respetivo monitor (ir vigiando como o observador responde e verificar se o estímulo está a ser bem-apresentado, entre outros)

### Depois da experiência:

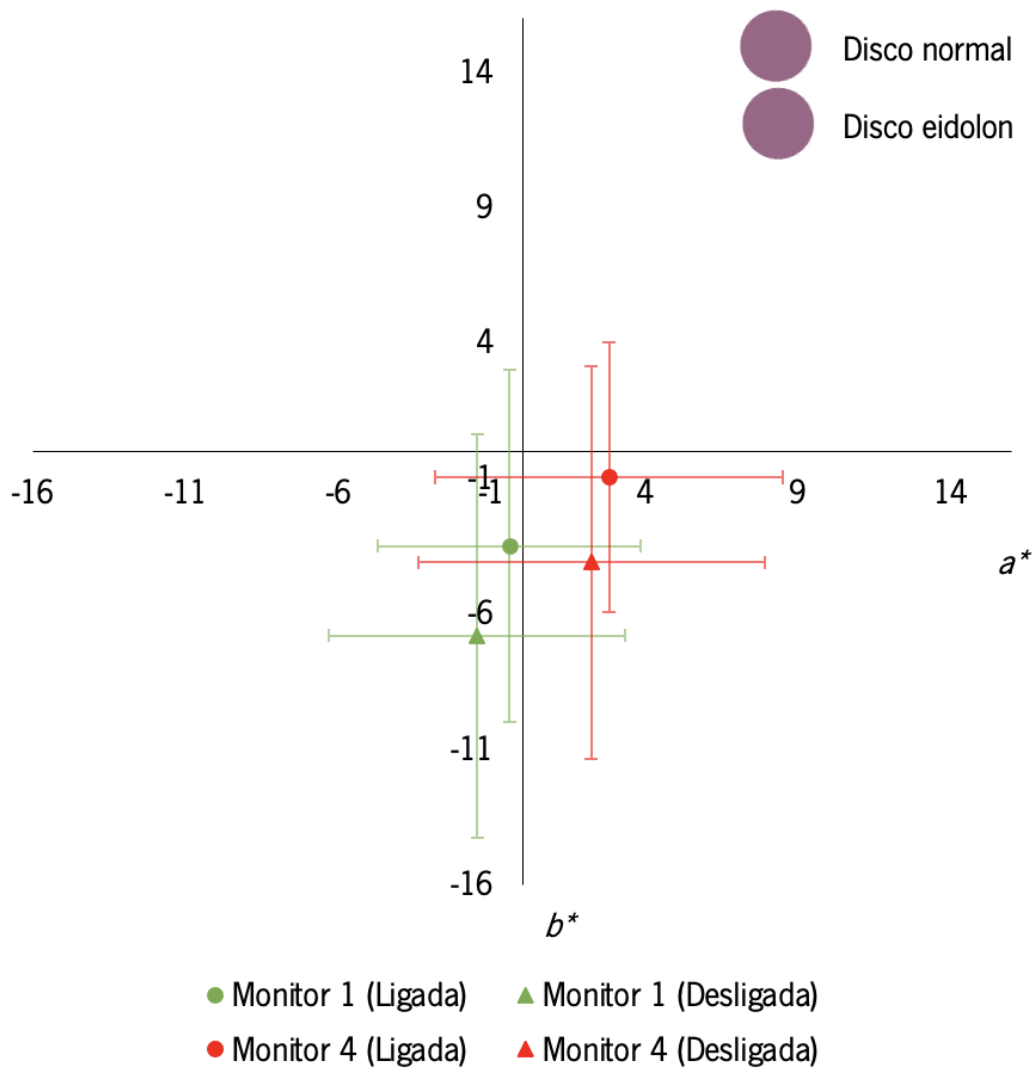
- *Ligar todas as luzes e abrir cortinado;*
- *Retirar aviso da porta;*
- *Registar data e hora da experiência;*
- *Fazer backup dos dados;*
- *Desligar todos os monitores.*
- Registar data e hora da experiência;
- MacBook + iMac + Samsung:
  - Colocar código na caixa de texto de e-mail:  
númeroobservador\_tipomonitor\_condiçãoluminosa
  - Clicar em "Finish";
  - Pedir ficheiros.
- Display++:
  - Selecionar ficheiro gerado no "Current Folder" e gravar numa pen.
- Desligar todos os monitores e equipamentos da corrente elétrica.



## **Anexo 4** Resultados para monitor 1

### **Estímulo uniforme - Disco**

O gráfico da Figura 55 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 1 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo disco (normal e eidolon – neste caso eidolon é apenas uma classificação de teste, uma vez que as duas condições utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 55** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo disco considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 25** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

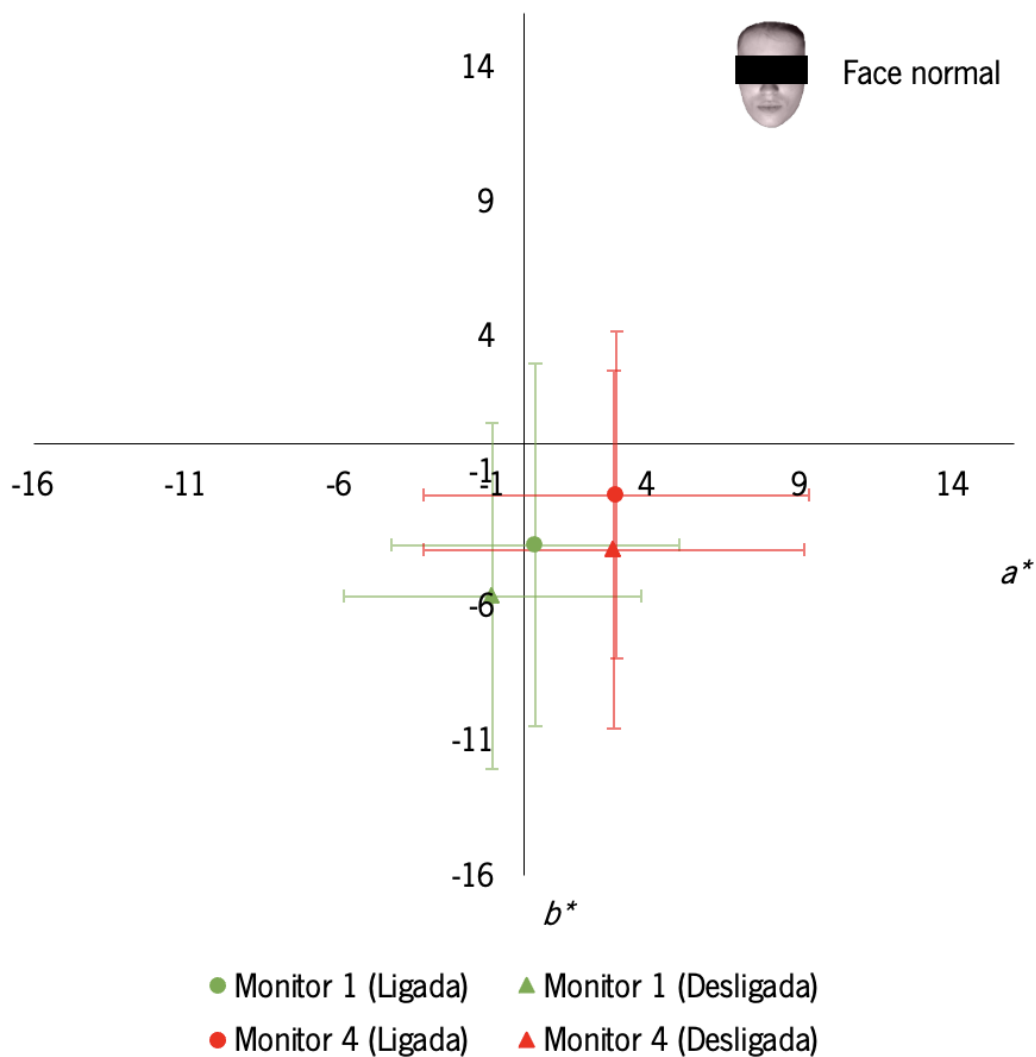
**Tabela 26** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Ligada e Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
4		<b><math>p = 0.020^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

### Estímulos complexos – Face, Lego e Banana

- Estímulo face normal:

O gráfico da Figura 56 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 1 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo face normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 56** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 27** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

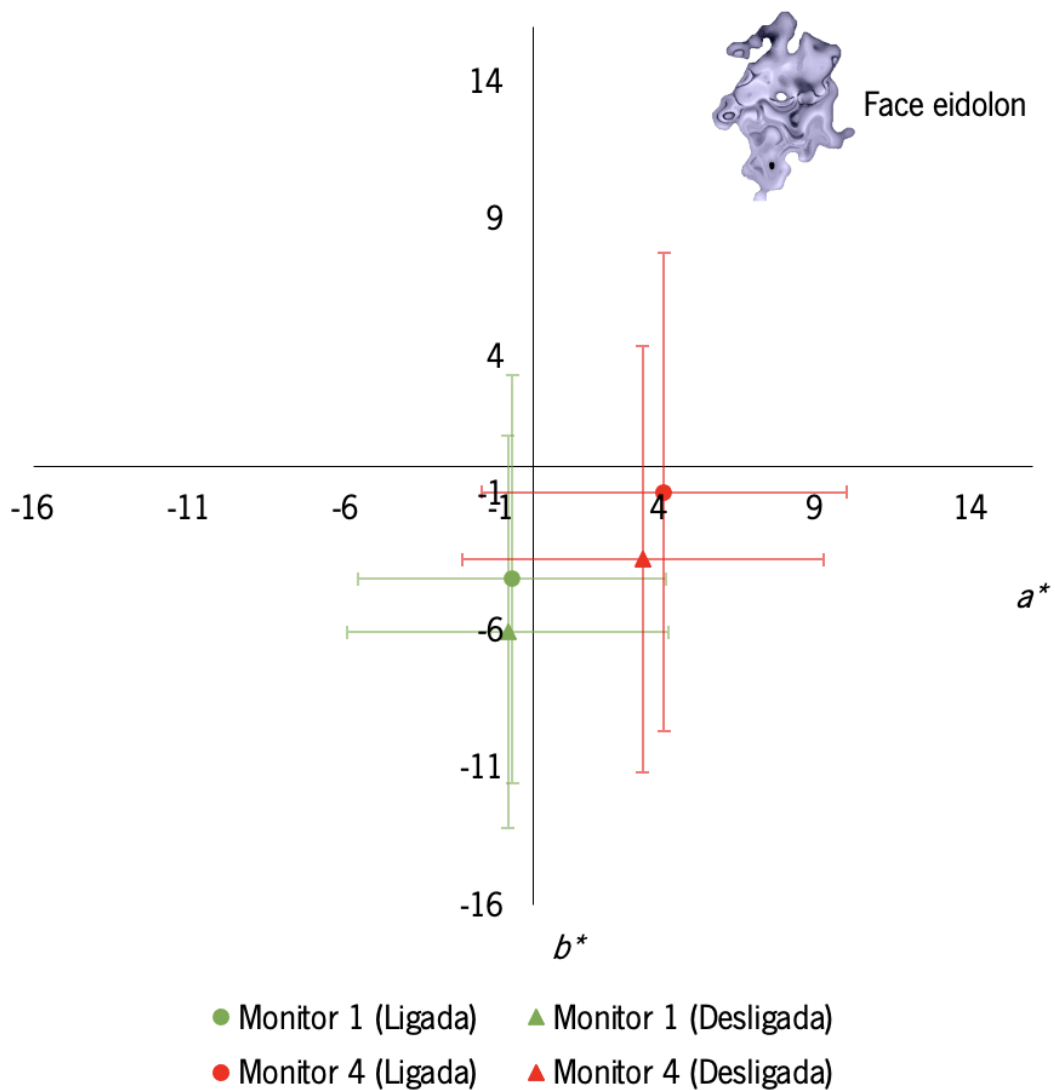
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p = 0.002^*</math></b> (Teste-t)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p = 0.002^*</math></b> (Teste-t)

**Tabela 28** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Ligada e Desligada	$p=0.002^*$ (Teste-t)	$p=0.002^*$ (Teste-t)
4		$p=0.890$ (Teste-t)	$p<0.001^*$ (Teste-t)

- Estímulo face eidolon:

O gráfico da Figura 57 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 1 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo face eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 57** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 29** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

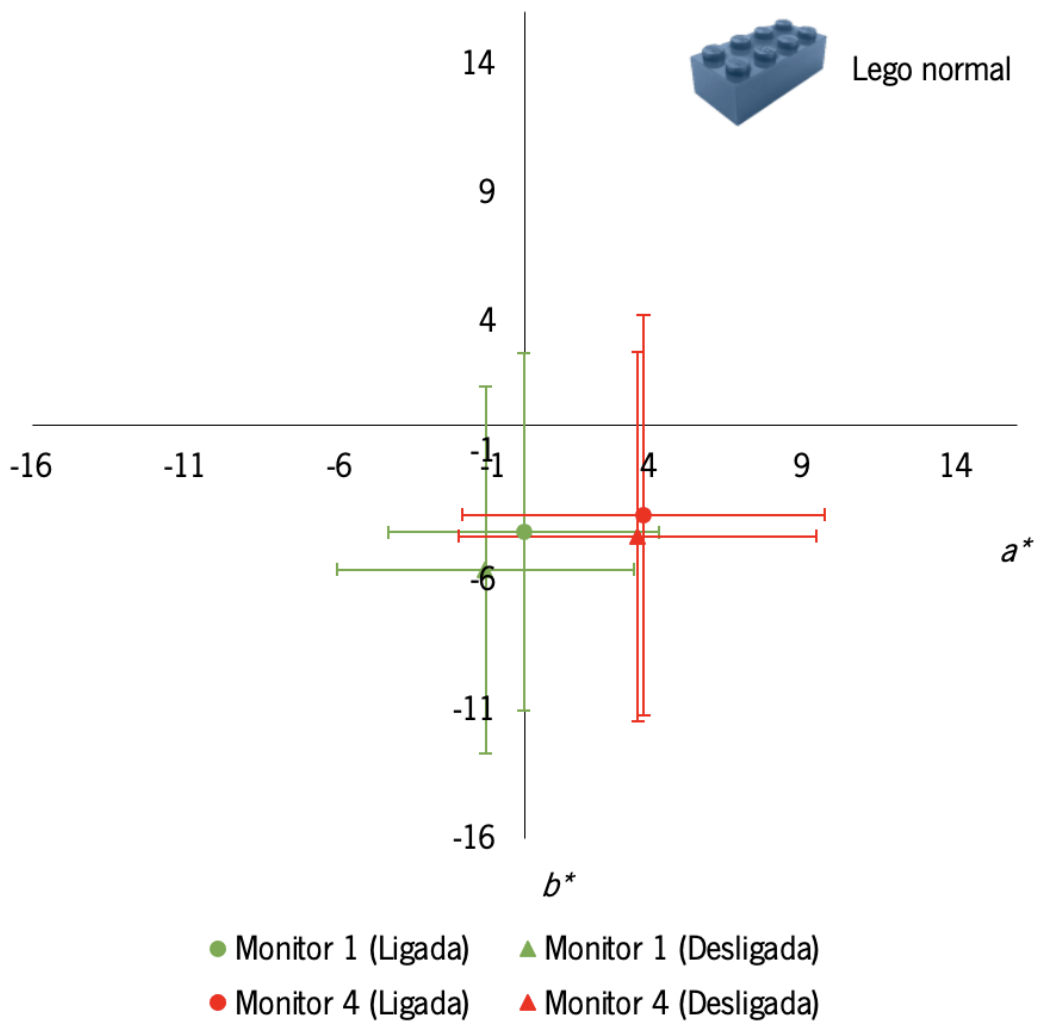
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 30** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Ligada e Desligada	$p = 0.772$ (Teste-t)	<b><math>p = 0.002^*</math></b> (Teste-t)
4		$p = 0.375$ (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

- Estímulo lego normal:

O gráfico da Figura 58 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 1 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo lego normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 58** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 31** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	$p = 0.278$ (Teste-t)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p = 0.047^*</math></b> (Teste-t)

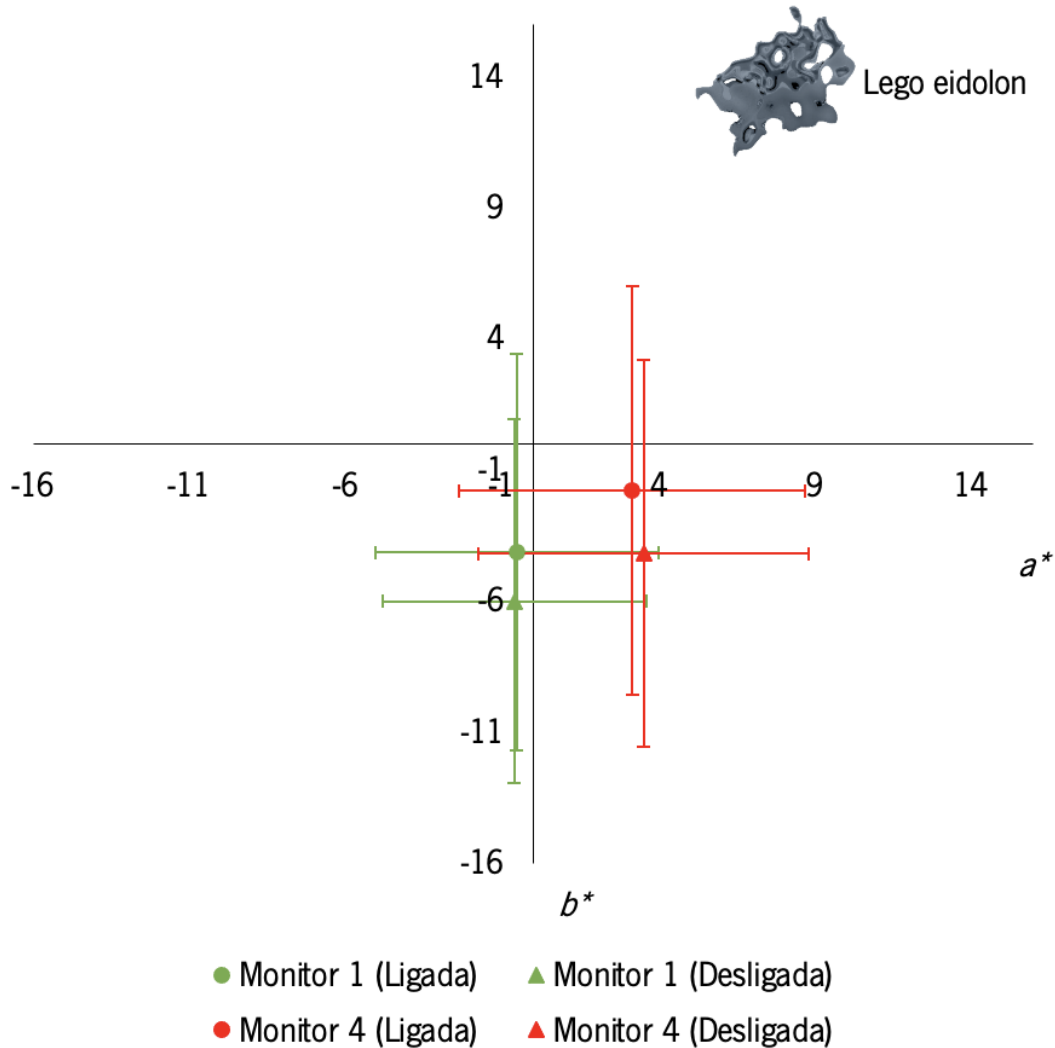


**Tabela 32** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Ligada e Desligada	<b><math>p=0.004^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p=0.023^*</math></b> (Teste-t)
4		$p=0.707$ (Teste-t)	$p=0.188$ (Teste-t)

- Estímulo lego eidolon:

O gráfico da Figura 59 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 1 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo lego eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 59** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 33** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 1 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

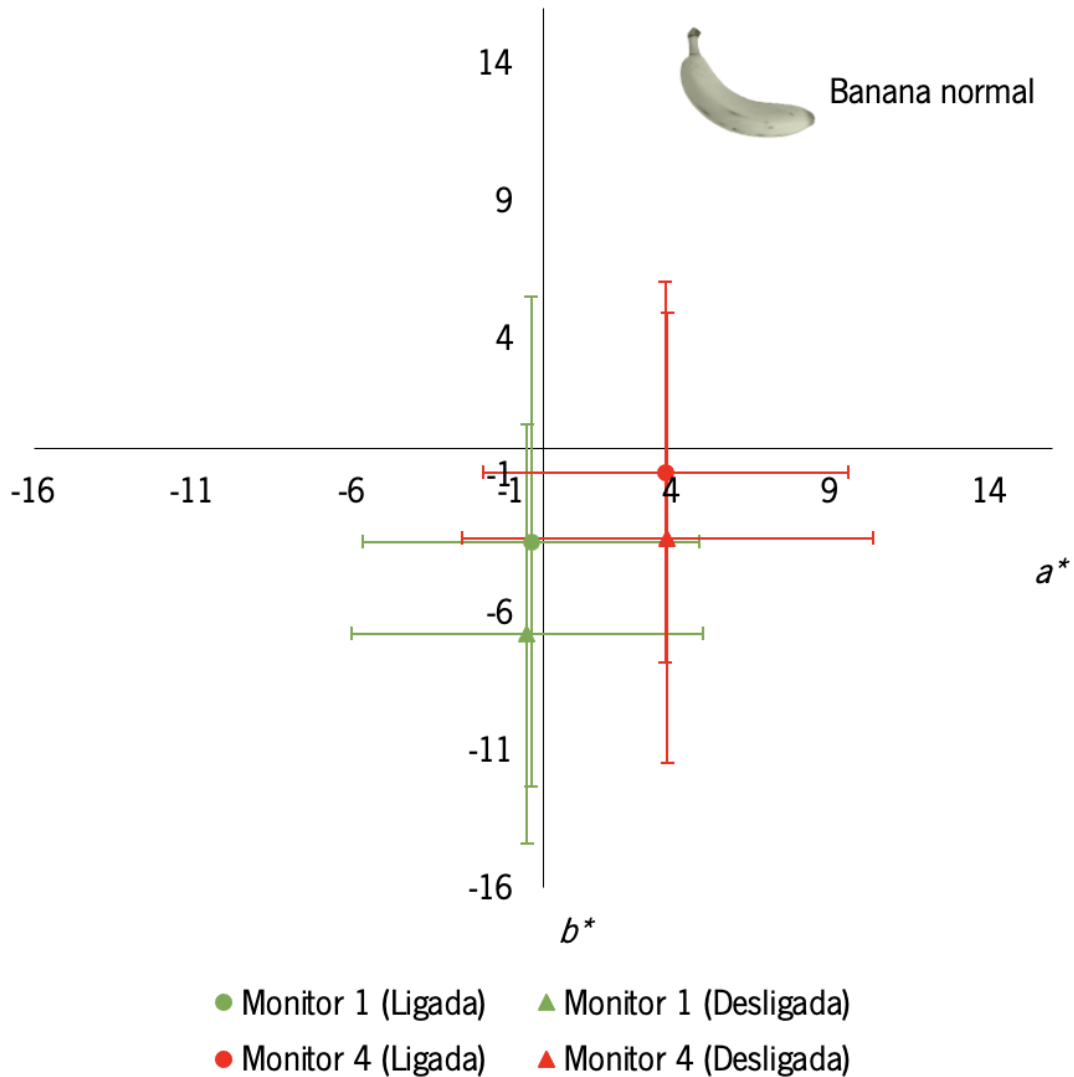
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.007^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 34** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Ligada e Desligada	$p=0.150$ (Teste-t)	<b><math>p=0.003^*</math></b> (Teste-t)
4		$p=0.427$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

- Estímulo banana normal:

O gráfico da Figura 60 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 1 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo banana normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 60** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 35** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

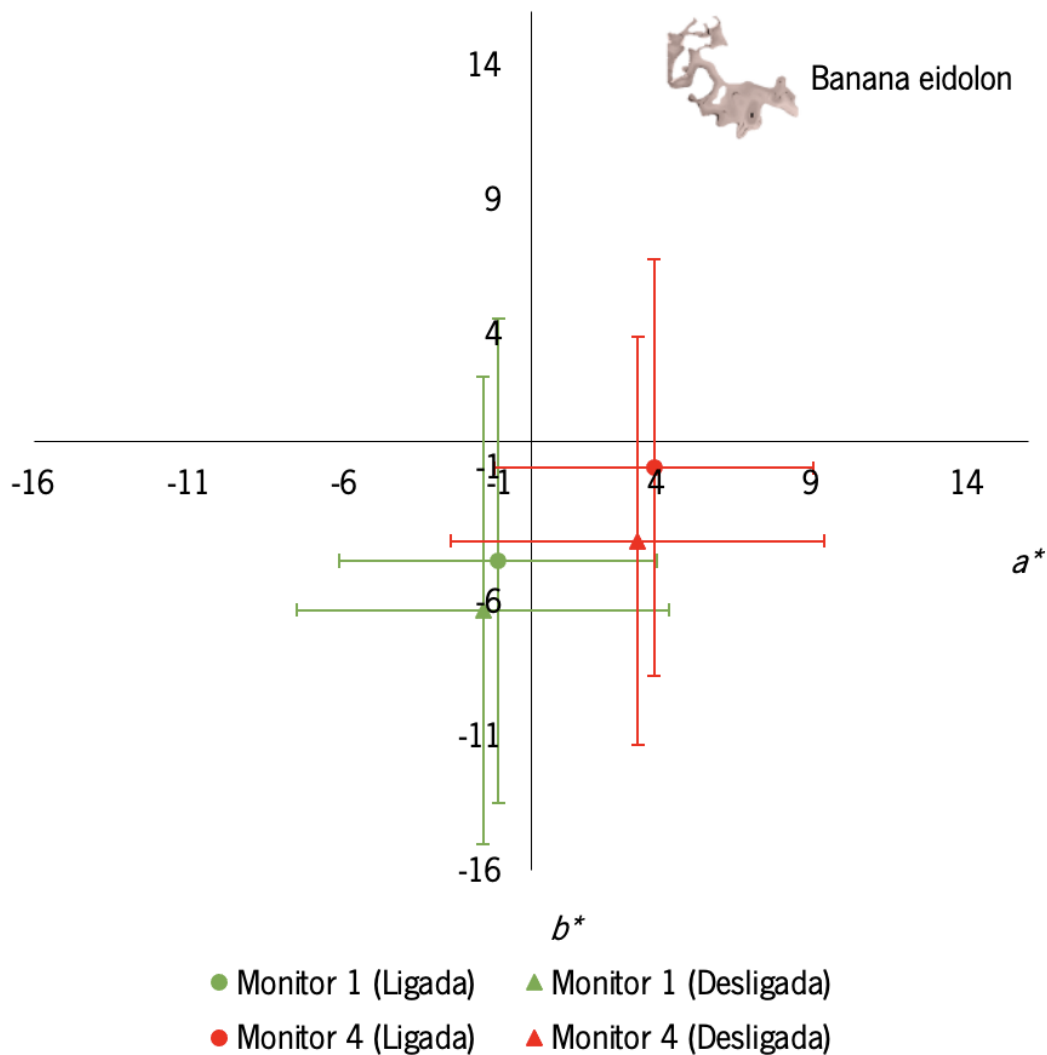
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p = 0.028^*</math></b> (Teste-t)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)

**Tabela 36** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	$p=0.787$ (Teste-t)	$p<0.001^*$ (Teste-t)
4		$p=0.890$ (Teste-t)	$p<0.001^*$ (Teste-t)

- Estímulo banana eidolon:

O gráfico da Figura 61 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 1 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo banana eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 61** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 1 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 37** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 3 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 38** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Ligada e Desligada	$p=0.337$ (Teste-t)	<b><math>p=0.025^*</math></b> (Teste-t)
4		$p=0.375$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

### Influência das categorias de estímulos

- Estímulo disco:

**Tabela 39** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Normal e Eidolon	$p=0.224$ (Teste-t)	$p=0.701$ (Teste-t)
4		$p=0.714$ (Wilcoxon)	$p=0.273$ (Wilcoxon)

**Tabela 40** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Normal e Eidolon	$p=0.483$ (Wilcoxon)	$p=0.776$ (Wilcoxon)
4		$p=0.493$ (Teste-t)	$p=0.149$ (Teste-t)

- Estímulo face:

**Tabela 41** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Normal e Eidolon	<b><math>p=0.017^*</math></b> (Teste-t)	$p=0.529$ (Teste-t)
4		<b><math>p=0.012^*</math></b> (Wilcoxon)	$p=0.063$ (Wilcoxon)

**Tabela 42** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Normal e Eidolon	$p=0.610$ (Teste-t)	$p=0.550$ (Teste-t)
4		$p=0.082$ (Wilcoxon)	$p=0.349$ (Wilcoxon)

- Estímulo lego:

**Tabela 43** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Normal e Eidolon	$p=0.179$ (Teste-t)	$p=0.989$ (Teste-t)
4		$p=0.149$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)



**Tabela 44** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Teste-t pareado para o monitor 1 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
1	Normal e Eidolon	$p=0.084$ (Teste-t)	$p=0.475$ (Teste-t)
4		$p=0.765$ (Teste-t)	$p=0.845$ (Teste-t)

- Estímulo banana:

**Tabela 45** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada.

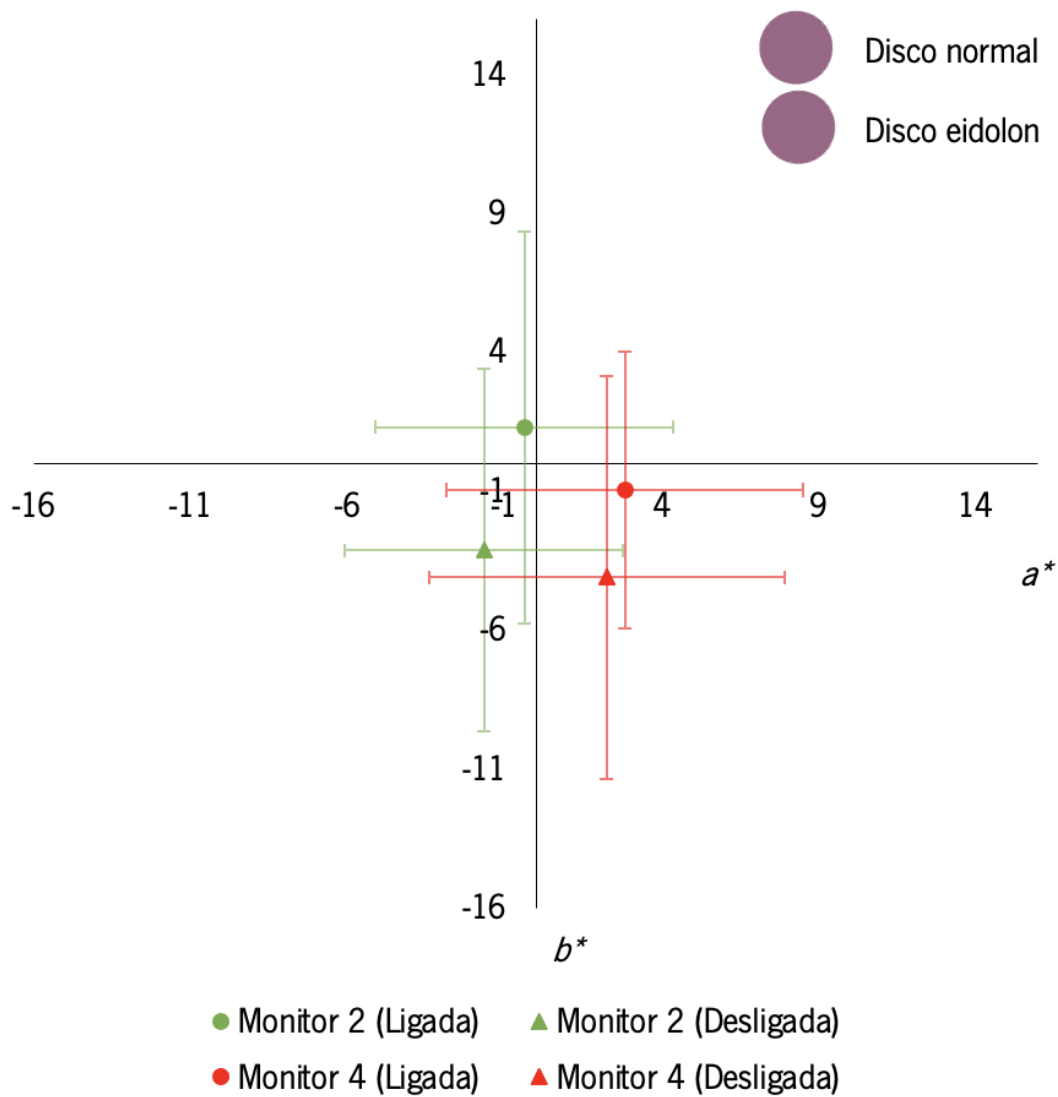
Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	$p=0.129$ (Teste-t)	$p=0.172$ (Teste-t)
4		$p=0.882$ (Wilcoxon)	$p=0.715$ (Wilcoxon)

**Tabela 46** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 3 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
3	Normal e Eidolon	<b><math>p=0.042^*</math></b> (Teste-t)	$p=0.525$ (Teste-t)
4		$p=0.296$ (Wilcoxon)	$p=0.325$ (Wilcoxon)

### **Estímulo uniforme - Disco**

O gráfico da Figura 55 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 2 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo disco (normal e eidolon – neste caso eidolon é apenas uma classificação de teste, uma vez que as duas condições utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 62** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo disco considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 47** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.018^*</math></b> (Wilcoxon)

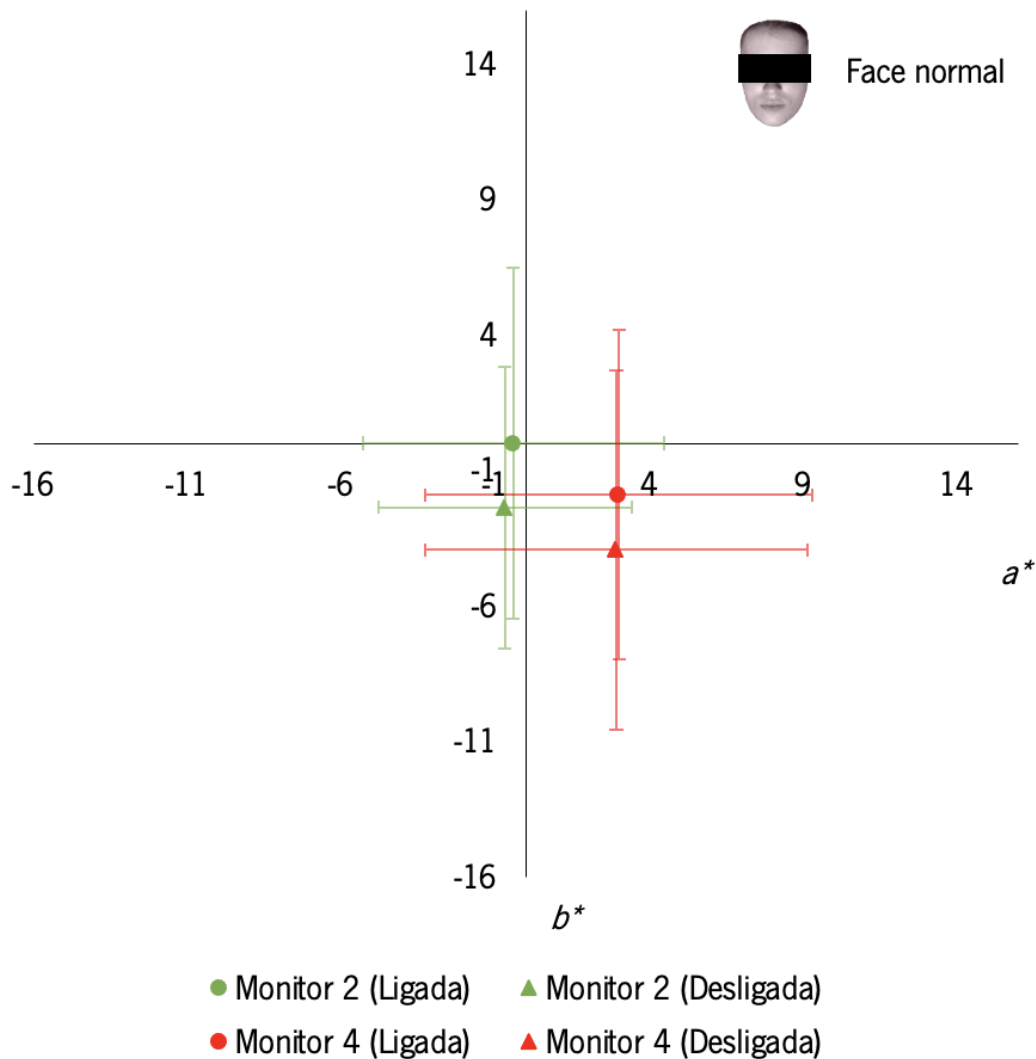
**Tabela 48** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Ligada e Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
4		<b><math>p = 0.020^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

### Estímulos complexos – Face, Lego e Banana

- Estímulo face normal:

O gráfico da Figura 56 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 2 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo face normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 63** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 49** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

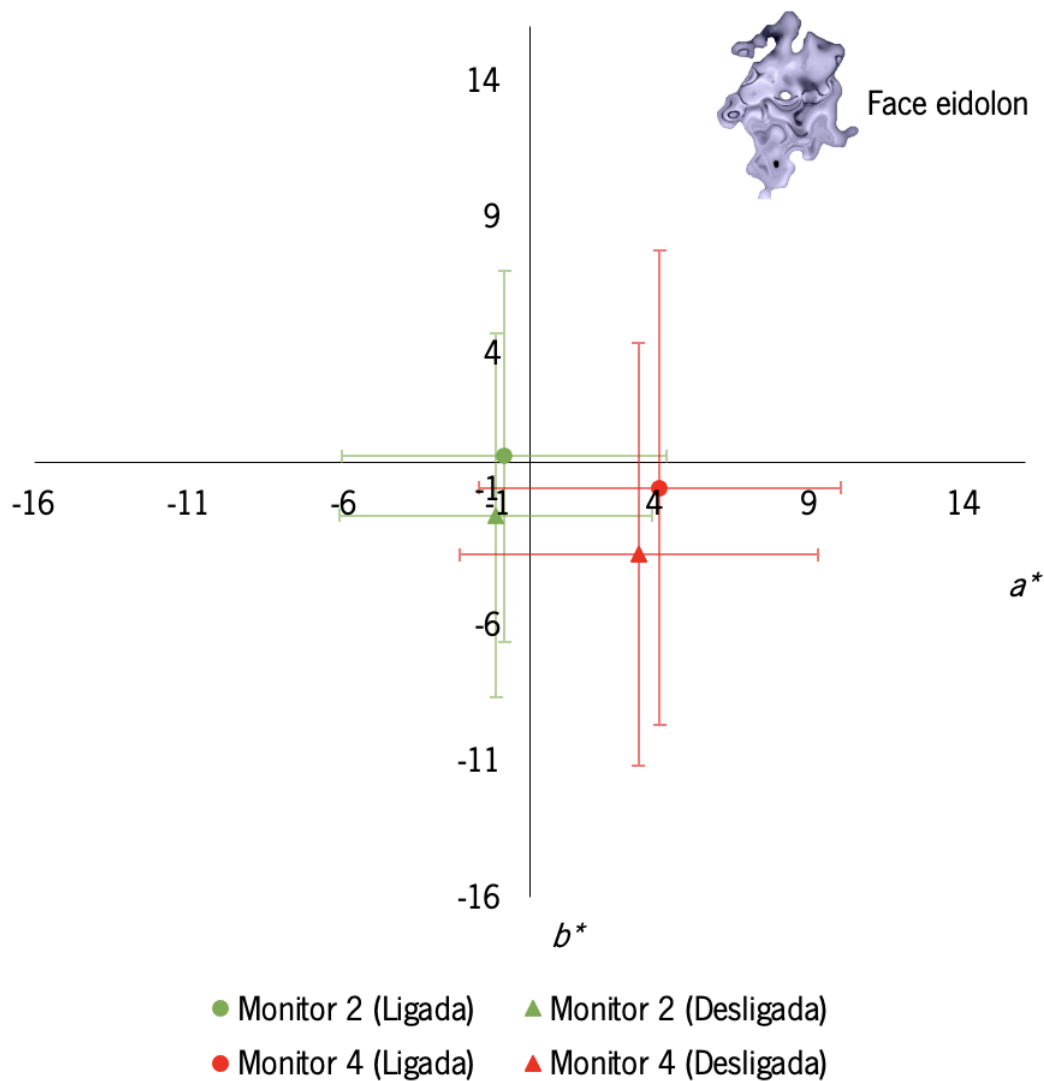
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p = 0.003^*</math></b> (Teste-t)

**Tabela 50** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Ligada e Desligada	$p=0.357$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
4		$p=0.890$ (Teste-t)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Teste-t)

- Estímulo face eidolon:

O gráfico da Figura 64 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 2 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo face eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 64** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo face eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 51** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.121$ (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.043^*</math></b> (Wilcoxon)

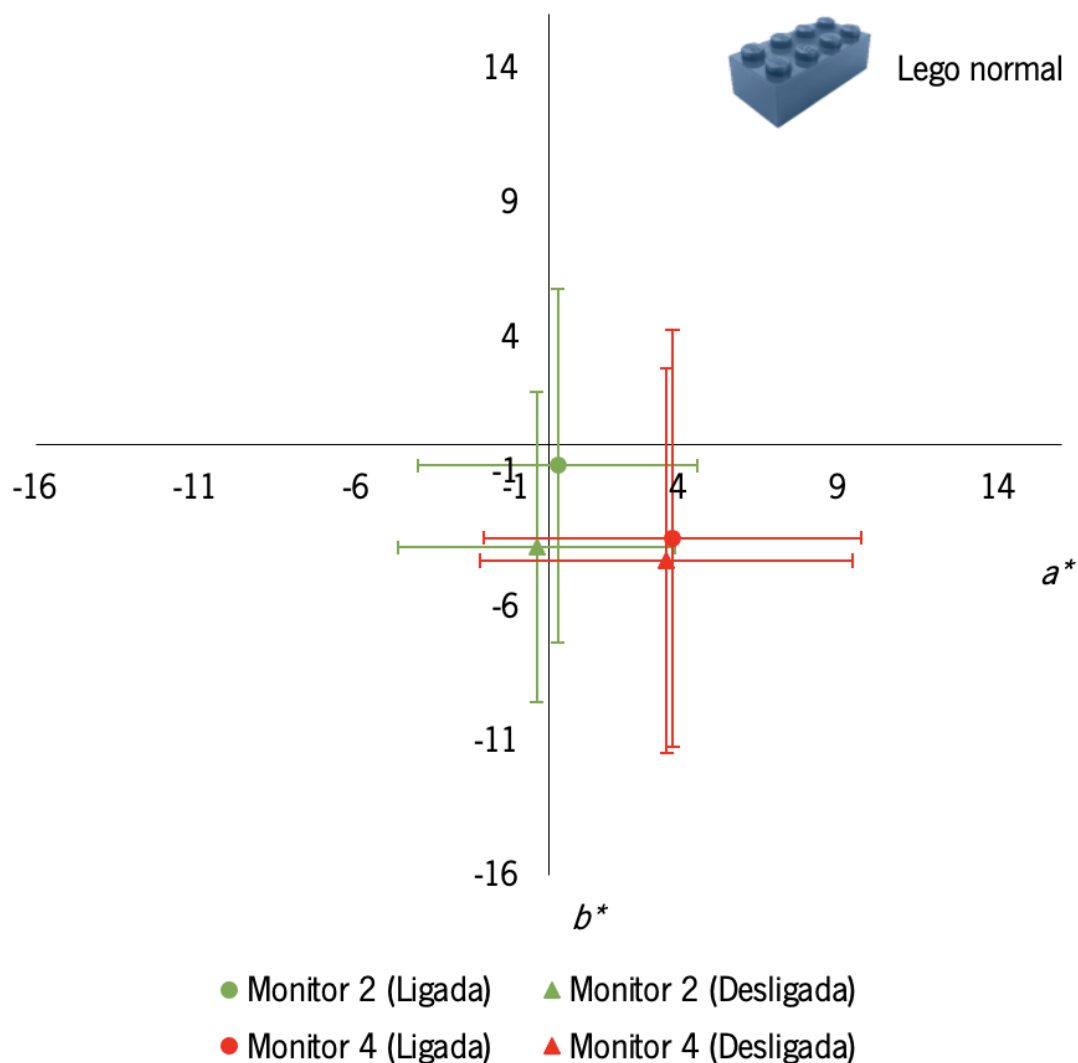
**Tabela 52** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Ligada e Desligada	$p=0.589$ (Teste-t)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Teste-t)
4		$p=0.375$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

- Estímulo lego normal:

O gráfico da Figura 58 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 2 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo lego normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.





**Figura 65** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 53** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

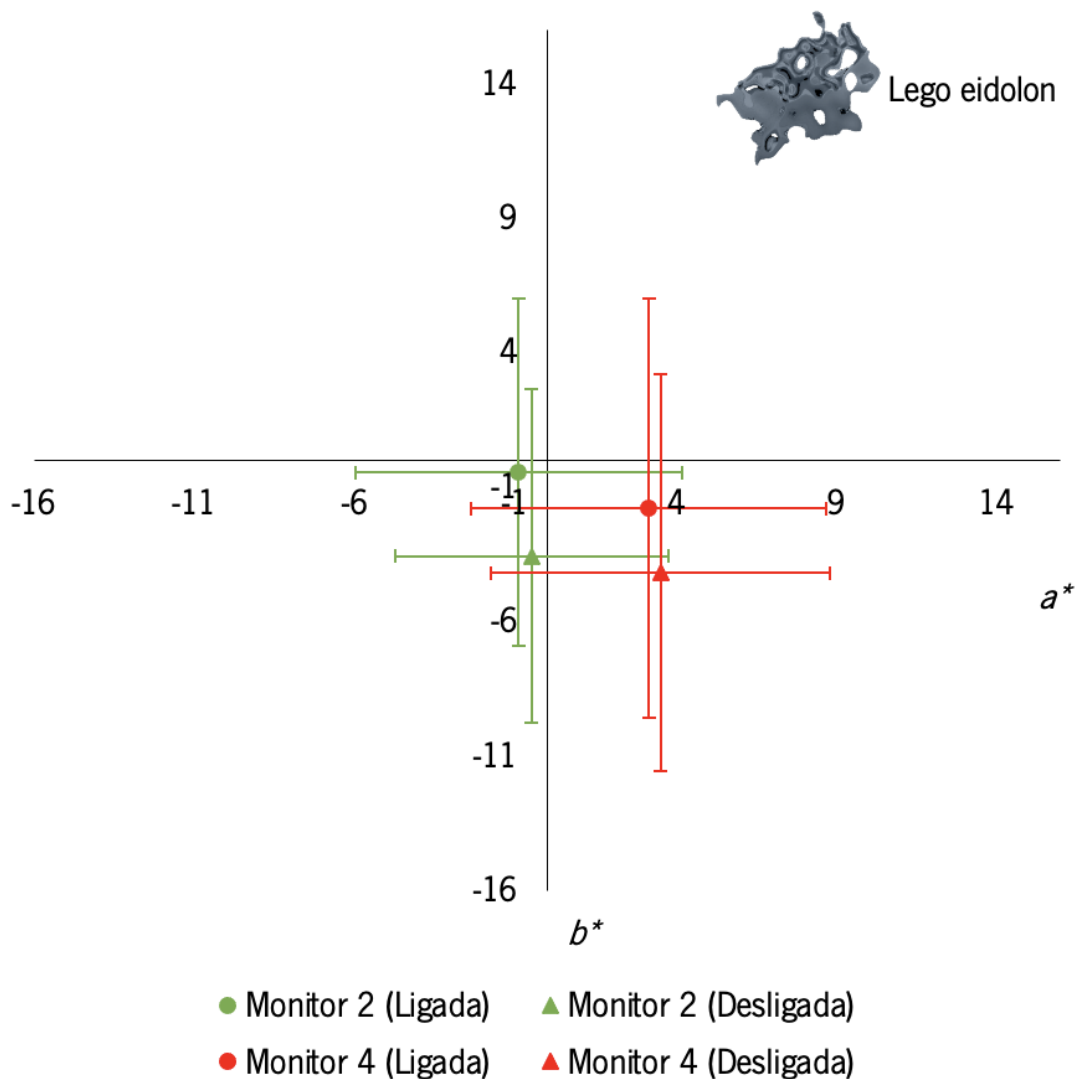
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.492$ (Wilcoxon)

**Tabela 54** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Ligada e Desligada	$p=0.113^*$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
4		$p=0.707$ (Teste-t)	$p=0.188$ (Teste-t)

- Estímulo lego eidolon:

O gráfico da Figura 59 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 2 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo lego eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 66** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo lego eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 55** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

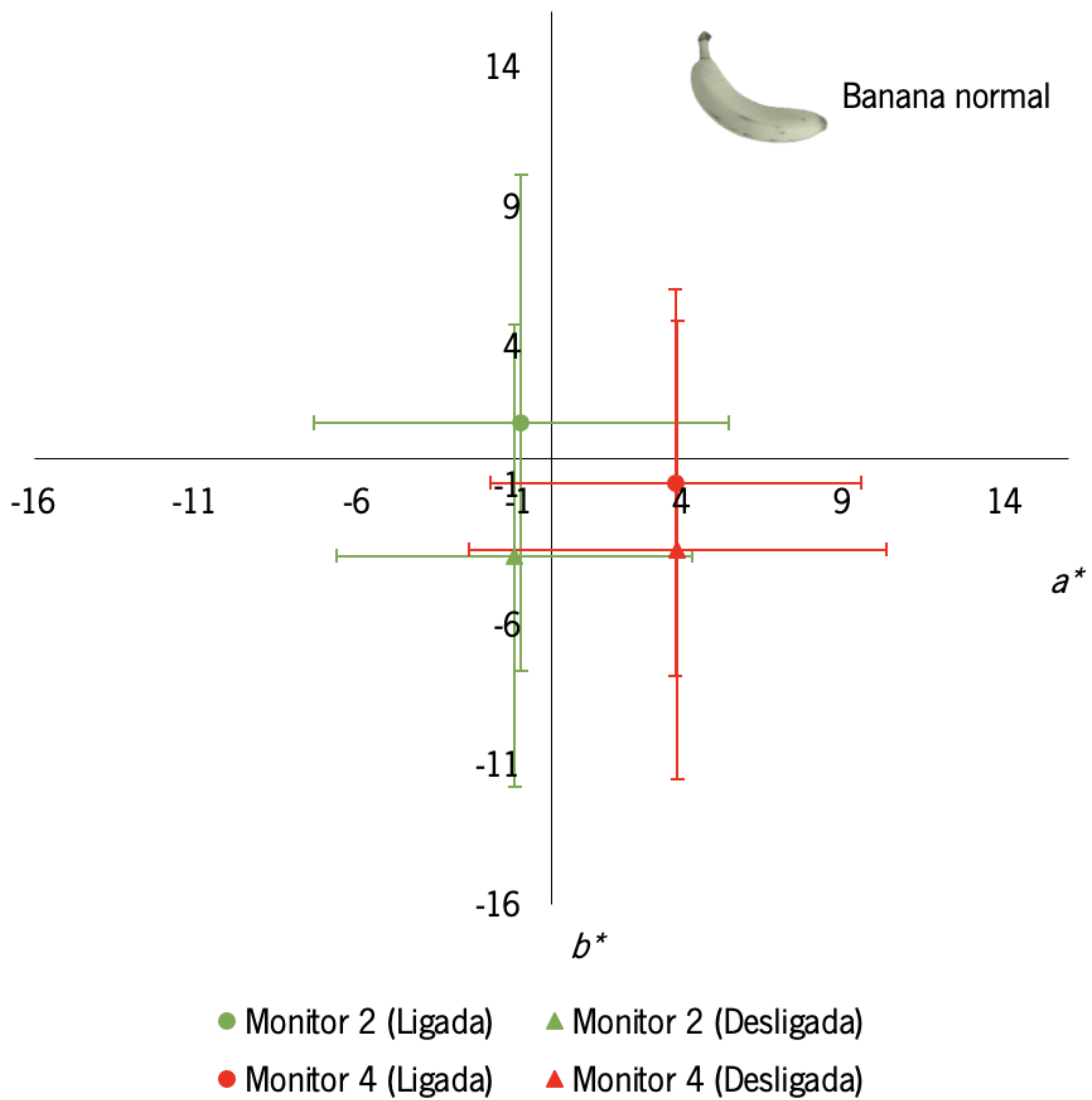
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	<b><math>p = 0.043^*</math></b> (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.382$ (Wilcoxon)

**Tabela 56** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Ligada e Desligada	$p=0.634$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)
4		$p=0.427$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

- Estímulo banana normal:

O gráfico da Figura 60 representa a média de  $CIE(a^*, b^*)$  para cada monitor (monitor 2 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo banana normal considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 67** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana normal considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 57** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

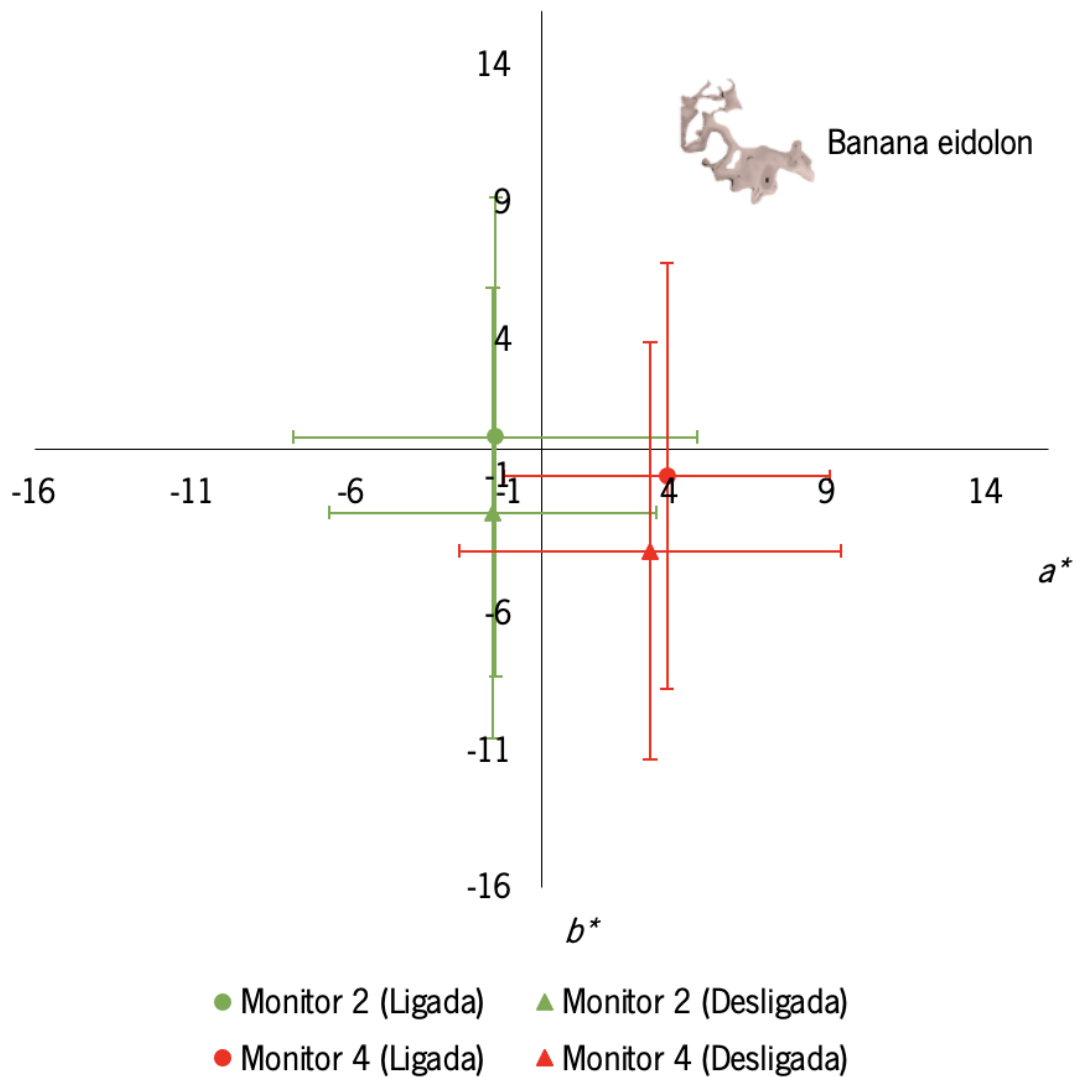
Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)	$p = 0.544$ (Teste-t)

**Tabela 58** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Ligada e Desligada	$p = 0.066$ (Teste-t)	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Teste-t)
4		$p = 0.886$ (Teste-t)	<b><math>p = 0.015^*</math></b> (Teste-t)

- Estímulo banana eidolon:

O gráfico da Figura 61 representa a média de CIE( $a^*, b^*$ ) para cada monitor (monitor 2 representado a verde e monitor 4 representado a vermelho) (Ver terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3) em cada condição de iluminação ambiental (ligada – ponto – e desligada – triângulo) para o estímulo banana eidolon (eidolon – neste caso eidolon é uma condição de teste, uma vez que as duas condições não utilizam exatamente o mesmo estímulo) considerando todos os 30 observadores. As linhas indicam o desvio padrão associado à média. Nota: Informações sobre a identificação dos monitores estão presentes no terceiro paragrafo do subcapítulo 4.3.



**Figura 68** Diagrama cromático CIE( $a^*$ ,  $b^*$ ) com o valor da média para o monitor 2 (representado a verde) e 4 (representado a vermelho) com luz ligada (representada pelo ponto) e desligada (representada pelo triângulo) para o estímulo banana eidolon considerando as respostas de todos os observadores (30 observadores). As barras indicam o desvio padrão associado à média.

**Tabela 59** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre os monitores 2 e 4 obtidas pelo teste de Wilcoxon. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2 e 4	Ligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.177$ (Wilcoxon)
	Desligada	<b><math>p &lt; 0.001^*</math></b> (Wilcoxon)	$p = 0.126$ (Wilcoxon)

**Tabela 60** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre condições de iluminação ambiental obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Condição de iluminação ambiental	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Ligada e Desligada	$p=0.863$ (Teste-t)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Teste-t)
4		$p=0.375$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

### Influência das categorias de estímulos

- Estímulo disco:

**Tabela 61** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	$p=0.851$ (Teste-t)	$p=0.930$ (Teste-t)
4		$p=0.714$ (Wilcoxon)	$p=0.273$ (Wilcoxon)

**Tabela 62** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	$p=0.465$ (Wilcoxon)	<b><math>p=0.042^*</math></b> (Wilcoxon)
4		$p=0.493$ (Teste-t)	$p=0.149$ (Teste-t)



- Estímulo face:

**Tabela 63** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	$p=0.197$ (Wilcoxon)	$p=0.484$ (Wilcoxon)
4		<b><math>p=0.012^*</math></b> (Wilcoxon)	$p=0.063$ (Wilcoxon)

**Tabela 64** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste- t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	$p=0.246$ (Teste-t)	$p=0.419$ (Teste-t)
4		$p=0.082$ (Wilcoxon)	$p=0.349$ (Wilcoxon)

- Estímulo lego:

**Tabela 65** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Teste-t)	$p=0.543$ (Teste-t)
4		$p=0.149$ (Wilcoxon)	<b><math>p&lt;0.001^*</math></b> (Wilcoxon)

**Tabela 66** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	$p=0.608$ (Wilcoxon)	$p=0.918$ (Wilcoxon)
4		$p=0.765$ (Teste-t)	$p=0.845$ (Teste-t)

- Estímulo banana:

**Tabela 67** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental ligada.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	$p=0.328$ (Teste-t)	$p=0.264$ (Teste-t)
4		$p=0.882$ (Wilcoxon)	$p=0.715$ (Wilcoxon)

**Tabela 68** A tabela representa os valores do parâmetro de significância estatística ( $p$ ) para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  através de comparações pareadas entre as categorias de estímulo obtidas pelo teste de Wilcoxon e Teste-t pareado para o monitor 2 e para o monitor 4 sob condição de iluminação ambiental desligada. O \* e o realce a negrito indicam as combinações que são estatisticamente significativas, indicando diferenças entre as condições.

Monitores	Categoria estímulo	Coordenadas cromáticas CIE	
		$a^*$	$b^*$
2	Normal e Eidolon	$p=0.352$ (Teste-t)	$p=0.080$ (Teste-t)
4		$p=0.296$ (Wilcoxon)	$p=0.325$ (Wilcoxon)