



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Ciências da Saúde

As cores e a Visão e a Visão das Cores

Maria da Conceição Santos Ribeiro

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Optometria em Ciências da Visão
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Professora Doutora Sandra da Costa Henriques Soares

Covilhã, Outubro de 2011

Resumo

A luz é considerada como a energia que sustenta a vida. Toda a informação que nós captamos e a percepção dos objectos depende especialmente da natureza das imagens que são formadas nos nossos olhos. Sabemos que através da luz recebemos grandes quantidades de informação do mundo que nos rodeia e para vermos as imagens e os objectos necessitamos de um sistema visual. Podemos dizer que a cor apresenta um papel importante para a nossa sobrevivência (por exemplo: alguns seres vivos como é o caso de algumas aves que apresentam algumas cores nas suas plumagens que é muito importante para elas). É um fenómeno físico expressivo e simbólico de importância fundamental na linguagem visual. Por vezes pode-se tratar de um conceito subjectivo que consiste na interpretação que o sistema sensorial e o cérebro atribuem aos diferentes comprimentos de onda da luz recebida.

Ver é para nós, um fenómeno tão natural que se torna necessário um esforço de imaginação para concebermos que tal fenómeno inclui a solução de certos problemas. O olho é um dos órgãos mais importantes do corpo humano, são os responsáveis pela captação da informação proveniente do meio exterior e pela sua codificação, em impulsos nervoso através da acção de células nervosas especializadas. Trata-se de um órgão fantástico e bastante complexo, considerando um prolongamento do tecido cerebral. Até ao século XVI pensava-se erroneamente que o olho emitisse luz, hoje sabemos que ele apenas é um receptor.

Com este trabalho pretende-se descrever de forma sucinta, como o ser humano consegue discriminar e identificar as cores, abordar algumas teorias da cor, descrever o funcionamento do processo visual e apresentar algumas anomalias da visão das cores.

Palavras-chave

Radiação, espectro, fotoreceptores, fotópico, escotópico, daltonismo, cor.

Abstract

The light is regarded as the energy that supports life. Every information that we attract and the perception of objects especially depends on the nature of the images that are formed in our eyes. We know that through light we receive large amounts of information from the world around us and to see those images and objects we need a visual system. We can say that the color has an important role for our survival (for example: some living beings such as some birds that have some colors in their plumage that is very important to them). Is a physical and expressive and symbolic phenomenon of most importance in visual language. Sometimes it can be a subjective concept that is based on the interpretation that sensorial system and the brain give to the different lengths of light received.

Seeing is for us, such a natural phenomenon that is becomes necessary an effort of imagination so that we can realize that such phenomenon includes the solution of certain problems. The eyes are one of the most important organs of human body, they are responsible for the capture of outside information and it's encoding, in nervous impulses through the actions of specialized nervous cells. It's a fantastic and rather complex organ, considered an extension of brain tissue. Until the 16th century, was wrongly thought that the eyes produced light, today we know that they are only light receivers.

With this work is intended to describe in short words how the human being can see and identify colours, talk about colours theories, describe the functioning of visual process and present some anomalies of vision and it's colours.

Keywords

Radiation, spectrum, photoreceptors, photopic, scotopic, color, color blindness

Índice

Introdução.....	1
1 A Luz e a Visão	2
1.1 Luz	2
1.2 Espectro Electromagnético	3
1.3 Estrutura do olho humano.....	4
1.3.1 Camada externa	5
1.3.2 Camada média ou vascular	7
1.3.3 Camada interna - Retina	7
1.3.4 Meios de refração	8
1.3.5 Células Receptoras	8
1.4 Química da Visão	13
1.5 “Para além da retina”	16
2 Percepção visual	18
2.1 Adaptação ao escuro	21
2.2 Adaptação à claridade	23
2.3 Resolução e somação espacial	24
2.4 Resolução e somação temporal	26
3 Visão das Cores.....	30
3.1 Teoria tricromática.....	30
3.1.1 Monocromata	30
3.1.2 Dicromata	32
3.1.3 Tricromata	34
3.2 Tonalidade, saturação e brilho.....	34
3.2.1 Tonalidade	34
3.2.2 Saturação	34
3.2.3 Brilho	35
3.3 Discriminação do comprimento de onda	35
3.4 Efeitos Cromáticos - Fenómeno Bezold-Bruke	36
3.5 Constância de cor.....	37

3.6	Teoria das cores oponentes.....	38
3.7	Modelos actuais da Visão das Cores	40
3.8	Sistema Munsell de especificação das cores	40
3.9	Sistema de especificação das cores (CIE)	41
3.10	Diagrama de Cromaticidade (x,y) da CIE	43
4	Anomalia da Visão das Cores.....	45
4.1	Características dos indivíduos com discromatopsias	46
4.1.1	Sensibilidade espectral	46
4.1.2	Descriminação do comprimento de onda.....	47
4.1.3	Eixos de confusão.....	48
4.2	Anomalia na visão das cores de origem hereditária	49
4.3	Acromatopsias.....	50
4.4	Cromatopsias	50
4.5	Testes de detecção de anomalias na visão das cores	51
4.5.1	Placas pseudoisocromáticas	51
4.5.2	Testes de ordenação	52
4.5.3	Anomaloscópio	54
4.6	Lente cromática X.....	54
4.7	Perimetria de comprimentos de onda baixos.....	54
5	Aplicação prática	55
5.1	Resultados	58
5.1.1	Análise de resultados	59
5.2	Representação gráfica.....	65
	Conclusões	67
6	Bibliografia.....	69
8	Anexo	71

Lista de Figuras

Figura 1- Espectro Electromagnético [Adaptado da referência (3)].	3
Figura 2- Cavidade orbitaria e a localização da fixação dos músculos externos (5).	4
Figura 3-Músculos extrínsecos oculares (11).	5
Figura 4- Esquema histológico da córnea (12).	6
Figura 5- Disposição estrutural do olho (13).	7
Figura 6 A- Fluxograma esquemático do processamento da retina. NGL- Núcleo geniculado lateral. B- Representação esquemática da retina, zona da fóvea, ampliada (4).	9
Figura 7- Esquema do processamento das células (4).	10
Figura 8-Desenhos esquemáticos de um cone (esquerda) e de um bastonete (direita).	11
Figura 9- Ciclo do retineno-rodopsina responsável pela sensibilidade à luz dos bastonetes [Adaptado da referência (10)].	13
Figura 10- Espectros de absorção do cianopigmento (S-cone), cloropigmento (M-cone) e do eritopigmento (L-cone) (4).	15
Figura 11- Esquema ilustrativo do percurso retinocortical visual [Adaptado da referência (4, 14)].	16
Figura 12 A- Representação gráfica do limiar de um indivíduo em função do comprimento de onda;	18
Figura 13- Representação gráfica dasensibilidade fotópica em função do comprimento de onda (4).	19
Figura 14- Funções de sensibilidade em condições escotópicas e fotópicas. Estas funções representam a sensibilidade absoluta dos dois sistemas (4).	20
Figura15-Distribuição de fotoreceptores na retina (17).	21
Figura 16 - Gráfico que representa a curva de adaptação ao escuro [Adaptado da referência (19)].	22
Figura 17- Gráfico que representa a curva de adaptação ao escuro mas com estímulos que apresentam comprimentos de onda diferentes (19).	22
Figura 18- Esquema representativo do limiar diferencial (17).	23
Figura 19- Curva de adaptação à claridade (19).	23
Figura 20- Ilustração esquemática da organização dos elementos receptores posteriores da retina do (A) sistema escotópico e (B) do sistema fotópico (4).	25
Figura 21- Expressão clássica de Ricco que demonstra a somação espacial em condições escotópicas (4).	26
Figura 22-Esquema que representa propriedades temporais do sistema escotópico assumindo uma somação temporal num período de 100ms. A linha a tracejada representa o limite para um único pulso (4).	27

Figura 23- Esquema que representa as propriedades temporais do sistema fotópico assumindo um período de somação temporal de 10ms (4).....	28
Figura 24- Expressão clássica de Bloch's que demonstra a somação temporal em condições fotópicas (4).	29
Figura 25- Gráfico representativo da curva de absorção deste fotopigmento em função do comprimento de onda (4).	31
Figura 26- Gráfico representativo da curva de absorção dos fotopigmento (M e L) para um indivíduo dicromata (4).	32
Figura 27- Gráfico representativo da curva de absorção dos fotopigmento (M e L) para um indivíduo dicromata apresentando neste exemplo três fontes de luz ($\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$) (4).	33
Figura 28- Representação de dois padrões fisicamente diferentes [Adaptado da referência (4)].	34
Figura 29- Figura ilustrativa de um campo bipartido (4).	35
Figura 30- As variações da tonalidade ao longo do espectro (4).	36
Figura 31- Figura ilustrativa de um campo bipartido (4).	37
Figura 32- Ao variar a intensidade a tonalidade destes três comprimentos de onda (478nm, 503nm, 578nm) é constante (4)	37
Figura 33- Exemplificação dos canais das cores oponentes (4).	38
Figura 34- Frequência dos potenciais de ação em função do comprimento de onda em algumas células ganglionares (4).	39
Figura 35- Frequência dos potenciais de ação em função do comprimento de onda para algumas células ganglionares (4).	39
Figura 36- Sistema de Munsell (4).	41
Figura 37- Representa as quantidades dos valores dos triestímulos em função do comprimento de onda que foram obtidos na experiência do campo bipartido (4).	42
Figura 38- Gráfico que representa as funções primárias imaginárias $x\lambda, y\lambda, z(\lambda)$ (4).....	43
Figura 39- Diagrama de cromaticidade da CIE, todas as cores fisicamente existentes encontram-se inseridas neste diagrama (4).	44
Figura 40- Gráficos representativos dos picos de sensibilidade de um indivíduo tricromata normal (A) e de um indivíduo dicromata (B) [Adaptado da referência (4)].	46
Figura 41- Discriminação do comprimento de onda em casos de um deuteranopia e protanopia (4).	47
Figura 42 - Diagrama de cromaticidade da CIE que ilustra os três eixos de confusão para os indivíduos com protanopia, deuteranopia e tritanopia (4).	48
Figura 43- Exemplos de transmissão ligados ao cromossoma X nos casos de anomalia entre o eixo vermelho-verde de pais para filhos (4).	49
Figura 44- Ilustra um exemplo de um teste de Ishihara (23).	51
Figura 45- Exemplo de alguns dos cilindros usados na ordenação do D-15 de Fransworth bem como o esquema da folha de pontuação usado no mesmo teste (4).	52

Figura 46- Graficamente consegue-se interpretar o tipo de defeito que a pessoa manifesta, pelo tipo de gráfico obtido (4).	52
Figura 47- Esboço representativo do teste da visão das cores City University.	53
Figura 48 -Ilustra a mobilidade do pico de sensibilidade de um indivíduo protan através do auxílio de uma lente cromática (vermelha) (4).	54
Figura49- Exemplo da disposição dos vários quadrados coloridos do teste on-line (26).	55
Figura 50- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 2.	59
Figura 52- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 5.	60
Figura 51- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 3.	60
Figura 53- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 22.	61
Figura 54- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 23.	62
Figura 55- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 25.	63
Figura 56- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 36.	63
Figura 57- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 37.	64
Figura 58 -Gráfico que representa a relação dos indivíduos com os defeitos visuais em estudo.	65
Figura 59- Gráfico que relaciona os defeitos visuais segundo o género da pessoa.	65
Figura 60- Gráfico que representa a gravidade da anomalia dos defeitos visuais a partir da TES.	66
Figura 61 -Distribuição percentual dos defeitos visuais em relação aos indivíduos analisados.	66

Lista de Tabela

Tabela 1-Referencia os vários defeitos que existem num tricromata anómalo (4).	45
Tabela 2- Referencia os vários defeitos que existem num dicromata (4).	45
Tabela 3- Prevalência e herança de várias anomalias na visão das cores (4).	49
Tabela 4- Anomalias da visão que são associadas por alterações cromáticas (4).	50
Tabela 5- Pontuações aceitáveis na realização do D100 de Fransworth que podem variar com a idade (4,17).	53
Tabela 6- Tabela informativa dos valores normativos (25).	56
Tabela 7- Resultados obtidos do teste de Fransworth D-15 Saturado.	58
Tabela 8- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 2.	59
Tabela 10- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 5.	60
Tabela 9- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 4.	60
Tabela 11- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 22.	61
Tabela 12 Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 23.	62
Tabela 13- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 25.	63
Tabela 14- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 36.	63
Tabela 15- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 37	64

Introdução

Numa profissão a base fundamental é o conhecimento científico e, todos os profissionais de visão devem ter nas suas teorias uma ampla gama de fontes, como por exemplo, a física, a óptica, a anatomia, a fisiologia, a bioquímica, a psicologia e a neurociência cognitiva.

Com a realização desta dissertação visou-se aprofundar as noções científicas da percepção visual da cor, bem como alguns dos seus distúrbios, de forma a ser possível obter uma melhor compreensão, como por exemplo na possibilidade de contornar e atribuir algumas qualidades de vida aos seus portadores.

A luz pode ser usada em dois sentidos. No sentido físico, um feixe de ondas electromagnéticas nas quais o olho humano é sensível. E no sentido psicofísico, a luz irá produzir uma sensação ao observador, quando a retina é estimulada. As sensibilidades variam de observador para observador, a cor é percebida através das várias relações que existem, como por exemplo uma fonte de luz, os objectos e o sistema visual humano.

O olho percebe as cores como um conjunto de vários comprimentos de onda que abrange a zona do vermelho (580nm), do verde (540nm) e a do azul (450nm). Muitas dessas cores são absorvidas e reflectidas pelos objectos. A cor corresponde a uma sensação interna provocada por estímulos físicos de natureza diferente. Se os objectos fornecem informação sobre a cor é porque a qualidade sensorial, emerge nos mecanismos sensoriais.

Alguns dos distúrbios relacionados com a visão das cores, também designada por daltonismo, consiste numa perturbação na percepção visual que é caracterizada pela incapacidade em discriminar algumas cores.

Na retina existem células receptoras que são sensíveis a determinados comprimentos de onda, os cones contêm três tipos de pigmentos selectivos e assim apresentam sensibilidades diferentes. A anomalia ocorre quando existe uma redução na quantidade de um ou mais desses fotopigmentos ou então alguma alteração na sua sensibilidade espectral. Uma das consequências a nível visual traduz-se na alteração da sensibilidade dos diferentes comprimentos de onda que estão associados a cada cor. Um dos objectivos foi esclarecer a possível origem destes distúrbios, clarificando as várias possibilidades, de modo a tentar distinguir um defeito congénito, de um defeito adquirido por alguma patologia inerente.

Existe uma variedade de testes que permite catalogar os defeitos visuais relacionados com as cores. Existem testes mais rápidos do que outros, devido à sensibilidade do próprio teste. Neste trabalho será adoptada uma componente prática de um dos testes abordado pormenorizadamente, com a intenção de dinamizar os conceitos teóricos.

Capítulo

1 A Luz e a Visão

Para o homem a noção de luz está associada ao conhecimento e à verdade. A compreensão do mundo que nos rodeia através da luz «ver claramente» tem uma conotação sensorial, perceptiva e cognitiva. O olho é um mediador privilegiado entre o mundo exterior e o homem.

Durante muito tempo a visão estava associada a um feixe invisível que saía do olho para adquirir os detalhes dos objectos. Esta teoria fisicamente errada, não é filosoficamente incorrecta se substituírem por um raio o eixo visual que os complexos processos cognitivos conduzem sucessivamente em neurociência nos apresentassem um conhecimento mais preciso dos mecanismos da visão (1).

1.1 Luz

A compreensão da natureza da luz foi objecto de estudo desde a época dos gregos. Por um lado encontrava-se Platão que os objectos visíveis emitiam partículas luminosas que eram captadas pelos olhos e por outro lado Aristóteles, que acreditava que ondas vibratórias saíam dos olhos e só quando atingiam os objectos estes se tornavam visíveis. Havia então duas teorias que poderia explicar a natureza da luz: a teoria das partículas e a teoria das ondas. Apesar desta discussão ter durado praticamente até ao século XX, ambos tinham razão. Até no século XVIII a luz era estudada segundo o modelo ondulatório de Huygens (1629-1695) e o modelo de partículas de Newton (1643-1727). Já no início do século XX Max Planck (1858-1947) e Einstein (1874-1955), na teoria dos fótons, conciliaram estas duas visões (1).

A luz pode então ser considerada como sendo formada por pacotes de partículas de energia - os quanta - combinando características de onda e de corpúsculo, propagando-se no espaço com velocidade constante. A luz de pequeno comprimento de onda tem mais ondas por feixe que a de maior comprimento de onda. Isto exprime-se dizendo que a energia de cada quatum é função da frequência tal que:

$$E = h\nu \quad (1)$$

onde E representa a energia do pacote ou fóton, ν a sua frequência e h uma constante de Planck.

Einstein postulou que a luz se propaga no vazio com uma velocidade bem definida, c , de cerca de 300000km/s, independentemente do estado de movimento do emissor apresentando

uma dualidade onda - partícula na sua natureza, concluindo que a luz é uma onda com propriedades de partícula (2).

1.2 Espectro Electromagnético

A luz branca, tal como a do sol, é constituída por uma mistura de luz de diferentes cores.

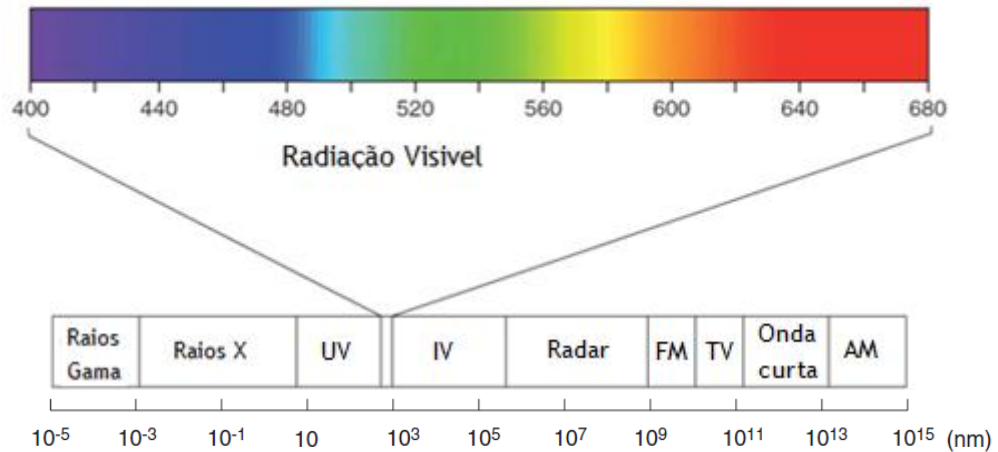


Figura 1- Espectro Electromagnético [Adaptado da referência (3)].

Na figura 1 está representado o espectro electromagnético no qual as ondas electromagnéticas estão tanto pela frequência, ν , como pelo comprimento de onda, λ . O que se vê como luz visível é apenas uma pequena parte do espectro. A barra colorida compreende os comprimentos de onda que vão dos 380nm (violeta) até aos 680nm (vermelho). Entre estes dois extremos temos todas as outras cores. A seguir ao vermelho, comprimento de onda mais longo, a energia radiante é invisível. Esta é a gama de energia que corresponde ao infravermelho e às ondas rádio. Para comprimentos de onda menores do que 400nm, vem o ultravioleta, raios X e os raios gama que também são invisíveis. O espectro solar abrange apenas a região entre os 300nm e os 2600nm do espectro total da energia radiante.

A energia radiante propaga-se na forma de quanta de luz ou fotões. Quanto menor for o comprimento de onda maior será a energia do fotão. A relação entre a energia e o comprimento de onda é dada pela equação (1) que pode ser reescrita na forma:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2)$$

onde λ representa comprimento de onda e c a velocidade da luz. Podemos, por isso, afirmar que a energia é proporcional ao inverso do comprimento de onda. Por exemplo, um fotão no

ultravioleta com um λ de 200nm tem 5 vezes mais energia do que um fóton no infravermelho com um λ de 1000nm (2).

Os nossos olhos respondem à luz visível. Detectar o resto do espectro requer uma grande maturidade de instrumentos científicos. Para uma descrição rigorosa da radiação electromagnética e do seu comportamento há que ter um vasto conhecimento das equações de Maxwell e de electrodinâmica quântica. Da mesma forma para um entendimento complexo de como o olho percebe a luz é necessário estudar a Psicologia e a psicologia do sistema visual humano (1,2).

1.3 Estrutura do olho humano

As estruturas externas do olho são, a cavidade orbitária, os músculos extrínsecos oculares, as pálpebras e o aparelho lacrimal. As orbitas são duas cavidades largas e profundas, escavadas entre a face e o crânio e separadas uma da outra pelas fossas nasais. As suas paredes têm uma função protectora do aparelho ocular e proporcionam um suporte rígido ao globo ocular, sendo também local de fixação dos músculos externos (3,6-10).



Figura 2- Cavidade orbitaria e a localização da fixação dos músculos externos (5).

As pálpebras são formações musculomembranosas, que evitam a desidratação e cuja função consiste em proteger o sistema visual contra as agressões externas, como é o caso dos traumatismos ao excesso de luz e evitam a desidratação (3, 6-10).

O aparelho lacrimal é composto por glândulas exócrinas e compostas, situadas na parte superior, anterior e externa da órbita e dividem-se em duas porções unidas entre si, a orbitária e a palpebral.

O sistema lacrimal é o responsável pela produção e eliminação das lágrimas e a sua função consiste em estabelecer o equilíbrio entre a lubrificação corneana e a limpeza da superfície

ocular. As glândulas lacrimais acessórias, as glândulas sebáceas de Meibomius, Zeiss e Moll e as calciformes conjuntivais constituem o sistema secretor de produção de lágrima. A lágrima cai no fundo do saco conjuntival, passa para os pontos lacrimais, atravessa o canal lácrimo-nasal e desemboca no meado nasal inferior (3,6-10).

Os músculos extrínsecos, implantados na superfície externa do sistema ocular, asseguram os movimentos coordenados de ambos os globos oculares, de modo a que apenas um dos dois eixos visuais se dirija para o objecto que se pretende ver, o cérebro assimila os estímulos provenientes de ambos os olhos e elabora uma imagem tridimensional única. São seis os músculos extrínsecos oculomotores, responsáveis por todos os movimentos do globo ocular, os quatro rectos e os dois oblíquos. O músculo elevador da pálpebra superior também é um músculo extrínseco, mas não oculomotor (3,6-10).

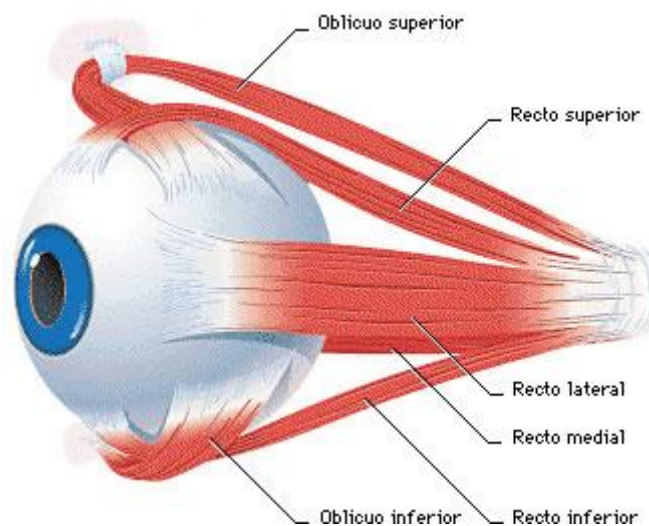


Figura 3-Músculos extrínsecos oculares (11).

Para além dos seis músculos que o globo ocular possui no seu exterior e que são responsáveis pelos movimentos oculares, também contém três camadas concêntricas com a função de visão, nutrição e protecção. A camada externa é formada pela córnea e pela esclerótica que serve de protecção. A camada vascular é formada pela íris, coroídeia e o corpo ciliar. E a parte interna é constituída pela retina que é a parte nervosa (3,6-10).

1.3.1 Camada externa

A esclerótica é uma membrana fibrosa completamente opaca, muito resistente, que protege os tecidos interoculares e constitui 4/5 da camada externa. Tem a forma de um segmento de esfera, apresentando uma abertura anterior, onde se aloja a córnea, sendo a zona de união o limbo esclerocorneano. É perfurada pelas artérias e nervos ciliares e a sua elevada hidratação contribui para a natureza opaca do tecido. A abertura posterior encontra-se perfurada por

uma infindável série de orifícios, semelhante a uma peneira, por onde passam as fibras nervosas para formar o nervo óptico, designada lâmina crivosa. A esclerótica serve de base para uma série de músculos que proporcionam a mobilidade ocular (3,6-10).

A córnea é uma membrana transparente, rica em terminações nervosas sensitivas, derivadas dos nervos ciliares do ramo oftálmico do trigêmeo, quase circular e situada na parte anterior do globo ocular. A face anterior é convexa e encontra-se permanentemente banhada pelo filme lacrimal. A face posterior é côncava e limita a câmara anterior do olho que está continuamente banhada pelo humor aquoso. Trata-se da primeira e mais poderosa superfície refractiva do sistema óptico do olho. O poder refractivo depende da sua curvatura e da diferença entre os índices refractivos córnea/ar. As superfícies, anteriores e posteriores da córnea contribuem para o poder dióptrico ocular com aproximadamente 43 dioptrias (D) representando cerca de 70% do grau refractivo total do olho. É um dos raros tecidos avasculares do organismo. A córnea de uma forma saudável não contém vasos porém factores derivados do sangue impõem importantes relações no metabolismo corneano. Tanto o epitélio como o endotélio da córnea são metabolicamente activos. A superfície da córnea é coberta pelo filme lacrimal que protege a córnea da desidratação e mantém a superfície regular. Podemos sub- dividir a superfície corneal em cinco camadas, epitélio, membrana de bowman (constituída por fibras colageneas), estroma (correspondente a 90% da espessura da córnea), membrana de descemet (também constituída por fibras colageneas) e o endotélio (camada única com cerca de 5×10^5 células poligonais), como se pode ver na figura 4 (3, 6-10).

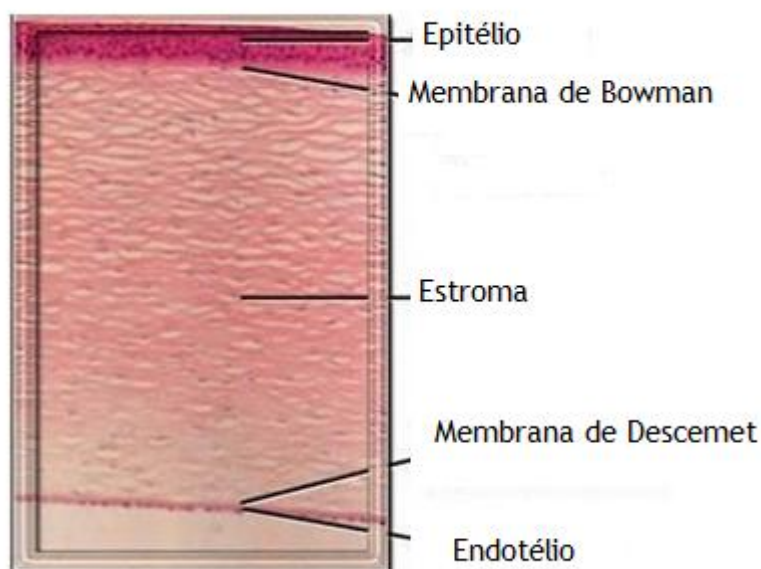


Figura 4- Esquema histológico da córnea (12).

Todas as alterações destas características interferem na clareza da imagem formada na retina como por exemplo, na uniformidade e regularidade das células epiteliais, empinhamento das lamelas do estroma e na ausência de vasos.

1.3.2 Camada média ou vascular

A camada vascular contém três segmentos a coroideia, o corpo ciliar e a íris. A coroideia situada entre a retina e a esclera cobre a superfície interna da esclerótica estendendo-se até à ora serrata (zona de transição entre finalização da coroideia e o começo do corpo ciliar). Trata-se da porção mais extensa da úvea e é composta por inúmeros vasos sanguíneos. A sua principal função consiste em nutrir as estruturas que não apresentam irrigação própria, principalmente os elementos sensoriais da retina. O corpo ciliar situado entre a ora serrata e a íris é o responsável pela função secretora do humor aquoso (líquido que ocupa a parte anterior do olho). A íris constitui a parte anterior da camada vascular e divide o segmento anterior do olho em câmara anterior e câmara posterior sendo a sua principal função aumentar a quantidade de luz que atravessa o olho, quando está escuro e diminuí-la quando a luminosidade é intensa. No centro da íris existe uma abertura circular, a pupila através da contração ou dilatação das fibras musculares que regula a passagem dos raios luminosos até ao fundo do olho (3, 6-10).

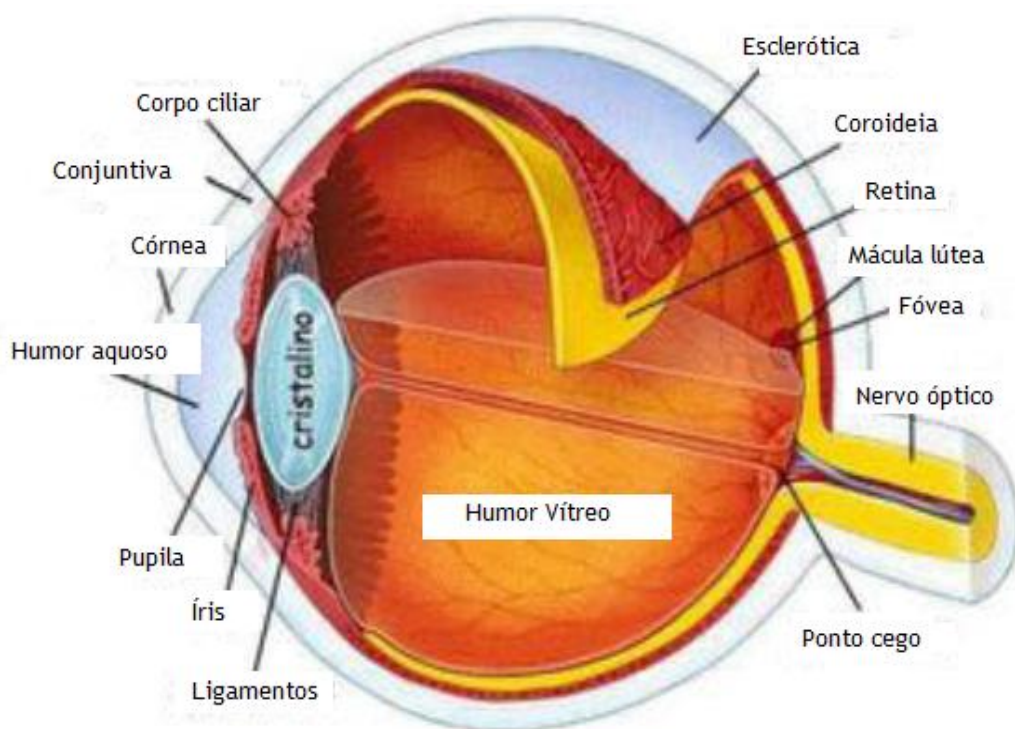


Figura 5- Disposição estrutural do olho (13).

1.3.3 Camada interna - Retina

A retina é a membrana interna no olho, que pode ser dividida em retina sensorial que é a camada neurosensorial do globo ocular onde se encontram os fotorreceptores, e a retina neural que é constituída por várias células, de sustentação e outras cujos prolongamentos formam o nervo óptico.

As células fotossensíveis da retina (fotoreceptores) transformam a luz, focalizada pelo cristalino, em impulsos eléctricos, que são enviados para o cérebro através do nervo óptico. As imagens formadas na retina são então interpretadas pelo cérebro (3,6-10).

1.3.4 Meios de refacção

Os meios transparentes contidos no globo ocular permitem a refacção da luz bem como a sua transmissão. Além da córnea os meios transparentes são, o humor aquoso, o cristalino e o humor vítreo (3,6-10).

O humor aquoso é produzido pelos processos ciliares e é o principal veículo para os nutrientes e trocas metabólicas nos tecidos não vascularizados como a córnea e o cristalino. Transporta a glucose, os aminoácidos e os gases respiratórios (3,6-10).

O cristalino tem uma forma biconvexa, transparente e elástica que se localiza entre a íris e o humor vítreo. Apresenta na sua constituição células organizadas longitudinalmente. Devido ao poder acomodativo, a sua principal função consiste na sua adaptação, consoante as necessidades requeridas pela visão. O poder refractivo em jovens pode ser aumentado voluntariamente de 18D até aproximadamente 32D. À medida que o sistema envelhece o cristalino vai perdendo algumas das suas características, como por exemplo, a capacidade elástica limitando a sua capacidade de acomodar e desencadeando dificuldades de focagem, nomeadamente nas tarefas de perto, o que designamos por presbiopia (3,6-10).

Humor vítreo é uma substância gelatinosa e viscosa que ocupa o espaço compreendido entre a retina e a face posterior do cristalino. As suas principais funções são: permitir a difusão da luz, a difusão dos nutrientes, manter o cristalino, a retina nas suas posições e manter a forma do globo ocular (3,6-10).

1.3.5 Células Receptoras

Os elementos fotossensíveis da retina, que convertem a imagem visual em impulsos nervosos, são os bastonetes e os cones. Os bastonetes detectam as imagens em *preto e branco* enquanto os cones detectam as *cores*. Os cones são receptores sensoriais excitados pela luz e transformam a energia luminosa em sinais neuronais que são transmitidos para o encéfalo. O olho contém aproximadamente seis milhões de cones e 120 milhões de bastonetes. A maioria dos cones está concentrada numa pequena área chamada fóvea central contendo somente células do tipo cone. A concentração de cones diminui à medida que se afasta da mácula, enquanto a concentração de bastonetes atinge um máximo a cerca de 4mm da fóvea. A camada pigmentar da retina contém grandes quantidades de pigmento negro muito escuro, a melanina, cuja é absorver os raios luminosos que atravessam a retina e, portanto impedir a reflexão da luz de volta para o olho. As pessoas incapazes de produzir melanina, designados

albinos, apresentam uma falta total de pigmento nessa camada da retina. Como resultado, os raios luminosos após atravessarem a retina são reflectidos em todas as direcções, o que acontece com tal intensidade que todas as imagens ficam ofuscadas pela claridade excessiva da luz. A visão de uma pessoa albina é em geral uma acuidade três vezes menor do que uma pessoa normal (10).

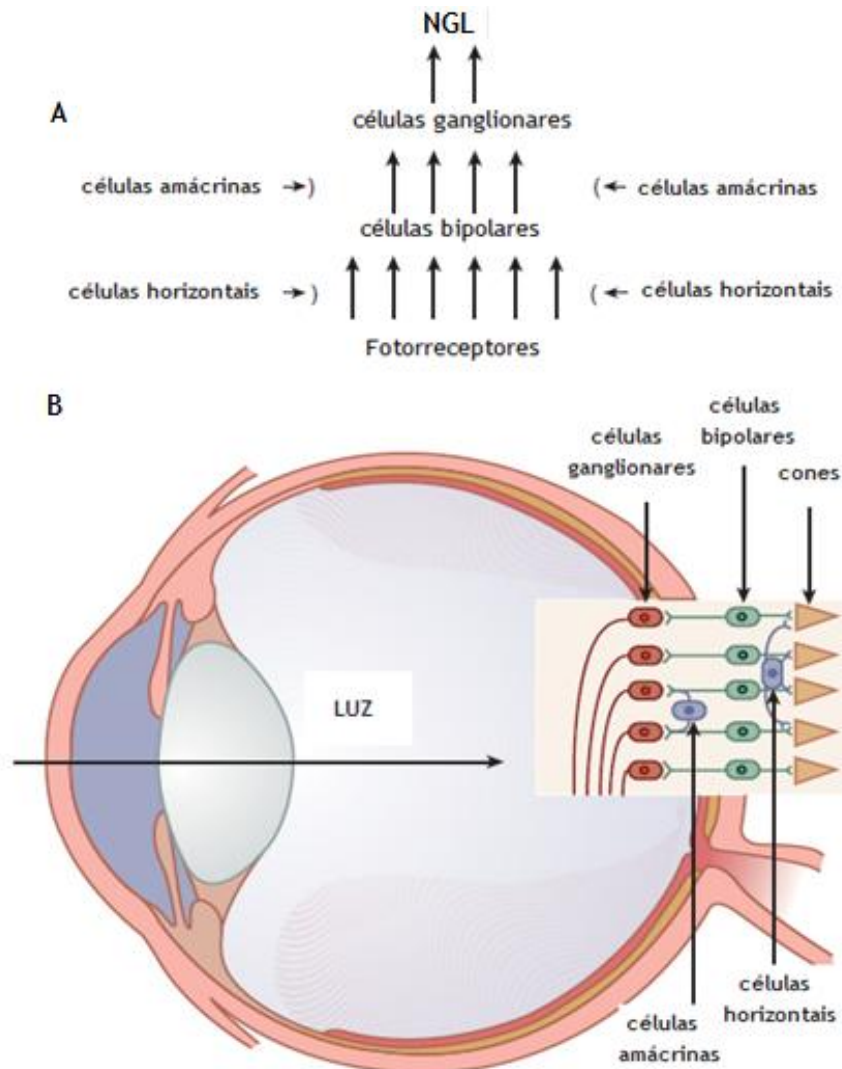


Figura 6 A- Fluxograma esquemático do processamento da retina. NGL- Núcleo geniculado lateral. B- Representação esquemática da retina, zona da fóvea, ampliada (4).

Na figura 6 está representado um fluxograma esquemático do processamento da retina. Os fotoreceptores (bastonetes e cones) respondem à luz transformando a energia radiante em actividade eléctrica. As células bipolares estabelecem sinapses dendríticas com os fotoreceptores e com as células ganglionares, figura 6-B. Estas últimas células dão origem às fibras do nervo óptico, que conduzem esses sinais para o encéfalo. As células bipolares raramente fazem conexão directa com as células ganglionares, ligando-se preferencialmente às células amácrinas, que posteriormente enviam sinal às ganglionares. Isto permite que um conjunto de células ganglionares leve informação tanto de cones como de bastonetes, estando envolvidos três processos oponentes (claro versus escuro, vermelho versus verde e

azul versus amarelo). Existem três tipos de células ganglionares, umas são do tipo P que são mais sensíveis à forma dos estímulos e a detalhes finos, outras do tipo M que são particularmente importantes para a detecção de movimentos de estímulos e as do tipo não-M e não-P que correspondem a 5% e são menos bem caracterizadas (10).

As células horizontais cujos dendritos estão em contacto com os fotoreceptores têm como função estabelecer protecção à retina em casos de excesso de luz, isto é inibem a resposta das células a que estão ligadas, de modo a diminuir a sensibilidade e assim proteger a retina. As células amácrinas não têm axónios e apresentam todos os seus dendritos saindo do mesmo lado da célula. As células horizontais respondem à iluminação mantida, enquanto as células amácrinas respondem à mudança na iluminação. As células ganglionares são responsáveis pelo processamento de detalhe de alto contraste e resolução de cor (10).

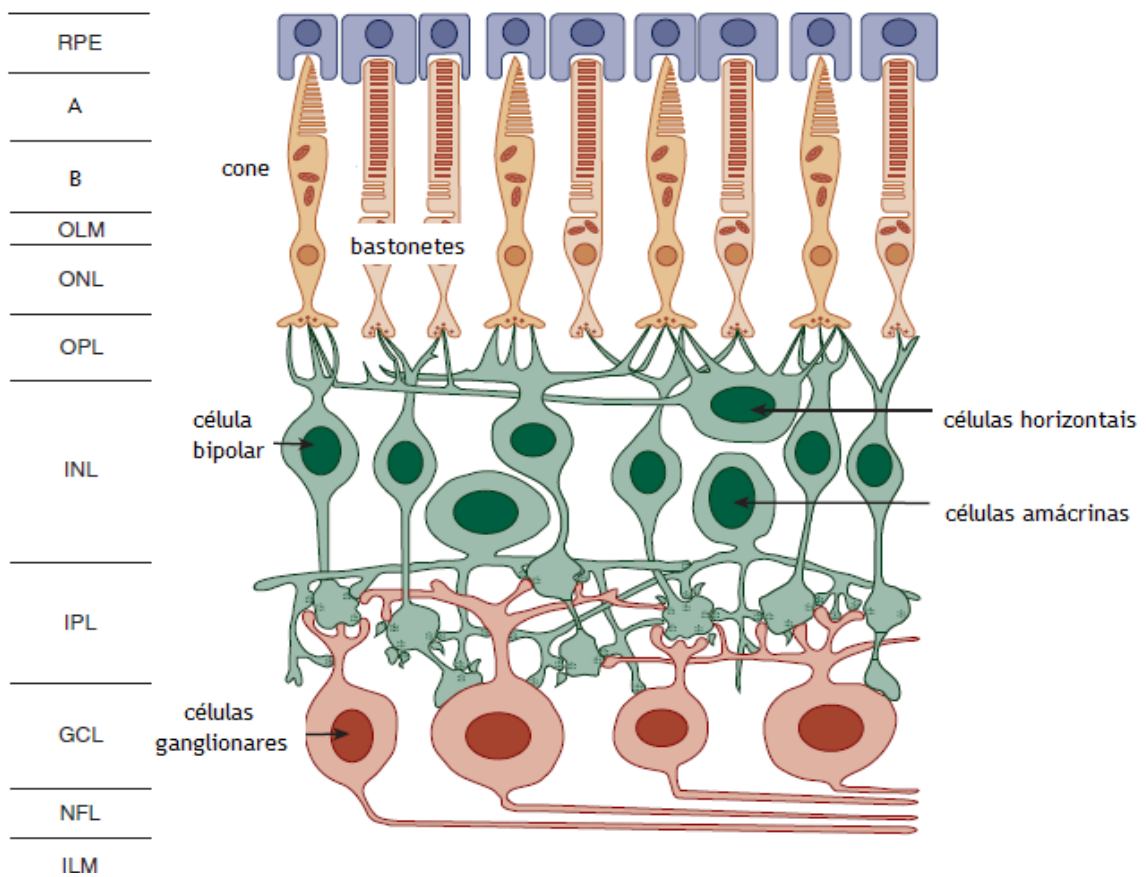


Figura 7- Esquema do processamento das células (4).

Na figura 7 está representado um esquema da organização retinal. Esta estrutura em camadas é constituída por:

- RPE- Epitélio pigmentar da retina;
- A- segmento externo dos fotorreceptores;
- B- segmento interno dos fotorreceptores;
- OLM- membrana limitante externa;
- ONL- camada nuclear externa;
- OPL- camada plexiforme externa;
- INL- camada nuclear interna;
- IPL- camada plexiforme interna;

A luz virá do fundo do diagrama e atravessa a retina interna até alcançar os fotorreceptores.

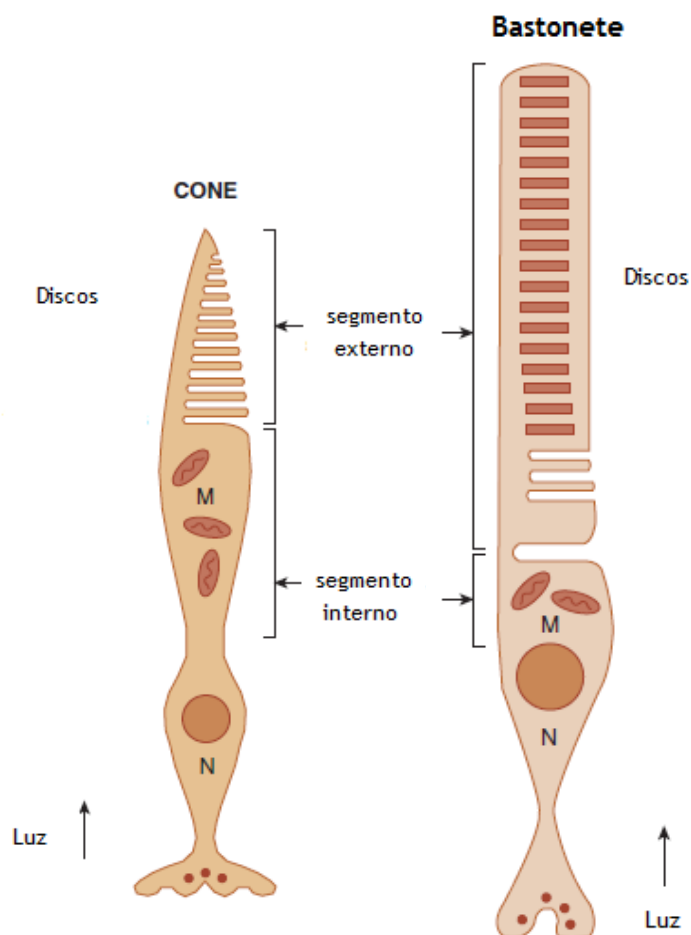


Figura 8-Desenhos esquemáticos de um cone (esquerda) e de um bastonete (direita). O núcleo é designado por "N" e as mitocôndrias por "M" (4).

A figura 8 mostra que o bastonete apresenta um segmento que é caracterizado pelo grande número de pregas na membrana celular, que se formam como "prateleiras" em forma de

disco, profundamente mergulhadas no citoplasma. Nessas “prateleiras” fica localizada a substância química fotossensível - a rodopsina. A estrutura básica dos cones é muito semelhante à dos bastonetes, embora sejam células mais curtas e com os segmentos externos de forma cônica em vez de cilíndrica. Também as substâncias fotossensíveis nos discos externos são um pouco diferentes da rodopsina, o que faz com que os diversos cones sejam sensíveis a cores diferentes (10).

1.4 Química da Visão

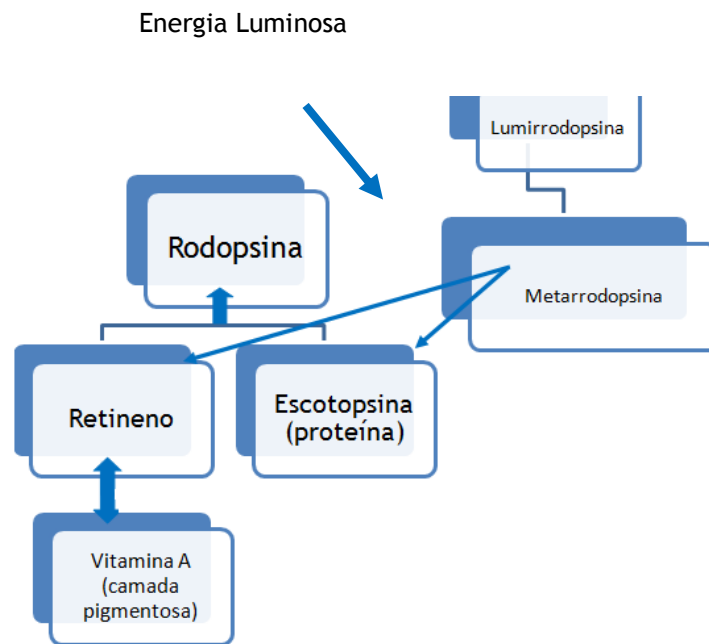


Figura 9- Ciclo do retineno-rodopsina responsável pela sensibilidade à luz dos bastonetes [Adaptado da referência (10)].

Quando a luz atinge a retina, nos períodos entre as estimulações luminosas ocorrem nos bastonetes alterações químicas fundamentais. A vitamina A é o composto químico utilizado, tanto pelos cones como pelos bastonetes, para a síntese de substâncias fotossensíveis. Ao ser absorvido por um bastonete, a vitamina A é transformada em retineno. Esse retineno combina-se com uma proteína dos bastonetes - a escotopsina - para formar o composto rodopsina. Se o olho não estiver exposto à energia luminosa, a concentração de rodopsina pode aumentar até atingir valores muito elevados (10).

Quando um bastonete é exposto à energia luminosa, parte da rodopsina é transformada imediatamente em lumirrodopsina. Como a lumirrodopsina é um composto muito instável que só perdura na retina cerca de um décimo de segundo, é degradada imediatamente. A outra substância, a metarrodopsina, igualmente instável, é também degradada muito rapidamente, em retineno e escotopsina. Desta forma, a energia luminosa fracciona a rodopsina nas substâncias que inicialmente a formaram, o retineno e a escotopsina. No processo de fraccionamento da rodopsina, os bastonetes são excitados por cargas iônicas, que se desenvolveram por instantes nas superfícies em fraccionamento da rodopsina. Durante este pequeno intervalo de tempo, são gerados sinais neurais no bastonete, que são transmitidos para o nervo óptico e por meio dele, para o encéfalo. Após a rodopsina ter sido decomposta, pela energia luminosa, os seus produtos de decomposição - o retineno e a escotopsina- são de novo recombinados, pelos processos metabólicos da célula, para formar nova rodopsina, que

pode ser utilizada para produzir excitação adicional dos bastonetes. A rodopsina torna-se “transparente” quando lhe incide luz, isto é, quando excitada por um fóton de luz, pelo que em condições diurnas é como se não existisse. Depois de excitada, 50% da rodopsina demora 5 minutos a recuperar, depois de 15 a 20 minutos toda a rodopsina terá recuperado o seu estado. É por esse motivo que devemos esperar alguns minutos até conseguirmos ver quando entramos numa sala escura. A rodopsina absorve luz da zona central do espectro visível (azul-verde), apresenta o seu máximo de absorção nos 507nm e é relativamente insensível à luz vermelha (10).

Os cones possuem 3 fotopigmentos fundamentais, o cianopigmento - cones S - (λ curto) - 426nm, o cloropigmento - cones M - (λ médio) - 530nm e o eritopigmento - cones L - (λ longo) - 557nm. Os processos químicos suportados pelos cones são muito semelhantes aos dos bastonetes. A proteína característica dos bastonetes é substituída por uma de três proteínas semelhantes, que se chamam genericamente fotopsinas. Para que os três tipos de cones sejam, de modo selectivo, sensíveis a diferentes cores é necessário que as fotopsinas sejam ligeiramente diferentes (4).

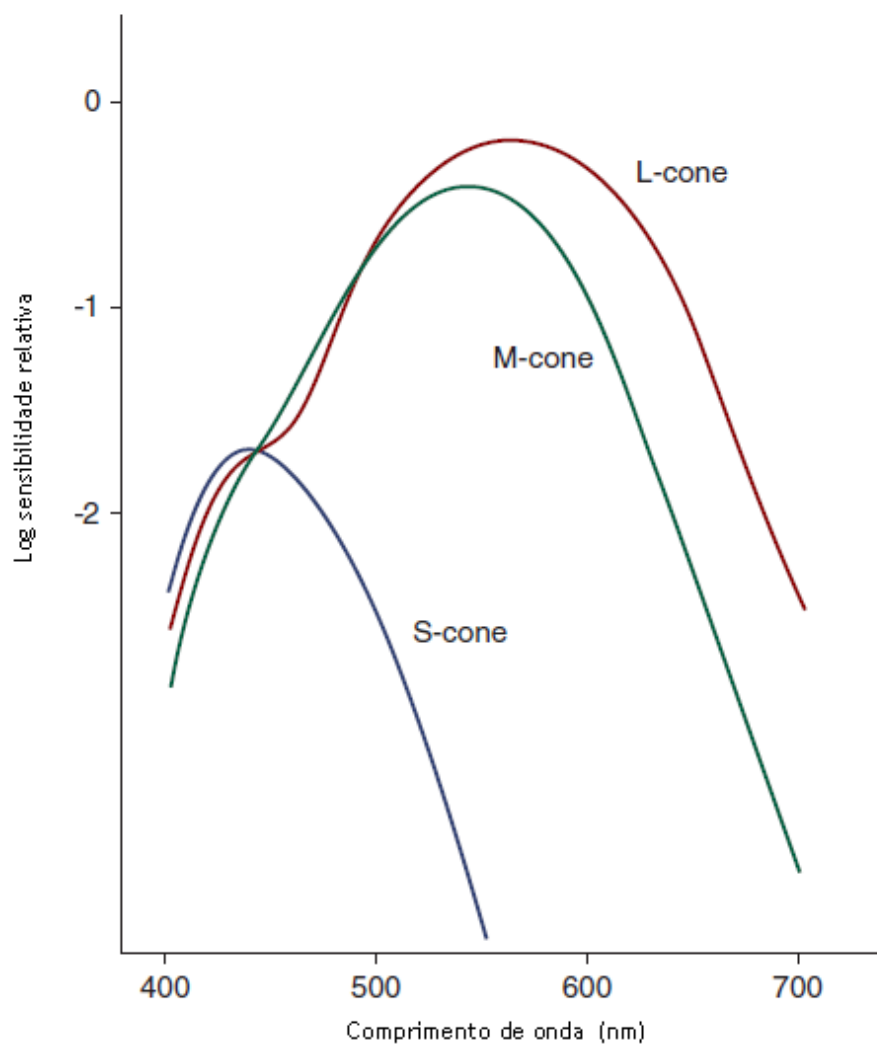


Figura 10- Espectros de absorção do cianopigmento (S-cone), cloropigmento (M-cone) e do eritopigmento (L-cone) (4).

1.5 “Para além da retina”

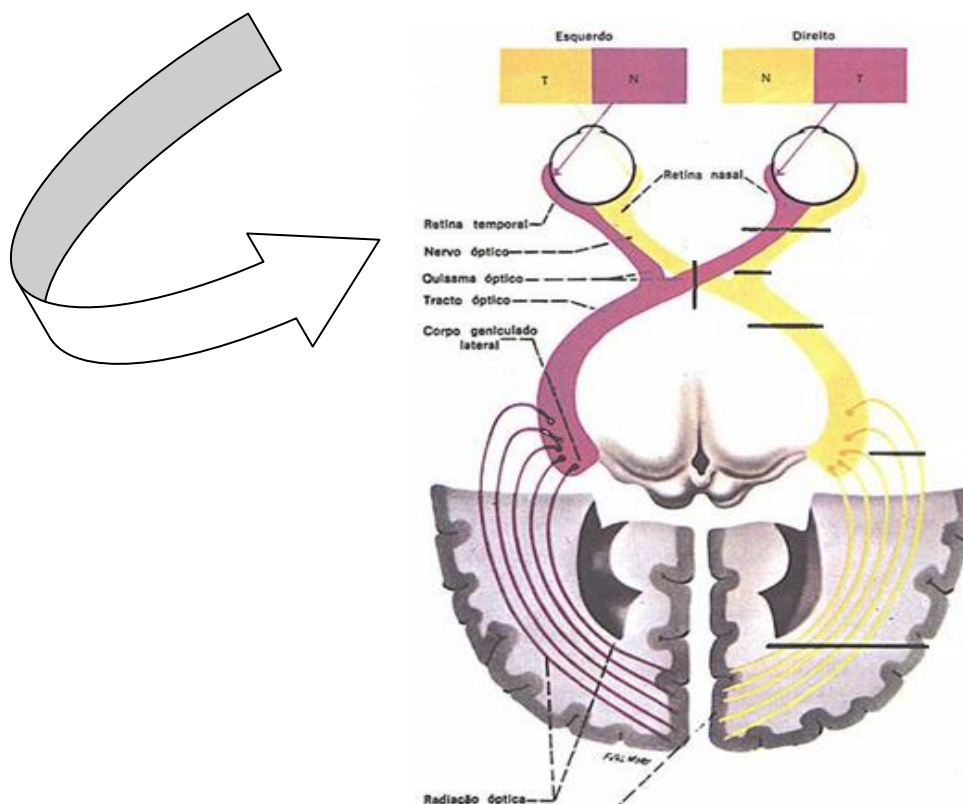
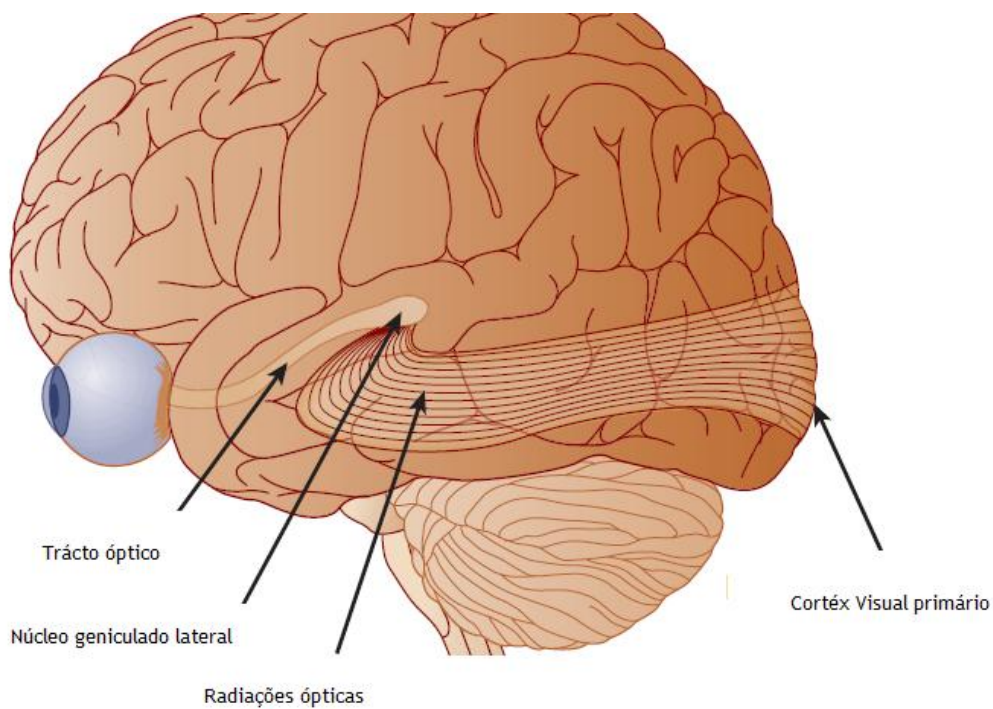


Figura 11- Esquema ilustrativo do percurso retinocortical visual [Adaptado da referência (4, 14)].

O nervo óptico é formado pelos axónios das células ganglionares que à saída do disco óptico adquirem uma bainha de mielina. O número das células ganglionares varia de pessoa para pessoa, pelo que as fibras do nervo óptico também são variáveis. A lâmina formada pelo entrecruzamento dos dois nervos ópticos chama-se quiasma óptico. Por exemplo na figura 11 a informação visual da retina temporal direita e da retina nasal esquerda (representado pela cor amarela) é transferida para o hemisfério direito. Já a informação da retina temporal esquerda e da retina nasal direita (representado pela cor rosa) já é transferida para o hemisfério direito.

O tracto óptico é um conjunto de fibras que vão do quiasma até ao corpo geniculado lateral. A partir daí as radiações ópticas dispersam-se em forma de um leque, penetrando profundamente nos hemisférios cerebrais ao nível dos lobos occipitais - córtex visual. A área cortical em que a maioria dos axónios do núcleo geniculado lateral estabelecem sinapse designa-se córtex visual estriado (15-16).

O núcleo geniculado lateral (NGL) selecciona a informação que será transmitida ao córtex visual primário (área 17 de Brodman), a maior parte desta área localiza-se na superfície medial do lobo occipital. Podemos subdividir o NGL em camadas ventrais 1 e 2 que contêm neurónios maiores e nas quatro camadas dorsais de 3 a 6 que contêm as células menores. As camadas ventrais são as camadas magnocelulares (que provêm da projecção das células ganglionares do tipo M) e as camadas dorsais são as camadas parvocelular (que ocorre da projecção das células ganglionares do tipo P). Ainda existe numerosos pequenos neurónios que se localizam ventralmente e que se designam, células coniocelulares que recebem impulsos de células ganglionares da retina do tipo não-M e não-P e se projectam para o córtex visual. As células parvocelulares codificam as informações das cores no vermelho e verde, o sistema magnocelular codifica os movimentos rápidos e o sistema coniocelulares desempenha um papel na visão das cores no azul - amarelo (15-16).

Capítulo

2 Percepção visual

A visão escotópica ocorre em ambientes com pouca iluminação, baixa acuidade visual, ausência de discriminação de cores e é efectuado pelos bastonetes. Por outro lado a visão fotópica ocorre sob condições luminosas, apesar da sua sensibilidade diminuir em ambientes pouco iluminados, é caracterizada por uma óptima acuidade visual e para além disso processa-se à discriminação da cor. Os cones são as células sensoriais nervosas responsáveis por este tipo de visão. Em condições de iluminação média (visão mesópica) tanto os cones, como os bastonetes contribuem para esta visão.

A capacidade em detectar estímulos em condições escotópicas, é determinada pela curva de absorção da rodopsina e pode ser demonstrado através da medida da sensibilidade espectral escotópica. Em primeiro lugar é necessário adaptar o indivíduo a uma sala escura durante 45 minutos para maximizar a regeneração da rodopsina. Posteriormente é determinado o limiar que é a menor quantidade de energia necessária para que esse indivíduo consiga detectar estímulos dos vários comprimentos de onda (4,17).

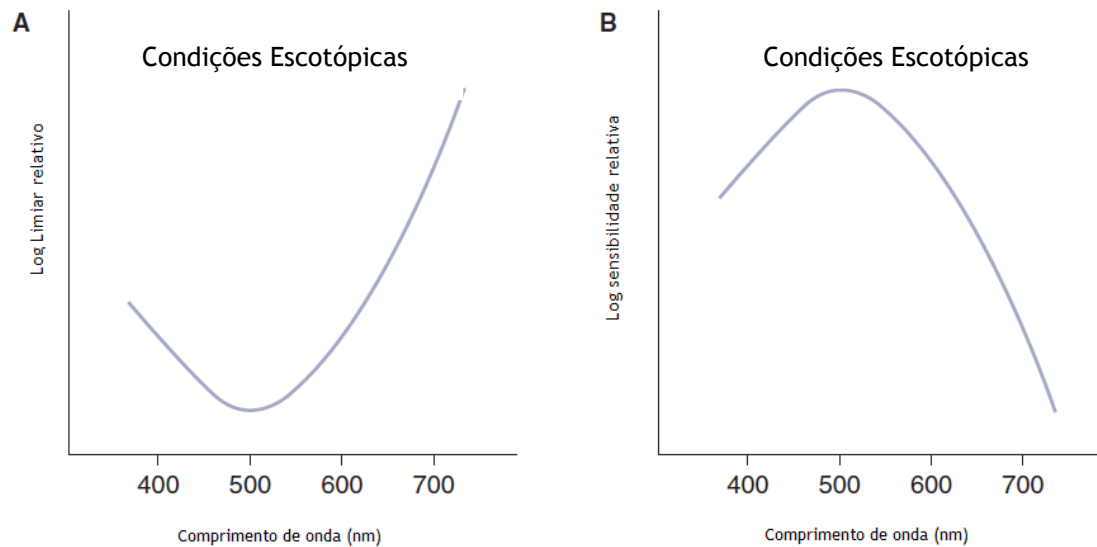


Figura 12 A- Representação gráfica do limiar de um indivíduo em função do comprimento de onda; B- Representação gráfica da sensibilidade relativa em função do comprimento de onda (4).

Os gráficos da figura 12 permitem-nos concluir que o limiar, em função do comprimento de onda, é inversamente proporcional à sensibilidade, isto é, um limiar baixo representa uma elevada sensibilidade.

As curvas de sensibilidade espectral fotópica e escotópica podem ser determinadas de forma análoga, a única diferença é que no caso fotópico é necessário que a medida da sensibilidade seja efectuada em condições de maior iluminação. Apesar da existência de três fotopigmentos possíveis nos cones a curva de sensibilidade espectral fotópica mostra um único pico amplo na região dos 555nm.

A curva da figura 13 representa aparentemente, a adição dos espectros de absorção dos cones M e L (ver figura 10), uma vez que os quanta de luz absorvidos por estes dois fotopigmentos contribuem para esta função (4,17).

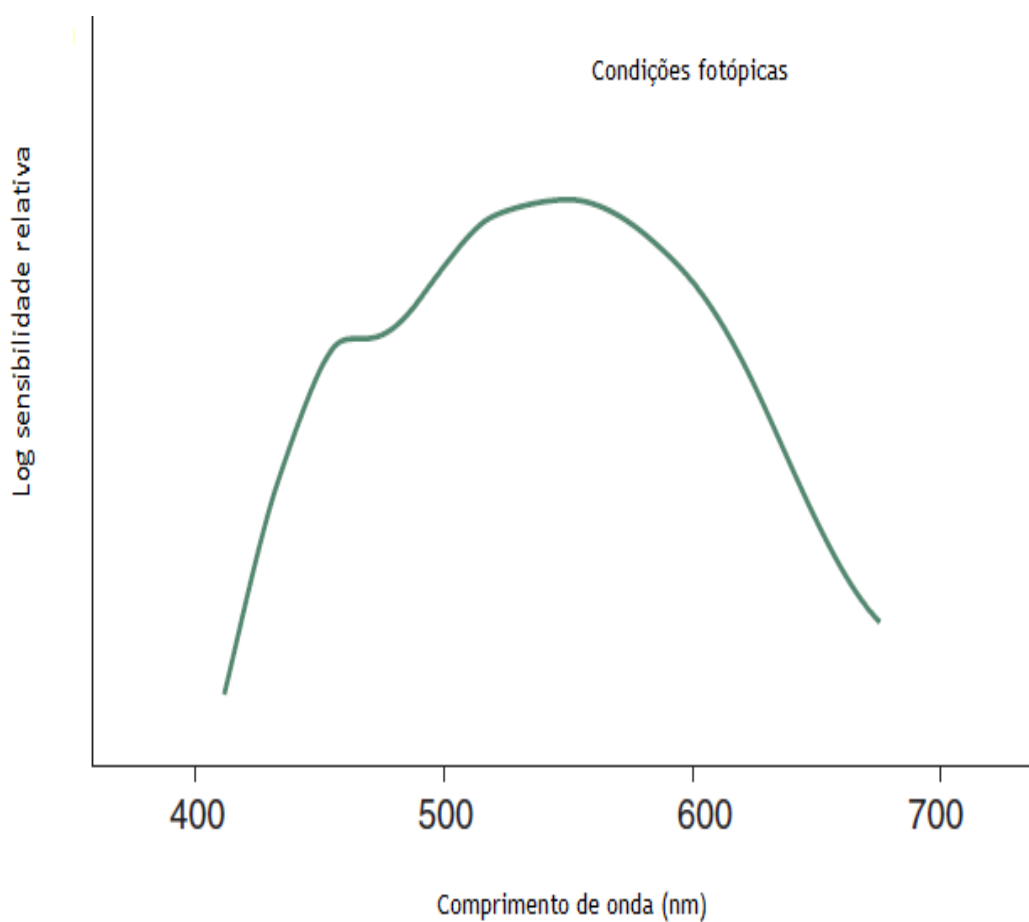


Figura 13- Representação gráfica da sensibilidade fotópica em função do comprimento de onda (4).

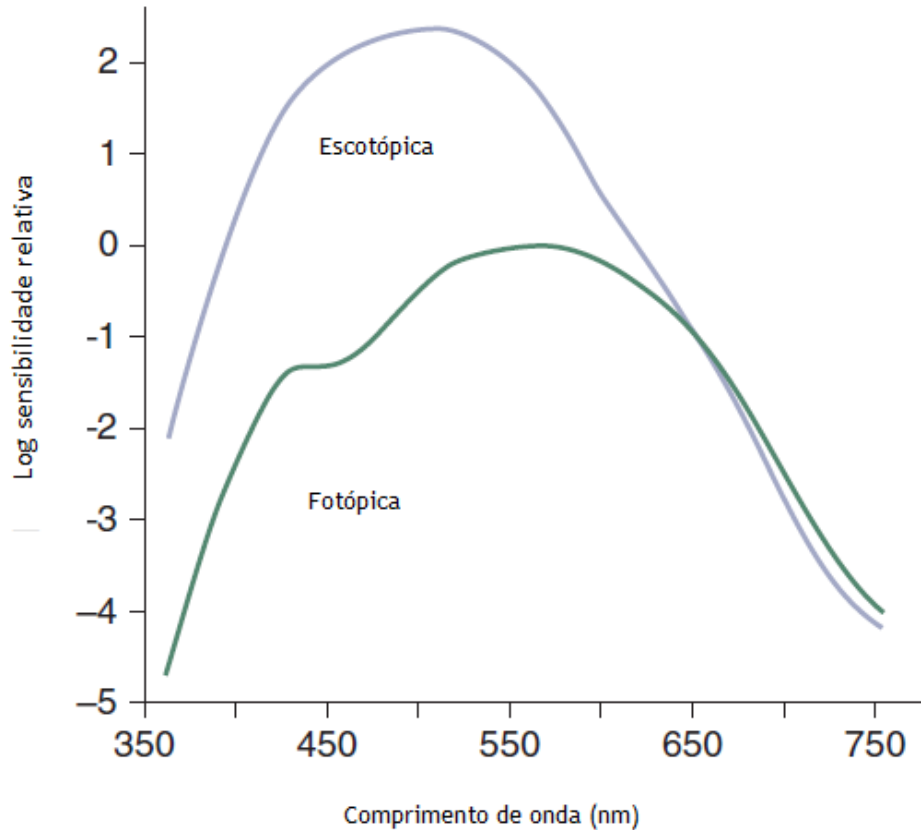


Figura 14- Funções de sensibilidade em condições escotópicas e fotópicas. Estas funções representam a sensibilidade absoluta dos dois sistemas (4).

No gráfico da figura 14 estão representadas as duas funções de sensibilidade espectral em condições fotópicas e escotópicas. Os limites foram determinados após o sujeito ter sido submetido à adaptação ao escuro, permitindo assim a regeneração da rodopsina bem como dos fotopigmentos dos cones. As curvas representam a sensibilidade e dois limiares que estão presentes, um para visão escotópica e outro para a visão fotópica. Por exemplo, considerando-se um estímulo de 500nm, em que a intensidade é aumentada lentamente, verifica-se que a detecção é efectuada pela primeira vez pelo sistema escotópico. À medida que a intensidade continua a ser aumentada pode eventualmente ser vista com cor e, neste caso, detectada pelo sistema fotópico. À diferença de sensibilidade entre os sistemas fotópicos e escotópico denomina-se intervalo fotocromático. A partir dos 650nm (região do vermelho) o sistema fotópico torna-se mais sensível que o sistema escotópico (4,17).

O efeito de Purkinje ocorre devido ao deslocamento do pico de sensibilidade dos 507nm para os 555nm, à medida que passamos de condições escotópicas para condições fotópicas.

Como já foi referido a retina humana contém cerca de 120 milhões de bastonetes e 6 milhões de cones. Analisando a imagem 15 podemos observar um pico de densidade de aproximadamente 150.000 cones/mm² e uma maior concentração de bastonetes nos 20 graus

de excentricidade retiniana. Isto significa que quando queremos observar uma estrela, não devemos olha-la directamente mas sim dirigir o nosso olhar para um ponto ligeiramente ao lado.

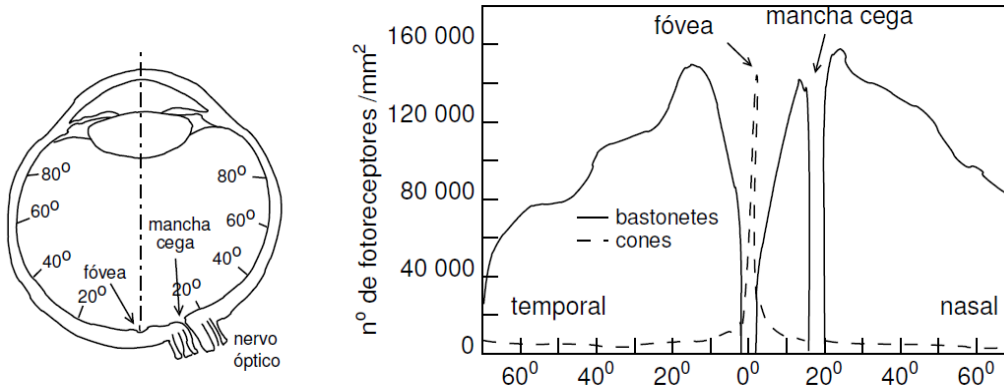


Figura15-Distribuição de fotoreceptores na retina (17).

2.1 Adaptação ao escuro

A maioria de nós já teve a experiência de, depois de estar algum tempo ao sol entrar numa sala escura não conseguir visualizar, imediatamente, os objectos com clareza. No entanto, ao fim de alguns minutos começa-se a recuperar a “visão” e já se consegue observar os objectos. Esta melhoria gradual da visão após exposição à luz (neste caso o sol), está relacionada com a adaptação ao escuro. Por exemplo, consideram um indivíduo que é exposto a uma fonte de luz muito intensa. Em seguida apaga a luz e determina-se o limiar de detecção ao longo do tempo. Analisando-se o gráfico verifica-se que o limiar de detecção à medida que o tempo vai passando, é significativamente menor nos bastonetes, o que evidencia a sua elevada sensibilidade em ambientes escuros. Este tipo de análise tem sido muito vantajosa para o diagnóstico clínico de alguns problemas ao nível da retina. Uma curva, de adaptação anormal ao escuro, é comum em determinados sintomas que são típicos da retinose pigmentar, incluindo o caso de cegueira noturna e uma recuperação visual lenta após a exposição a uma luz brilhante, que ocorre muitas vezes na oftalmoscopia. O gráfico da 16 figura foi obtido com um estímulo de 420nm (4,17).

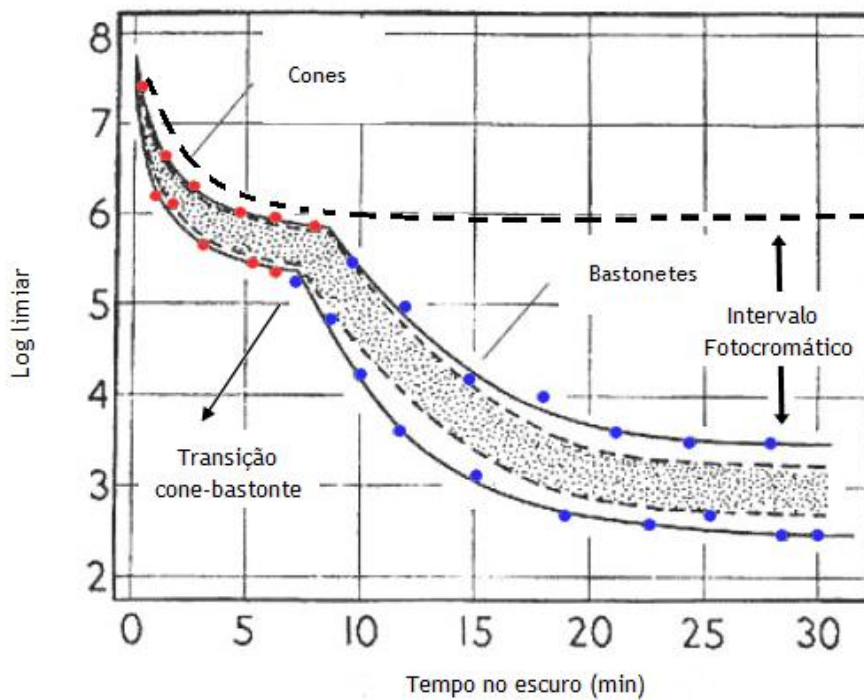


Figura 16 - Gráfico que representa a curva de adaptação ao escuro [Adaptado da referência (19)].

Uma questão que podia colocar-se seria o que poderíamos esperar da forma do gráfico no caso de recorrerem a estímulos com diferentes comprimentos de onda. Sabendo que os bastonetes são insensíveis ao comprimento de onda do vermelho, então esperaríamos obter um gráfico em que não existe nenhuma transição entre cone - bastonete (4,17).

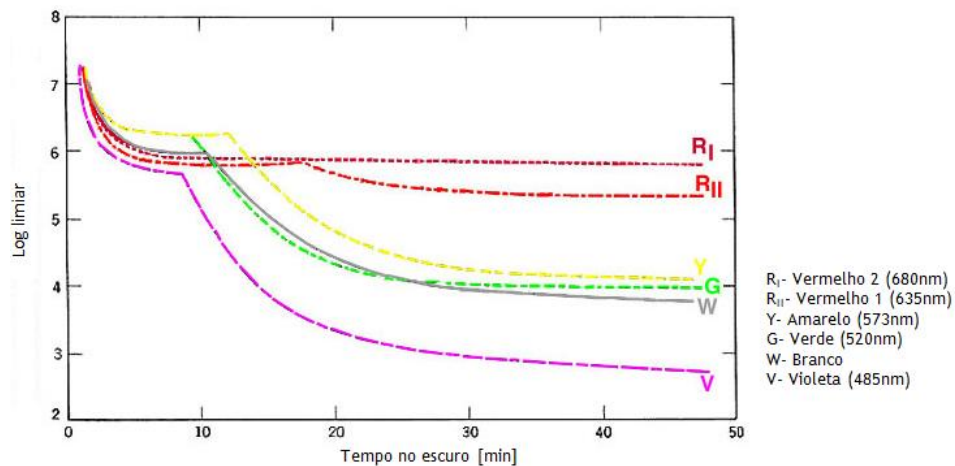


Figura 17- Gráfico que representa a curva de adaptação ao escuro mas com estímulos que apresentam comprimentos de onda diferentes (19).

Suponhamos que nos exemplos anteriores o estímulo utilizado seria um estímulo fixo, central e que o seu tamanho atingisse tanto a fóvea como uma zona envolvente da retina. Se utilizássemos um estímulo com um diâmetro de 10 graus e um outro estímulo mais pequeno, por exemplo 0,5 graus, os resultados obtidos iriam ser diferentes porque só a função do cone

iria ser evidenciada (no estímulo de 0,5 graus) devida à inexistência de resposta por parte dos bastonetes.

2.2 Adaptação à claridade

Num dia cheio de sol, a adaptação à claridade é estudada com um procedimento de limiar diferencial. O limiar é determinado com um flash de luz (diferencial) que é apresentado sobre um fundo de intensidade uniforme. Se a intensidade do fundo é aumentada repetimos a medida do limiar.

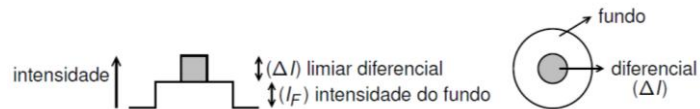


Figura 18- Esquema representativo do limiar diferencial (17).

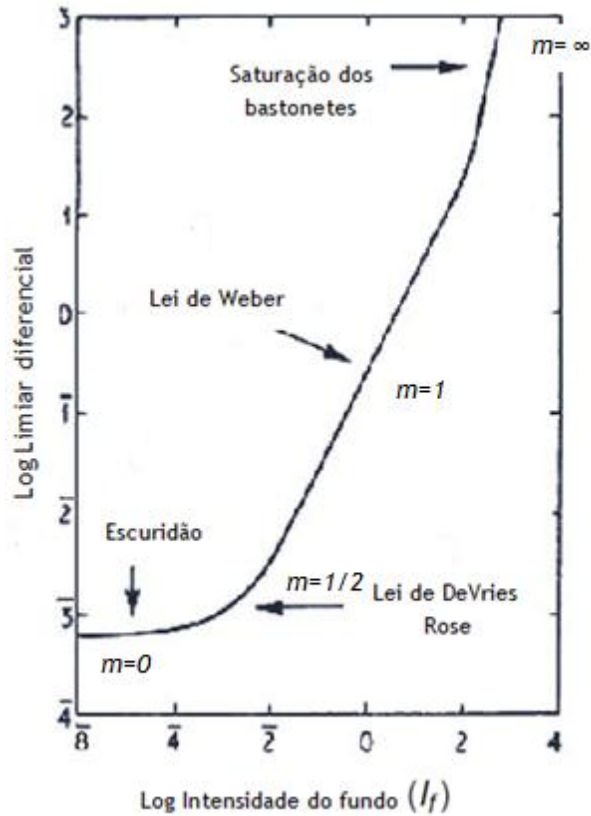


Figura 19- Curva de adaptação à claridade (19).

O gráfico representado na figura 19 representa a curva de adaptação à claridade. Para valores $m = 0$, escuridão, em que m representa o declive a detecção é limitada pelo ruído neuronal. Esta situação acontece quando, por exemplo visualiza um ponto luminoso numa sala escura mas esse estímulo nunca existiu. Quando o $m = 1/2$, o estímulo começa a ser suficiente o que permite sobrepor o ruído, isto é, a pessoa pode responder devido à alteração da própria luz. A expressão da lei de DeVries Rose referencia a importância das flutuações da fonte na determinação do limiar:

$$\Delta I = (I_F)^{1/2} \quad (3)$$

ΔI onde é o limiar diferencial e I_F a intensidade do fundo. Por outro lado, se o $m = 1$, à medida que se aumenta o fundo, as flutuações da fonte ocorrem na mesma proporção, a lei de Weber permite justificar esta característica, k representa um valor constante (4,17).

$$k = \frac{\Delta I}{I_F} \quad (4)$$

A saturação ocorre quando $m = \infty$, nesta situação a pessoa deixa de perceber o estímulo porque há muita luminância (20).

2.3 Resolução e somação espacial

A acuidade visual em condições fotópicas é da ordem de 20/20, enquanto que, a acuidade escotópica é de cerca de 20/200. Isto significa que, em condições fotópicas, o ser humano vê melhor pois tem uma maior capacidade de perceber os detalhes e uma sensibilidade ao contraste superior. Por outro lado, a capacidade de detectar um estímulo é muito maior em condições escotópicas. Na figura 14 podemos observar que para um estímulo de 500nm seja detectado em condições fotópicas deverá ser cerca de mil vezes mais intenso do que no caso de condições escotópicas. Pode então concluir-se que em condições fotópicas a sensibilidade ao contraste e a resolução visual são maiores mas, em condições escotópicas é maior a sensibilidade absoluta. Pode considerar-se que o compromisso entre a resolução visual e sensibilidade está, de certa forma, relacionado com a forma como cones e bastonetes estão ligados aos elementos receptores posteriores da retina (4,17).

Os bastonetes comunicam com as células ganglionares de maneira a somarem a informação espacial, permitindo grande sensibilidade mas pobre resolução. Por outro lado os cones comunicam de maneira a maximizar a resolução mas sacrificam a sensibilidade (4,17).

Na figura 20 está esquematicamente representado a forma como os bastonetes e cones se conectam com a célula ganglionar. Observando esta figura verifica-se que esta organização permite que o sistema escotópico atinja o limiar.

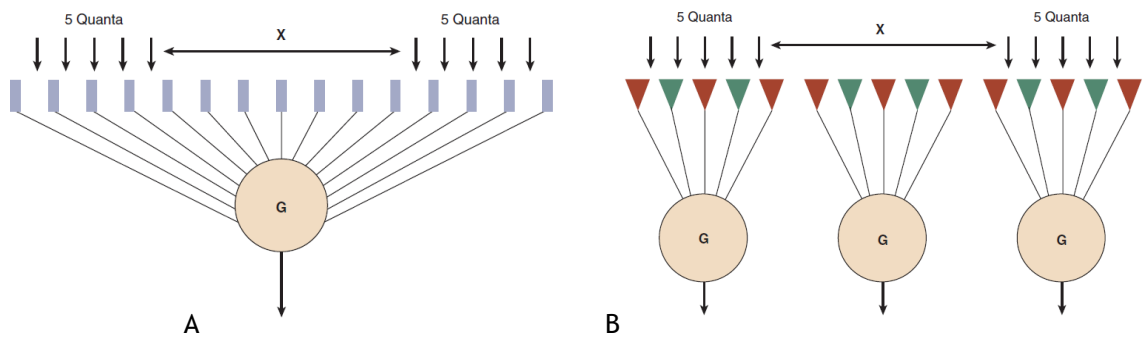


Figura 20- Ilustração esquemática da organização dos elementos receptores posteriores da retina do (A) sistema escotópico e (B) do sistema fotópico (4).

Considerando o mesmo valor numérico de energia 10 quanta, verifica-se que:

No esquema A- O indivíduo só consegue detectar um só ponto devido à soma espacial (muitos bastonetes comunicam com a mesma célula ganglionar, e o sistema escotópico soma a informação espacial);

No esquema B- O indivíduo já consegue discriminar os dois pontos.

Quando existe pouca luz o primeiro sistema a detectar o estímulo é o sistema escotópico, mas só o sistema fotópico é que tem resolução suficiente para detectar o detalhe, ou seja, o número de pontos luminosos. É por este motivo que podemos ver uma estrela pouco luminosa, na noite escura, tendo uma acuidade escotópica de apenas 0,1 (4).

A lei de Ricco permite calcular a somação espacial, que é classicamente demonstrada considerando-se um observador na presença de um *spot* de luz muito pequeno a partir do qual se determina o número limiar de quanta necessário para detectar a luz. A experiência é repetida considerando-se *spots* de tamanho superior e a partir daqui é possível representar graficamente a função obtida na figura 21. Esta lei é matematicamente apresentada por:

$$IA = k \quad (5)$$

onde I representa a intensidade dos estímulos (quanta/área), A a área dos estímulos e k uma constante. Analisando o gráfico da figura 21 verifica-se que, até aos 10 minutos de arco, o número de quanta necessário para haver detecção é constante, o que significa que o número limiar de quanta pode ser fornecido num *spot* de 1 minuto de arco ou espalhado numa área maior até 10 minuto de arco, ao qual se dá o nome de diâmetro crítico (4,17).

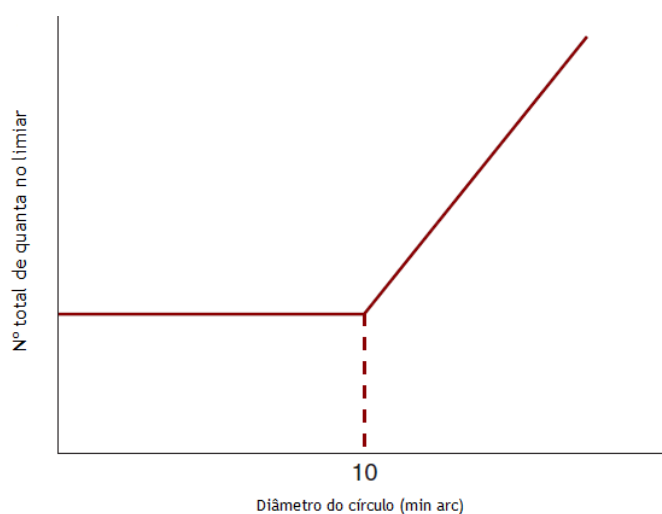


Figura 21- Expressão clássica de Ricco que demonstra a soma espacial em condições escotópicas (4).

A diferença na soma espacial entre os sistema escotópico e o sistema fotópico manifesta-se como uma diferença nos seus diâmetros críticos. Devido à reduzida capacidade de soma espacial do sistema fotópico não deve ser surpresa o facto de o diâmetro crítico do sistema fotópico ser menor do que o do sistema escotópico.

2.4 Resolução e somação temporal

Na visão fotópica e escotópica existem, também, diferenças significativas nas propriedades temporais. O sistema escotópico soma a informação ao longo do tempo, em maior medida do que o sistema fotópico por isso, apresenta uma maior somação temporal. No entanto, o sistema fotópico é capaz de distinguir dois flashes de luz separados por um curto intervalo de tempo, o que permite uma maior resolução temporal (4,17).

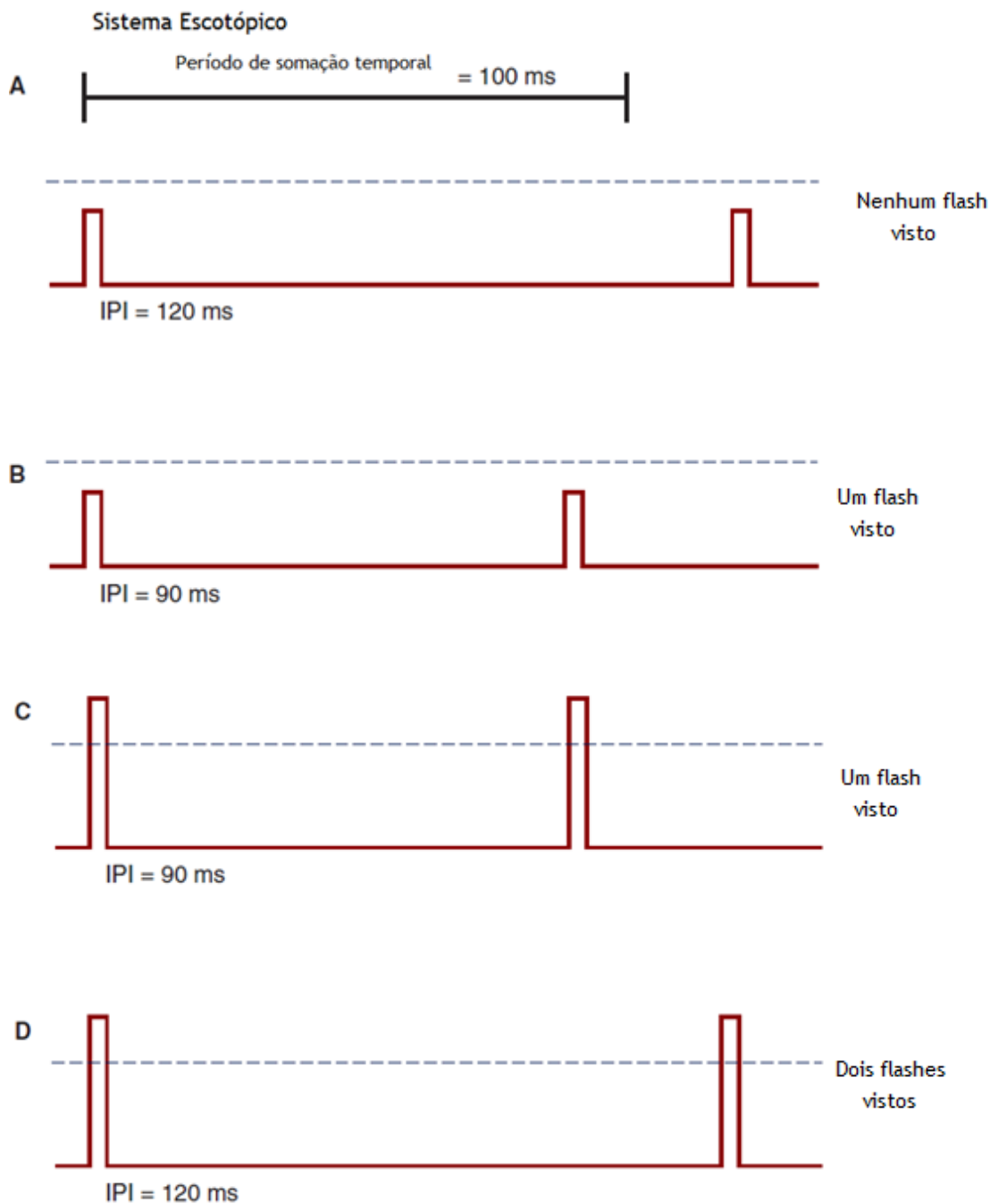


Figura 22-Esquema que representa propriedades temporais do sistema escotópico assumindo uma somação temporal num período de 100ms. A linha a tracejada representa o limite para um único pulso (4).

Na figura 22 são representadas as propriedades temporais do sistema escotópico para um período de somação temporal (PST) de 100ms. A linha a tracejado representa o limiar da intensidade da fonte luminosa. Se forem considerados dois pulsos inferiores ao limiar, figura 22-A, separados por um intervalo de tempo (IPI) de 120ms, superior ao período de somação temporal, o estímulo não é percebido porque só um dos pulsos se encontra dentro do PST o

que não permite a sua soma e assim não alcança o limiar, por isso nenhum dos flashes são visualizados. Contudo, reduzindo o IPI para 90ms, figura 22-B, torna-se possível a observação de um flash. Neste caso os dois pulsos ocorreram durante o PST e assim permite que a sua soma alcance o limiar e o estímulo é visto. Mantendo o IPI da figura 22-C, mas aumentando a intensidade dos pulsos acima do limiar estabelecido, não permite que o observador visualize os dois flashes, mas apenas um. Finalmente, mantendo a intensidade dos pulsos em relação á figura 22-C mas aumentando o IPI, figura 22-D, observam-se dois flashes. Porque o elevado grau de somação temporal do sistema escotópico limita-lhe a sua capacidade de distinguir eventos temporais de modo que, só quando estes dois pulsos (superiores ao limiar) estão afastados mais de 100ms é que o observador é capaz de perceber dois flashes (4).

O sistema fotópico representado na figura 23 apresenta um PST pequeno.

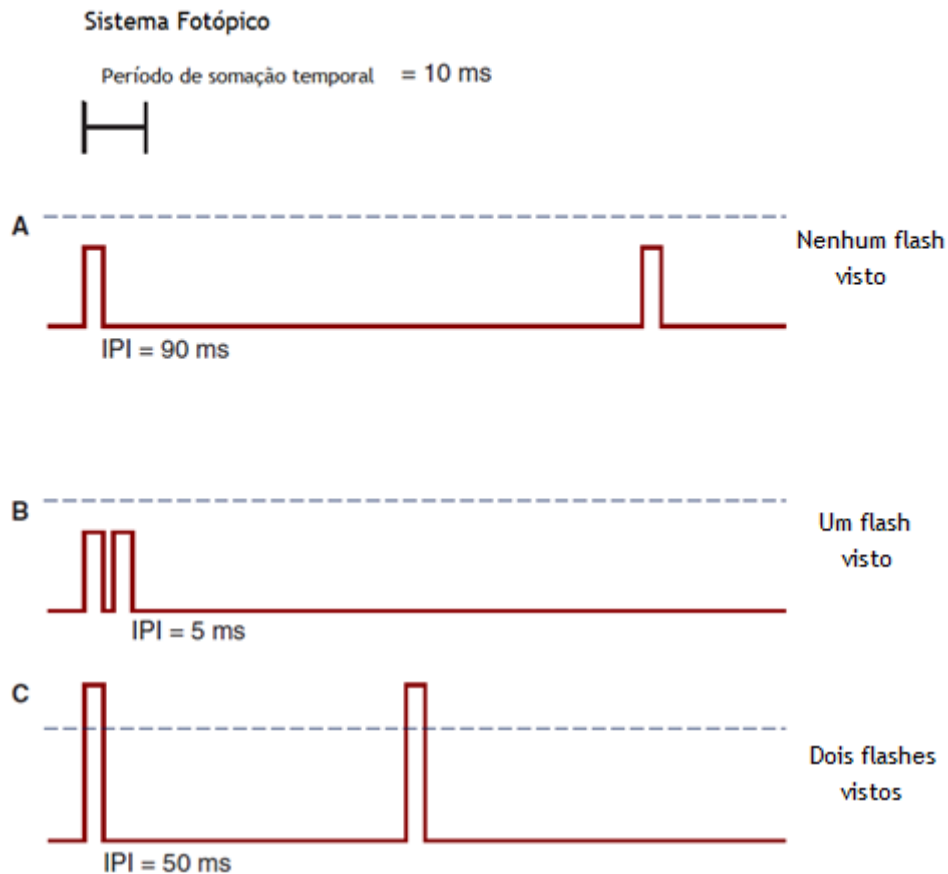


Figura 23- Esquema que representa as propriedades temporais do sistema fotópico assumindo um período de somação temporal de 10ms (4).

Tal como no exemplo da figura 22, neste caso os dois pulsos representados - figura 23-A - foram estimulados abaixo do limiar. Como PST é pequeno eles, não são adicionados, e por isso o estímulo não é percebido. Para que se detecte um flash é necessário diminuir o IPI entre os pulsos - figura 23-B. Apesar do sistema fotópico ter uma fraca somação temporal, apresenta uma resolução temporal maior. Esta conclusão é comprovada pelo exemplo da figura 23-C,

onde está claro que os dois pulsos, separados por um IPI de 50ms, permite ao observador distinguir dois flashes. O sistema escotópico com o seu elevado grau de somação temporal, não seria capaz de perceber estes estímulos (4).

Ao contrário do sistema fotópico, o sistema escotópico apresenta uma excelente sensibilidade porque, devido ao elevado grau de somação temporal e sensibilidade absoluta, é capaz de somar a informação simultaneamente, no espaço (somação espacial) e no tempo (somação temporal). Em contrapartida o sistema fotópico apresenta uma excelente resolução espacial e temporal.

A lei de Bloch, representação temporal da lei de Ricco, pode ser matematicamente representada pela expressão. Consiste numa expressão matemática que nos permite comprovar todas as características referenciadas anteriormente.

$$k = It \quad (6)$$

Onde I representa a intensidade do estímulo (quanta/tempo), t a duração do estímulo e k uma constante. A figura 24 representa graficamente a lei de Bloch, permite que se conclua que dentro do período crítico (duração crítica) existe somação temporal total.

Enquanto o mínimo limiar de quanta for fornecido durante esta duração crítica (não importa como é fornecido) podem ser apresentados um ou mais flashes. Flashes múltiplos apresentados dentro deste período crítico não são percebidos e apenas um flash é visto. As durações críticas destes dois sistemas são diferentes, isto é, a visão escotópica apresenta uma duração crítica de cerca de 100ms e a fotópica 10 a 50ms (4,17).

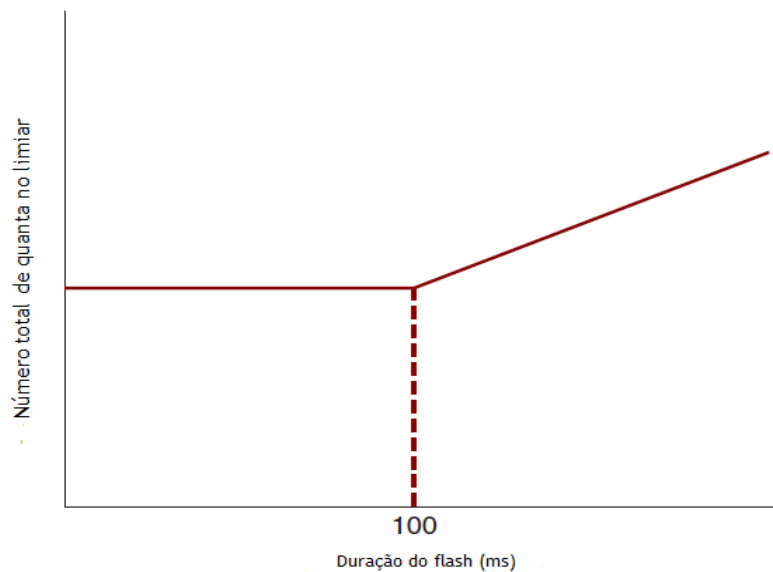


Figura 24- Expressão clássica de Bloch's que demonstra a somação temporal em condições fotópicas (4).

Capítulo

3 Visão das Cores

O olho é o órgão do nosso corpo que permite captar imagens do ambiente em redor. É nele que se inicia o processo que entendemos por visão, processo esse que, no caso do ser humano, é responsável por mais de 90% das informações que somos capazes de captar. Significa isso que qualquer lesão neste órgão que, implique a queda da acuidade visual tem como consequência sérias limitações à interacção do indivíduo com o mundo ao seu redor.

A cor é uma percepção visual provocada pela acção de um feixe de fotões sobre células especializadas da retina que transmitem, através de informação pré-processada ao nervo óptico, impressões para o sistema nervoso.

A cor é relacionada com os diferentes comprimentos de onda do espectro electromagnético e é algo que nos é tão familiar que se torna difícil compreender que ela não corresponde a propriedades físicas do mundo, mas sim à sua representação interna a nível cerebral. Ou seja, os objectos não têm cor, a cor corresponde a uma sensação interna provocada por estímulos físicos de natureza muito diferente que dão origem à percepção da mesma por um ser humano.

3.1 Teoria tricromática

A explicação para a visão das cores é fundamentada na teoria tricromática. Esta teoria considera a existência de três tipos de fotoreceptores (cones), constituídos por pigmentos de diferentes comprimentos de onda: vermelho (560nm), verde (530nm) e azul (430nm), pelo que a percepção normal das cores é o resultado da adição da informação obtida pelos três cones. Alguns autores sugerem que os indivíduos podem ser classificados de acordo com a sua percepção cromática, em tricromatas normais e anormais, dicromatas e acromatas ou monocromatas (4,17).

3.1.1 Monocromata

Uma pessoa com apenas um fotopigmento é designada como apresentando características de monocromacia (só com um fotopigmento). Na figura 30 está representado o espectro de absorção para um indivíduo deste tipo.

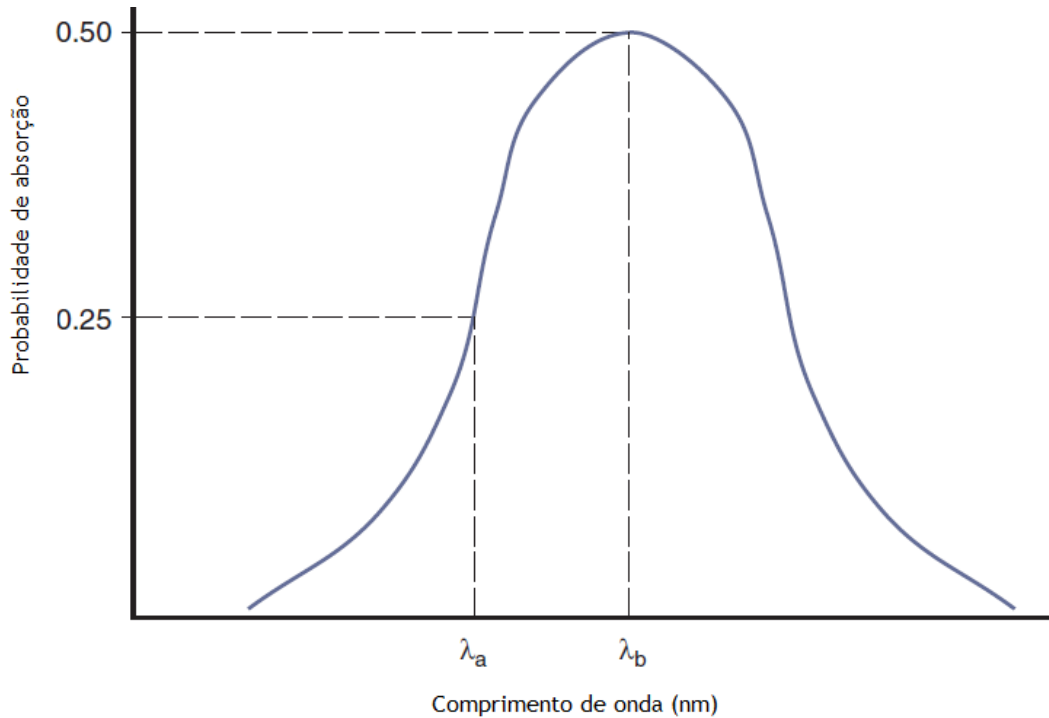


Figura 25- Gráfico representativo da curva de absorção deste fotopigmento em função do comprimento de onda (4).

Observando a figura 25 podemos, por exemplo, tentar perceber se será possível um indivíduo monocromata distinguir duas fontes de luz. Por exemplo, se se mostrar ao indivíduo dois padrões emitindo ambos 100 quanta de luz mas com λ_a e λ_b , verifica-se que as probabilidades de absorção são diferentes. A probabilidade de absorção para λ_a é 25% e para λ_b é 50%.

Neste caso o indivíduo percebe as diferenças de luminosidade, sendo λ_b mais luminoso que o outro, visto ter duas vezes mais probabilidade de absorção.

Um outro exemplo, se se mostrar dois padrões ao indivíduo, um a emitir 200 quanta (λ_a) e o outro a emitir 100 quanta (λ_b), podemos assim concluir que, para um indivíduo monocromata é sempre possível ajustar a intensidade de duas fontes de modo a que estas pareçam iguais (4,17).

Para este tipo de análise é importante não esquecer que, quando um fotopigmento absorve um quanta de luz, toda a informação relativa ao seu comprimento de onda é perdida. Quando varia a absorção de comprimento de onda só varia a probabilidade de absorção, activação é igual em todos os comprimento de onda, a isto designamos o princípio da univariância (4,17).

Como o indivíduo consegue distinguir em termos de intensidade, logo consegue distinguir cores, uma vez que faz um processo de aprendizagem e sabe que aquela luz que ele vê mais brilhante, as outras pessoas chama "verde".

3.1.2 Dicromata

Os dicromatas apenas têm dois dos três fotoreceptores e são classificados em: protanopes (falta o eritopigmento), deuteranopes (falta o cloropigmento) e tritanopes (falta o cianopigmento).

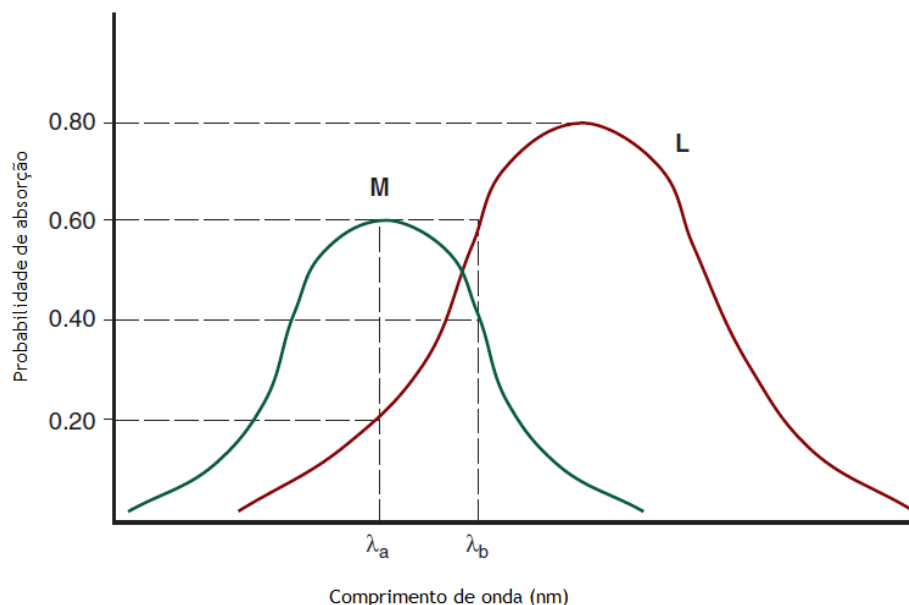


Figura 26- Gráfico representativo da curva de absorção dos fotopigmento (M e L) para um indivíduo dicromata (4).

Observando a figura 26 podemos, por exemplo, tentar perceber se será possível se um indivíduo dicromata consegue distinguir duas fontes de luz como iguais. Se se mostrar ao indivíduo dois padrões ambos 100 quanta de luz mas com λ_a e λ_b , verifica-se que as probabilidades de absorção são diferentes. A probabilidade de absorção para λ_a é 60% do fotopigmento M e 20% do fotopigmento L, para o λ_b é 40% do fotopigmento M e 80% do fotopigmento L. Neste caso o indivíduo distingue a diferença das fontes de luz, não consegue ajustar a intensidade de duas fontes de modo a que estas pareçam iguais. Então o exemplo seguinte sugere a utilização de mais uma fonte (4,17).

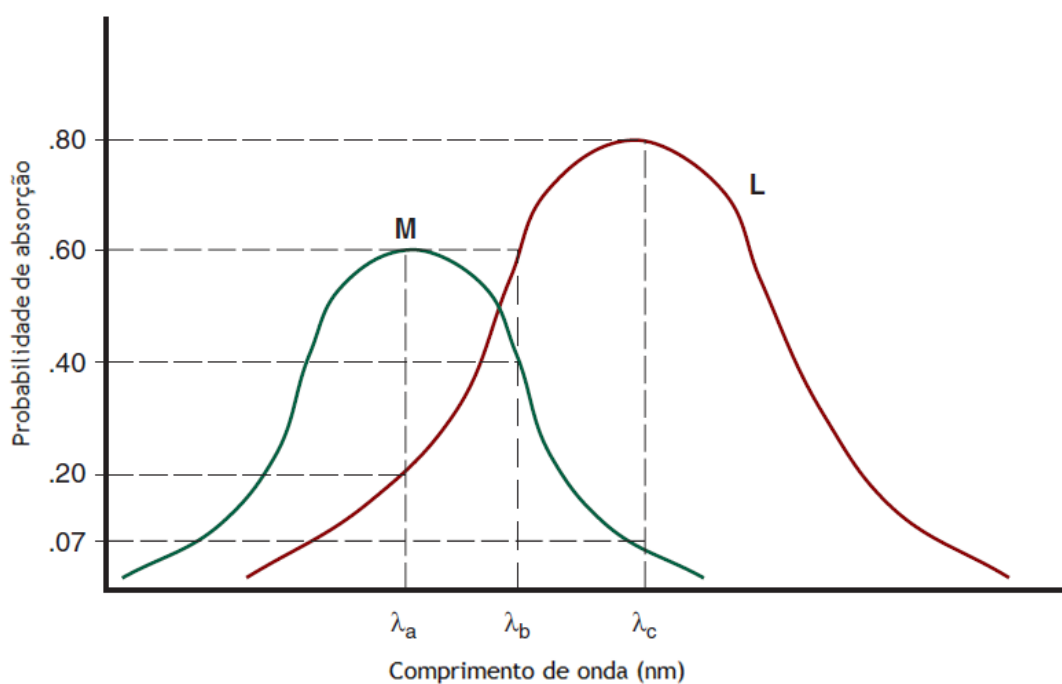


Figura 27- Gráfico representativo da curva de absorção dos fotopigmento (M e L) para um indivíduo dicromata apresentando neste exemplo três fontes de luz ($\lambda_a, \lambda_b, \lambda_c$) (4).

Na figura 27 ao mostrar três padrões ao indivíduo, um a emitir 300 quanta (λ_a), o outro a emitir 500 quanta (λ_b) e o terceiro a emitir 300 quanta (λ_b) verifica-se que as probabilidades de absorção são diferentes. A probabilidade de absorção para λ_a é 60% do fotopigmento M e 20% do fotopigmento L, para o λ_b é 40% do fotopigmento M e 80% do fotopigmento L e para o λ_c é 7% do fotopigmento M e 80% do fotopigmento L. Neste caso é possível ajustar a intensidade das três fontes de modo a que estas pareçam iguais (4,17).

3.1.3 Tricromata

Encontra-se estabelecido que a maioria dos seres humanos possui uma visão tricromática (três tipos de fotopigmentos M, L e S). Dentro do grupo tricromata podemos referenciar a existência de tricromatas anómalos que constituem o maior grupo de indivíduos com discromatopsia. A sua visão é semelhante ao dos indivíduos com visão normal, isto é, possuem três sistemas receptores, vermelho, verde e azul, mas, no entanto, apresentam uma deficiência nos sistemas.

Uma pessoa com visão tricromática é capaz de ajustar as intensidades relativas de dois padrões, com pelo menos quatro comprimentos de onda, de tal modo que os padrões pareçam idênticos. Consideremos os dois padrões, A e B, representados na figura 28 que, apesar de serem fisicamente diferentes, parecem idênticos pois apresentam o mesmo número de absorções (4).

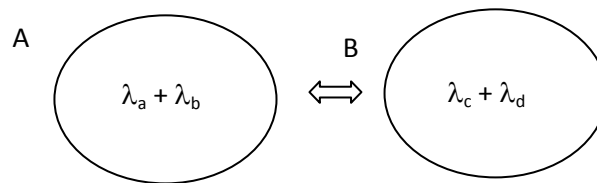


Figura 28- Representação de dois padrões fisicamente diferentes [Adaptado da referência (4)].

3.2 Tonalidade, saturação e brilho

Quando dizemos que um estímulo é verde estamos a fornecer uma informação incompleta. É necessário juntar mais alguns detalhes, uma vez que existem diferentes variantes do verde.

Os investigadores que se dedicam ao estudo da ciência da cor caracterizam-na de acordo com três características perceptuais, a tonalidade, a saturação e o brilho, que não são totalmente independentes umas das outras.

3.2.1 Tonalidade

A tonalidade estreitamente associada com o comprimento de onda. Um estímulo de 540nm tem uma tonalidade verde, enquanto que um estímulo de 570nm tem uma tonalidade mais amarelada (4,17).

3.2.2 Saturação

Uma cor desaturada não manifesta uma intensidade muito forte, parece que está misturada com branco, por outro lado, uma cor saturada apresenta uma forte tonalidade sem parecer “deslavada” como a desaturada.

A percepção da saturação está relacionada com o comprimento de onda. Um estímulo monocromático, que por definição não tem adicionado luz branca, é designado como apresentando uma pureza colorimétrica igual a 1. A pureza colorimétrica (p) é uma propriedade física do estímulo, representada pela seguinte equação:

$$p = \frac{L_{\lambda}}{L_{\lambda} + L_w} \quad (7)$$

onde L_{λ} é a luminância da amostra, L_w corresponde à luminância da amostra combinada com luz monocromática (4,17).

Esta relação permite quantificar a quantidade de branco adicionada à luz monocromática e, por isso perceber o grau de saturação da amostra. Por exemplo, um estímulo monocromático de 440nm (com $p = 1$), parece mais saturado do que igual combinação dum estímulo de 440nm com luz branca para o qual $p = 0,50$ (4,17).

Se não for adicionado branco a pureza colorimétrica seria igual a um.

3.2.3 Brilho

Não é perfeitamente definível, pois é psicológico e subjectivo, depende do observador. É a parte da cor que nos induz a sensação de luminância (medida da densidade da intensidade de uma luz reflectida numa dada direcção), dependendo desta, o objecto é mais ou menos brilhante (4,17).

3.3 Discriminação do comprimento de onda

A nossa capacidade de distinguir um comprimento de onda de outro, é maior em certas zonas do espectro electromagnético do que noutras. Esta afirmação pode ser mais facilmente percebida considerando a curva representada na figura 30 (recorrendo à experiência do campo bipartido).

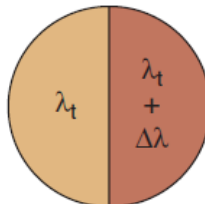


Figura 29- Figura ilustrativa de um campo bipartido (4).

A experiência de um campo bipartido representado na figura 29, consiste inicialmente num campo uniforme (com o mesmo comprimento de onda λ_t). Posteriormente alteramos o comprimento de onda até o indivíduo perceber que há alteração de cor ($\lambda_t + \Delta\lambda$).

Os resultados da experiência anterior estão representados na figura 30. Devido à sua forma, esta curva é habitualmente designada curva-W da discriminação da cor.

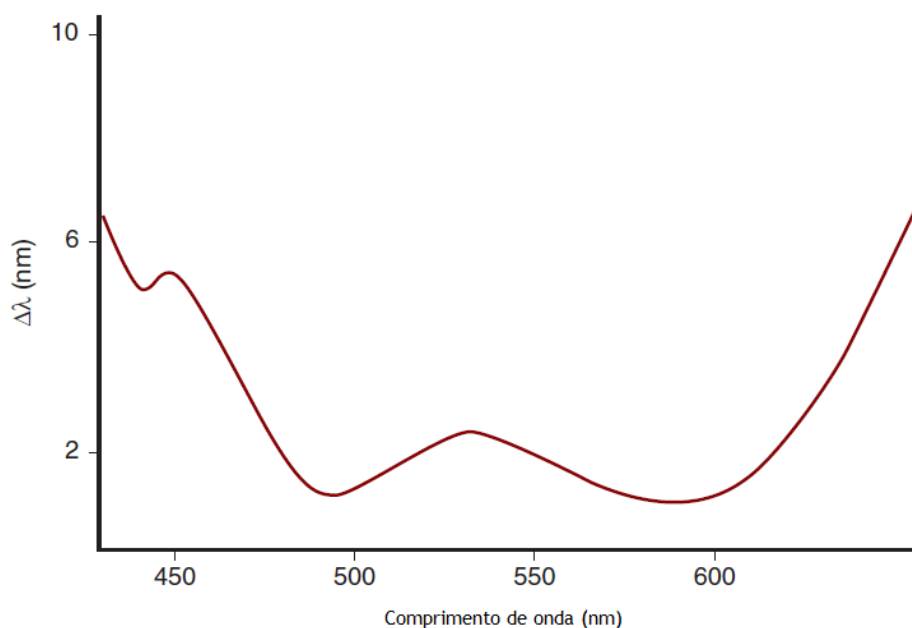


Figura 30- As variações da tonalidade ao longo do espectro (4).

Analisando os resultados obtidos podemos concluir que, aos 400nm é necessário uma diferença superiora ($\Delta\lambda$) a 6nm para se perceber a diferença na cor, aos 425nm a diferença já é menor logo existe uma maior sensibilidade. Aos 495nm e aos 590nm, podemos comprovar que a sensibilidade é máxima uma vez que, pequenas variações de 2nm são suficientes para percebermos a diferença na cor (4,17).

3.4 Efeitos Cromáticos - Fenómeno Bezold-Bruke

A tonalidade da maioria dos estímulos monocromáticos varia ligeiramente à medida que a sua intensidade é ajustada.

A experiência que comprova a existência deste fenómeno recorre à utilização de um campo bipartido (figura 31). Um dos lados mantém um comprimento de onda fixo (λ_c) e o outro permite ter um comprimento de onda variável (λ_v) (4,17).



Figura 31- Figura ilustrativa de um campo bipartido (4).

Inicialmente na experiência a luminância e o comprimento de onda são iguais em ambos os lados (λ_v igual ao λ_c). De seguida aumenta-se progressivamente a intensidade no lado do λ_v até a pessoa perceber a diferença de tonalidade. Mais tarde ajustamos do lado do λ_c a intensidade, até que a pessoa volte a ver a mesma tonalidade (4).

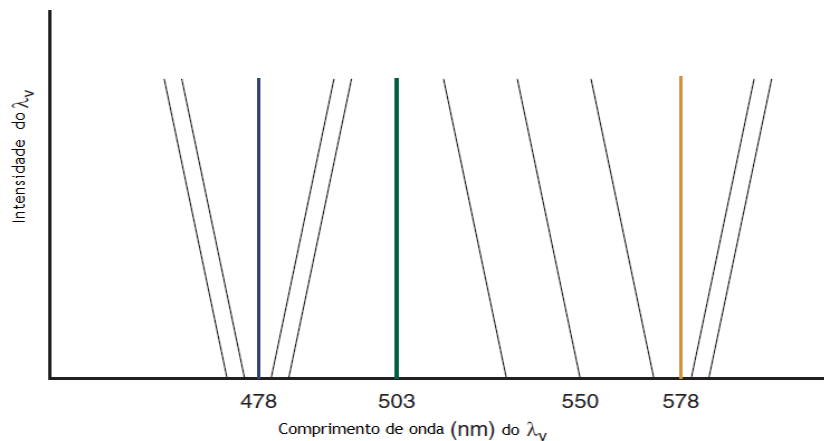


Figura 32- Ao variar a intensidade a tonalidade destes três comprimentos de onda (478nm, 503nm, 578nm) é constante (4) .

Na figura 32 estão representadas três linhas verticais fixas (que podem designar-se como pontos invariantes) que correspondem a um determinado comprimento de onda 478nm, 503nm e 578nm. As tonalidades associadas a estes comprimentos de onda chamam-se tonalidades únicas, uma vez que, se aumentar a intensidade a tonalidade percebida é sempre a mesma (4,17).

3.5 Constância de cor

Designa-se por constância de cor a aparência, aproximadamente constante, da cor dos objectos em diferentes condições de iluminação. Esta característica permite que se

identifiquem objectos, mesmo que as condições de iluminação variem, se assim não fosse, o mundo seria muito confuso (4,17).

O sistema visual faz as correcções necessárias para perceber a mesma cor. Os factores que dependem da cor do objecto são: o próprio objecto, o receptor, a fonte de iluminação e se existe ou não constância de cor.

3.6 Teoria das cores oponentes

Quando um indivíduo olha, durante alguns segundos, para a cor verde e depois para uma parede branca, este visualizará a cor vermelha. Isto acontece porque, se olharmos para uma determinada cor durante algum tempo, o sistema visual fica saturado com essa cor. Por esse motivo, quando um indivíduo olha para uma parede branca, ele observará a cor complementar da primeira (figura 33). Isto é uma das razões para os médicos usarem batas verdes durante as cirurgias, como passam muitas horas seguidas a olhar para a cor vermelha, ao estarem vestidos de branco a visualizarem os colegas, viriam a pós imagem (cor verde) e assim, quando olham para as batas já vêm verde tornando-se menos incómodo (4,17).

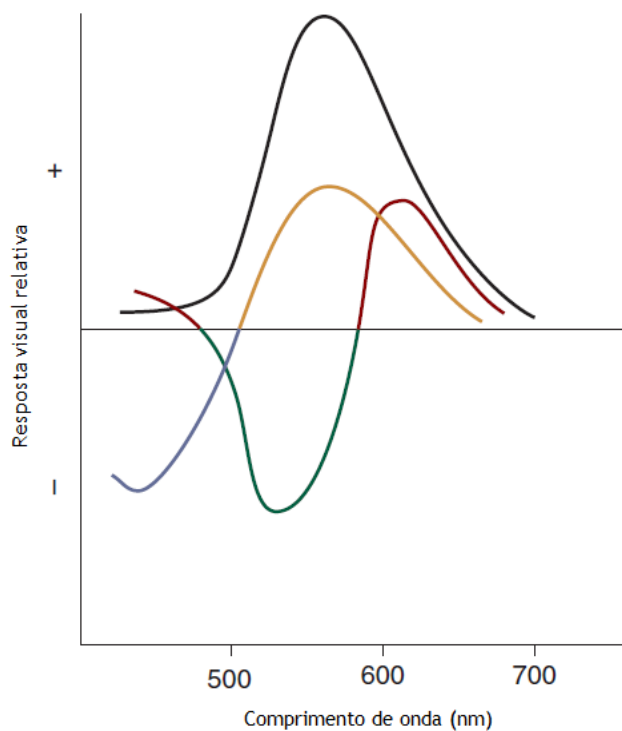


Figura 33- Exemplificação dos canais das cores oponentes (4).

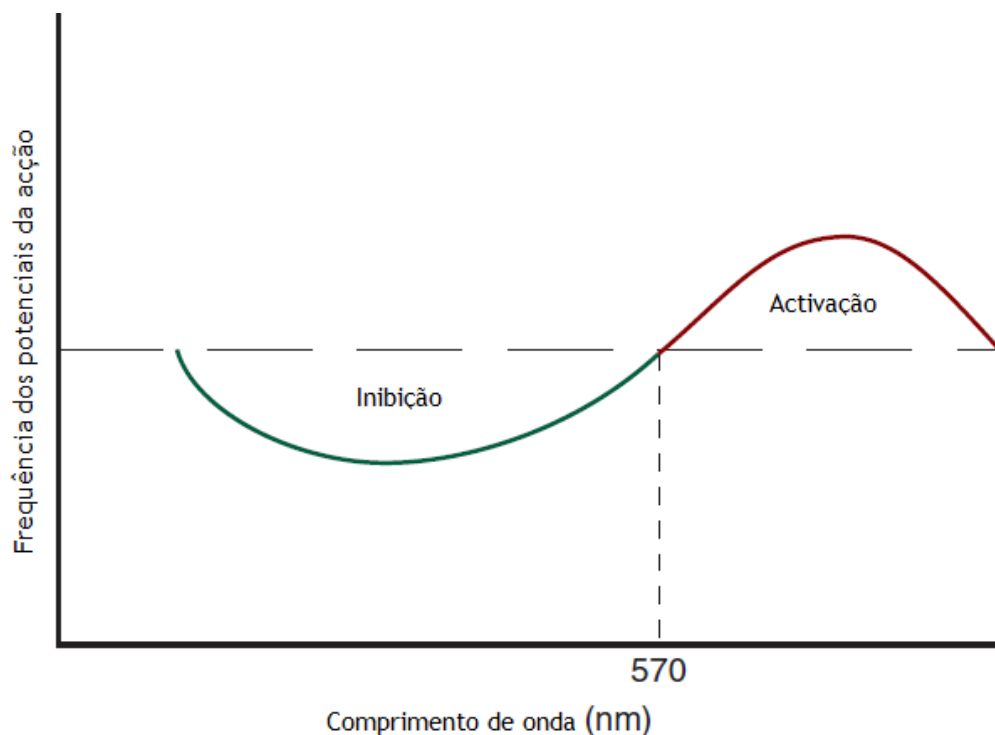


Figura 34- Frequência dos potenciais de ação em função do comprimento de onda em algumas células ganglionares (4).

Ao longo da retina neural, apresenta-se alguns tipos de células ganglionares que têm um comportamento diferente segundo o comprimento de onda que lhes incide. Por exemplo, na figura 34 para comprimentos de onda curtos (abaixo de 570nm) a resposta da célula ganglionar seria a inibição e para comprimentos de onda superior a 570nm seria a activação. O exemplo da figura 34 pode exemplificar o que acontece com a teoria das cores oponentes (4,17).

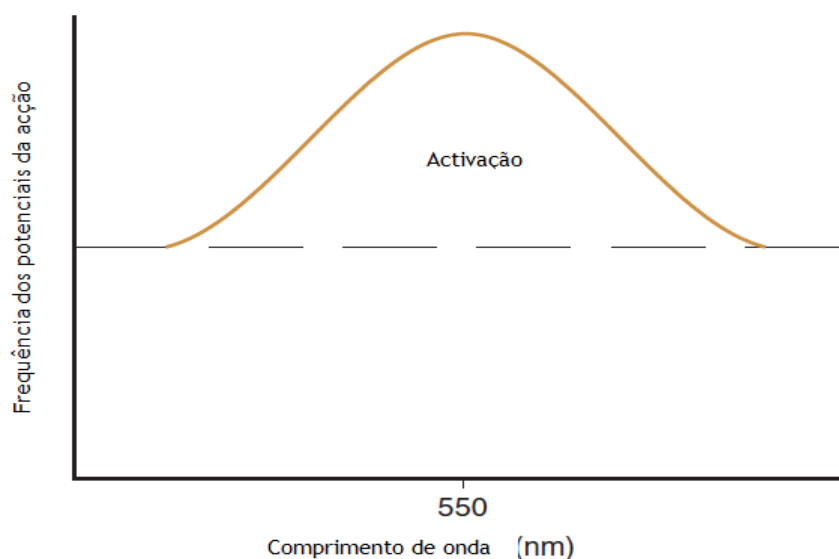


Figura 35- Frequência dos potenciais de ação em função do comprimento de onda para algumas células ganglionares (4).

Em contrapartida, na figura 35 as células ganglionares activam-se sempre (a activação pode ser mais ou menos intensa dependentemente do comprimento de onda que lhes incide). Esta característica pode ser evidente quando abordamos a capacidade do indivíduo (monocromata) em distinguir as cores em termos de intensidade, porque neste existem comprimentos de onda que vão encadear mais activação do que outros (4,17).

3.7 Modelos actuais da Visão das Cores

A fisiologia da visão das cores estabeleceu duas teorias: a teoria tricromática e a teoria das cores oponentes. Cada uma das teorias demonstra um determinado funcionamento, a teoria tricromática explica o funcionamento da retina sensorial (dos três tipos de cones), enquanto que, a teoria das cores oponentes explica o funcionamento do que acontece após a retina sensorial (a partir do processamento das células ganglionares) (4,17).

3.8 Sistema Munsell de especificação das cores

A capacidade de descrever verbalmente a cor não coincide com a nossa capacidade de perceber uma discriminação fina da cor. Considere-se, por exemplo, que se pretende pintar uma pequena parte de uma parede, igual à cor original, embora parece ser simples para qualquer pessoa, na realidade isso não acontece porque, dentro da mesma cor existem centenas delas que variam em tonalidade, saturação e brilho (4,17).

O sistema de Munsell permite-nos descrever as cores com uma grande especificidade ao longo das três dimensões físicas.

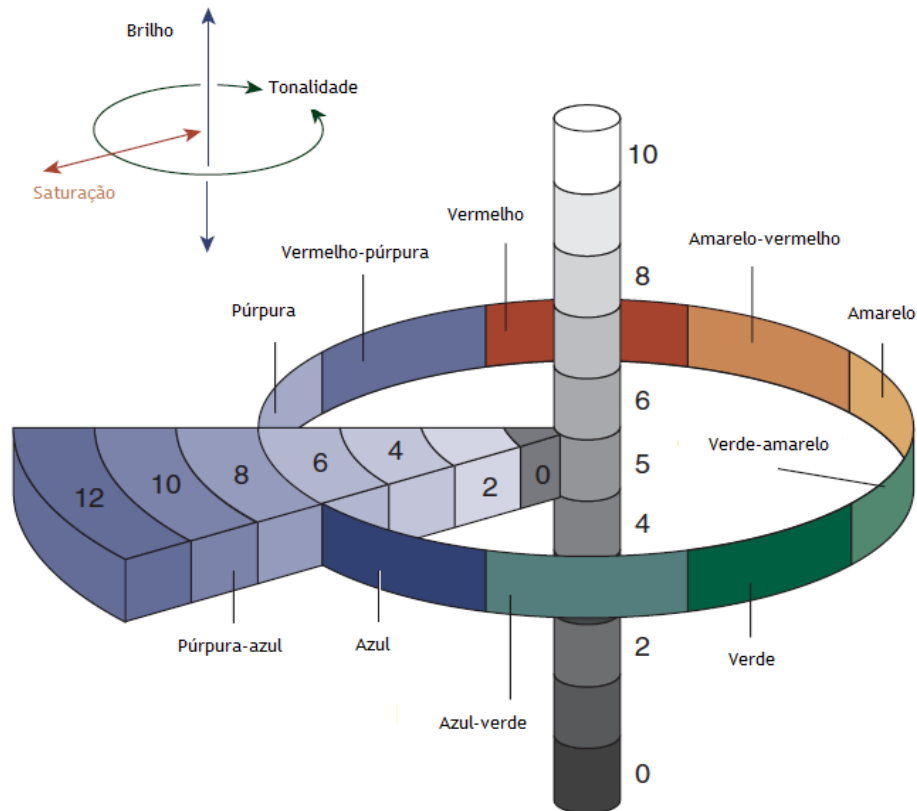


Figura 36- Sistema de Munsell (4).

O sistema de Munsell pode ser comparado a uma figura geométrica cilíndrica, em que a tonalidade muda ao longo do perímetro, contendo cores primárias (vermelho, amarelo, verde, azul e roxo) que também são subdivididas em cores intermediárias. A saturação é medida como um raio que varia de 1 a 14, em que na periferia as cores são mais desaturadas. O brilho muda ao longo da dimensão vertical, com o 0 a indicar o mínimo de reflexão e 10 o máximo.

3.9 Sistema de especificação das cores (CIE)

O sistema de especificação das cores (CIE) é baseado na teoria tricromática, cada cor é descrita com base em cores primárias (verde, vermelho e azul). A experiência da figura 37 recorre à utilização de um campo bipartido que consiste em adicionar vermelho (λ_r), verde (λ_g) e azul (λ_b) de um dos lados, de modo a conseguir obter a mesma cor que foi estabelecida inicialmente (λ_v) (4,17).

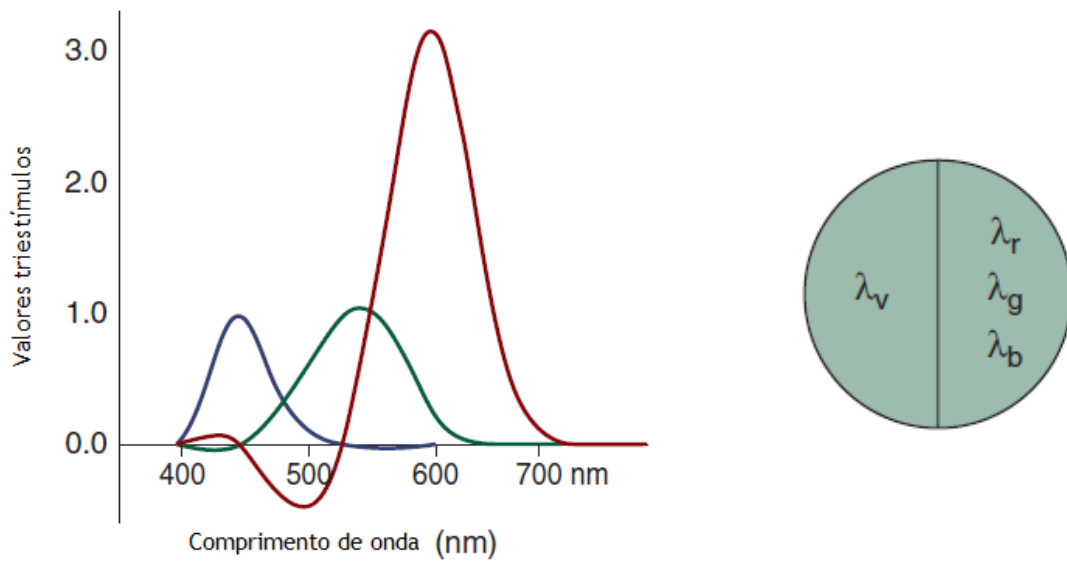


Figura 37- Representa as quantidades dos valores dos triestímulos em função do comprimento de onda que foram obtidos na experiência do campo bipartido (4).

A partir do gráfico obtido da figura 37 podemos observar que na obtenção da tonalidade que, corresponde aos 600nm, necessitamos de uma grande quantidade de vermelho (λ_r), alguma de verde (λ_g) e nenhuma de azul (λ_b). No entanto, existe uma zona do espectro do visível (450nm a 550nm) que, um dos valores dos triestímulos é negativo. O que obrigaria retirar (λ_r) do lado da amostra, mas como esse processo é difícil de pôr em prática, (tornando-se limitativo) sugere-se uma mudança nas variáveis.

Inicialmente o sistema da CIE utilizava funções $\bar{r}(\lambda)$, $\bar{g}(\lambda)$ e $\bar{b}(\lambda)$ na obtenção dos valores primários reais dos triestímulos (R,G,B). Com a mudança de variáveis as funções são transformadas em funções primárias imaginárias $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ que são fundamentais na aquisição do valor dos triestímulos (X,Y,Z) (4,17).

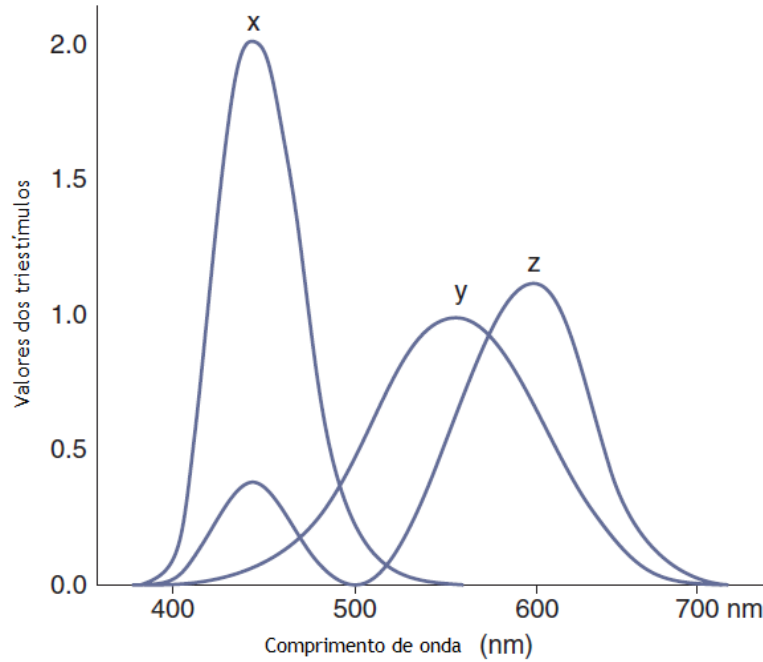


Figura 38- Gráfico que representa as funções primárias imaginárias $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ (4).

3.10 Diagrama de Cromaticidade (x,y) da CIE

As equações (8), (9), (10) e (11) relacionam o valor dos triestímulos imaginários (X,Y,Z) com as coordenadas de cromaticidade (x,y,z). Para compararmos o valor dos triestímulos imaginários às cores reais é necessário proceder a uma conversão que se efectua se recorreremos às equações descritas (4,17).

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (8)$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad (9)$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} \quad (10)$$

$$x + y + z = 1 \quad (11)$$

A soma destas coordenadas deve ser igual a 1. Portanto se duas das coordenadas são conhecidas (x,y), podemos calcular a terceira (z).

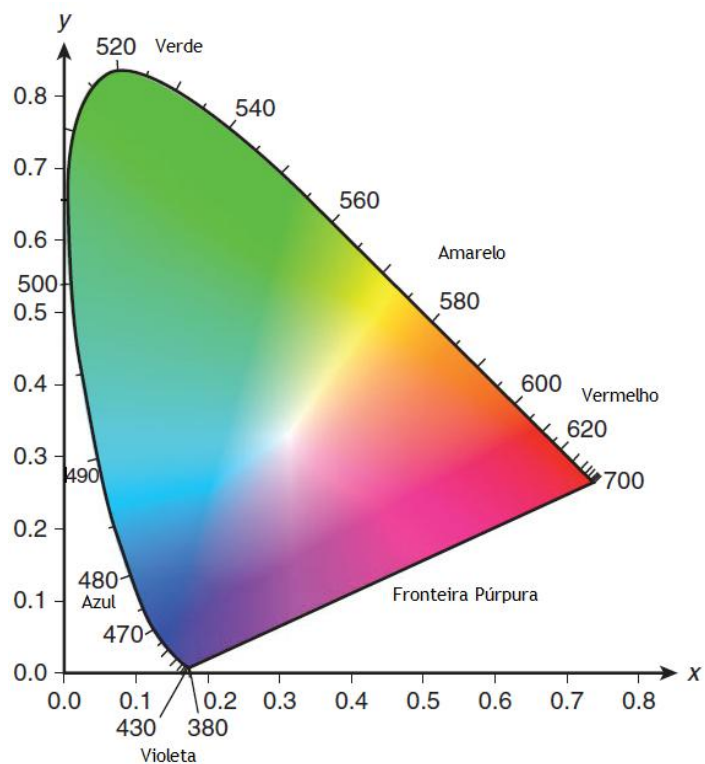


Figura 39- Diagrama de cromaticidade da CIE, todas as cores fisicamente existentes encontram-se inseridas neste diagrama (4).

Capítulo

4 Anomalia da Visão das Cores

Aproximadamente 4,5% da população tem problemas na visão das cores. A maioria dos casos são hereditários, embora não representem uma ameaça, podem afectar profundamente o desempenho de certas actividades a nível escolar e também no trabalho. Problemas adquiridos, como é o caso de degenerações da retina e, intoxicações também causam anomalias. Podem ter um profundo efeito sobre o desempenho visual (4).

A tabela 1-2 separa as anomalias em dois grandes grupos, o tricromata anómalo e o dicromata.

Tabela 1-Referencia os vários defeitos que existem num tricromata anómalo (4).

		Confusão		λ_{max}
Tricromata anómalo	Protanomalos	Protan	R-G	540
	Deuteranomalos	Deutan	R-G	560
	Tritanomalos	Tritan	B-Y	560

Tabela 2- Referencia os vários defeitos que existem num dicromata (4).

		Confusão		λ_{max}
Dicromata	Protanopes	Protan	R-G	540
	Deuteranopes	Deutan	R-G	560
	Tritanopes	Tritan	B-Y	555
	Tetranopes	Tritan	B-Y	560

Nos tricromatas anómalos os três fotopigmentos existem, no entanto o pico de sensibilidade está deslocado. Nos dicromatas existe a falta de um dos pigmentos, no protan é o eritopigmento (vermelho), no deutan corresponde ao cloropigmento (verde), no tritan falta o cianopigmento (azul) e no tetranopes também não apresenta o cianopigmento só que o pico de sensibilidade encontra-se deslocado em relação ao anterior.

O fotopigmento em falta é presumivelmente substituído por um fotopigmento remanescente. A substituição do fotopigmento ausente por um fotopigmento remanescente é consistente com a acuidade de resolução normal da dicromacia.

4.1 Características dos indivíduos com discromatopsias

Pessoas com anomalia na visão das cores processam a informação cromática de maneira diferente, sobretudo na sensibilidade espectral, na discriminação do comprimento de onda e nos eixos de confusão.

4.1.1 Sensibilidade espectral

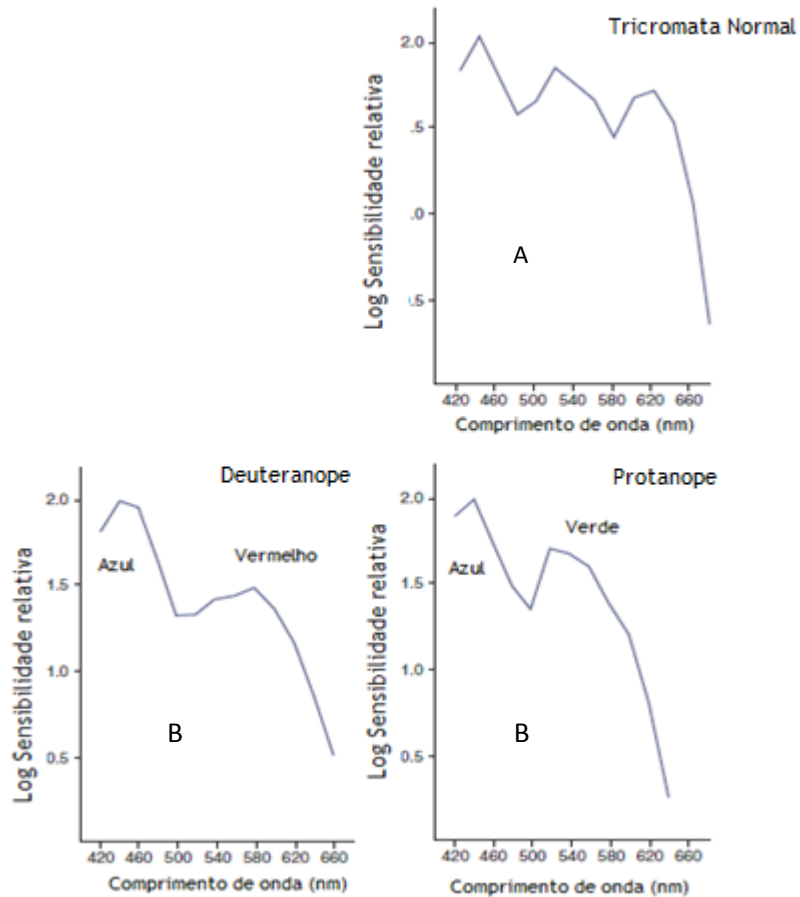


Figura 40- Gráficos representativos dos picos de sensibilidade de um indivíduo tricromata normal (A) e de um indivíduo dicromata (B) [Adaptado da referência (4)].

Na figura 40 observamos um tricromata normal (A) com três zonas de maior sensibilidade, que correspondem aos três fotopigmentos (440nm, 520nm e nos 620nm). Os restantes gráficos já equivalem a um indivíduo dicromata (B) em que só apresentam dois tipos de fotopigmentos (4,17).

4.1.2 Discriminação do comprimento de onda

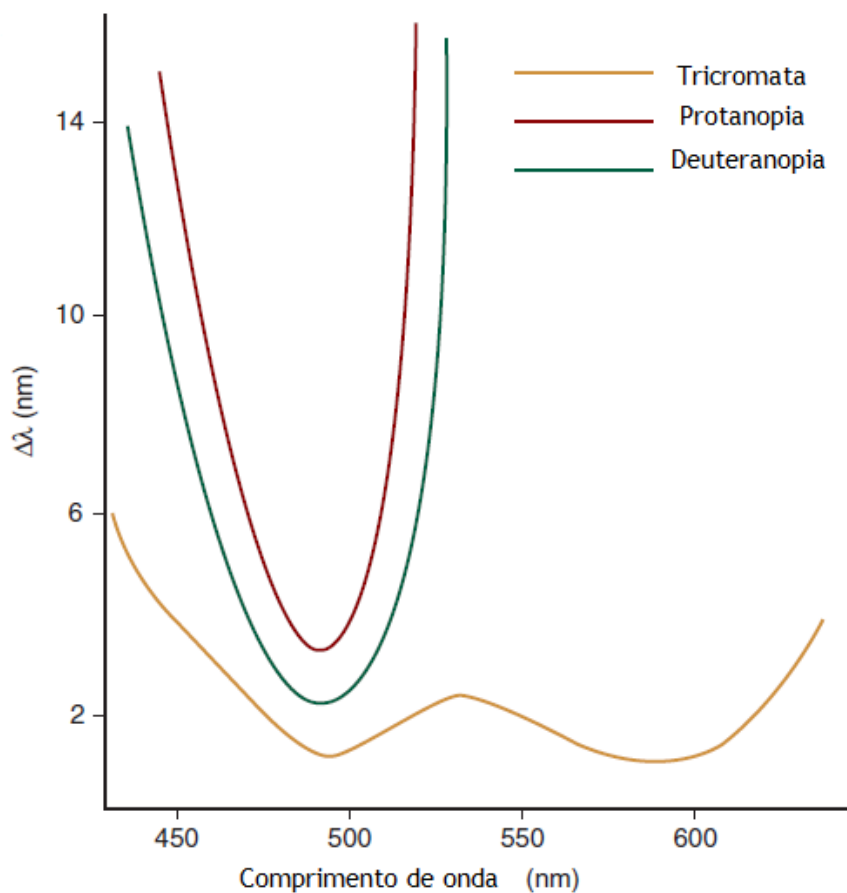


Figura 41-Discriminação do comprimento de onda em casos de um deuteranopia e protanopia (4).

O gráfico da figura 41 mostra as funções discriminatórias de um indivíduo tricromata normal e, de um dicromata (protanopia e deuteranopia). Os indivíduos com deuteranopia e protanopia apresentam uma discriminação bem desenvolvida na região dos 490nm em comprimentos de onda mais longos (a partir dos 545nm) não existe capacidade em discriminar estímulos com base na diferença do comprimento de onda (4,17).

4.1.3 Eixos de confusão

A capacidade das pessoas dicromatas em distinguir as cores entre elas é limitativa, o que pode ser ilustrado através do diagrama da CIE.

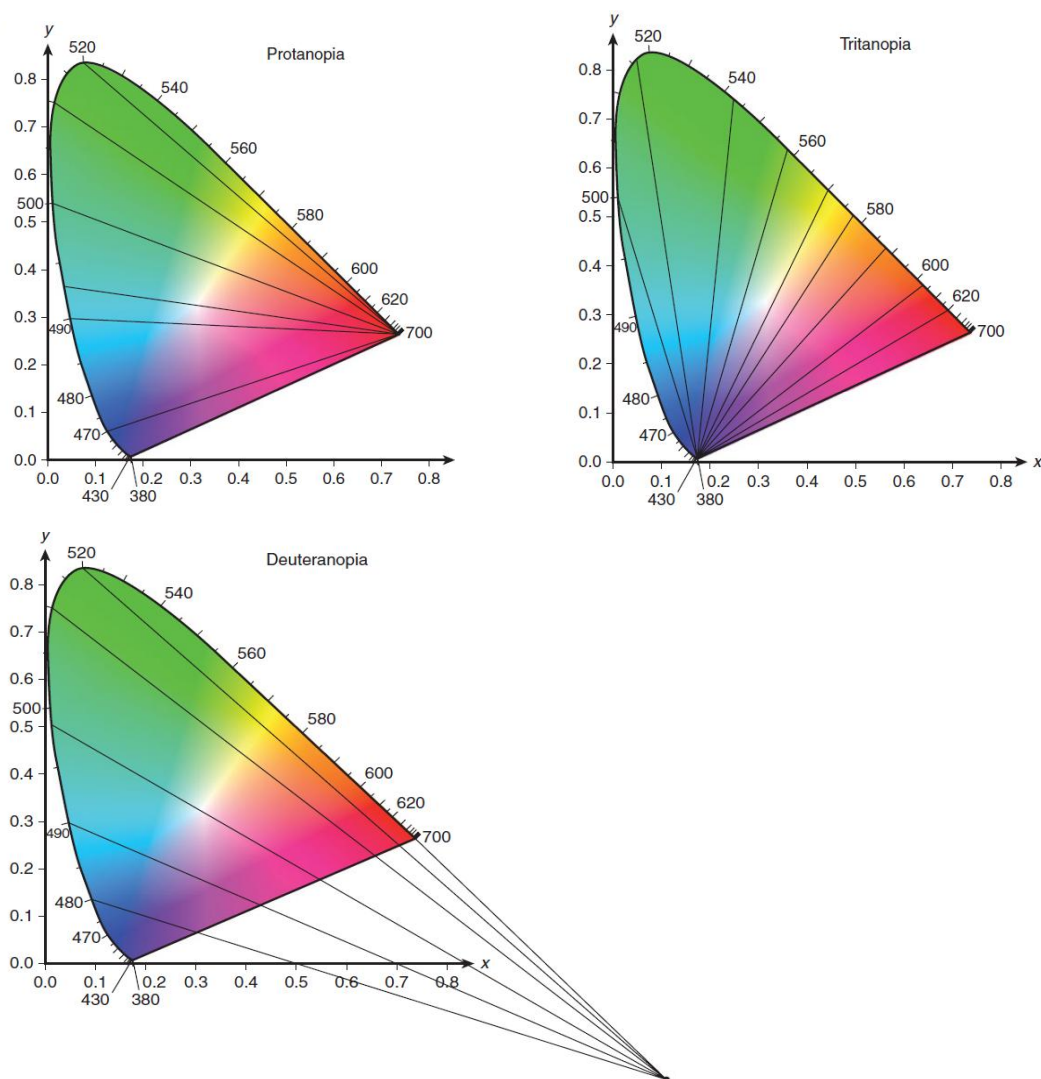


Figura 42 - Diagrama de cromaticidade da CIE que ilustra os três eixos de confusão para os indivíduos com protanopia, deuteranopia e tritanopia (4).

Os gráficos da figura 42 evidenciam que as linhas de confusão para a deuteranopia, protanopia e tritanopia migram num único ponto. As cores associadas a estes comprimentos de onda são confundidas com as outras daí vem o termo anomalia na cor vermelho - verde. Nos casos de tritanopia, as cores confundidas são essencialmente mais entre azul - violeta (4,17).

4.2 Anomalia na visão das cores de origem hereditária

A maioria das anomalias no eixo de confusão verde - vermelho são hereditárias e transmitidas pelo cromossoma X de forma recessiva (os dois cromossomas apresentam a anomalia). Por conseguinte, são consideravelmente mais comuns em homens do que em mulheres com prevalência de aproximadamente 8,0% e 0,4% respectivamente (4,17).

Tabela 3- Prevalência e herança de várias anomalias na visão das cores (4).

Classificação	Prevalência em Homens (%)	Hereditariedade
Deuteranopia	1	Cromossoma X recessivo
Protanopia	1	Cromossoma X recessivo
Deuteranomalo	5	Cromossoma X recessivo
Protanomalo	1	Cromossoma X recessivo
Tritanopia e tritanomalo	0,005	Autossómico dominante

As anomalias hereditárias do tipo tritan são extremamente raras e são transmitidas de forma autossômica dominante (necessita só de um gene alterado para manifestar a doença) (21).

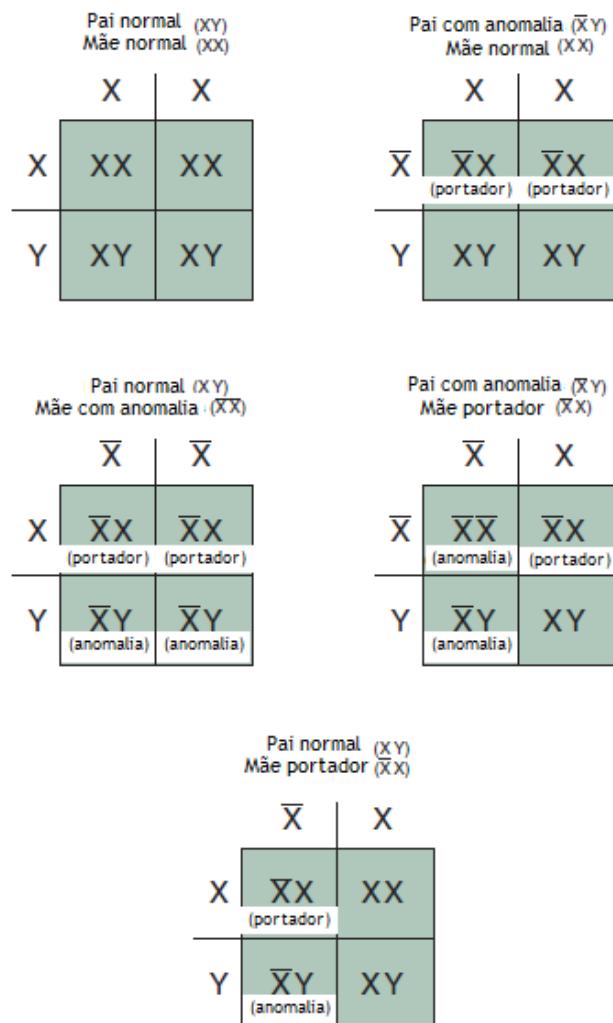


Figura 43- Exemplos de transmissão ligados ao cromossoma X nos casos de anomalia entre o eixo vermelho-verde de pais para filhos (4).

Na figura 43 está representado um esquema que evidencia vários exemplos na transmissão de anomalias de pais para filhos. Ao analisar este estudo temos que considerar que um homocigoto do sexo feminino é XX, e pode ser só portador (\bar{X}, X) enquanto um heterocigoto de um homem é XY com um gene portador (\bar{X}, Y) já apresenta a visão das cores com anomalias. Um rapaz que receba sempre um gene com “defeito” da mãe será sempre um indivíduo com anomalias na visão das cores. Como o gene é recessivo, uma mulher só apresenta a visão das cores com anomalia se tiver em ambos os cromossomas a anomalia (4).

Tabela 4- Anomalias da visão que são associadas por alterações cromáticas (4).

Localização	Anomalia	Causa
Retina exterior (periférica)	Azul-amarelo	DMRI, Retinopatia Diabética
Retina Interna (central)	Vermelho-verde	Atrofia óptica de Leber, ambliopia tóxica
Vias ópticas	Vermelho-verde	Lesões

4.3 Acromatopsias

As acromatopsias são condições raras, onde o doente apresenta ser um indivíduo monocromata sendo a mais comum a autossómica recessiva (AR). A acromatopsia completa é caracterizada pelo facto só os bastonetes estarem presentes, enquanto a incompleta ocorre quando há actividade do cone L/M mas de uma forma residual. Os sinais e os sintomas são: fraca discriminação de cores, nistagmos, fotofobia e acuidade visual de cerca de 20/200. É recomendado a utilização do filtro vermelho em lentes minimizando o branqueamento da rodopsina, permitindo assim uma função de bastonetes em condições de iluminação mais brilhante (4,17,22).

Embora as acromatopsias AR se manifestem desde o nascimento, mas nas condições adquiridas em que as degenerações bastone-cone, como por exemplo, na retinose pigmentar que normalmente se desenvolvem mais tarde de uma forma progressiva, o diagnóstico diferencial nem sempre é fácil. A monocromacia de cones azuis é muito rara e é herdada de forma recessiva os seus sinais e sintomas são muito semelhantes com o da monocromacia de bastonetes.

4.4 Cromatopsias

As cromatopsias não são situações de daltonismo uma vez que não há confusão, todas elas estão alteradas. Nesta anomalia o branco é percebido como outra cor (azul, amarelo, vermelho) é como se a pessoa visse através de um filtro. As pessoas adaptam-se passado algum tempo e a maioria não dá conta, devido aos mecanismos de adaptação (constância da cor). Esta condição pode surgir após a extracção da catarata porque uma catarata nuclear

actua como um filtro amarelo absorvendo a luz azul. A remoção da opacidade expõe a retina muito mais á luz azul resultando num caso cianopsia (4,17,22).

4.5 Testes de detecção de anomalias na visão das cores

4.5.1 Placas pseudoisocromáticas

As placas pseudoisocromáticas são as mais utilizadas nos testes da visão das cores. São relativamente simples de manusear e prontamente disponíveis. Um exemplo são as placas de Ishihara (figura 44) que, são mais comuns e, consistem em figuras que devem ser distinguidas da do fundo, não inclui placas que detectam anomalias no azul - amarelo o que se torna uma séria limitação. Os pacientes com visão normal conseguem distinguir a figura com base nas diferenças cromáticas. Os pacientes com anomalias na visão das cores têm dificuldades em ver a figura (4,17,22).

Estas placas não fazem distinção entre o dicromata e o tricromata anómalo. Em certos casos podem ajudar na diferenciação entre o protan e deutan.

As placas podem ser de quatro tipos (figura transformada que desaparece, figura escondida e placas de diagnóstico qualitativo). Um indivíduo normal demora cerca de quatro segundos a dar uma resposta. Se demorem mais algum tempo, mesmo que dê a resposta correcta pode indicar-nos um defeito moderado. A principal desvantagem é que se deteriora com o tempo, sendo a luminância alterada.

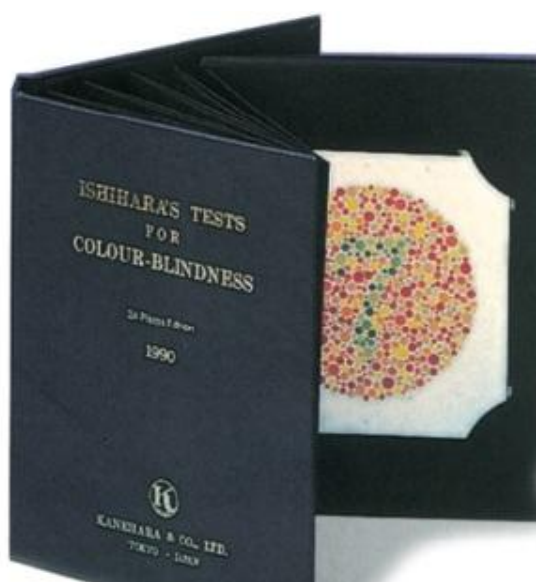


Figura 44- Ilustra um exemplo de um teste de Ishihara (23).

4.5.2 Testes de ordenação

O teste D15 Fransworth consiste em ordenar cilindros coloridos tendo como base uma referência estabelecida. Selecionado o primeiro cilindro, a referência a ser designada será sempre o cilindro da escolha anterior. As tonalidades são escolhidas tendo como apoio o diagrama da CIE. Se num indivíduo normal o gráfico é um círculo, nos indivíduos com problemas apresentam graficamente diferenças (4,17,22,24).

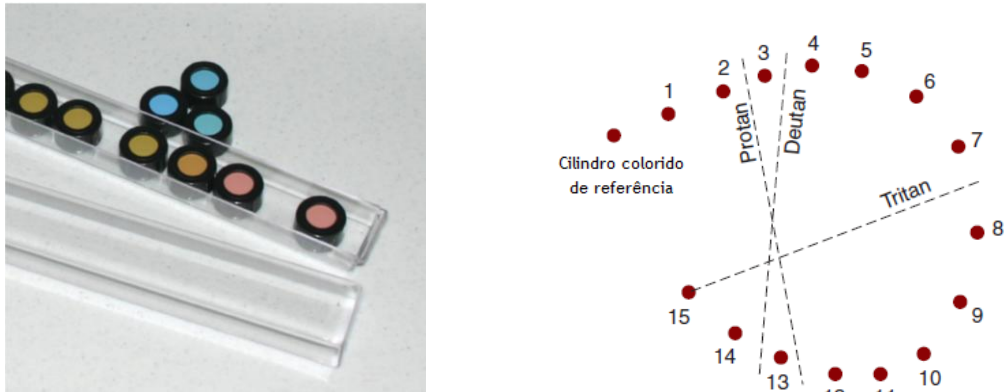


Figura 45- Exemplo de alguns dos cilindros usados na ordenação do D-15 de Fransworth bem como o esquema da folha de pontuação usado no mesmo teste (4).

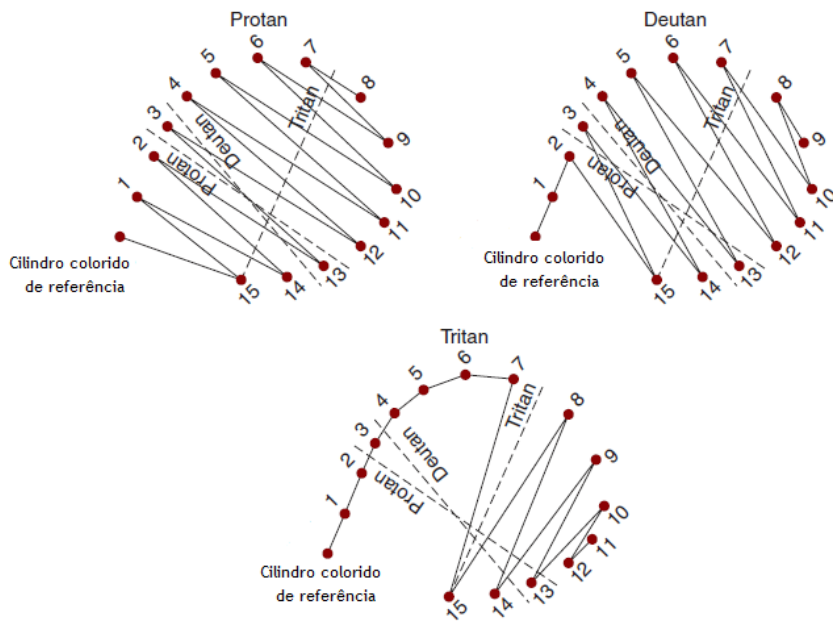


Figura 46- Graficamente consegue-se interpretar o tipo de defeito que a pessoa manifesta, pelo tipo de gráfico obtido (4).

Uma das desvantagens na realização deste teste consiste na incapacidade em distinguir entre tricromata anômalo e dicromata. O tempo de execução é aproximadamente 3 minutos, se demorar mais tempo mas ordenar bem pode indicar a presença de uma anomalia mais leve. Os erros que se aceitam é trocar um cilindro, se der mais do que um erro tem um dos três problemas (protan, deutan ou tritan), o defeito torna-se mais intenso quanto mais erros der.

O teste D15 desaturado é igual ao anterior só que os cilindros são desaturados (com mais branco). O que permite diagnosticar problemas mais subtis porque a tarefa é mais difícil (4,17).

O teste D100 de Fransworth tem 85 peças distribuídas em quatro caixas. Este teste detecta defeitos ainda mais leves, o objectivo é ordenar as peças de cada caixa como se fazia nos testes de ordenação anterior. A pontuação mínima é 2, logo o diagrama esquemático vai ser um círculo, se o indivíduo acertar tudo. Os eixos para os casos de protan, deután e tritan vão aparecer perpendiculares ao do D15 (4,17).

O teste é muito demorado tornando-se um dos principais inconvenientes (primeiro faz-se monocularmente e só depois binocularmente), não distingue entre tricromata anómalo e dicromata, gera mais cansaço (mais erros). Mas é muito útil nas patologias da retina porque a visão das cores é a primeira a ser afectada.

Tabela 5- Pontuações aceitáveis na realização do D100 de Fransworth que podem variar com a idade (4,17).

Norma das pontuações totais do teste em função da idade	
Idades	Pontuação
10-14 anos	170
20-29 anos	116
30-39 anos	138
70-79 anos	310

O teste da **visão das cores da City University** distingue entre um indivíduo normal, protan, deután e tritan, não distingue entre dicromata e tricromata anómalo. O indivíduo procede verbalmente através da selecção de um dos círculos, que é mais semelhante ao do círculo central. Este teste é mais económico e mais fácil de ser realizado permitindo distinguir as três situações anómalas.

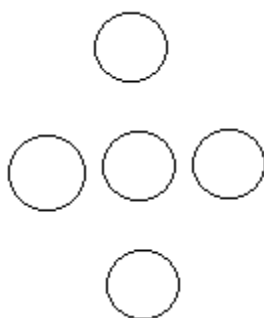


Figura 47- Esboço representativo do teste da visão das cores City University.

4.5.3 Anomaloscópio

São os únicos que permitem fazer distinção entre tricromata anómalo e dicromata. Consiste numa experiência de campo bipartido com o objectivo de igualar os dois lados. O anomaloscópio de Nagel só detecta anomalias no eixo vermelho e verde, anomaloscópio de Pickford - Nicolson detecta anomalias no eixo vermelho - verde e amarelo-azul (4).

4.6 Lente cromática X

O filtro vermelho é colocado num dos olhos para que a intensidade não baixe muito e permite deslocar o pico de sensibilidade. Este método não é muito utilizado porque reduz a sensibilidade ao contraste (4, 25).

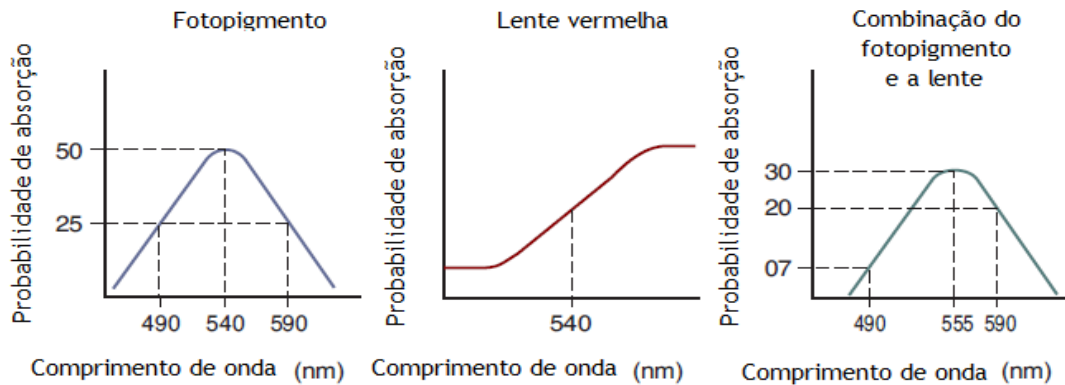


Figura 48 -Ilustra a mobilidade do pico de sensibilidade de um indivíduo protan através do auxílio de uma lente cromática (vermelha) (4).

4.7 Perimetria de comprimentos de onda baixos

Algumas anomalias afectam primeiro uns comprimentos de onda e só depois outros, por isso começa a fazer sentido em executarmos um exame de diagnóstico, como é o caso de uma perimetria com estímulo azul num fundo amarelo (tritan). A maioria dos daltonismos são hereditários, no entanto os casos tritan estão normalmente associados a patologias que aparecem primeiro a um dos olhos e só depois ao outro. Por isso é que se deve fazer monocularmente, o glaucoma é um exemplo de patologia que pode ser diagnosticado precocemente com este método (4).

Capítulo

5 Aplicação prática

O teste prático efectuado na elaboração deste trabalho foi o D-15 de Fransworth saturado, este teste da visão das cores foi realizado a partir de uma simulação e não, como um método de ensaio calibrado.

Devido o facto de cada ecrã ter o seu perfil de cores e a iluminação envolvente não pode ser influenciada, este procedimento não é capaz de fornecer um ambiente de teste consistente.

Deste modo, os resultados do teste não devem ser utilizados como uma confirmação nem como uma refutação de deficiência na visão das cores. Uma vez que não apresenta rigor científico podemos considerar que se trata de uma aplicação académica.

O objectivo consiste em dispor os quadrados coloridos a partir da semelhança da cor anterior. A cor de referência já foi escolhida agora é necessário ordenar todas as cores de uma forma gradual.

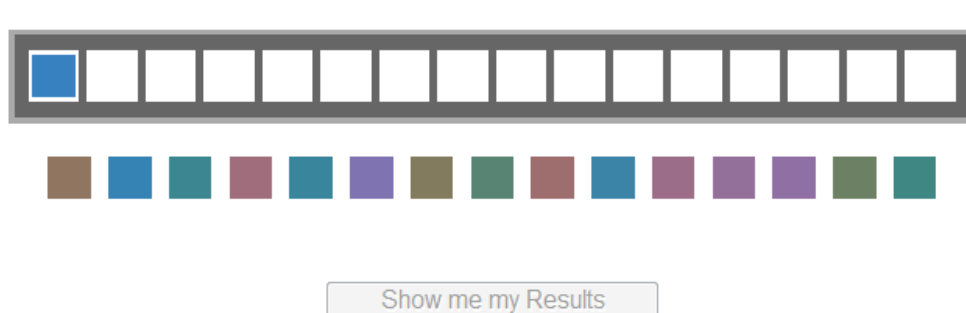


Figura49- Exemplo da disposição dos vários quadrados coloridos do teste on-line (26).

Acredita-se que qualquer tipo de teste online relacionado com a visão das cores é muito dependente das suas configurações ao nível da luz ambiente. Porque se o teste for realizado em condições diferentes podemos obter resultados que podem variar. O teste D-15 Farnsworth foi introduzido em 1947 e destina-se a dividir as pessoas em dois grupos os que são daltónico e as pessoas que não são.(26)

As pessoas daltónicas não providenciam as cores por ordem correcta mas fazem-no paralelamente a uma das três linhas de confusão: protan, deutan e tritan. Vingrys e King-Smith desenvolveram em 1988 um método de pontuação baseado em vectores de diferença de cor. Desta forma é possível quantificar o tipo de daltonismo por ângulo de confusão e a gravidade através do índice de confusão.(26)

Tabela 6- Tabela informativa dos valores normativos (25).

	Ângulo de Confusão	Maior	Menor	TES	S-index	C-index
Normal	+62,0	9,2	6,7	11,4	1,38	1,00
Protanopia	+8,8	38,8	6,6	39,4	6,16	4,20
Protanomalia	+28,3	18,0	8,2	20,4	1,97	1,95
Deuteranopia	-7,4	37,9	6,3	38,4	6,19	4,10
Deuteranomalia	-5,8	25,4	9,6	27,5	2,99	2,75
Defeitos Tritan	-82,8	24,0	6,4	24,9	3,94	2,60

Ângulo (AC): Ângulo de confusão

TES: Pontuação total do erro

Maior: Raio maior

Menor: Raio menor

S-index: Índice de selectividade

C-index: Índice de confusão

Na tabela 6 estão representados alguns valores médios retirados de um estudo de 120 pessoas normais e com daltonismo. Nesta tabela o ângulo de confusão (AC) identifica o tipo de anomalia na visão das cores. Um ângulo acima de +0,7 graus direcciona para um defeito protan, entre +0,7 e -65 um defeito deutan, e abaixo desses valores para um defeito tritan. A combinação dos dois raios contribui para o valor total do erro (TES). Para fortes anomalias na visão das cores o TES pode variar de um intervalo de valores que vai do 11 até ao 40. O índice de selectividade (S-index) consiste na razão entre os dois raios e indica-nos o paralelismo entre os vectores de confusão e o ângulo de confusão pessoal. Uma razão abaixo de 2 pode significar que não existe deficiência na cor ou que a pessoa tenha ordenado as cores aleatoriamente. Número até 6 ou superior indica-nos um elevado paralelismo. O S-index é usado para aferir o grau de dispersão e a selectividade no arranjo do observador. O índice de confusão (C-index) mede a severidade da deficiência da cor e é calculado a partir da razão entre o raio maior e o raio maior de um arranjo perfeito. Pessoa com visão normal das cores ou ligeiramente daltónica numa determinada cor apresenta um C-index abaixo de 1,2. Quanto maior for este número até perto de 4 mais grave é o daltonismo (26).

O TES, o S-index e o C-index são suficientes para fazer a discriminação entre as variedades congénitas e as adquiridas nas anomalias da visão das cores. O indivíduo com uma certa anomalia na visão das cores tem tendência a cometer tipicamente o mesmo conjunto de

erros. Esses erros são linhas que atravessam o centro da elipse de um ângulo característico designada por eixo de confusão de um certo fotopigmento (26).

5.1 Resultados

Tabela 7- Resultados obtidos do teste de Fransworth D-15 Saturado.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
1	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
2	-0,6	35,4	7,9	36,3	4,5	3,83	Deutan
3	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
4	-77	16,4	10,6	19,5	1,54	1,77	Tritan
5	27,9	18,1	16,1	24,2	1,13	1,96	Protan
6	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
7	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
8	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
9	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
10	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
11	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
12	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
13	61,2	11,2	6,7	13	1,68	1,21	Normal
14	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
15	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
16	66,8	14	7,4	15,9	1,89	1,52	Normal
17	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
18	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
19	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
20	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
21	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
22	-12,6	29,6	7,1	30,5	4,16	3,21	Deutan
23	1,9	34,5	6,8	35,2	5,11	3,74	Protan
24	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
25	-1	34,5	6,8	35,4	5,07	3,76	Deutan
26	79	7	6,8	14,1	1,74	1,33	Normal
27	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
28	68,6	12,2	7,1	14,1	1,72	1,32	Normal
29	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
30	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
31	70,7	17,7	6,3	18,8	2,79	1,91	Normal
32	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
33	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
34	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
35	61,9	9,2	6,8	11,4	1,38	1	Normal
36	29	17,8	11,7	21,3	1,52	1,93	Protan
37	-85,6	17,1	7,4	18,6	2,33	1,85	Tritan

5.1.1 Análise de resultados

1º Caso:

Tabela 8- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 2.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
2	-0,6	35,4	7,9	36,3	4,5	3,83	Deutan

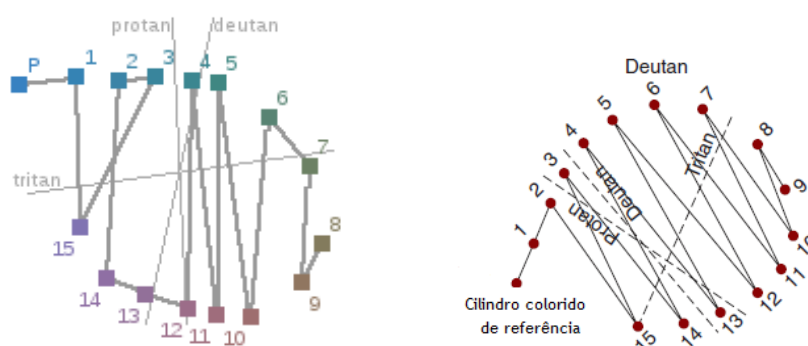


Figura 50- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 2.

A partir da análise das diferentes variáveis podemos classificar o indivíduo com uma anomalia do tipo deutan, uma vez que o ângulo de confusão está compreendido entre +0,7 e -65 graus. A TES de 36,3 caracteriza o daltonismo com alguma severidade. O S-index de 4,5 revela um certo grau de paralelismo dos dois vectores, logo o C-index de 3,83 tem que justificar uma deficiência na cor, de alta intensidade.

2º Caso:

Tabela 9- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 4.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
4	-77	16,4	10,6	19,5	1,54	1,77	Tritan

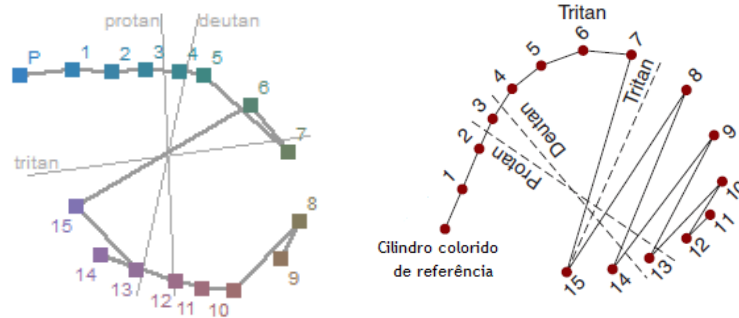


Figura 51- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 3.

Neste caso em específico o defeito observado é do tipo tritan porque está abaixo do valor -65 graus no que se refere ao AC. A TES de 19,5 não revela um tipo de defeito intenso, uma vez que o valor obtido afasta-se do limite superior. O S-index de 1,54 indica nos um pequeno paralelismo entre os vectores de confusão mas como a razão é inferior a 2 podemos aferir que a pessoa possa ter ordenado alguma das cores aleatoriamente. Com o C-index de 1,77 poderá sugerir um tipo de daltonismo ligeiro.

3º Caso:

Tabela 10- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 5.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
5	27,9	18,1	16,1	24,2	1,13	1,96	Protan

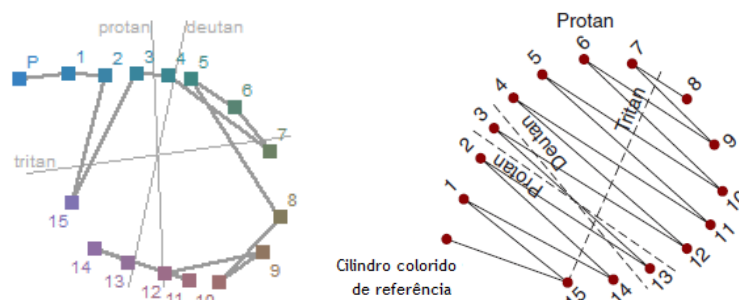


Figura 52- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 5.

Analisando os resultados obtidos podemos afirmar que o daltonismo patente neste caso é do tipo protan porque o AC está acima de +0,7 graus. A TES de 24,2 indica nos para algum grau de daltonismo mas analisando o S-index de 1,13 podemos confirmar a existência de alguma dispersão na selecção efectuada pelo arranjo do observador (uma vez que o S-index é inferior a 2), e assim afirmar a existência de uma possível aleatoriedade. Com C-index de 1,96 concluímos que na existência de daltonismo este também deve ser muito ligeiro.

4ºCaso:

Tabela 11- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 22.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
22	-12,6	29,6	7,1	30,5	4,16	3,21	Deutan

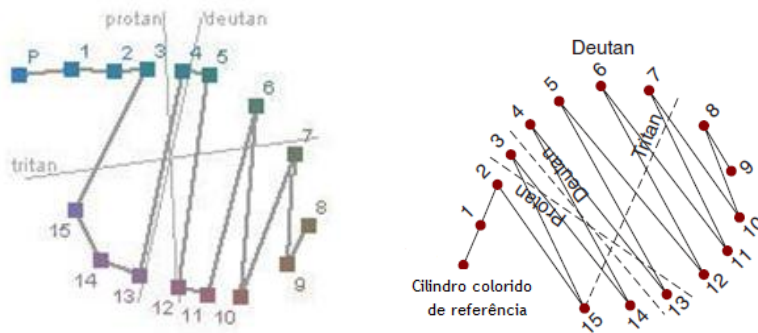


Figura 53- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 22.

Observando os valores da tabela que são fornecidos pelo simulador on-line podemos designar que este paciente apresenta um defeito deutan uma vez que o AC encontra-se compreendido pelos valores +0,7 e -65 graus. A TES de 30,5 já revela um defeito com alguma "gravidade" o que se pode confirmar pelo elevado paralelismo do vector de confusão com o ângulo de confusão pessoal (S-index a tomar valores 4,16). O C-index confirma a severidade do daltonismo uma vez que o valor estabelecido ronda os 3,21 sendo um dado com bastante relevância.

5º Caso:

Tabela 12 Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 23.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
23	1,9	34,5	6,8	35,2	5,11	3,74	Protan

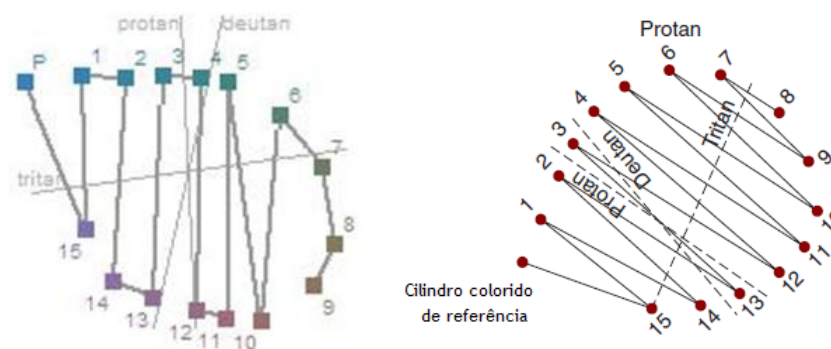


Figura 54- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 23.

O tipo de caso que estamos analisar é o que se assemelha mais ao estilo protan uma vez que o AC está acima de +0,7 graus. A TES de 34,5 demonstra a existência de um defeito com algum grau de intensidade. O S-index de 5,11 revela um elevado paralelismo, o C-index de 3,74 permite concluir que o indivíduo apresenta um daltonismo severo.

6º Caso:

Tabela 13- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 25.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
25	-1	34,5	6,8	35,4	5,07	3,76	Deutan

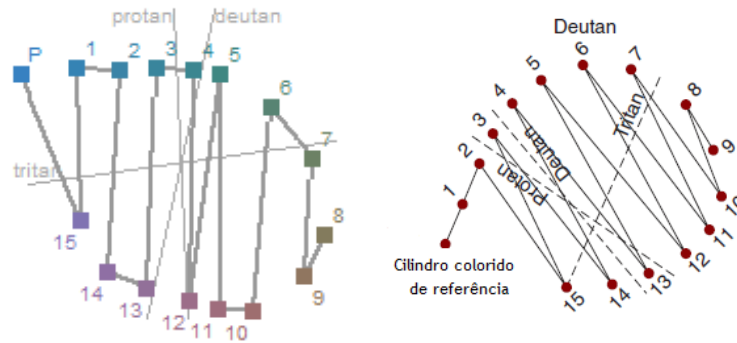


Figura 55- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 25.

O paciente que executou este teste manifesta uma anomalia na visão das cores do tipo deutan, uma vez o AC abrange o intervalo que varia de +0,7 e -65 graus. Um S-index de 5,07 indica-nos um elevado paralelismo entre os vectores de confusão e o ângulo de confusão pessoal. A TES é de 35,4 e o C-index assume o valor 3,76 logo podemos concluir que o daltonismo apresenta um elevado grau de severidade.

7º Caso:

Tabela 14- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 36.

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
36	29	17,8	11,7	21,3	1,52	1,93	Protan

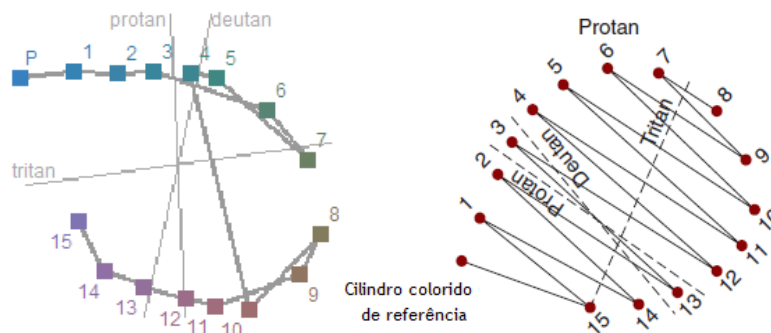


Figura 56- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 36.

As cores e a Visão e a Visão das Cores

O AC identifica o tipo de anomalia como protan porque esta componente assume um valor superior a +0,7 graus. A TES e o C-index adoptam valores não muito severos por isso o daltonismo não se manifesta de uma forma muito intensa. Um S-index de 1,52 sugere que a pessoa tenha ordenado aleatoriamente.

8º Caso:

Tabela 15- Características atribuídas pelo simulador on-line para o indivíduo número 37

Nº Atribuído	AC	Maior	Menor	TES	S-index	C-index	Defeito
37	-85,6	17,1	7,4	18,6	2,33	1,85	Tritan

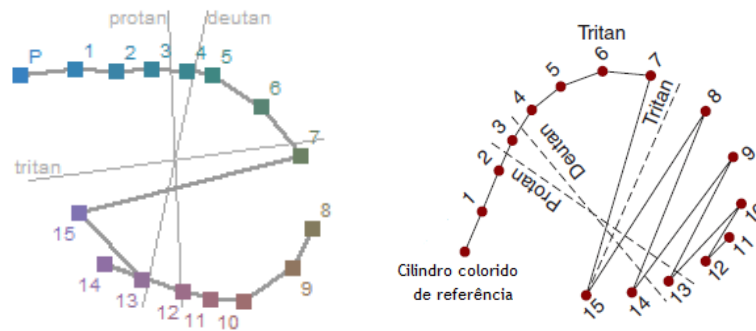


Figura 57- Comparação da representação esquemática obtida no D-15 para o paciente número 37.

Analisando os valores fornecidos pelo simulador podemos enquadrar este caso como um possível tritan porque o AC é inferior a -65. A TES e o C-index não assumem valores significativos para intensidades elevadas, o S-index confirma um pequeno grau de paralelismo entre os vectores de confusão e o ângulo de confusão pessoal, o que pode traduzir para um caso de daltonismo ligeiro.

5.2 Representação gráfica

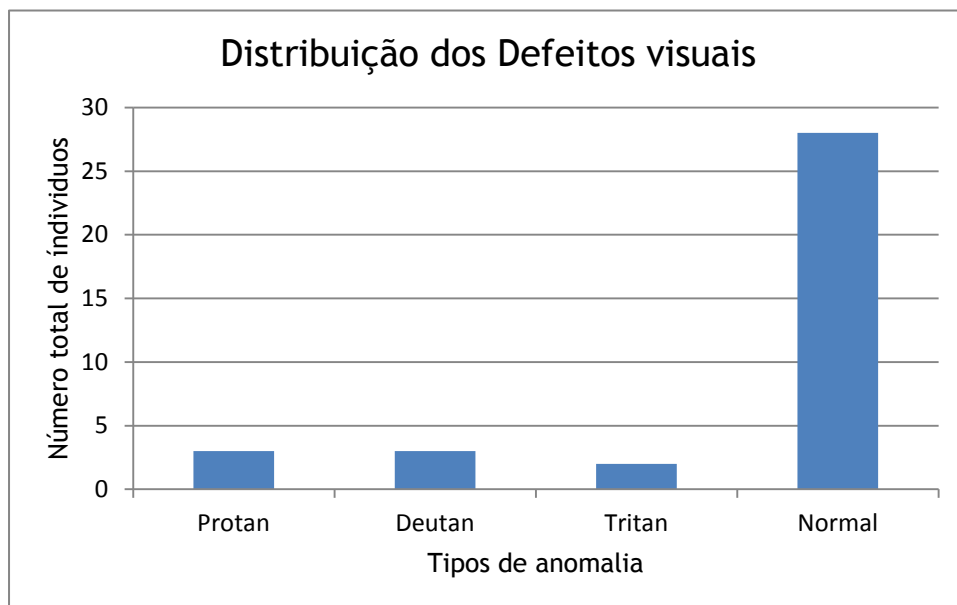


Figura 58 -Gráfico que representa a relação dos indivíduos com os defeitos visuais em estudo.

No gráfico da figura 58 está representada uma distribuição dos defeitos visuais analisados. Verificou-se que a maioria dos casos (nº de casos) apresenta características normais na visão das cores, 3 casos apresentam uma anomalia do tipo protan, 3 do tipo deutan e 2 do tipo tritan.

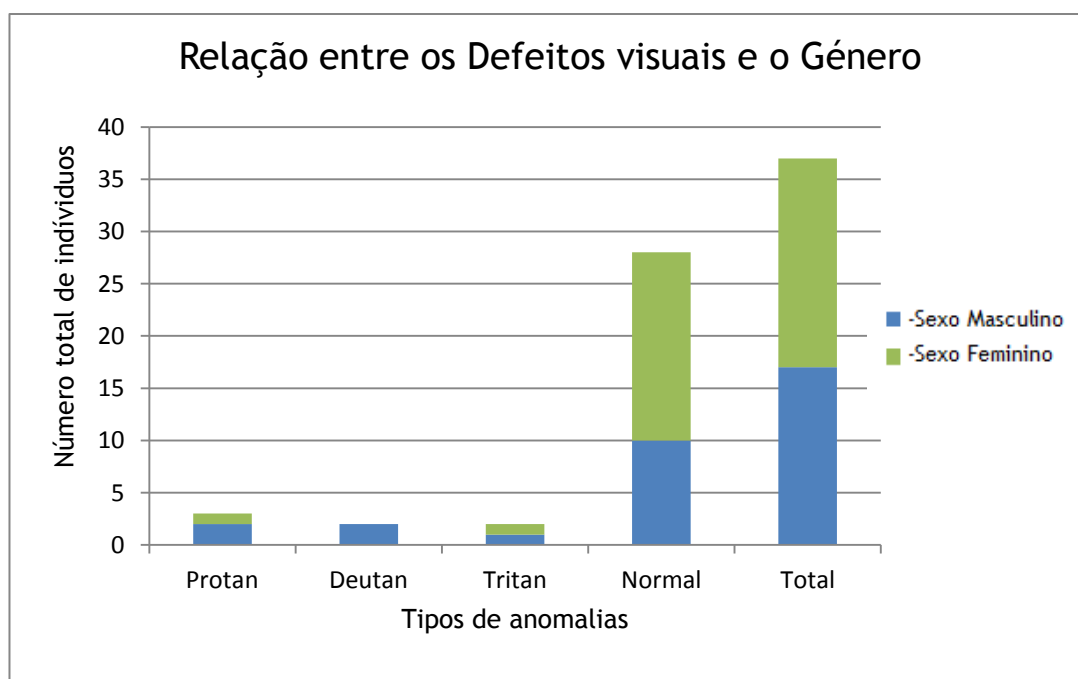


Figura 59- Gráfico que relaciona os defeitos visuais segundo o género da pessoa.

No gráfico da figura 59 está representada uma distribuição dos defeitos visuais que foram analisados segundo o género. Verificou-se que a maioria dos casos com defeito apresenta-se no género masculino.

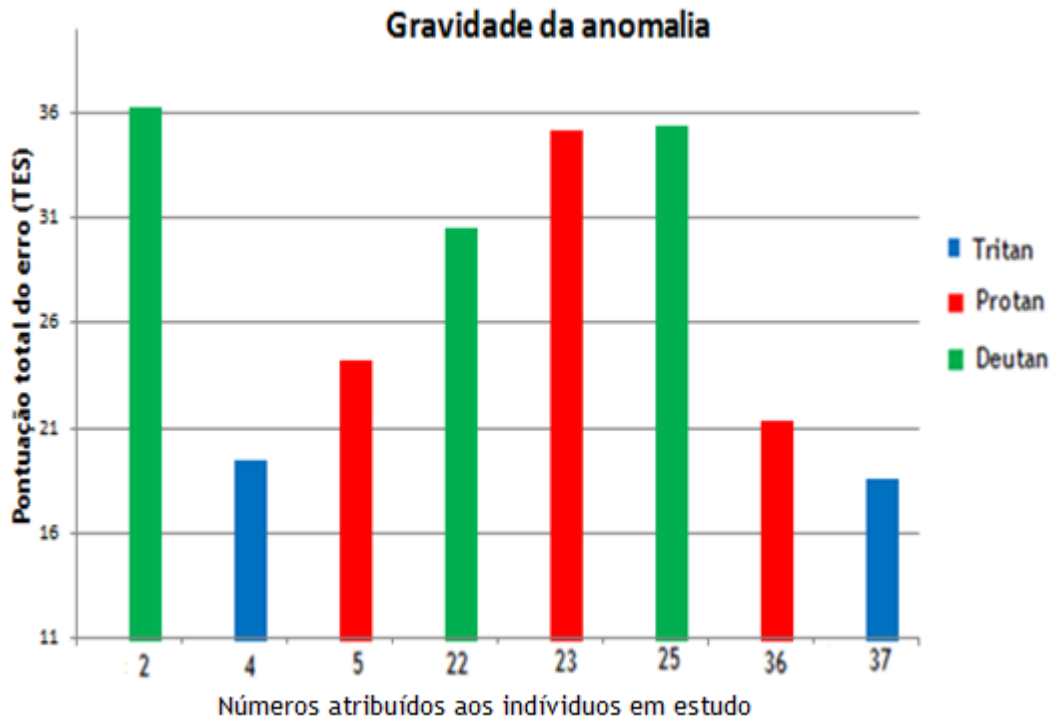


Figura 60- Gráfico que representa a gravidade da anomalia dos defeitos visuais a partir da TES.

O gráfico da figura 60 caracteriza a gravidade das anomalias. O defeito deutan e protan dos indivíduos 2, 23 e 25 representam os defeitos com maior gravidade/intensidade.

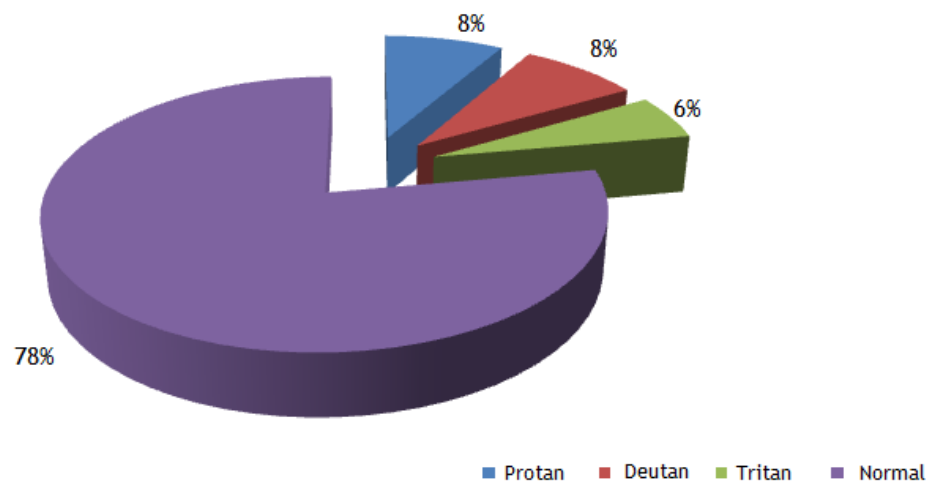


Figura 61 -Distribuição percentual dos defeitos visuais em relação aos indivíduos analisados.

Conclusões

Após a realização da pesquisa efectuada, tanto na componente teórica, como na componente prática, esta dissertação contribui para uma maior compreensão na percepção visual, bem como nas áreas inerentes que já foram abordadas anteriormente (uma vez que elas se complementam).

Uma das vantagens principais deste trabalho foi fornecer possíveis benefícios na qualidade de vida dos portadores para este tipo de anomalias. Por exemplo, na nossa prática corrente, nem todas as soluções visam na prescrição oftálmica e, principalmente no surgimento de determinados casos como os patológicos, em que uma das perdas principais está relacionada com a visão das cores. Neste sentido, o elevado deslumbramento que a intensidade luminosa causa faz com que as pessoas sintam um elevado desconforto e isso pode ser minimizado na utilização de filtros.

Nos casos congénitos que, na sua maioria são mais fáceis da pessoa suportar as dificuldades, uma vez que esta já nasce com essa característica e no seu processo de desenvolvimento este adquiri mecanismos de adaptação para contornar algumas das limitações.

Na componente teórica abordou-se sucintamente cada tema, de modo a ser mais perceptível de entender todo o tipo de processo que a visão das cores pode desencadear. Nas anomalias da visão das cores o contexto foi implementar um dos testes de detecção a partir de um simulador *on-line* tendo sempre presente as limitações no recurso desta fonte. O objectivo não foi propriamente classificar os defeitos com elevado rigor científicos, uma vez que nos encontramos limitados para o fazer, mas sim demonstrar a confirmação de alguns dos casos em que a pessoa já sabia que tinha um tipo de anomalia (que tudo indica ser congénito) e a sua intensidade, bem como a diferença existente de algumas características, como por exemplo na prevalência de géneros.

Ao longo deste trabalho, 37 indivíduos foram submetidos a um simulador *on-line* do D15 de Fransworth, tendo se identificado 8 possíveis casos com a visão das cores alterada. Em alguns dos casos considerados pode ser discutível se a pessoa apresenta ou não algum tipo de anomalia, para esclarecer essa questão não podemos submeter a pessoa a repetir o mesmo exame, uma vez que iria viciar os resultados, mas sim proceder à execução de outros testes. Não se fez porque isso seria para um outro tipo de trabalho mais rigoroso que visasse a comparação de várias características que os testes da visão das cores pudessem dar.

Pode concluir-se que a prevalência das anomalias são sobretudo no género masculino, como se pode comprovar através da análise do gráfico da figura 60 (um dos cuidados para a minha amostra foi tentar equilibrar o número total de indivíduos do sexo masculino com os do sexo feminino). É ainda de notar que a intensidade das anomalias é sobretudo superior nos possíveis casos congénitos, uma vez que os defeitos são do tipo deutan e protan (figura 61 e 62).

6 Bibliografia

1. Risse JF. Exploration de la fonction visuelle Paris: Masson; 1999.
2. Carvalho C, Fernando F, Carvalho A, Madeira V, Nobre A, Pires E. Biologia funcional Coimbra: Livraria almedina; 1984.
3. Schwartz SH. Visual perception : a clinical orientation. 4th ed. New York: Medical; 2010.
4. Newell F. Oftalmologia - Fundamentos e conceitos Madrid: Mosby; 1997.
5. [Online]. [cited 2011 Outubro. Available from: <http://www.aptomed.com.br/canal/Oftalmologia/Orbita-e-Vias-Lacrimais>.
6. Williams PL, Warwick R, Dyson M, Bannister LH. Gray anatomia. 32nd ed. Rio de Janeiro: Guanabara koogan S.A; 1995.
7. Dauber W, Fenis H. Human anatomy. 4th ed.: Thieme; 2000.
8. Nometh S, Ledford J. Ocular anatomy and physiology. 2th ed.: Slack incorporated; 2008.
9. Spalton D. Atlas of clinical ophtalmology. 3rd ed.: Elsevier mosby ; 2005.
10. Jacob S, Francone C, Lossow W. Anatomia e fisiologia humana. 5th ed. Rio de Janeiro: Guanabara koogan S.A; 1990.
11. [Online]. [cited 2011 Setembro. Available from: <http://fisioterapiaocular.blogspot.com/>.
12. [Online].; 2011. Available from: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/C/cornea.html>.
13. [Online]. [cited 2011 Outubro. Available from: <http://hipertensao2010.blogspot.com/2010/08/e-o-olho-com-isso.html>.
14. [Online]. [cited 2011 Setembro. Available from: http://www.sistemanervoso.com/pagina.php?secao=1&materia_id=395&materiaver=1.
15. Kosslyn SM, Andersen RA. Frontiers in cognitive neuroscience London, England: A Bradford book; 1992.
16. Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM. Principles of neural science: McGraw-hill; 2000.

17. Wandell B. Foundations of vision sunderland: sinauer associates Inc. publishers; 1995.
18. [Online]. [cited 2011 Outubro. Available from:
<http://webvision.med.utah.edu/imageswv/KallDark1.jpg>.
19. [Online]. [cited 2011 Outubro. Available from:
<http://webvision.med.utah.edu/imageswv/KallDark7.jpg>.
20. [Online]. [cited 2011 Setembro. Available from:
<http://www.dfisica.ubi.pt/~hgil/P.V.1/Weber/Tabela.da.Weber.html>.
21. [Online]. [cited 2011. Available from:
http://pt.wikipedia.org/wiki/Doen%C3%A7a_heredit%C3%A1ria.
22. Bruni L, Velasco A. Chromatic sense: types of defects and clinical evaluation tests; 2006.
23. [Online]. [cited 2011 Setembro. Available from:
http://www.medicineto.pt/?m=pages&page=equipamento_medico&p=desc&id=721.
24. Birch J. Pass rates for the Farnsworth D15 colour vision test. The college of optometrists. 2008.
25. Diaconu V, Sullivan D, Bouchard JF, Vucea V. Discriminating colors through a red filter by protanopes and colour normals. The College of optometrists. 2010.
26. [Online]. [cited 2011. Available from: <http://www.colblindor.com/2009/03/10/online-farnsworth-d-15-dichotomous-color-blindness-test/>.

8 Anexo

Autorização da execução do teste D-15 Fransworth pelo simulador *on-line*.



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Covilhã | Portugal

Despiste de alguma anomalia na **Visão das Cores**

Simulação on-line do teste de ordenação D-15 Fransworth

Notas introdutórias/ Instruções:

Gostaria de obter a vossa colaboração na realização deste ensaio que tem como objectivo integrar os resultados obtidos no desenvolvimento de uma dissertação.

1. O teste realiza-se em ambos os olhos de uma forma simultânea (se a pessoa usar compensação oftálmica deve mantê-la durante a realização do teste) num espaço bem iluminado;
2. O teste D-15 Fransworth irá ser realizado num computador sempre com o mesmo contraste, brilho e com zoom de 100%;
3. A pessoa terá que dispor os quadrados coloridos escolhendo a cor mais semelhante em relação á cor de referência a partir das várias hipóteses apresentadas;
4. O tempo de execução não deve exceder os três minutos;
5. Todos os dados pessoais irão ser confidenciais uma vez que à pessoa irá ser atribuído um número;
6. Os resultados obtidos terão um tratamento estatístico previamente estabelecido. Todas as respostas são igualmente válidas e constituem um contributo indispensável e determinante para a investigação, por isso agradeço que faça com sinceridade.

Autorização para a sua realização/ tratamento estatístico dos resultados obtidos:

Data:

Nº _____

I - Dados Pessoais

Nome: _____

Bilhete de identidade nº: _____

Data de nascimento: ____/____/____

Sexo: F ___ M ___ Profissão: _____

Residência: _____ Nº ___ Andar: _____

Freguesia _____ Conselho: _____ Telf: _____

E-mail: _____