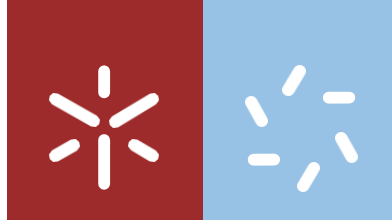


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Cécilia Ferreira Marçal

**Avaliação da resposta acomodativa
para iluminação de diferentes
comprimentos de onda**



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Cécilia Ferreira Marçal

**Avaliação da resposta acomodativa
para iluminação de diferentes
comprimentos de onda**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Optometria Avançada

Trabalho efetuado sob a orientação de

Doutora Sandra Maria de Braga Franco
Doutor João Manuel Maciel Linhares

julho 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações
CC BY-NC-ND

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

Agradecimentos

À minha família pelo apoio incondicional, por tornarem possível esta minha caminhada e por estarem sempre presentes na minha vida.

Aos meus orientadores, Professora Doutora Sandra Franco e Professor Doutor João Linhares, pela paciência, disponibilidade, incentivo, mas sobretudo pelo conhecimento transmitido.

A todos os voluntários que foram sempre prestáveis no decorrer do trabalho deixo uma palavra de reconhecimento.

O meu agradecimento à Tuna de Medicina da Universidade do Minho e às restantes pessoas maravilhosas que se foram cruzando comigo e de algum modo deixaram a sua marca, muitas vezes sem saber sequer a importância que isso teve para mim.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

Avaliação da resposta acomodativa para iluminação de diferentes comprimentos de onda.

Resumo

No mundo contemporâneo, somos cada vez mais dependentes da iluminação artificial para realizar todo o tipo de tarefas. Mas, no caso de não ser adequada, a iluminação pode levar ao aparecimento de fadiga e stress ocular. Este estudo pretendeu analisar a variação dos parâmetros acomodativos com a variação da cor da iluminação. O objetivo foi estimar a resposta acomodativa para iluminação sintonizada para diferentes comprimentos de onda.

Foram avaliados 45 sujeitos com idades compreendidas entre os 18 e 35 anos, cujo 17 emetropes, 14 hipermetropes e 14 míopes. Foram excluídos indivíduos que padeciam correntemente de alguma patologia ocular ou sistémica, suscetível de alterar o valor refrativo normal, ou que tivessem sido sujeitos a qualquer intervenção cirúrgicas ou não cirúrgica (orto-k) no olho avaliado. A recolha de dados foi efetuada em duas etapas. A primeira consistiu num exame prévio constituído por exames preliminares, de visão binocular e acomodação. Na segunda fase foi determinada a AM e a FA sob uma iluminação de 3 comprimentos de ondas diferentes (115 lux) com picos em 455 nm (azul) e uma largura a meia altura do valor máximo de 26 nm, 510 nm (verde) e uma largura a meia altura do valor máximo de 34 nm e 625 nm (vermelho) e uma largura a meia altura do valor máximo de 21 nm.

Os resultados indicam que a cor da iluminação influencia os resultados da AM, sendo esta maior com a luz azul, de seguida com a verde e por fim menor com a cor vermelha. Existem diferenças estatisticamente significativas na AM mediante as iluminações azul e verde entre o grupo de míopes e hipermetropes. Ainda em relação à AM existem diferenças nas três ametropias entre todos os cdo.

Relativamente à FA não se detetou nenhuma influencia da cor. Para as três cores existiram diferenças estatisticamente significativas entre os míopes e os emetropes e entre os míopes e hipermetropes. No entanto, nos hipermetropes existiram diferenças entre a luz verde e a luz azul.

Os resultados encontrados sugerem uma associação entre alguns parâmetros acomodativos e condições de iluminação específica. Iluminação imprópria ou com parâmetros desajustados podem causar uma variação nos parâmetros acomodativos e gerar sintomatologia.

Palavras-chave: aberração cromática; Acomodação ocular; Iluminação colorida; Iluminância; Temperatura de cor.

Accommodative response assessment for illumination of different wavelengths

Abstract

In today's contemporary world, we are increasingly dependent on artificial lighting to carry out all kinds of daily tasks. This study aimed to analyze the variation of accommodative parameters with the variation of lighting color. The objective was to estimate the accommodative response for lighting set to different wavelengths.

Forty-five subjects with ages ranging from 18 to 35 years old were subjected to the study, of which 17 were emmetropes, 14 hypermetropes and 14 myopes. Individuals who currently suffered from some systemic or ocular pathology, susceptible to changes to the normal refractive value, or who had been subjected to any surgical or non-surgical intervention (ortho-k) in the evaluated eye, were excluded. Data collection was carried out in two stages. The first stage consisted of a preliminary exams, refractive exams, binocular vision and accommodation exams. In the second stage AM and FA were determined under 115 lux illuminance with 3 different wavelengths with peaks at 455 nm for blue full width at half maximum at 26nm 510nm for green, full width at half maximum at 34nm and 625nm for red, full width at half maximum at 21nm.

The results indicate that the lighting color influences the AM results, which is higher with blue light, then with green and finally lower with red. We also know that there are statistically significant differences in AM through the blue and green lighting between the hypermetropia and myopia groups. In relation to AM, there are differences between the three ametropias between all wavelengths.

Regarding AF, no influence of the light color was detected. For the three colors there were statistically significant differences between the emmetropia and myopia groups and the hypermetropia and myopia groups. However, in hypermetropes there were differences observed between green and blue lighting.

The results found suggest a relation between some accommodative parameters and specific lighting conditions. improper lighting or inadequate parameters can cause a variation in the accommodative parameters and generate symptoms.

Keywords: chromatic aberration; color lighting; color temperature; eye accommodation; luminance.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - Revisão bibliográfica	3
2.1 Sistema Visual	3
2.2 Acomodação	6
2.2.1 Avaliação da resposta acomodativa	7
2.3 Estrutura da retina	13
2.3.1 Fotorreceptores - cones e bastonetes	15
2.3.2 Cones	17
2.4 Luz artificial	20
2.4.1 Diodos emissores de luz – LEDs	20
2.4.2 O Espectro	20
2.4.3 Temperatura de cor	21
2.5 Aberrações	23
2.5.1 Aberração cromática	24
2.6 Breve caracterização do estado refrativo	26
2.6.1 Emetropia	28
2.6.2 Miopia	28
2.6.3 Hipermetropia	28
2.6.4 Astigmatismo	29
Capítulo 3 - Material e Métodos	30
3.1 Hipótese	30
3.2 Objetivos	30

3.3 Tipo de estudo	30
3.4 População estudada	31
3.5 Procedimento experimental	33
3.5.1 Exames optométricos.....	33
3.5.2 Procedimento estatístico	40
Capítulo 4 - Resultados	42
4.1 População estudada	42
4.1.1 Género e idade	42
4.1.2 Ametropias.....	43
4.2 Amplitude de Acomodação (AM)	44
4.3 Flexibilidade acomodativa (FA)	48
Capítulo 5 - Discussão dos resultados	53
5.1 Amplitude de acomodação.....	53
5.2 Flexibilidade Acomodativa.....	57
5.3 Limitações do estudo.....	58
Capítulo 6 - Conclusões e trabalho futuro	60
Bibliografia	62
Anexos.....	69
Anexo 1 - Consentimento Informado, Livre e Esclarecido para participação em investigação	69
Anexo 2 - Tabela de aleatorização da ordem de teste das cores.....	72
Anexo 3 - Folha de registo.	1

Índice de Figuras

Figura 1. Representação de um corte transversal do globo ocular e seus principais constituintes. Adaptado de Amaral G <i>et al.</i> (2013) ⁴⁷	3
Figura 2. Representação do fundo do olho e principais característica da retina: mácula, fóvea, disco óptico e vasos sanguíneos. Adaptado de Amaral G, <i>et al.</i> (2013) ⁴⁷	5
Figura 3. Diagrama esquemático que permite comparar o estado acomodativo ocular com o estado relaxado/não acomodativo do olho. Modelo do movimento das estruturas acomodativas elaborado a partir de biomicroscopia de ultrassom e de estudos recentes sobre a anatomia da zónulavítrea. Adaptado de Goldberg (2011) ²⁸	7
Figura 4. Flipper de lentes, cujas lentes vermelhas possuem potência negativa e as pretas potência positiva.....	10
Figura 5. Estímulos acomodativos usados no teste de MEM. Adaptado de Goss D.(1995). ³⁰	12
Figura 6. Estrutura da retina. Adaptado de Amaral G, <i>et al.</i> (2013). ⁴⁷	14
Figura 7. Ilustração dos dois tipos de fotorreceptor, o bastonete e o cone. A luz penetra os fotorreceptores através do segmento interno, que é transmitida para o segmento externo que contém o fotopigmento. Adaptado de Baylor (1987). ⁸⁰	15
Figura 8. Comparação da sensibilidade do olho à luz de diferentes comprimentos de onda: em plena luz do dia (visão fotópica), com iluminação média (visão mesópica) e na escuridão (visão escotópica). A curva escotópica corresponde à sensibilidade dos cones (linha verde), enquanto que a curva fotópica corresponde à atuação dos cones (linha preta). ⁴⁹ Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Luminosity.png	16
Figura 9. Princípio da visualização da cor. Adaptado de Marcus (1997). ⁵¹	17
Figura 10. Sensibilidade relativa à luz de diferentes comprimentos de onda para os três tipos de cones presentes na retina: cones S para comprimentos de onda curtos, cones M para médios e cones L para longos. Adaptado de Stockman (2000). ⁵²	19
Figura 11. Espectro da radiação electromagnética e a sua região de luz visível (parte colorida do espetro). Adaptado de Silva N. (2011). ⁵⁵	21
Figura 12. Indicação da temperatura de cor da luz natural ideal para atividades cotidianas. Adaptado de https://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/ArticleID/10341/	22

Figura 13. Simulação da variação da temperatura de cor da luz natural ao longo do dia, através de luz artificial. Adaptado de https://www.abalux.com.br/temperatura-de-cor-ideal-da-sua-luminaria/ .	23
Figura 14. Aberrações de ondas codificadas por cores para pupilas de 5 mm de diâmetro em oito jovens normais com aberrações oculares consideradas normais. Embora a magnitude das aberrações seja semelhante, cada olho apresenta padrões espaciais e temporais distintos. Adaptado de Artal (2014) ⁵⁸	24
Figura 15. Aberração cromática do olho. A luz azul foca mais à frente da retina, de seguida encontra-se o foco verde e por fim, por trás da retina encontramos o foco da luz vermelha. Adaptado de Bernd <i>et al.</i> ⁸¹	25
Figura 16. Quadro de Snellen para medição da acuidade visual (AV). Adaptado de http://www.stargardt.com.br/entendendo-o-que-e-acuidade-visual/	27
Figura 17. Ametropias oculares. A- Miopia; B- Hipermetropia; C- Astigmatismo. Fonte Kruger PB. ⁶⁷	27
Figura 18. Diferença entre as médias da população tendo em conta o tamanho da amostra experimental.	31
Figura 19. Cálculo amostral. O tamanho da amostra necessário para que se possam determinar diferenças significativas nos resultados será de 32 sujeitos.	32
Figura 20- Sistema de montagem das lâmpadas, junto do posto de avaliação optométrica	36
Figura 21. Distribuição de energia espectral de todos os LEDs sintonizados para a potência máxima	37
Figura 22. Janela da interface do usuário, acedida após o estabelecimento da conexão com a luminária.	38
Figura 23. Luxímetro utilizado na medição da iluminância com os diferentes comprimentos de onda	39
Figura 24. Caracterização geral da amostra por género (n=45). Percentagem do género feminino (verde) e masculino (azul)	42
Figura 25. Caracterização da amostra por idade (n=45), cujo eixo vertical corresponde ao número de repetições/frequência do acontecimento.	43
Figura 26. Caracterização geral da amostra por ametropia (n=45), cujo eixo vertical corresponde ao número de repetições do acontecimento.	44

Figura 27. Gráfico de comparação entre as médias relativas aos valores de amplitude deacomodação e a cor da iluminação.....	46
Figura 28. Médias para a AM, separadas por ametropias, para cada cor.....	47
Figura 29. Gráfico de comparação entre as médias relativas aos valores de FA e a cor da iluminação.....	50
Figura 30. Aberração cromática longitudinal do olho humano. Desfocagem relativa em dioptrias em função do comprimento de onda. Adaptado de R.Moreira (2019).....	54

Índice de tabelas

Tabela 1. Comparação entre o método de Donders e o de Sheard para medição da AM ^{26,31}	8
Tabela 2. Valores esperados para a AM com a idade. Determinado com o uso das fórmulas de Hofstetter. ²⁶	9
Tabela 3. Valores considerados normais na medição da flexibilidade em ciclos por minuto (cpm). ^{26,35}	11
Tabela 4. Valores considerados normais nos testes que medem de forma direta ou indireta a resposta acomodativa. ^{26,30,35}	12
Tabela 5. Exames optométricos efetuados na primeira fase do estudo, valor esperado para cada avaliação e observação. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao desvio padrão (DP), em dioptrias. Valores retirados de Morgan Jr(1944). ⁷⁰	34
Tabela 6. Valores médios, desvio-padrão (DP) e o número total de sujeitos relativos aos valores de amplitude de acomodação	45
Tabela 7. Comparação entre pares do efeito da ametropia na componente da AM mediante a iluminação de diferentes comprimentos de onda. Os ^a e os ^b , representam os pares que possuem diferenças estatisticamente significativas.	47
Tabela 8. Valores médios, desvio-padrão (DP) e o número total de sujeitos relativos aos valores de flexibilidade acomodativa (cpm).	49
Tabela 9. Análise da significância dos valores médios da FA obtidos em cada condição visual com luz branca. O símbolo * indica os valores que são estatisticamente significativos.	51
Tabela 10. Diferenças nos valores da FA entre ametropias quando submetidos a cada cdo. Os símbolos ^a , ^{ab} , ^c , indicam os pares que possuem resultados estatisticamente significativos.	51
Tabela 11. Valores teóricos e obtidos em D da aberração cromática longitudinal, para as três cores	55

Abreviaturas e Acrônimos

AA Atraso acomodativo

AM Amplitude de acomodação ARN

Acomodação relativa negativa ARP

Acomodação relativa positiva AV Acuidade

visual

CIE Commission Internationale de l'Éclairage Cpm Ciclos

por minuto

D Dioptrias

DP Desvio padrão

EE Equivalente esférico

FA Flexibilidade Acomodativa K

Kelvin

LCA Aberração cromática longitudinal (longitudinal chromatic aberration) LED Diodo emissor
de luz (light emitting diode)

Lx Lux

MEM Monocular estimation method mm Milímetros OD Olho

direito

OE Olho esquerdo

PPC Ponto próximo de convergência VL Visão

de longe

VP Visão de perto

Cdo Comprimento de onda (em nm)

Capítulo1 - Introdução

Segundo a CIE (Commission Internationale de l'éclairage) 80% das informações úteis da vida cotidiana são provenientes da visão. Se a luz é fundamental ao homem para a visão, também é vital para o seu bem-estar e saúde, especialmente no contexto da regulação dos ritmos biológicos.¹ É por este motivo que a iluminação deve ser adaptada a todos, pois a relação olho/luz e seus efeitos biológicos e psicológicos evoluem ao longo de nossas vidas.

A cor do ambiente natural varia com o decorrer das horas do dia, das estações do ano e do local de observação. As alterações colorimétricas podem, ou não, ser observadas a olho nu. Variações graduais, como a mudança da cor do céu ao amanhecer (avermelhado), para o meio-dia (azulado) e o anoitecer (avermelhado), são um exemplo prático de uma alteração espectral progressiva. No entanto, existem variações naturais da iluminação perceptíveis pelo olho humano, como uma nuvem que oclui o sol. Este tipo de alterações espectrais e colorimétricas são bem caracterizadas e são consideráveis.²

A capacidade de o olho alterar a sua distância de foco e produzir imagens nítidas de objetos a diversas distâncias chama-se acomodação.^{3,4}

As exigências visuais da vida cotidiana são cada vez maiores, seja no desempenho escolar, numa carreira profissional ou ainda numa idade avançada. A visão de perto cada vez mais é requerida, nomeadamente devido ao uso de variados tipos e tamanhos de dispositivos eletrónicos. O estilo de vida que levamos influencia a nossa eficiência visual, por exemplo, a nossa postura corporal e da distância de trabalho utilizadas podem alterar o sistema acomodativo.

Os problemas acomodativos podem manifestar-se sob forma de visão desfocada, dores de cabeça, diplopia, dificuldade na leitura, e, em certos casos, dificuldade em manter visão clara por um período razoável.^{3,5}

No caso de não ser adequada, a iluminação pode levar ao aparecimento de fadiga e stress ocular. Sendo assim, este estudo pretendeu analisar a variação dos parâmetros acomodativos com a variação da iluminação colorida. O objetivo foi estimar a resposta acomodativa sintonizada para iluminação de diferentes comprimentos de onda, sendo a principal hipótese "A variação do comprimento de onda da iluminação influencia os parâmetros acomodativos oculares".

Este estudo foi dividido em 6 capítulos, cujo este primeiro trata da introdução, seguido da revisão bibliográfica, material e métodos, resultados, discussão de resultados, conclusões e trabalho futuro e, por fim, bibliografia.

O segundo capítulo diz respeito à revisão bibliográfica, na qual são descritos os conceitos referentes à caracterização do sistema visual, do processo acomodativo, da estrutura da retina e dos seus componentes, das

aberrações cromáticas oculares, da luz e da cor e por fim, uma breve caracterização dos erros refrativos.

O terceiro capítulo consiste na descrição dos principais objetivos e hipóteses deste trabalho, da tipologia do estudo e os critérios de seleção da amostra utilizados no trabalho. É também apresentada uma breve descrição dos exames realizados na recolha de dados e da análise estatística utilizada na interpretação dos resultados obtidos.

O quarto capítulo encontram-se aos resultados obtidos e respetiva análise estatística dos mesmos.

O quinto, faz luz à discussão dos resultados obtidos e relações estabelecidas com outros estudos realizados anteriormente, relativamente ao tema em questão.

No sexto capítulo, são referidas as conclusões mais importantes, assim como as suas limitações e, ainda, propostas de trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Revisão bibliográfica

2.1 Sistema Visual

A visão é um dos principais sentidos. É complexa, pois segundo o contexto, efetua todo um conjunto de mecanismos de adaptação visual.

A luz eletromagnética que nos rodeia é refletida pelos objetos. Quando chega ao olho, essa luz é refratada pela córnea, atravessa o humor aquoso, dirigindo-se para a íris, que possui um mecanismo de controlo da luz que chega ao cristalino. Este último, por sua vez, refrata a luz que lhe chega, em direção a um ponto da retina, denominada a fóvea. A partir daí, o olho envia informação para o cérebro convertendo a luz que recebe do exterior em informação elétrica. O cérebro, por sua vez, efetua a conversão dessa informação na imagem do objeto observado.^{6,7,8}

Na Figura 1 encontra-se identificado um corte transversal do OD com a indicação dos principais componentes anatómicos.

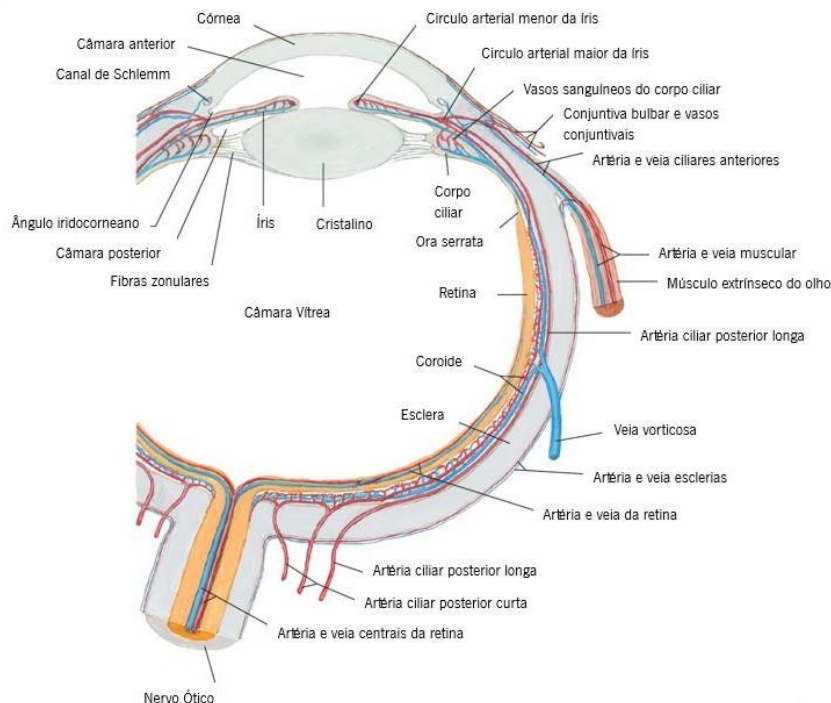


Figura 1. Representação de um corte transversal do globo ocular e seus principais constituintes. Adaptado de Amaral *Get al.* (2013)⁴⁷

O globo ocular está dividido em três camadas: fibrosa ou externa, vascular pigmentada ou intermédia e nervosa ou interna. No entanto, não estando a camada fibrosa diretamente relacionada com o tema, apenas será abordada de forma contextual.^{9,10,11}

A camada fibrosa ou externa compreende posteriormente a esclera, constituída por um tecido conjuntivo resistente, tendo como função a proteção do globo ocular e, anteriormente a córnea, camada transparente que permite a passagem de luz.¹²

A camada vascular pigmentada ou intermédia é a principal responsável pela nutrição do globo ocular. Esta camada é composta por ramificações das artérias do sistema ciliar que penetram o globo independentemente do nervo ótico. A camada vascular, também denominada de úvea, é composta posteriormente pela coroide, passando pelo corpo ciliar e mais anteriormente pela íris e pupila.¹²

A coroide fornece nutrientes através do seu tecido vascular e acompanha a retina nervosa. Estas duas camadas estão separadas pela membrana de Bruch e pelo epitélio pigmentar. A retina termina no corpo ciliar formando a ora serrata, no entanto, o revestimento vascular estende-se no corpo ciliar tornando-se numa camada deste último.¹¹

O corpo ciliar possui uma forma triangular e estende-se desde o limite escleral até à ora serrata, sendo que possui dupla função. Permite a secreção do humor aquoso e faz parte do processo acomodativo. Este último flui para a câmara posterior através da pupila e para fora do globo através de um aparelho de drenagem no ângulo da câmara anterior. O músculo ciliar, de forma anelar, tem um papel relevante no processo acomodativo tornando-se de menor diâmetro quando contraído.^{10,11}

A íris, parte colorida do olho, possui uma forma anelar e está localizada entre a córnea e o cristalino. Esta comporta-se como um diafragma, pois possui a capacidade de mudar de forma, tendo uma abertura central de cerca de apenas 2 mm de diâmetro em ambiente luminoso e cerca de 8mm em ambiente escuro. Ao alterar seu diâmetro, permite compensar as alterações do nível de iluminação sob a qual os objetos são vistos.^{11, 13} A íris possui um orifício circular, denominado de pupila, que é a área pela qual a luz passa.¹¹

A camada nervosa ou interna é composta pela retina. Esta é uma fina e delicada camada de tecido nervoso que possui dois componentes principais: uma camada sensorial e uma camada pigmentada.^{12,14}

A retina reveste a maior parte do interior do globo ocular. As principais características da retina são disco ótico, a mácula, que inclui a fóvea e a foveola, terminando na ora serrata.⁸ Na Figura 2 encontram-se representadas as estruturas referidas.

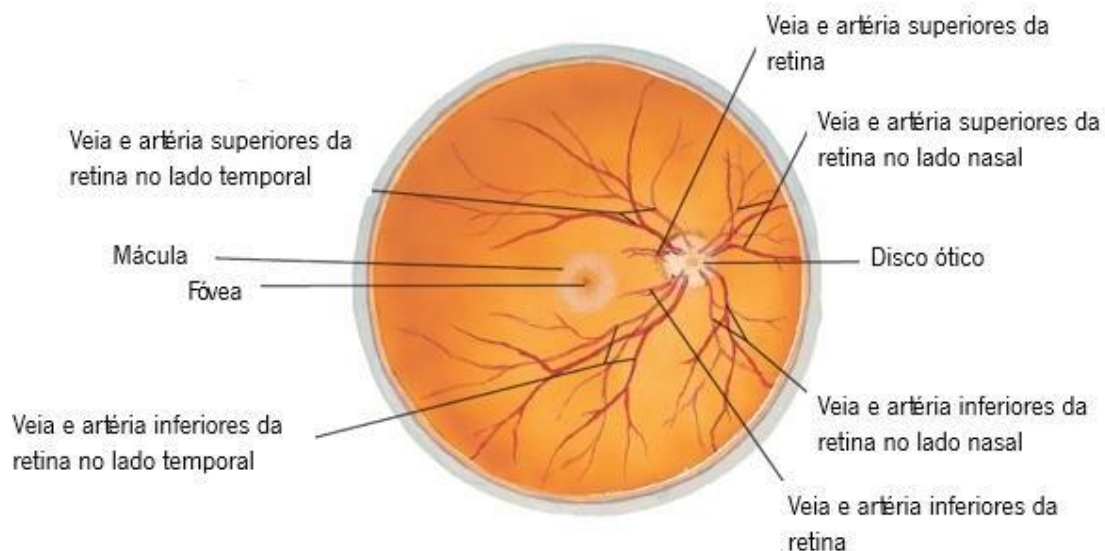


Figura 2. Representação do fundo do olho e principais características da retina: mácula, fóvea, disco ótico e vasos sanguíneos. Adaptado de Amaral G, *et al.* (2013)⁴⁷

A retina possui variações morfológicas ao longo da sua área, sendo mais espessa perto do disco ótico e tornando-se mais fina em direção à ora serrata na periferia^{9,15}. No entanto, existem também diferenças a nível da sua sensibilidade à intensidade da luz. A visão de cores é limitada para estímulos que ultrapassem os 40° do eixo visual¹⁶, sendo que nessa área da visão, a principal componente detetada é o movimento. Dentro dos 40° do eixo visual verifica-se o aumento gradual da capacidade de ver a cor e os detalhes finos da periferia para a zona central.¹³

A cerca de 10° para o lado nasal do eixo ótico, que dista aproximadamente 14° da fóvea, está localizado o ponto cego, zona onde se encontra o disco ótico, que é uma estrutura ligeiramente oval. Contém uma depressão que é conhecida como escavação fisiológica onde se encontra a cabeça do nervo ótico. A informação visual é conduzida através do trato óptico chegando ao seu destino final, o cérebro.¹³ Esta é uma área que não tem sensibilidade à luz. A mácula, por sua vez, é uma zona oval que aparenta amarelada devido ao pigmento ótico macular e está localizada na retina central, composta pela fóvea e mais centralmente a foveola. A fóvea, que marca o centro aproximado da mácula, representa 5° do campo visual. No centro da fóvea, as camadas da retina tornam-se mais finas, produzindo uma indentação central côncava, a foveola. A foveola, por sua vez, representa a área de maior acuidade visual na retina, embora o seu alcance corresponda aproximadamente a apenas 1° do campo visual. Isso é explicado pela presença única de cones e em parte à sua natureza avascular.^{13,8}

2.2 Acomodação

A acomodação é definida como o processo fisiológico no qual se verificam alterações na potência ótica do olho, de forma que, o foco imagem seja obtido e mantido na fóvea, aquando de uma alteração do estímulo acomodativo. Esta alteração acomodativa é provocada, por exemplo, pela distância a que o objeto se encontra, isto é, quanto mais perto estiver o objeto, maior será a necessidade acomodativa do olho.^{17,18,19}

Durante a acomodação, a constrição pupilar ocorre de forma a aumentar a distância em que o ponto focal da lente se mantém.^{20,21} Este efeito permite reduzir a quantidade de luz que penetra o olho, por conseguinte, diminuir as aberrações presentes nos componentes óticos.^{22,23} O cristalino, aumenta a sua potência refrativa, através de um aumento da curvatura das superfícies anteriores e posteriores, sendo que a curvatura anterior aumenta mais do que o posterior. O polo anterior da lente move-se para a frente e o polo posterior é essencialmente estacionário ou move-se ligeiramente para trás, sendo que sob a ação dos músculos ciliares torna-se mais biconvexo de forma a aumentar o seu poder refrativo.²⁴ A convergência dos raios óticos ocorre para focar os objetos de forma clara quando se encontram a distâncias menores.²⁵ Quando é cessado o esforço acomodativo, o músculo ciliar relaxa e o cristalino retoma a sua posição de repouso. O aumento da tensão no equador do cristalino provoca um aplanamento na sua forma, uma diminuição da curvatura das suas superfícies anterior e posterior e uma diminuição do seu poder dióptrico.^{26,27}

Na Figura 3 é possível observar-se as diferenças abordadas, a nível de estado acomodativo do cristalino *versus* o estado relaxado do mesmo.

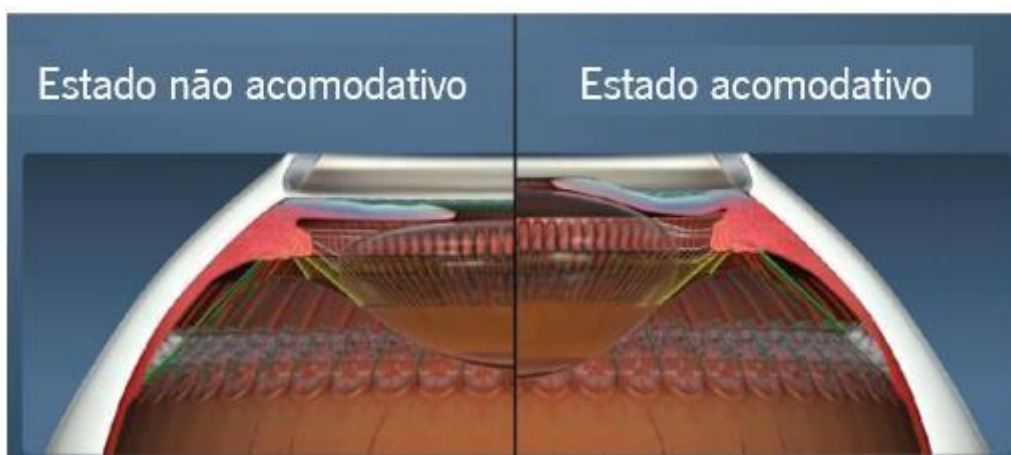


Figura 3. Diagrama esquemático que permite comparar o estado acomodativo ocular com o estado relaxado/não acomodativo do olho. Modelo do movimento das estruturas acomodativas elaborado a partir de biomicroscopia de ultrassom e de estudos recentes sobre a anatomia da zónula vítrea. Adaptado de Goldberg (2011)²⁸

2.2.1 Avaliação da resposta acomodativa

Quando se avalia parâmetros acomodativos, deve ter-se em mente dois fatores: 1) a avaliação é mais exata quando realizada em condições monoculares, pois desta forma é eliminada a influência da componente vergencial e 2) tanto a inibição como a estimulação da acomodação devem ser avaliadas e os seus resultados interpretados individualmente. Na avaliação acomodativa, é correto começar-se por analisar parâmetros que envolvam o relaxamento da mesma e, posteriormente, medidas que a estimulem.^{26,29} O estudo da função acomodativa deve abranger três áreas relativas à acomodação: amplitude, resposta e flexibilidade.^{26,29,30}

Os problemas acomodativos podem manifestar-se sob forma de visão desfocada, dores de cabeça, diplopia, dificuldade na leitura, e, em certos casos, dificuldade em manter visão clara por um período razoável.^{3,5}

a) Amplitude de acomodação (AM)

A AM fornece informação acerca da quantidade máxima de acomodação ou capacidade de focagem que o paciente possui de forma a focar objetos próximos da fóvea.

Na rotina clínica optométrica pode ser avaliada através de dois métodos, um de aproximação do objeto denominado por Método de Donders e outro, com o objeto fixo em que se coloca lentes negativas de modo a estimular a acomodação até que o paciente não consiga focar mais o objeto na retina, denominado por Método de Sheard (Tabela 1). Na prática clínica, de acordo com as comparações da tabela 1, o método frequentemente usado é o de Sheard.^{26,31}

Tabela 1. Comparação entre o método de Donders e o de Sheard para medição da AM^{26,31}

Donders	Sheard
A imagem retiniana aumenta de tamanho (até aos 400%).	A imagem retiniana diminui de tamanho (até 10% ou menos).
A imagem retiniana aumenta 3% devido ao próprio processo ótico da acomodação.	A imagem retiniana aumenta 3% devido ao próprio processo ótico da acomodação.
O estímulo da acomodação proximal aumenta.	O estímulo proximal mantém constante.
A mudança do optotipo é mais natural.	A mudança do optotipo é menos natural.
O tamanho da pupila diminui.	O tamanho da pupila diminui.
A mudança do estímulo é contínua.	A mudança do estímulo é discreta.

Hofstetter desenvolveu fórmulas para se obter os valores máximos, médios e mínimos esperados da AM na população, a partir dos dados normativos de Duane³² e Donders³³. As fórmulas foram baseadas na idade do indivíduo em análise:

$$\text{Valor mínimo valor da AM esperada} = 15.00 - [0.25 \times (\text{idade})]$$

$$\text{Valor média da AM esperada} = 18.50 - [0.30 \times (\text{idade})]$$

$$\text{Valor máximo da AM esperada} = 25.00 - [0.40 \times (\text{idade})]^{26,31}$$

Na Tabela 2 encontram-se os resultados mínimo, médio e máximo previstos da AM, em relação à idade do paciente.

Tabela 2. Valores esperados para a AM com a idade. Determinado com o uso das fórmulas de Hofstetter.²⁶

Valor da amplitude de acomodação (D)			
Idade	Mínimo	Médio	Máximo
20	10,00	12,50	17
25	8,75	11,00	15
30	7,50	9.50	13
35	6,25	8,00	11

A medição clínica da amplitude de acomodação pode ser afetada pela acuidade visual, tamanho do alvo e detalhe, profundidade de foco, esforço do paciente, interpretação de desfoque, estado refrativo, efeitos das lentes dos óculos, e técnica do examinador. Embora a iluminação completa da sala seja o mais adequado, o excesso de luz deve ser evitado pela da constrição da pupila com consequente aumento da profundidade de campo, o que pode aumentar a medida da AM.

Para além da idade, outro aspeto a ter em atenção são os erros de refração não corrigidos, pois de acordo com estudos efetuados por vários investigadores, estes irão alterar a localização do ponto próximo de acomodação. Os resultados provêm de uma amostra de jovens com idades compreendidas entre os 7 e os 22 anos. Pode dizer-se, por ordem crescente, que os jovens míopes possuem uma AM inferior aos emetropes e estes, por sua vez, inferior aos hipermetropes^{35,36}, ou seja, um grupo de jovens com erros refrativos entre +0,75 D e -0,25 D possuíram a AM média de 12,07D enquanto que jovens com miopias iguais ou superiores a 5,25 D tinham em média 10,25D de amplitude de acomodação.³⁷ A literatura sugere então que jovens com miopias progressivas, a deterioração da amplitude de acomodação

é maior do que em miopias consideráveis estáveis. ^{26,38}

b) Flexibilidade acomodativa

A FA fornece informação acerca da habilidade que o olho possui em efetuar rápidas mudanças na sua acomodação, isto é, permite conhecer a velocidade das alterações acomodativas. Os testes que a avaliam podem ser efetuados de duas formas, a primeira através da variação da acomodação, com recurso à alteração da potência esférica das lentes e sem variação da distância do estímulo e a segunda, pela mudança de foco entre distância de longe e distância de perto. A técnica mais utilizada na prática clínica optométrica é a alteração da acomodação, com recurso a lentes de potência esférica e estando o estímulo a uma distância de perto fixa, geralmente 40cm. Nesta situação é utilizado um flipper de lentes de potência $\pm 2,00$ D, como se pode verificar na Figura 4. ^{26,30,35,39}



Figura 4. Flipper de lentes, cujas lentes vermelhas possuem potência negativa e as pretas potência positiva.

A AM varia com a idade e, por isso, alguns autores sugerem que a potência dos flippers usados na medição da FA, assim como a distância a que se realiza o teste, também deveria variar conforme a AM do paciente. ^{29,40} Sugeriu-se que a potência das lentes usadas nos flippers deveria corresponder a 30% da AM do paciente e a distância de realização do teste corresponderia a 45% da AM. ⁴⁰ No entanto, quando avaliada a sensibilidade e especificidade destas mudanças, os autores detetaram uma alta sensibilidade, mas uma especificidade semelhante quando comparado à potência standard de $\pm 2,00$ D. Isto sugere que as diferenças encontradas não justificam uma alteração no procedimento clínico. ^{41,42}

O procedimento pode ser realizado de forma monocular (FAM), assim como binocularmente (FAB), sendo que neste último, apesar de ser uma medida acomodativa, existe a influência da parte vergencial. Os sintomas de uma baixa FA refletem-se na visão de perto (VP), mesmo quando outros parâmetros acomodativos se encontram normais. Se o paciente falhar monocularmente suspeita-se que haja um problema na componente acomodativa, mas caso falhe binocularmente poderá indicar um problema vergencial. ^{26,30,35}

Os valores obtidos na avaliação da FA devem ser comparados com os valores considerados normais, referenciados na Tabela 3, para ser possível retirar conclusões acerca do estado acomodativo do sujeito.

Tabela 3. Valores considerados normais na medição da flexibilidade em ciclos por minuto (cpm).^{26,35}

Testes	Normas
FAB – adultos	10,0 ± 5,0 cpm
FAM – adultos dos 13-30 anos	11,0 ± 5,0 cpm

c) Resposta acomodativa

Como o próprio nome indica, os exames visuais que avaliam a resposta acomodativa fornecem informação acerca da resposta acomodativa do paciente relativamente a um determinado estímulo acomodativo. Para pontos de visão próxima, a resposta acomodativa é comumente inferior ao estímulo acomodativo. A diferença entre a resposta acomodativa e o estímulo acomodativo denomina-se *accommodation lag*, ou atraso acomodativo (AA) e a sua unidade é em dioptrias. Este atraso acomodativo ocorre devido ao processo de miose que provoca alterações na profundidade de foco. A situação inversa e inabitual de uma resposta acomodativa ser superior ao estímulo acomodativo é denominada por *lead*, ou avanço acomodativo. Os valores considerados esperados encontram-se discriminados na Tabela 4.^{26,30,35,41}

Tabela 4 Valores considerados normais nos testes que medem de forma direta ou indireta a resposta acomodativa.^{26,30,35}

Testes	Normas(D)
MEM	+0,25 a +0,50 ± 0,25
Retinoscopia de Nott	+0,25 a +0,50 ± 0,25
CCE	+0,50 ± 0,50

Os testes que avaliam este parâmetro acomodativo podem ser divididos em testes que medem o avanço/atraso acomodativo (MEM e Retinoscopia de Nott) e testes em que o estímulo acomodativo é variado com recurso a lentes esféricas, até que se obtenha uma variação nula entre a resposta e o estímulo acomodativo (Cilindros Cruzados Estacionários- CCE). As técnicas com retinoscopia fornecem resultados mais precisos do que os CCE e o teste habitualmente mais usado nesta categoria é o MEM.^{29,43} O MEM oferece uma avaliação objetiva da resposta acomodativa, pois não envolve a resposta do paciente, sendo que é executada com o auxílio de um retinoscópio e de um estímulo acomodativo ajustado ao mesmo, como se mostra na Figura 4.^{26,35,42,44}



Figura 5. Estímulos acomodativos usados no teste de MEM. Adaptado de Goss D.(1995).³⁰

A imagem sugere um exemplo do estímulo acomodativo usado para a execução da retinoscopia dinâmica. O paciente é instruído a olhar para as letras do lado de fora da abertura no cartão. O examinador observa o reflexo da franja do retinoscópio através da abertura no cartão e através de lentes até encontrar um movimento neutro da franja.

2.3 Estrutura da retina

Os fotorreceptores são um dos componentes da retina, são o local onde a luz é transformada de fóton em estímulo elétrico. Estes, são recetores sensoriais responsáveis pela visão. São células que captam a luz que chega à retina e transmitem para o cérebro um impulso nervoso correspondente à qualidade dessa luz, permitindo assim que o cérebro reconheça imagens.⁹

A retina possui milhões de fotorreceptores sensíveis à luz, fundamentais para a percepção da informação visual. Os fotorreceptores do olho humano estão inseridos em redes complexas de neurónios que servem para organizar a informação visual recebida, que é interpretada pelo cérebro, permitindo assim o reconhecimento de imagens. Na retina, como em outras partes do sistema nervoso, a informação visual recebida, é transmitida de elemento em elemento. As regiões de transmissão de uma célula para outra são as sinapses. Um impulso nervoso transmitido de uma célula para outra viaja desde o primeiro corpo celular, ao longo de uma projeção chamada axónio, para uma sinapse, onde o impulso é recebido pelas dendrites da célula seguinte. O impulso é então transmitido desta forma de célula em célula, acabando por ser transmitido ao nervo ótico, que por sua vez, transporta os impulsos para os centros visuais do cérebro. Desta forma, através da transmissão sistemática de impulsos elétricos ao longo dos neurónios, a informação recebida pela retina é convertida numa imagem significativa.^{10,45}

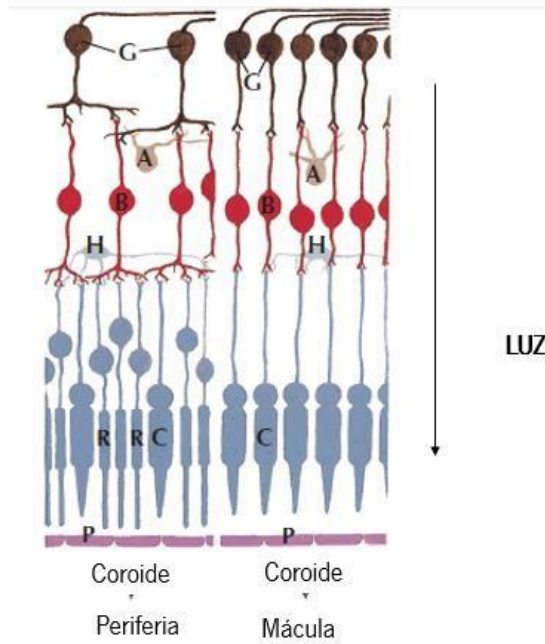
As opsinas, fotopigmento presente nos fotorreceptores, são responsáveis pela absorção da luz, que, através das sinapses contactam com as células bipolares, que por sua vez fazem sinapse com as células ganglionares na região interna da retina.⁴⁶ A função das células horizontais e amácrinas é modular a informação das células bipolares para as células ganglionares.^{9, 10, 45}

Na Figura 6 encontra-se esquematizada a estruturação das células da retina.

As sinapses, localizadas entre estas células dividem-se em camadas plexiformes externa e interna. Na camada plexiforme externa as células bipolares comunicam através das dendrites com os bastonetes e com os cones. Já as células horizontais, fornecem pontos de comunicação entre os bastonetes, cones e células bipolares, dando assim origem a uma transmissão da informação na horizontal. A vantagem desta forma de contacto é que permitindo que a atividade numa parte da retina influencie o comportamento de uma parte vizinha.^{9,45}

Na camada plexiforme interna, os axónios das células bipolares fazem a ligação com as dendrites das células ganglionares, que transportam impulsos para o corpo de outra célula nervosa, mais uma vez em regiões sinápticas. Também aqui se inicia uma interligação horizontal entre células bipolares, neste caso através dos axónios e dendrites das

células amácrinas.^{9,45}



Estrutura da retina: esquema

- A** Células amácrinas
- B** Células bipolares
- C** cones
- G** Células ganglionares
- H** Células horizontais
- P** Epitélio pigmentar
- R** Bastonetes

Figura 6. Estrutura da retina. Adaptado de Amaral G, *et al.*(2013).⁴⁷

2.3.1 Fotorreceptores - cones e bastonetes

As células fotorreceptoras, ou fotorreceptores, são de dois tipos, chamados de bastonetes e cones, sendo os bastonetes geralmente mais compridos do que os cones, mas estando ambos localizados na mesma camada, a retina.

As células fotorreceptoras denominam-se de bastonetes e cones devido às suas formas, sendo tipicamente cerca de um $2,0 \times 10^{-3}$ mm de diâmetro, com um comprimento de cerca de $4,0 \times 10^{-2}$ de 1 milímetro. Estes fotorreceptores estão dispostos de forma paralela uns aos outros ao longo da retina e orientados para a pupila, de forma a facilitar a progressão da informação visual proveniente da luz. Em cada olho, existem cerca de 5 milhões de cones, 100 milhões de bastonetes e 1 milhão de fibras nervosas.¹³ Assim sendo, a razão bastonete para cone é igual a 20:1.⁸

Na Figura 7 estão ilustradas as duas células fotorreceptoras.

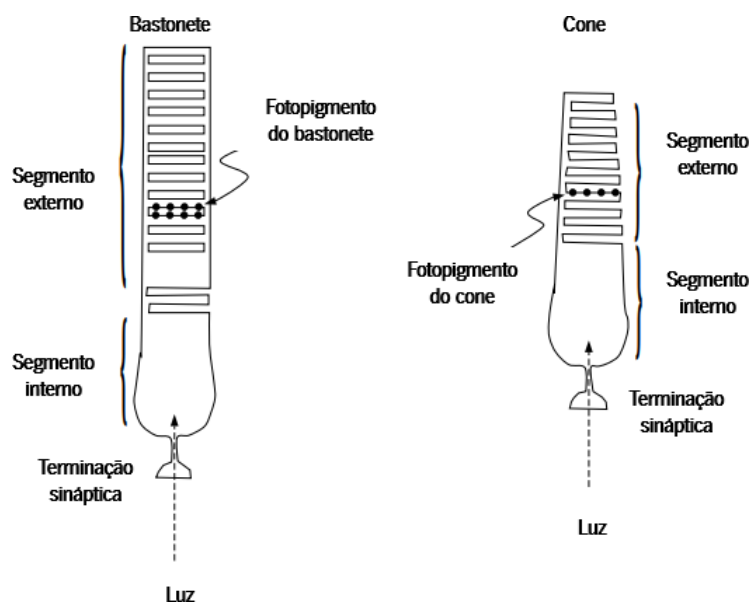


Figura 7. Ilustração dos dois tipos de fotorreceptor, o bastonete e o cone. A luz penetra nos fotorreceptores através do segmento interno, que é transmitida para o segmento externo que contém o fotopigmento. Adaptado de Baylor (1987).⁸⁰

A foveola é a região onde apenas se encontram cones do tipo large (L) e médium (M), sendo que a densidade destes últimos diminui para a periferia, zona onde surgem os bastonetes. Os bastonetes possuem uma elevada sensibilidade e são responsáveis pela visão noturna de baixa intensidade de iluminação, sendo sensíveis a comprimentos de onda mais curtos (na extremidade verde do espectro) e têm limiares de luminância muito mais baixos do que os cones. Esta forma escotópica de visão opera, por exemplo, durante a iluminação do luar. Os cones são responsáveis pela visão da cor, assim como o reconhecimento de padrões e possuem um limiar de luminância relativamente elevado. Esta forma fotópica de visão opera, por exemplo, com a luz do dia e luz artificial interna típica.^{13,8}

A Figura 8 ilustra a sensibilidade dos bastonetes e dos cones para diferentes níveis de iluminação. O gráfico da função de luminosidade fotópica inclui a linha sólida preta que corresponde ao estudo da CIE 1931, a tracejada o estudo de Judd-Vos modificado e a pontilhado o estudo de Sharpe, Stockman, Jagla & Jägle 2005; a linha verde corresponde à função de luminosidade escotópica, CIE 1951.

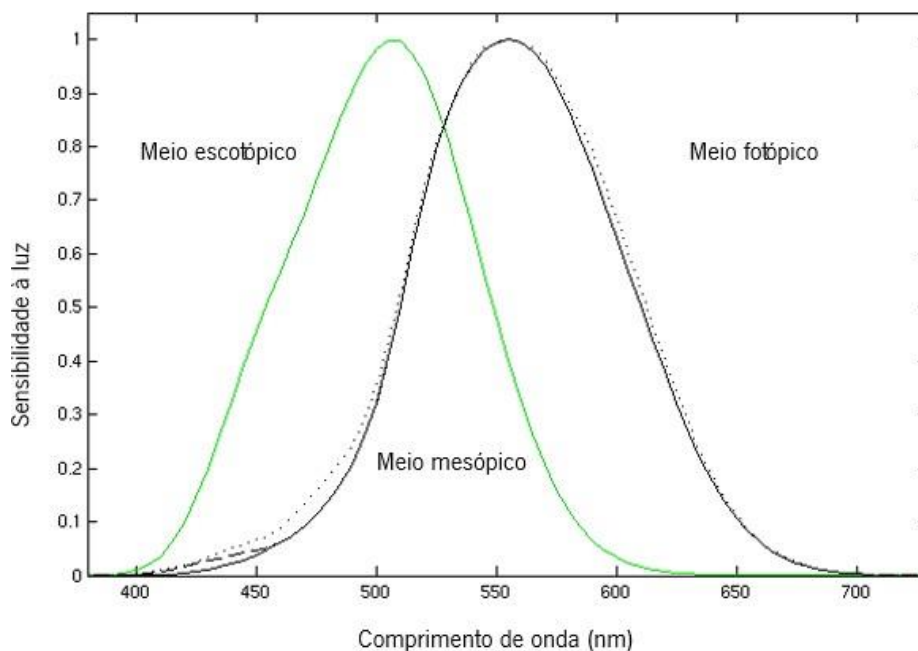


Figura 8. Comparação da sensibilidade do olho à luz de diferentes comprimentos de onda: em plena luz do dia (visão fotópica), com iluminação média (visão mesópica) e na escuridão (visão escotópica). A curva escotópica corresponde à sensibilidade dos bastonetes (linha verde), enquanto que a curva fotópica corresponde à atuação dos cones (linha preta).⁴⁹ Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Luminosity.png>.

Verifica-se uma mudança gradual da visão fotópica para a visão escotópica conforme o nível de iluminação diminui. A visão mesópica atua para estímulos com iluminâncias que exijam a ação de cones e de bastonetes em simultâneo. Os comprimentos de onda da luz aos quais os bastonetes são mais sensíveis são mais curtos do que na maioria dos cones e, como resultado, quando o nível de iluminação é médio (meio mesópico), os brilhos relativos das cores vermelho e azul mudam. Um exemplo prático observável no dia-a-dia é a percepção da cor que temos das flores vistas num jardim no final do dia. As flores vermelhas, que pareciam mais claras do que as flores azuis em plena luz do dia, irão parecer mais escuras do que a azul conforme a luz desvanece. Este acontecimento é conhecido como o fenómeno de Purkinje.^{48,49}

2.3.2 Cones

Dez milhões! Este é o número de cores diferentes que podemos distinguir.⁵⁰

A cor é uma experiência física que se concretiza na mente de um observador e, como tal, é impossível ser medida. No entanto, podemos medir alguns dos parâmetros físicos que criam essa experiência. A cor percebida por um observador resulta da interação de uma fonte luminosa, um objeto e o observador, como representado na Figura 9.⁵¹

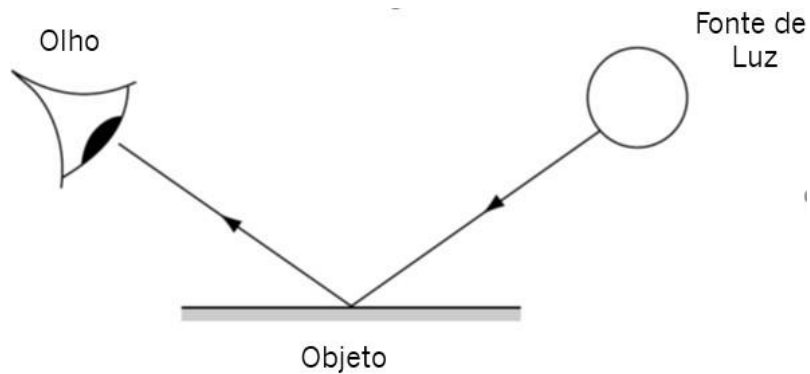


Figura 9. Princípio da visualização da cor. Adaptado de Marcus (1997).⁵¹

Um observador percebe a cor ao detetar a luz refletida por um objeto. É criada a projeção da imagem dada pelo sistema ótico do olho que de seguida, e de seguida, quando o impulso nervoso chega ao cérebro a imagem é percebida. A retina contém os fotorreceptores que efetuam a conversão da luz em sinais elétricos que são enviados para o cérebro.^{6,51}

Na forte luz do dia, os cones são as únicas células recetoras disponíveis para a visão. Estas células têm duas tarefas paralelas: (1) fornecer dados que nos permitem ver e reconhecer pequenos detalhes nos padrões; (2) fornecer dados para nossa visão das cores. Devido a este processo paralelo, podemos combinar a visão de cores com um alto grau de resolução e nitidez.⁴⁹

O processamento da luz do olho depende de três tipos de cones. A diferença entre estes últimos prende-se com as suas diferentes sensibilidades, pois localizam-se em diferentes zonas do espectro visível. Os três tipos de cones são nomeados de acordo com as suas sensibilidades à luz em diferentes comprimentos de onda.⁵² Os cones L (large) têm uma maior sensibilidade e absorção de luz em comprimentos de onda maiores (máximo em cerca de 560-570 nm); os cones M (medium) possuem uma maior sensibilidade e absorção de luz em comprimentos de onda mais intermediários (máximo em cerca de 530-545 nm); os cones S (small) têm sua maior sensibilidade e absorção de luz em comprimentos de onda curtos (máximo em cerca de 420-440 nm).

Os cones dos tipos L, M e S são frequentemente referidos como os cones sensíveis aos comprimentos de

onda correspondentes ao vermelho, verde e azul, respetivamente. No entanto, essa terminologia de cores é bastante enganadora, isto porque cada categoria de cones é sensível à luz numa região muito mais ampla do espectro do que a uma única nuance (Figura 10).

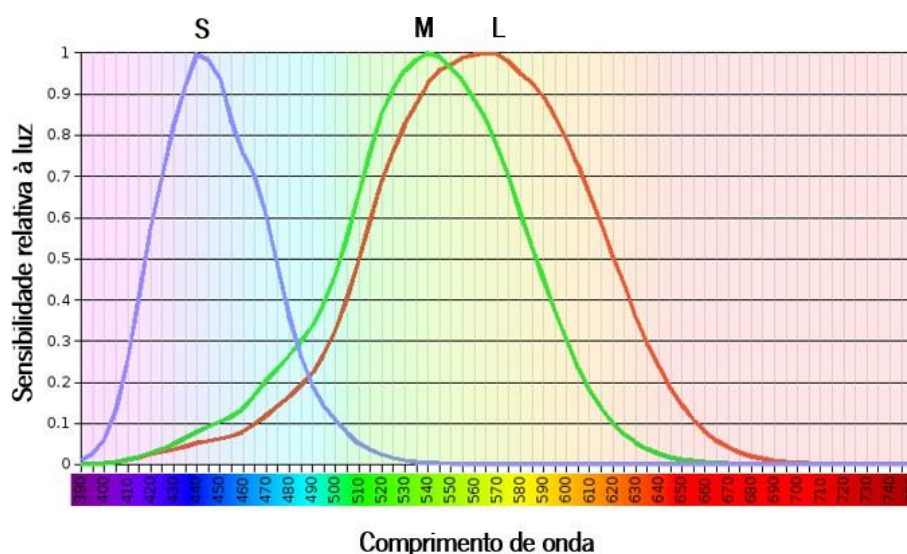


Figura 10. Sensibilidade relativa à luz de diferentes comprimentos de onda para os três tipos de cones presentes na retina: cones S para comprimentos de onda curtos, cones M para médios e cones L para longos. Adaptado de Stockman (2000).⁵²

Em particular, os cones dos tipos L e M possuem características bastante semelhantes e cada um deles pode reagir a quase qualquer comprimento de onda em todo o espectro, embora com uma sensibilidade relativa diferente para cada comprimento de onda (para os cones M, nota-se uma ausência de sensibilidade nos comprimentos de onda longos, correspondente à região dos vermelhos). Na verdade, os ditos “cones com maior sensibilidade na região do vermelho”, cones do tipo L, não possuem uma sensibilidade máxima na região vermelha do espectro, mas sim na região verde-amarela (Figura 10).

Através do uso de microscópios e técnicas de ótica adaptativa moderna, é possível a observação de cones, podendo até serem vistos e contados na retina do olho humano.⁵³ Através deste tipo de observação e com o auxílio de luz seletiva, podem ser identificados os três tipos de cones. Quando a luz é absorvida pelo pigmento visual de um cone, o pigmento torna-se branco, ou seja, ele absorve menos luz do que anteriormente e parece mais pálido. Uma luz de 550 nm afetará os cones M e L, deixando os cones S praticamente inalterados. Um comprimento de onda de 650 nm irá saturar e branquear principalmente os cones L, e com 470 nm os cones M são mais saturados e branqueados do que os cones L. Usando este método é possível reconhecer e elaborar uma contagem dos vários tipos de cones. A literatura indica que os números são muito diferentes: os cones do tipo L são normalmente os mais numerosos (em média, 65%), os cones do tipo M são frequentemente cerca de metade dos L (em média 30%), e os cones do tipo S são extremamente escassos (em média 5%).⁵⁴

2.4 Luz artificial

As fontes de luz artificiais são categorizadas em função do seu método tecnológico de geração de luz, discriminando-se as lâmpadas de incandescência (que criam luz através do aquecimento de um filamento até atingir a incandescência), as lâmpadas de descarga (que fornecem luz através da excitação de vapores metálicos), as lâmpadas fluorescentes (As lâmpadas fluorescentes funcionam a partir da ionização de gases confinados em seu interior. Ao retornarem ao estado inicial, os gases emitem luz) e os Diodos emissores de luz- LEDs (dispositivos semi-condutores, que emitem luz quando é aplicada uma diferença de potencial elétrico).

2.4.1 Diodos emissores de luz – LEDs

O LED (light-emitting diode) ou diodo emissor de luz é um equipamento semicondutor que permite uma emissão de banda estreita. O seu funcionamento apoia-se na composição de dois materiais semi-condutores (P-N), um carregado positivamente e outro negativamente, separados por uma junção que funciona de barreira ao fluxo de elétrons entre as camadas internas das regiões semi-condutoras e que ao ser aplicada uma tensão elétrica emitem luz. Um dispositivo de LEDs produz luz branca de duas formas, sistema PC (phosphor conversion) ou sistema RGB (red-green-blue). O sistema utilizado neste estudo é o sistema RGB que consiste na combinação de LEDs com feixes de luz monocromáticos que se misturam ao passar numa lente ótica, produzindo luz.

2.4.2 O Espectro

A compreensão das cores encontra os seus fundamentos nos famosos estudos realizados por Isaac Newton em 1666. Estes foram realizados no Trinity College, Cambridge, quando Newton fez um pequeno orifício, de um terço de polegada de diâmetro, na persiana de um quarto inteiramente escuro. Através desta abertura, os raios diretos do sol formaram uma imagem do disco do sol na parede oposta da sala. Então, ao colocar um prisma de vidro em frente ao orifício, foi possível observar que a luz se dividia e formava diversas cores. Desta forma, Isaac Newton foi o primeiro a chamar de espectro o que observou: uma faixa de luz de 25 centímetros de comprimento que se dividia em vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, índigo e violeta. A conclusão tirada pelo físico foi que a luz branca não era uma entidade homogênea simples, mas era composta por uma mistura de todas as cores do espectro visível.¹³

Como se pode ver na Figura 11, o espectro de radiação contempla desde comprimentos de onda muito curtos (frequência alta) até muito longos (frequência baixa). A radiação provinda do sol pertence à faixa espectral de 100 a 3000

nm (3 μm), no entanto, a radiação visível emitida pelo sol está compreendida entre comprimentos de onda de 380 a 780 nm, ou seja, entre a radiação eletromagnética UV (ultravioleta) e IV (infravermelho). A radiação a que o olho humano é sensível compreende a faixa de radiação eletromagnética com comprimentos de onda entre 380 e 780 nm, que compreende desde a cor violeta à vermelha, passando pelo azul, verde, amarelo, laranja e vermelho.

Na Figura 11, as principais bandas de cor no espectro são mostradas através de uma escala de comprimentos de onda da luz. A luz é uma forma de radiação eletromagnética, assim como o caso de raios-x, ou ondas de rádio, por exemplo, e a propriedade desta radiação que lhe confere as suas características particulares é o seu comprimento de onda.

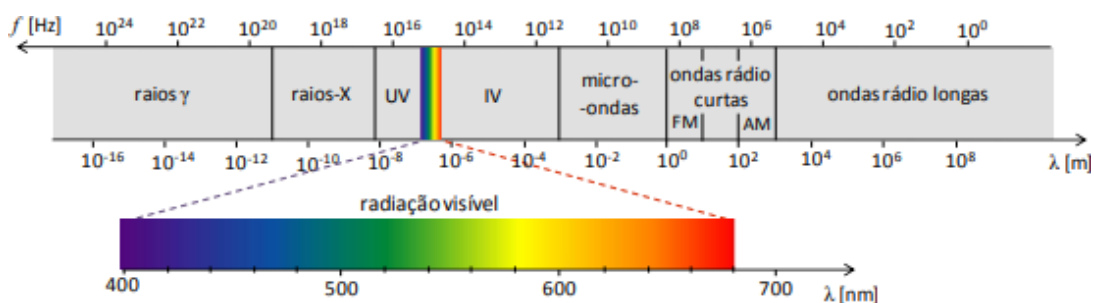


Figura 11. Espectro da radiação eletromagnética e a sua região de luz visível (parte colorida do espectro). Adaptado de Silva N. (2011).⁵⁵

2.4.3 Temperatura de cor

A temperatura de cor, T_c , expressa a aparência de cor da luz branca emitida por uma fonte luminosa e é medida em kelvin (K). Cada cor pertence a uma determinada zona do espectro e possui variados comprimentos de onda associados. Existe uma correlação entre a temperatura de uma fonte luminosa e a cor que transmite, isto é, quanto maior for a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz branca. A T_c de uma fonte é igual à temperatura de um corpo negro que tenha mesma distribuição relativa de intensidade da fonte na faixa de comprimento de onda em questão (lei de radiação de Planck). A temperatura de cor caracteriza a contribuição relativa da radiação de uma dada cor para a radiação da fonte; ou seja, caracteriza a cor aparente da fonte.

A iluminação com determinadas temperaturas de cor tem vindo a ganhar importância científica devido à correlação entre o aumento da exposição a diferentes fontes de luz (como lâmpadas e equipamentos eletrónicos), assim como distúrbios psicológicos, e a privação de luz natural. Há cada vez mais provas de que a cor da luz emitida por uma fonte luminosa, como amarelada, branca e azulada, interfere de maneira direta no ciclo (ou ritmo) circadiano. Esse relógio biológico do indivíduo regula o sono, estado de alerta, apetite, entre outros aspetos, e varia de acordo com as temperaturas de cor da luz natural, que mudam ao longo do dia (Figura 12).

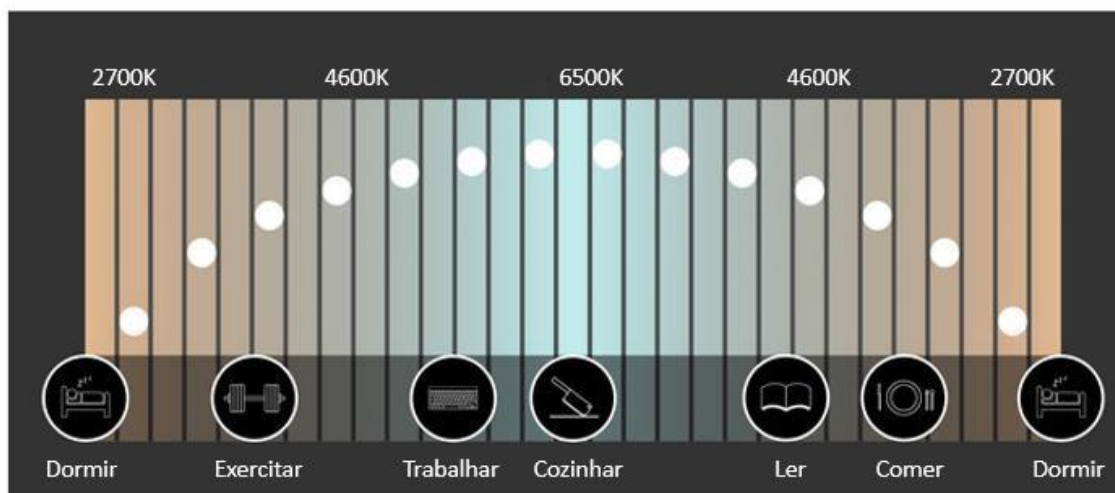


Figura 12. Indicação da temperatura de cor da luz natural ideal para atividades cotidianas. Adaptado de <https://www.engineering.com/Library/ArticlesPage/tabid/85/ArticleID/10341/>

Como o ciclo circadiano está dependente da luz natural e da sua cor, a introdução de fontes de luz artificial com diferentes temperaturas de cor em diferentes momentos ao longo do dia pode perturbar esse ritmo ou contribuir para o seu ajuste, por meio do controle do tempo de exposição, intensidade, duração, padrão e comprimento de onda. Isto acontece, pois, a luz artificial interfere de várias formas no ser humano, atingindo, inclusive, as áreas do cérebro relativas às emoções e à regulação hormonal e, por consequente, modifica a percepção visual, o raciocínio e o comportamento em determinados ambientes. ¹

O mercado de iluminação artificial passou a explorar a diversidade da luz colorida e surgiram associações da luz artificial com a luz natural e a fontes de luz (Figura 13), com sugestões de uso de acordo com a atividade (Figura 12).



Figura 13. Simulação da variação da temperatura de cor da luz natural ao longo do dia, através de luz artificial. Adaptado de <https://www.abalux.com.br/temperatura-de-cor-ideal-da-sua-luminaria/>

As cores frias são recomendadas para ambientes de escritório e hospitalares, por exemplo, porque induzem a produtividade, deixando a atmosfera formal, precisa e limpa, já que a luz branca desperta e excita. As cores quentes recomendadas para ambientes nos quais as pessoas possam ficar relaxadas e confortáveis, conferindo atmosfera intimista, social, pessoal e exclusiva, uma vez que a luz amarelada relaxa e acalma.

2.5 Aberrações

A qualidade da imagem formada na retina é influenciada principalmente pela refração, mas também pela difração, pela dispersão e pelas aberrações óticas do sistema visual. Uma aberração ótica é um defeito no desempenho de um sistema ótico a partir das previsões da ótica geométrica paraxial.⁵⁶

A aberração de frente de onda é uma função que determina as propriedades de formação da imagem de qualquer sistema ótico. É definida como a diferença entre a frente de onda perfeita (esférica) e a real que atinge cada ponto da pupila. Por exemplo, um olho sem aberrações tem uma aberração de frente de onda constante ou nula e forma uma imagem retiniana perfeita proveniente de uma fonte pontual. No entanto, um olho que possui aberrações gera uma imagem retiniana mais extensa, e geralmente assimétrica. Esta imagem de uma fonte pontual é chamada de Point Spread Function, ou seja, função de espalhamento pontual (PSF).⁵⁷

A Figura 14 mostra exemplos de aberrações de frente de onda em olhos normais. Embora em média a quantidade de aberrações sejam semelhantes, cada olho tem características espaciais e temporais específicas.⁵⁸

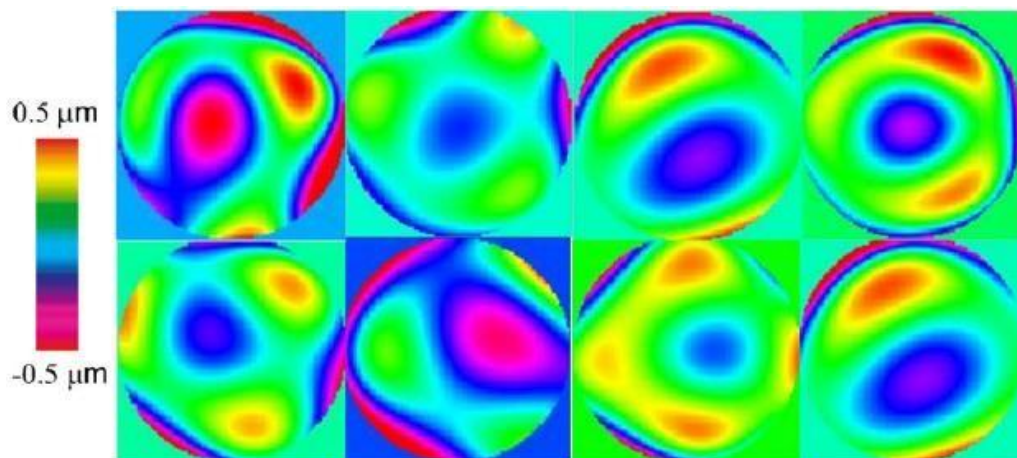


Figura 14. Aberrações de ondas codificadas por cores para pupilas de 5 mm de diâmetro em oito jovens normais com aberrações oculares consideradas normais. Embora a magnitude das aberrações seja semelhante, cada olho apresenta padrões espaciais e temporais distintos. Adaptado de Artal (2014)⁵⁸

Apesar do desfoque presente na imagem projetada na retina, o sistema visual (a nível cortical) consegue melhorar a nossa percepção do mundo. Isto acontece, pois, o nosso cérebro possui a capacidade de se ajustar, de forma a enquadrar as aberrações do olho e fornecendo uma visão o mais clara possível. A adaptação neural e a plasticidade do cérebro são conhecidas por desempenhar um papel fundamental nesta adaptação visual ao desfoque presente no olho⁵⁹ ou até na adaptação às distorções do campo visual.⁵⁸

2.5.1 Aberração cromática

A dispersão cromática que acontece na superfície ocular resulta em aberrações cromáticas longitudinais consideráveis (ACL), sendo que a sua unidade é a dioptria (D).^{60,61} O olho possui diferentes índices de refração para diferentes comprimentos de onda de luz.⁶² Comprimentos de onda mais curtos como o azul possuem uma maior refração do que os comprimentos de onda longos como vermelho, de modo que as imagens azuis e vermelhas tendem a ser focadas, respetivamente, à frente e atrás da retina como representado na Figura 15.^{63,60,61,64} Numa propagação de luz branca, a diferença de foco entre o azul (380 nm) e a extremidade vermelha (780 nm) do espectro são cerca de 2,50D.^{26, 65}

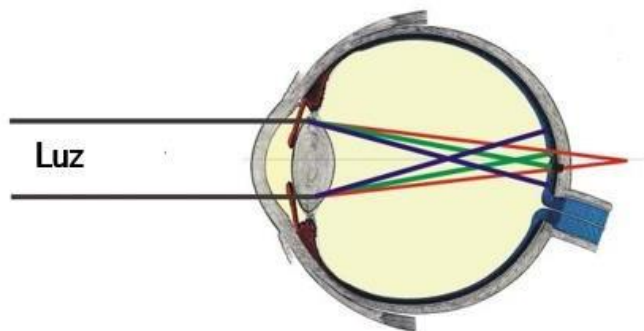


Figura 15. Aberração cromática do olho. A luz azul foca mais à frente da retina, de seguida encontra-se ofoco verde e por fim, por trás da retina encontramos o foco da luz vermelha. Adaptado de Bernd *et al.*⁸¹

Os pontos do objeto possuem pontos correspondentes na imagem projetada pelo sistema ótico, que são na verdade, um conjunto de focos. Os gradientes de luminância e as bordas que compreendem a imagem retiniana são caracterizadas por “franjas” de cores subtis. Quando a imagem se forma atrás da retina (sub-acomodação) produz uma função de propagação de pontos com uma franja vermelha, enquanto ao formar-se em frente à retina (super-acomodação) produz uma franja azul. A dispersão cromática também ocorre transversalmente (lateral). Isto acontece caso a pupila não esteja centrada o eixo ótico, e para pontos que estão fora do eixo ótico do olho.⁶³ A aberração transversal produz uma pequena mudança na ampliação angular ou uma mudança na localização da imagem lateral para diferentes comprimentos de onda. No entanto estes efeitos são menores quando comparados aos efeitos da aberração cromática longitudinal⁶⁶. Estes efeitos cromáticos influenciam a profundidade de foco e têm implicações para a focagem.⁶⁷

Segundo as investigações de Fincham, 1951; Campbell e Westheimer, 1959, a aberração cromática do olho foi considerada um estímulo à acomodação, no entanto a sua importância como um estímulo permanece controversa segundo Charman e Tucker, 1978; Wolfe e Owens, 1981.⁶⁵ O desfoque visual foi utilizado por Carter (1962) como um estímulo acomodativo, assim como por Stark e Takahashi (1965) e Troelstra *et al.* (1964), que concluíram que o desfoque funcionava como um estímulo acomodativo efetivo e que outros erros, tais como a aberração cromática seriam de mínima importância nesta componente.⁶⁵

Fincham (195) apresentou que a aberração cromática do olho fornece informações por meio das quais o sistema visual poderia determinar a vergência da luz na retina. Apontou que na hipermetropia (ou sub-acomodação), a imagem de um ponto branco de luz teria uma franja vermelha, enquanto na miopia (ou acomodação excessiva) seria caracterizado por uma franja azul. Fincham acreditou que a vergência da luz na retina pode ser determinada a partir do caráter da cor dessas franjas. Ele descobriu que 60% de seus sujeitos tinham dificuldade ou não conseguiam acomodar quando sua aberração cromática foi neutralizada pelo uso de luz monocromática ou por uma lente acromática. Alguma corroboração da descoberta de Fincham foi dada por Campbell e Westheimer (1959) que concluíram que algumas pessoas usam a aberração cromática como uma pista direcional para acomodação, podendo rapidamente a usar alguma outra pista quando privadas da aberração cromática. Esses trabalhos e resultados levaram Crane (1966) a desenvolver um numero de modelos teóricos que usam informações cromáticas para controlar a acomodação. No entanto, vários estudos apresentaram evidência contrária (Troelstra et al., 1964; Stark e Takahashi, 1965; Van der Wildt et al., 1974; Wolfe e Owens, 1981), e tomada como um todo, a literatura parece sugerir que embora a aberração cromática possa ser útil para alguns indivíduos, é de mínima importância.⁶⁵

2.6 Breve caracterização do estado refrativo

Entende-se por ametropia o defeito refrativo que provoca uma focagem incorreta da imagem na retina. O olho torna-se incapaz de fornecer uma boa imagem, o que causa a diminuição da visão. A AV é medida através da tabela de Snellen que consiste num quadro com letras de diferentes tamanhos organizadas em linhas (Figura 16). Os erros refrativos podem ser congênitos (presente desde o nascimento), ou podem ser secundários (ou adquiridos).

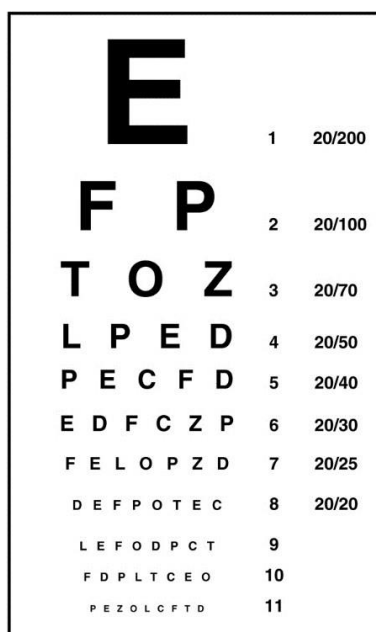


Figura 16. Quadro de Snellen para medição da acuidade visual (AV). Adaptado de

<http://www.stargardt.com.br/entendendo-o-que-e-acuidade-visual/>

As principais ametropias são miopia, hipermetropia e astigmatismo (Figura 17). A maioria dos casos de ametropia podem ser corrigidos, seja por uso de óculos, lentes de contato ou por cirurgia.

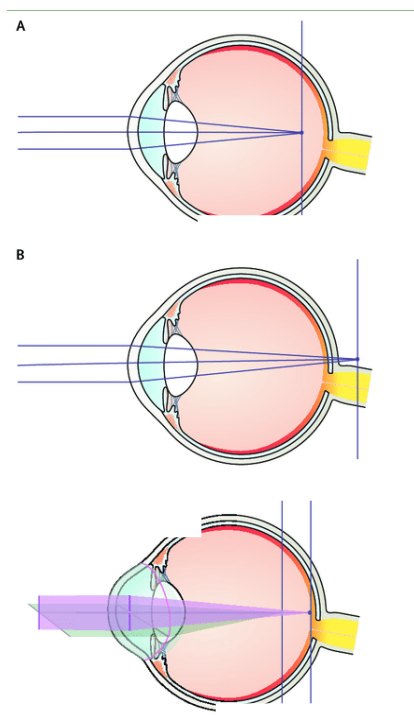


Figura 17. Ametropias oculares. A- Miopia; B- Hipermetropia; C- Astigmatismo. Fonte Kruger PB.⁶⁷

2.6.1 Emetropia

A emetropia é definida como o estado normal do poder de refração de um olho. O olho emetropo forma uma imagem nítida na retina, e desta forma, o paciente tem uma visão normal.

É definido como emetropo o sujeito cujo equivalente esférico esteja compreendido entre +0,25D e -0,25D.⁶⁸ O equivalente esférico permite converter toda a potência, esférica e cilíndrica, num valor que represente apenas uma potência esférica, através da seguinte equação:

$$EE = Esfera + \frac{Cilindro}{2}$$

2.6.2 Miopia

A miopia surge quando os raios luminosos provenientes do infinito convergem num ponto antes da retina, formando assim uma imagem desfocada na retina. Quando o crescimento do comprimento axial (CA) é elevado denomina-se miopia axial; quando o poder refrativo do olho é demasiado elevado designa-se miopia refrativa (de curvatura e/ou de índice).⁶⁹

Pode ser classificada segundo o seu valor: baixa, para valores superiores a -3,00D; média, entre -3,00D e -6,00D; e elevada, para valores inferiores a -6,00D.⁶⁸

2.6.3 Hipermetropia

A hipermetropia ocorre quando os raios luminosos que vêm do infinito, convergem num ponto atrás da retina. Pode classificar-se como hipermetropia axial quando o CA é menor, em relação ao poder refrativo do olho e pode ser refrativa quando a potência é insuficiente. Este último tipo pode dividir-se ainda em dois subtipos: hipermetropia refrativa de índice que, ocorre quando o índice de algum dos meios oculares se encontra alterado (ocorre principalmente no cristalino); hipermetropia refrativa de curvatura, que se manifesta quando a superfície de algum meio ocular é demasiado plana(ocorre maioritariamente na córnea).

Esta classifica-se quanto ao seu valor, de acordo com uma divisão de três grupos: 1) hipermetropia baixa, quando apresenta valores inferiores a +3,00D; 2) média com valores entre +3,00D e +5,00D; 3) alta, com valores superiores a + 5,00D.⁶⁸

2.6.4 Astigmatismo

O astigmatismo verifica-se quando os raios luminosos percorrem os meios oculares com diferentes potências que variam entre um meridiano de máxima e de mínima potência, formam não uma, mas duas linhas focais axiais, o que provoca mudanças na qualidade da imagem projetada na retina. Assim, entende-se por astigmatismo regular quando os dois meridianos (maior e menor potência) estão separados por um ângulo de 90°; e astigmatismo irregular quando esta separação entre os dois meridianos é diferente de 90°.

O astigmatismo é considerado baixo sempre que apresenta valores superiores a -1,00D; médio, quando atinge valores entre -1,00D e -3,00D; e alto, no caso dos valores serem inferiores a -3,00D.⁶⁸

Capítulo 3 - Material e Métodos

3.1 Hipótese

Conhecida a crescente aplicabilidade dos diferentes tipos de luzes e o aumento do uso de ecrãs, aplica-se a hipótese de que a luz de diferentes comprimentos de luz pode influenciar a acomodação.

3.2 Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram:

1. Determinar as variações na AM e na FA consoante iluminações de três cores;
2. Relacionar os valores de AM e FA entre os três grupos de ametropias: míope, hipermetrope e emetrope;
3. Relacionar os valores de AM e FA entre as três cores: azul, verde e vermelho;
4. Perceber se os valores de AM e FA variam para cada ametropia entre as três cores;
5. Perceber se os valores de AM e FA variam para cada cor entre as ametropias.

3.3 Tipo de estudo

Este estudo experimental prospetivo permitiu estudar e avaliar os parâmetros acomodativos oculares em diferentes condições de iluminação numa população míope, emetrope e hipermetrope. Trata-se de um estudo transversal, aleatório e sem mascaramento.

A recolha de dados decorreu no Gabinete de Optometria da Universidade do Minho com recurso aos equipamentos lá existentes. Para se poder realizar o estudo foi necessária a aprovação do protocolo do estudo pela Comissão de Ética para as Ciências da Vida e da Saúde da Universidade do Minho.

Através do consentimento informado forneceu-se ao paciente uma informação adequada quanto ao objetivo, natureza da intervenção, consequências e riscos inerentes ao estudo. Este mesmo documento foi assinado por todos os participantes, sendo-lhes fornecido um exemplar.

3.4 População estudada

Para a realização deste estudo, foi necessário o recrutamento de jovens voluntários, com idades compreendidas entre os 18 anos, de forma a serem maiores de idade, e os 35 anos, para limitar problemas acomodativo devido à presbiopia.

As principais variáveis em estudo são a amplitude de acomodação e a flexibilidade acomodativa na presença dos diferentes tipos de iluminações e ametropias. Trata-se então de variáveis de resposta contínua para amostras emparelhadas.

Para que se encontrem diferenças estatisticamente significativas foi calculado o número mínimo de pessoas necessárias a participar no estudo através do software "PS -Power and Sample Size Software". O cálculo foi realizado para uma potência estatística de 80%, um valor de risco $\alpha = 0,05$ (significância estatística). Recorreu-se então a um gráfico, Figura 18, que correlaciona a diferença de médias entre a população com o tamanho da amostra para o t-test.

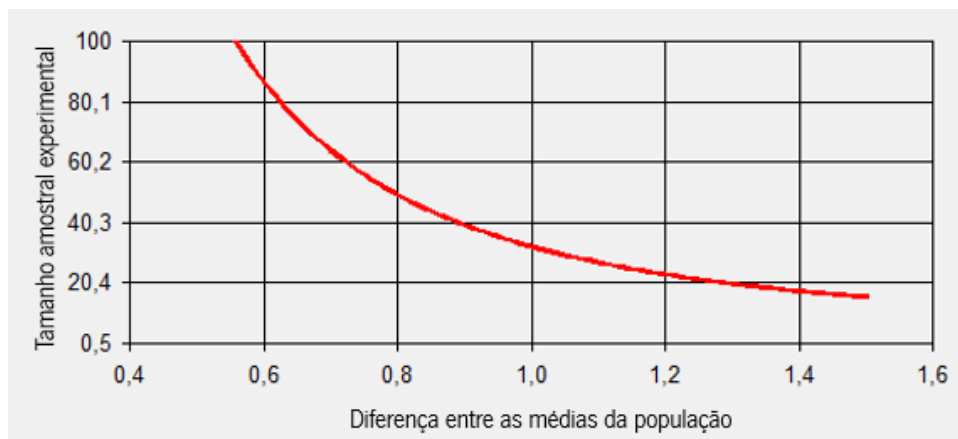


Figura 18. Diferença entre as médias da população tendo em conta o tamanho da amostra experimental.

Tendo em conta os estudos anteriores que indicam um desvio padrão de 1,97D para a amplitude de acomodação, considerou-se para os cálculos do tamanho da amostra, uma diferença significativa entre as médias de 1,00D. Como se verifica na Figura 19, obteve-se que seriam necessários 32 sujeitos para poder rejeitar a hipótese nula de que essa diferença de resposta é zero com probabilidade (poder) 0,8.

No total foram avaliados 49 sujeitos dos quais 17 miopes, cujo equivalente esférico se compreenderia entre [-6,00D; -0,50D] no olho avaliado, 18 emetropes, cujo equivalente esférico se compreenderia entre [-0,25D; +0,25D] no olho avaliado e 14 hipermetropes, cujo equivalente esférico se compreenderia entre [+0,50D e +3,38D] no olho avaliado, sendo necessário não se observar um astigmatismo superior a -1,00D e acuidade visual corrigida superior ou igual a 20/20.

Tamanho da amostra: 32

Design

Pareado ou independente? Paired

Input

α : 0,05 δ : 1

σ : 1,97

power: 0,80

Calcular

Gráfico

Figura 19. Cálculo amostral. O tamanho da amostra necessário para que se possam determinar diferenças significativas nos resultados será de 32 sujeitos.

Para este estudo foi necessário certificar-se de que os pacientes não padeciam de nenhuma patologia ocular ou sistémica, suscetível de alterar o valor refrativo normal, nem ter sido sujeitos a qualquer intervenção cirúrgica ou não cirúrgica (orto-k) no olho avaliado. Também foi essencial verificar que os voluntários não possuíam historial clínico de estrabismo, ou alterações na superfície ocular.

O recrutamento dos pacientes foi feito na Universidade do Minho e procedeu-se em duas consultas, às quais os pacientes se deslocaram de forma voluntária, sem qualquer tipo de compensação monetária ou custos económicos, podendo desistir a qualquer momento da participação no estudo, sem qualquer tipo de consequência.

3.5 Procedimento experimental

3.5.1 Exames optométricos

O estudo foi realizado em duas fases, no Gabinete de Optometria Do Departamento de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho no Campus de Gualtar, em Gualtar, Braga. A sala foi escurecida de forma a impedir a passagem de luz externa para o interior. A primeira fase consistiu num exame optométrico completo que serviu para avaliar, ou excluir os voluntários que poderiam participar na segunda fase. Os exames realizados na primeira fase foram a acuidade visual, a avaliação do erro refrativo, a avaliação da visão binocular e a avaliação dos parâmetros acomodativos. Na realização da segunda fase repetiram-se alguns dos exames acima referidos com diferentes tipos de iluminação.

Tabela 5. Exames optométricos efetuados na primeira fase do estudo, valor esperado para cada avaliação e observação. Os valores apresentados entre parênteses correspondem ao desvio padrão (DP), em dioptrias. Valores retirados de Morgan Jr(1944).⁷⁰

Teste	Valor esperado		Observações
AV habitual	VP	1.0	Medida para VL através da tabela de Snellen que consiste num quadro com letras de diferentes tamanhos organizadas em linhas. Para VP usou-se um optótipo de perto. Nesta etapa é usada a refração habitual do paciente.
	VL	1.0	
Cover test	Normal		Obtido através de oclusão e estímulo visual, pela observação dos movimentos oculares
PPC	10cm		Determinou-se com a aproximação de um estímulo visual que se encontrava inicialmente a 40cm. Quando o paciente indicava ver duas imagens ou um dos olhos desviasse era tirada a medida da distância do olho ao estímulo.
AV corrigida	VP	1.0	Foi medida para VL através da tabela de Snellen que consiste num quadro com letras de diferentes tamanhos organizadas em linhas. Para VP usou-se um optótipo de perto. Nesta etapa era usada a refração corrigida do paciente.
	VL	1.0	
Heteroforia horizontal	VP	0 a 6 exo	Obteve-se pelo método de Von Graefe através da manipulação dos prismas de Risley até que o paciente referisse que as imagens estavam alinhadas.
	VL	0 a 2 exo	
Reservas fusionais VP	BT	X ou 14-20/18-24/7-15	Recorreu-se aos prismas de Risley e anotou-se as fases de desfoque, separação e união da imagem, referidas pelo paciente.
	BN	X ou 11-15/19-23/10-16-	

Reservas fusionais VL	BT	7-11/15-23/8-12	
	BN	X/5-9/3-5	
ARP	- 1,25D		Pediu-se ao paciente que fixasse binocularmente a linha de AV para VP anterior à AV máxima do pior olho e adicionou-se lentes negativas em passos de 0,25D até que o paciente visse a linha desfocada.
ARN	+1,50D		Pediu-se ao paciente que fixasse binocularmente a linha de AV para VP anterior à AV máxima do pior olho e adicionou-se lentes positivas em passos de 0,25D até que o paciente visse a linha desfocada.
AM	Valor mínimo: 20 anos 10,0D 25 anos 8,75D 30 anos 7,50D 35 anos 6,25D		Mediu-se através do método de Sheard ou das lentes negativas.
AA	+0,25 a +0,50 (\pm 0,25)D ⁷¹		Mediu-se através da retinoscopia pelo método de estimulação monocular (MEM)
FA VP	monocular	11,0 \pm (5,0) cpm	Determinada através da alternância do estado acomodativo com a utilização de um flipper - 2,00D/0,00D (em VL) e \pm 2,00D (em VP).
	binocular	Quebra: 8,59 \pm (3,19) cpm Recuperação: 10,11 \pm (3,20)	

Para o decorrer da primeira etapa pediu-se aos pacientes utilizadores de lentes de contacto (LC) que as retirassem, no mínimo, meia hora antes da avaliação. O material necessário para a realização dos testes optométricos foram uma unidade de refração constituída por um projetor com optótipo de Snellen para a visão de longe e um optótipo para visão de perto, retinoscópio, foróptero, armação e caixa de provas, oclusor, flipper \pm 2,00D, um cronómetro, uma régua e um objeto de

fixação. Nesta mesma fase, sob uma iluminância de 260 lux medidos com um luxímetro foram analisados os seguintes parâmetros oculares: AV habitual monocular e binocular para VP para VL; Cover test para VP e VL; PPC (rotura e recuperação); refração corrigida, através do exame subjetivo, monocular e binocular, AV corrigida binocular; forias e reservas BT/BN para VP e para VL, ARN e ARP, AM pelo método de sheard, AA em ambos os olhos e por fim, FA para VP. Todos os resultados foram anotações em ficha clínica própria.

Os objetivos de cada teste assim como os resultados esperados para os mesmos encontram-se na Tabela 5.

Analisados e selecionados os voluntários, prosseguiu-se para a segunda fase da experiência, na qual também lhes foi pedido que retirassem as LC, no mínimo, meia hora antes da avaliação. O material adicional necessário para esta etapa foi um sistema de lâmpadas Ledigma (Ledigma Ltd, Vilnius, Lithuania), 2 computadores e um luxímetro (Illuminance meter T-10; Konica Minolta Sensing Inc., Japan).

Pode observar-se o sistema de montagem na Figura 20. O sistema de luzes encontrava-se montado situado ao lado da cadeira do paciente e ligeiramente para trás. Este sistema de luzes possuía duas lâmpadas.



Figura 20- Sistema de montagem das lâmpadas, junto do posto de avaliação optométrica.

A luminária Ledigma é uma fonte de luz LED composta por 10 LEDs individuais. A distribuição de potência espectral combinada de cada LED individual fornece uma distribuição de potência espectral que abrange dos 380 nm aos 720 nm. Na Figura 21 estão representadas as distribuições espectrais da fonte de luz dos LEDs sintonizados para uma saída de potência máxima, demonstrando a potência espectral contínua ao longo do intervalo de 420 a 660 nm.

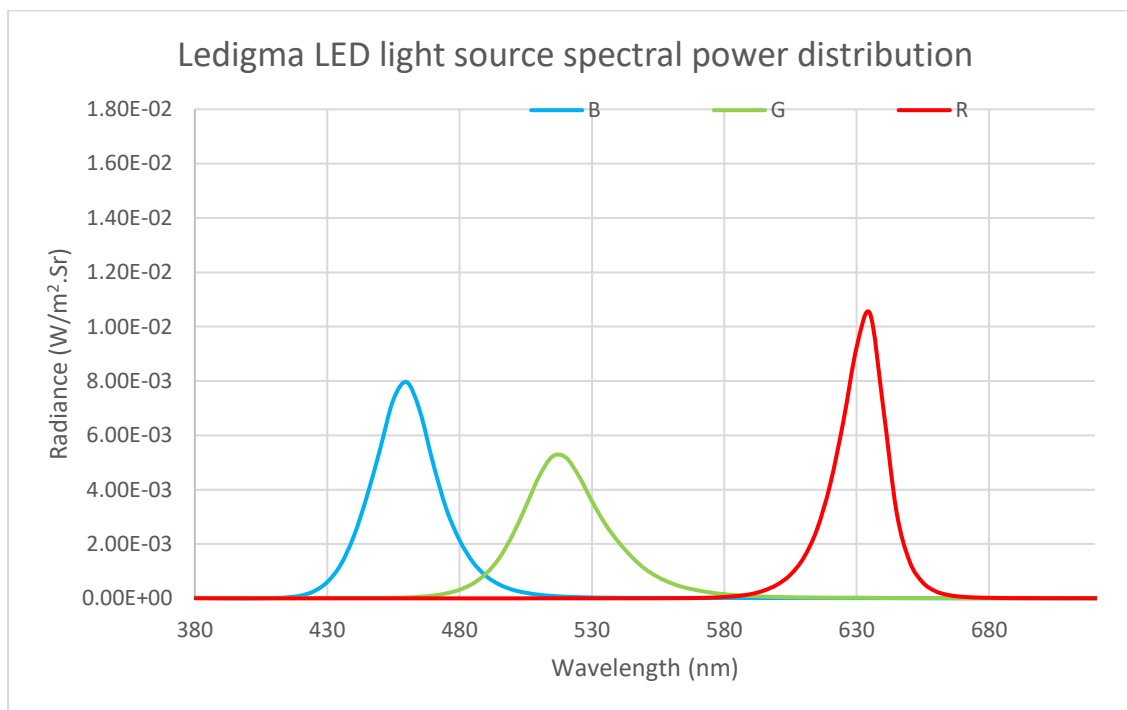


Figura 21. Distribuição de energia espectral de todos os LEDs sintonizados para a potência máxima.

O LED azul (B) teve um pico de intensidade em 460 nm e uma largura a meia altura do valor máximo de 26 nm, o LED verde (G) em 515 nm e uma largura a meia altura do valor máximo de 34 nm e o LED vermelho (R) em 635 nm e uma largura a meia altura do valor máximo de 21 nm. Para cada cor, apenas um LED se encontrava ligado e a intensidade foi ajustada para fornecer a mesma iluminância entre os três LEDs.

Visto o espaço de tempo decorrido entre as duas etapas, foi feita uma verificação à refração obtida na consulta posterior (primeira fase). Para tal, procedeu-se à miopização binocular de 2,00D e foi-se diminuindo as lentes até que o paciente visse de forma clara e nítida a linha de acuidade visual correspondente a 1,0. Uma vez anotada a refração a utilizar para os exames seguintes, apagou-se a luz e procedeu-se à análise monocular da amplitude de acomodação e de seguida, da flexibilidade acomodativa.

A sala foi iluminada por três cores alternadamente, apresentadas por ordem aleatória a cada paciente (tabela de aleatorização da ordem da cor em anexo). Com a luz vermelha e verde, apenas foi necessário o uso de uma lâmpada, visto os parâmetros acomodativos estarem a ser testados para uma iluminância de 115 lux, no entanto, apenas uma lâmpada para a

luz azul não funcionaria para atingir a iluminância, de forma que, para este comprimento de onda, se usaram as duas. O controle das lâmpadas foi feito através de dois computadores, cada um conectado a uma lâmpada, por Bluetooth. No monitor observava-se a imagem da Figura 22, na qual o utilizador possui uma interface que lhe permitia controlar as lâmpadas.

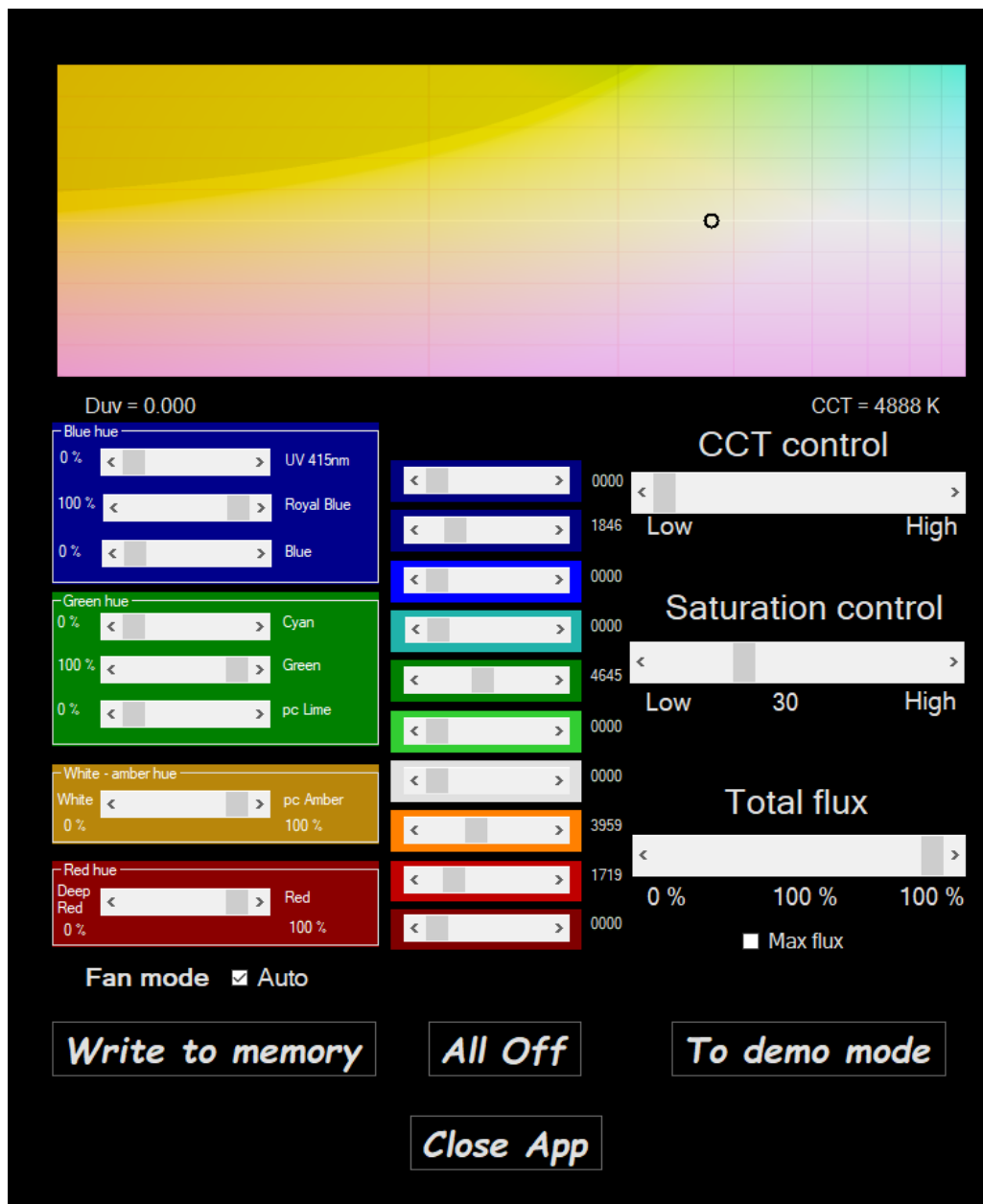


Figura 22. Janela da interface do usuário, acedida após o estabelecimento da conexão com a luminária.

O Luxímetro (Figura 23) é um aparelho portátil que mede os níveis de iluminância, através de um sensor de luz que possui um raio de captação de 180°. Para o controle da iluminância apoiou-se o aparelho no optótipo de perto fixado pelo paciente e controlou-se a intensidade da luz através do computador até se atingir os 115 lux de iluminância. Repetiu-se o processo a cada alteração de cor projetada pelas lâmpadas de forma a garantir a igualdade de iluminância em cada condição experimental.



Figura 23. Luxímetro utilizado na medição da iluminância com os diferentes comprimentos de onda.

Como referido anteriormente, o método mais utilizado para a medição da amplitude de acomodação é através do critério de Sheard²⁶. Este método consistiu em adicionar à refração do paciente lentes esféricas negativas em passos de 0,25D, até que o paciente referisse ver desfocadas, de forma consistente, as letras do optótipo de VP situado a 40cm. Esta etapa foi feita com a refração corrigida do paciente.

A nível da medição da flexibilidade acomodativa, utilizou-se o método de alteração da acomodação, com recurso a lentes de potência esférica de $\pm 2,00$ D e estando o estímulo a uma distância de perto fixa, de 40 cm. Nesta situação preferiu-se a utilização do foróptero para se conseguir manter as condições de iluminação constantes, pois caso se utilizasse a AP, o optótipo não estaria a uma distância exata de 40 cm, o que faria variar o valor da iluminância.

3.5.2 Procedimento estatístico

Para a análise estatística dos resultados foi utilizado o programa de estatística IBM SPSS Statistics Versão 21.

Para se iniciar a análise deste estudo procedeu-se ao estudo das frequências de género e género dos voluntários presentes no mesmo. De seguida obteve-se a análise descritiva das médias, desvios padrão, máximos e mínimos das variáveis em estudo, assim como se os valores estatísticos apresentam normalidade ou não.

a) AM

Iniciou-se com a avaliação da normalidade das variáveis com o teste Kolmogorov-Smirnov⁶, pois o número de participantes foi superior a 30. Este teste destina-se a averiguar se uma amostra pode ser considerada como proveniente de uma população com uma determinada distribuição. Para verificação da normalidade das variáveis, é necessário verificar-se

uma significância superior a 0,05.⁷²

De forma a comparar a amplitude de acomodação registada nas três zonas do espetro, usou-se teste de esfericidade de Mauchly's que consiste em verificar se uma população com distribuição normal multivariada tem variâncias iguais e correlações nulas. Se o valor da significância for igual ou superior a 0,05, pode assumir-se esfericidade, e assim, semelhança nas variâncias.⁷³ Para tal, foi usada a opção de “comparar os efeitos principais” com ajustamento do intervalo de confiança por Bonferroni visto a sua vertente mais conservadora conferir aos resultados uma menor probabilidade de deteção de falsos positivos.⁷³

De seguida aplicou-se o teste PostHoc de uma ANOVA de forma a obter o teste de efeitos entre sujeitos e verificar se existe uma diferença significativa entre as três médias de amplitudes de acomodação.

Como não se verificou esfericidade através do teste de Mauchly, consultamos o valor da significância segundo os testes de Greenhouse-Geisser e Huynh-Feldt. Em ambos os testes, verificou-se que há diferenças significativas entre as três médias de amplitudes de acomodação, visto que a significância é inferior a 0,05.

b) FA

Iniciou-se o estudo estatístico da flexibilidade acomodativa com a avaliação da normalidade das variáveis com o teste Kolmogorov-Smirnov^a, pois o número de participantes foi superior a 30.

Como os pressupostos da normalidade não se verificaram recorreu-se ao teste não paramétrico de Friedman, utilizado para detetar diferenças entre as variáveis consideradas.⁷⁴

O último passo consistiu em aplicar o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, de forma a comparar três ou mais populações.

Capítulo 4 – Resultados

4.1 População estudada

4.1.1 Género e idade

Segundo os critérios de seleção, 32 voluntários foram excluídos do estudo e 45 foram incluídos. Destes 45 sujeitos, 27 (60,0%) eram do sexo feminino e 18 (40,0%) do sexo masculino. A caracterização da amostra por género encontra-se representada na Figura 24. A idade média dos participantes foi de $21,29 \pm 2,22$ anos (média \pm desvio padrão), com valores compreendidos entre os 18 e os 28 anos. A caracterização da amostra por idades encontra-se representada na Figura 25.

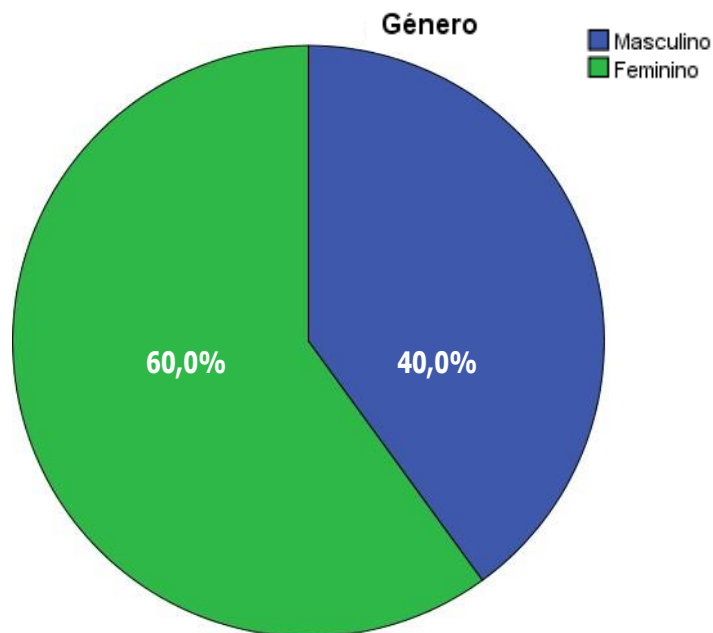


Figura 24. Caracterização geral da amostra por género (n=45). Percentagem do género feminino(verde) e masculino (azul).

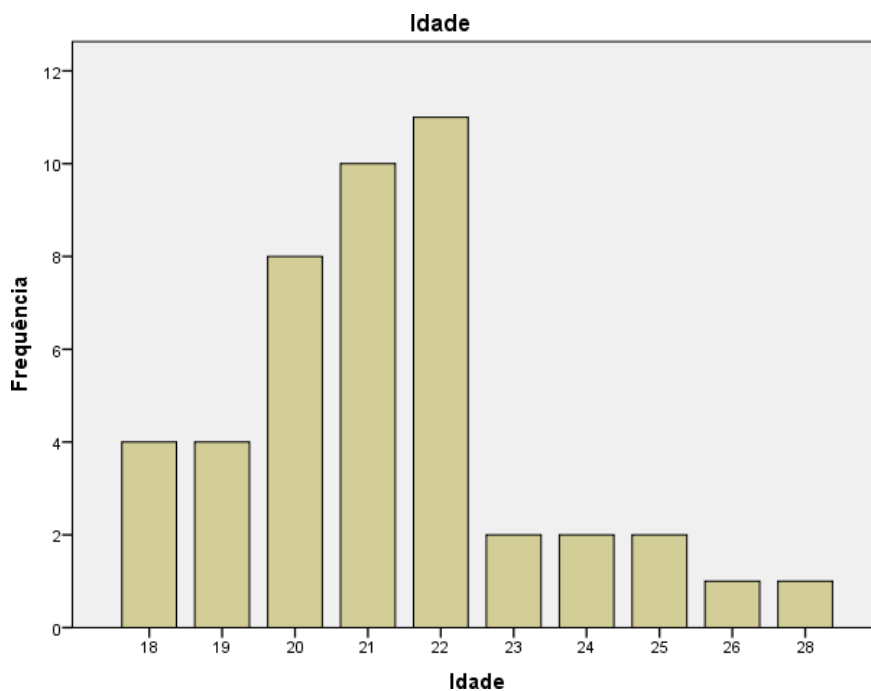


Figura 25. Caracterização da amostra por idade (n=45), cujo eixo vertical corresponde ao número de repetições/frequência do acontecimento.

4.1.2 Ametropias

A nível do estudo de ametropias, os valores de esfera, cilindro e eixo do cilindro obtidos no exame subjetivo foram convertidos em EE.

O estudo é então composto por uma amostra de 14 míopes, 17 emetropes e 14 hipermetropes. Amostra encontra-se representada no Figura 26.

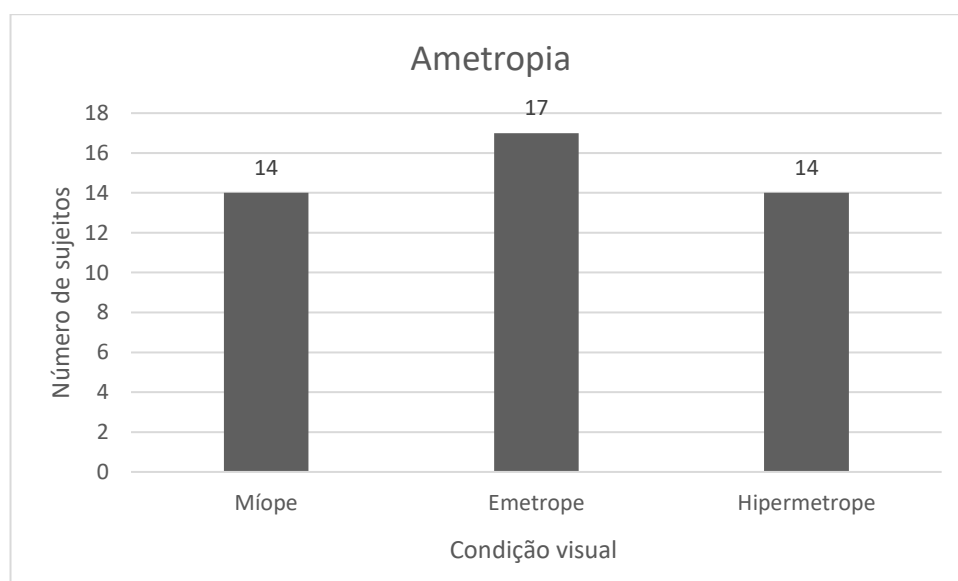


Figura 26. Caracterização geral da amostra por ametropia (n=45), cujo eixo vertical corresponde ao número de repetições do acontecimento.

A amostra apresentou um valor médio de miopia de EE no OD de $-2,36D \pm 1,39D$, a variar entre $-4,75D$ e $-0,50D$. No caso dos emetropes, o valor médio de EE no OD foi de $+0,17D \pm 0,19D$, e oscilava entre $-0,25D$ e $+0,38D$. Por último, o valor médio de EE no OD dos hipermetropes foi de $+1,08D \pm 0,75D$, e oscilava entre $+0,50D$ e $+3,38D$.

4.2 Amplitude de Acomodação (AM)

No decorrer da primeira etapa, em que a AM foi avaliada com luz branca de 260 lux de iluminância, a média resultante foi de $9,928D \pm 1,531D$, com o valor mínimo correspondente a $7,00D$ e máximo de $13,25D$.

Os valores registados durante a segunda fase do estudo foram obtidos com a iluminância de 115 lux para as três cores. A iluminação com um comprimento de onda correspondente à zona azul do espectro, apresentou um valor de AM médio de $12,53D \pm 2,72D$. Relativamente à iluminação cujo comprimento de onda corresponde à região verde do espectro, apresentou um valor médio de $11,21D \pm 2,45D$ e quanto ao vermelho, o valor médio foi de $9,80D \pm 2,28D$.

Os resultados encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Valores médios, desvio-padrão (DP) e o número total de sujeitos relativos aos valores de amplitude de acomodação.

Estatísticas descritivas					
	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
AM_azul	45	5,50	18,50	12,53	2,72
AM_verde	45	4,50	15,75	11,21	2,45
AM_vermelho	45	2,75	14,00	9,80	2,28

Quanto à avaliação da normalidade das variáveis com o teste Kolmogorov-Smirnov, verificou-se que nos três comprimentos de onda testados, a variável da amplitude de acomodação segue uma distribuição normal ($p=0,200$).

De seguida aplicou-se o teste de efeitos entre sujeitos. Os resultados mostraram uma significância de 0,00. Verificou-se então que existem diferenças significativas entre as três médias de amplitudes de acomodação, visto que a significância é inferior a 0,05.

Na Figura 27 é possível observar as médias relativas aos valores de amplitude de acomodação e a cor da iluminação.

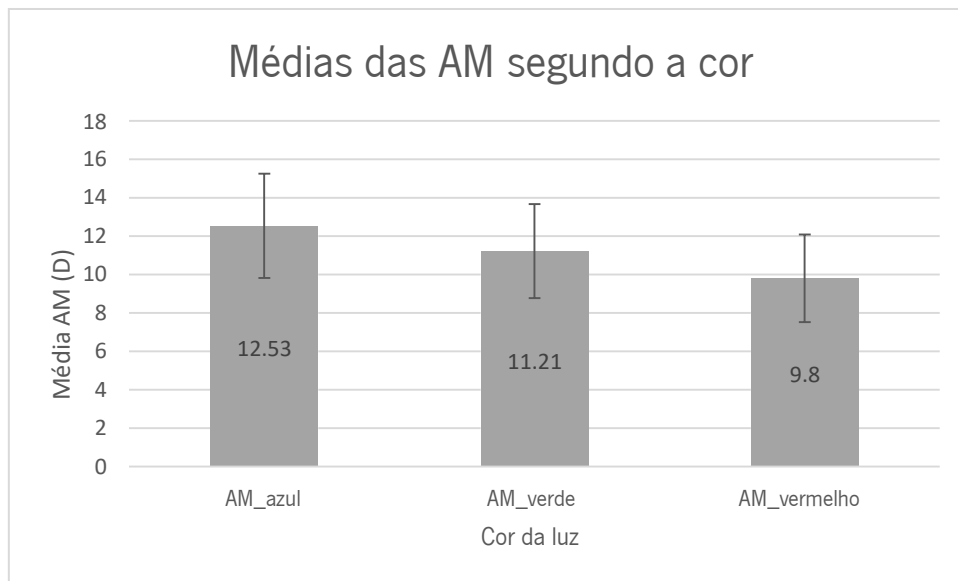


Figura 27. Gráfico de comparação entre as médias relativas aos valores de amplitude de acomodação e a cor da iluminação.

Da análise gráfica, observa-se a diminuição significativa da amplitude de acomodação da iluminação azul para a verde e por sua vez da verde para a vermelha, sendo as diferenças todas estatisticamente significativas ($p < 0,001$ para todas as comparações feitas).

De seguida, pretendeu perceber-se como é que a ametropia pode influenciar os valores da AM medidos com diferentes comprimentos de onda. Os resultados apresentam-se na Figura 28.

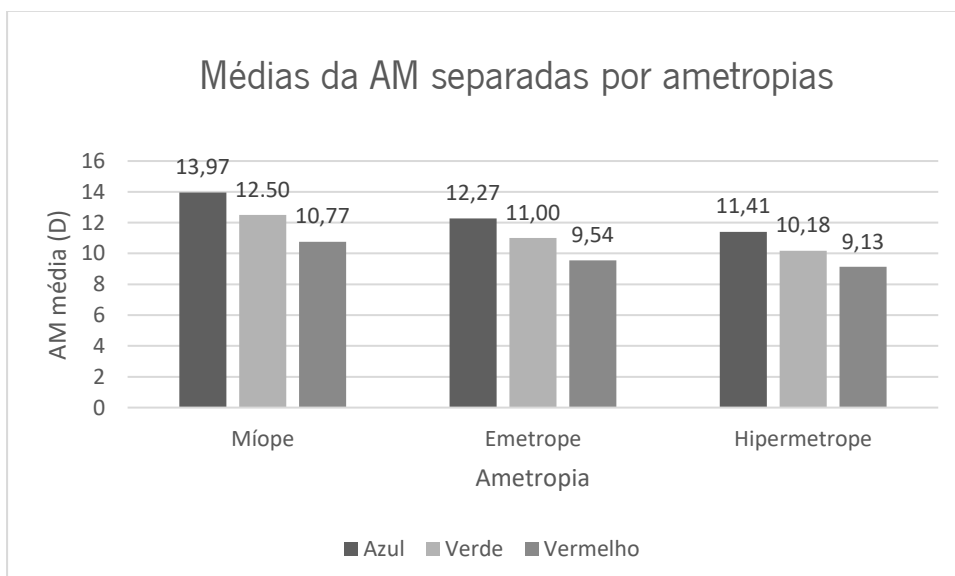


Figura 28. Médias para a AM, separadas por ametropias, para cada cor.

Do gráfico verifica-se uma diminuição da média da AM, sendo que a AM obtida com a cor azul foi a maior, de seguida a verde e por fim a vermelha com os valores mais baixos de AM.

O passo seguinte consistiu em perceber quais foram as diferenças entre ametropias, para cada comprimento de onda testado. Os resultados encontram-se na Tabela 7.

Tabela 7. Comparação entre pares do efeito da ametropia na componente da AM mediante a iluminação de diferentes comprimentos de onda. Os ^ae os ^b, representam os pares que possuem diferenças estatisticamente significativas.

		Amplitude de acomodação			<i>P</i>
		média			
		(D)			
		Azul	Verde	Vermelho	
Ametropia	Míope	13,96 ^a	12,50 ^b	10,77	<0,001
	Emetrope	12,26	11,00	9,54	<0,001
	Hipermetrope	11,41 ^a	10,18 ^b	9,13	<0,001
	p	^a 0,036	^b 0,03	>0,05	

Como já se verificou, a variável da AM apresentava diferenças estatisticamente significativas. No entanto, verifica-se que tal não acontece quando se avalia a AM em função da ametropia, pois a significância corresponde a $0,28 > 0,05$.

Procurou analisar-se se para cada comprimento de onda havia diferenças em cada grupo de ametropia nos valores obtidos da AM. Da tabela retira-se que a informação de que existem diferenças estatisticamente significativas mediante as iluminações azul e verde entre o grupo de míopes e hipermetropes. Com o iluminante vermelho não se observam diferenças estatisticamente significativas entre nenhuma ametropia.

De seguida procurou analisar-se se cada em cada ametropia houve diferenças nos valores obtidos da AM para cada comprimento de onda. Da tabela retira-se que nos nas três ametropias existem diferenças entre todas os comprimentos de onda ($p < 0,001$).

De forma a comprovar se estas diferenças surgiram devido à cor do iluminante foi necessário verificar se inicialmente já existiam diferenças para a componente da AM com iluminação branca, verificando-se que não existiam diferenças estatisticamente significativas na consulta inicial (aproximadamente 10D para as três condições visuais). No grupo de míopes, os valores da AM apresentaram valores superiores nas três cores em relação ao valor inicial, sendo que diferença é mais notória no azul, depois no verde e de seguida no vermelho. Quanto aos grupos dos emetropes e hipermetropes, apresentaram valores superiores com as iluminações azul e verde do que a luz branca enquanto na cor vermelha se observou a situação contrária.

4.3 Flexibilidade acomodativa (FA)

No decorrer da primeira etapa, em que a FA foi avaliada com luz branca de 260 lux de iluminância, a média resultante desta variável foi de $11,62 \text{ cpm} \pm 3,90 \text{ cpm}$, com o valor mínimo correspondente a 0,00 cpm um máximo de 18,00 cpm.

Os valores registados durante a segunda fase do estudo foram obtidos com a intensidade de 115 lux para as três cores. A iluminação com um comprimento de onda correspondente à zona azul do espectro, apresentou um valor médio de $7,07 \text{ cpm} \pm 6,83 \text{ cpm}$. Relativamente à iluminação cujo comprimento de onda corresponde à região verde do espectro, apresentou um valor médio de $6,24 \text{ cpm} \pm 6,66 \text{ cpm}$ e quanto ao vermelho, o valor médio foi de $6,71 \text{ cpm} \pm 7,40 \text{ cpm}$.

Os resultados apresentam-se na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios, desvio-padrão (DP) e o número total de sujeitos relativos aos valores deflexibilidade acomodativa (cpm).

Estatísticas descritivas					
	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
FA_azul	45	0,00	23,00	7,07	6,83
FA_verde	45	0,00	20,00	6,24	6,66
FA_vermelha	45	0,00	22,00	6,71	7,40

Para a avaliação da normalidade foi usado o teste de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados indicam uma significância corresponde a 0 para as três condições, desta forma, verifica-se que estas não seguem uma distribuição normal.

Na Figura 29 é possível observar-se a diferença entre as médias relativas aos valores da FA e a cor da iluminação.

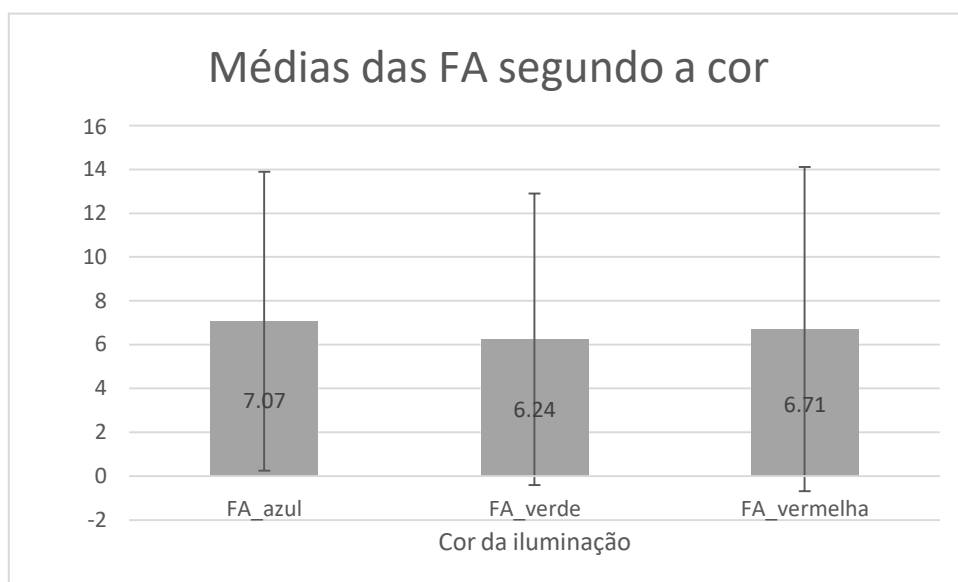


Figura 29. Gráfico de comparação entre as médias relativas aos valores de FA e a cor da iluminação.

Da análise dos dados, não se observa nenhuma comparação direta entre os resultados obtidos da FA mediante as três iluminações.

Recorreu-se então ao teste não-paramétrico de Friedman cujos resultados mostram uma significância de 0,15, superior a 0,05, pelo que, não se comprova a significância dos dados.

De seguida, pretendeu perceber-se como é que a ametropia pode influenciar o parâmetro da FA sob as diferentes condições de iluminação. Os resultados apresentam-se na Tabela 9.

Tabela 9. Análise da significância dos valores médios da FA obtidos em cada condição visual com luz branca. O símbolo * indica os valores que são estatisticamente significativos.

		Flexibilidade acomodativa (cpm)	
		Média	Desvio padrão
Ametropia	Míope	14*	3
	Emetrope	10*	4
	Hipermetrope	11	4
	p	*0,027	

Da tabela verifica-se uma diferença estatisticamente significativa entre os valores médios da FA nos míopes e emetropes. Os restantes pares não apresentam diferenças significativas.

Procedeu-se à comparação de diferenças entre as ametropias para cada cor. Os resultados encontram-se sintetizados na tabela 10.

Tabela 10. Diferenças nos valores da FA entre ametropias quando submetidos a cada cdo. Os símbolos *, a, b, c, indicam os pares que possuem resultados estatisticamente significativos.

		Flexibilidade acomodativa média (cpm)			<i>P</i>
		Azul	Verde	Vermelho	
Ametropia	Míope	11,40 ^{*,a}	11,70 ^{a,b}	11,60 ^{a,b}	>0,05
	Emetrope	4,70*	4,20 ^b	4,90 ^a	>0,05
	Hipermetrope	5,60 ^{a,b,c}	3,30 ^{a,c}	3,90 ^b	<0,02
	<i>p</i>	[*] 0,023	^a 0,002	^a 0,037	
		^a 0,044	^b 0,005	^b 0,021	

Procurou analisar-se se para cada comprimento de onda havia diferenças em cada grupo de ametropia nos valores obtidos da FA. Da tabela retira-se que para as três cores existiram diferenças estatisticamente significativas entre os míopes e os emetropes e entre os míopes e hipermetropes, constatando-se um comportamento semelhante nos valores obtidos de FA entre os emetropes e os hipermetropes ($p > 0,05$).

De seguida procurou analisar-se se em cada ametropia houve diferenças nos valores obtidos da FA para cada comprimento de onda. Da tabela retira-se que nos míopes e nos hipermetropes não se constataram diferenças estatisticamente significativas nas três cores. No entanto, nos hipermetropes existiram diferenças entre a luz verde e a luz azul.

De forma a perceber se estas diferenças surgem da influência da cor da iluminação foi necessário avaliar se já existiam previamente com luz branca, no decorrer da consulta inicial.

Começou-se por perceber se já existiam diferenças nos resultados obtidos com luz branca em cada grupo de ametropia nos valores da FA. Os resultados indicam que apenas existem diferenças estatisticamente significativas para o comprimento de onda correspondente à cor verde ($p = 0,028$), sendo que com a mesma, a diferença para o grupo de míopes foi de menos 2,07cpm do que com a luz branca, nos emetropes menos 5,94cpm e nos hipermetropes menos 8,00 cpm, não havendo diferenças estatisticamente significativas entre estes últimos dois.

De seguida, procurou analisar-se se em cada ametropia já havia diferenças nos valores obtidos da FA com a luz branca. A nível do grupo de míopes não se observaram diferenças estatisticamente significativas, com uma diminuição de 2,50 cpm para os três comprimentos de onda. Nos emetropes o mesmo se verifica com uma diminuição de cerca de 6,00 cpm para cada comprimento de onda. Por fim, no grupo de hipermetropes observou-se uma diminuição de cerca de 5 cpm na cor azul e 7 cpm nas cores verde e vermelha.

Capítulo 5 - Discussão dos resultados

Neste trabalho pretendeu-se testar se ocorrem alterações na amplitude de acomodação e flexibilidade acomodativa com a variação da cor do iluminante, assim como, se a ametropia afeta essa variação. Para tal realizou-se uma experiência onde foram medidos de forma subjetiva os parâmetros da amplitude de acomodação e da flexibilidade acomodativa, mediante a iluminação de duas lâmpadas que produzem luz nas três regiões do espectro estudadas (azul, verde e vermelho).

5.1 Amplitude de acomodação

A primeira hipótese testada consistiu na influência da iluminância nos valores de amplitude de acomodação. Este parâmetro foi medido sob a iluminância de três comprimentos de onda correspondente às cores vermelho, azul e verde.

Analisando as amplitudes de acomodação médias atingidas pelos voluntários verificou-se que foi superior com a lâmpada azul ($12,53D \pm 2,72D$), de seguida com a lâmpada verde ($11,21D \pm 2,45D$) e por fim com a lâmpada vermelha ($9,80D \pm 2,28D$), verificando-se uma diferença estatisticamente significativa entre as médias das amplitudes de acomodação para todas as comparações feitas sob a influência das três iluminações. Esta comparação indica a amplitude de acomodação medida nos sujeitos não foi igual nas três cores.

Uma explicação para estas diferenças encontradas está relacionada com a profundidade de foco. Como Fincham⁶⁷ explicou, uma maior profundidade de foco pode reduzir a resposta acomodativa, enquanto uma menor profundidade de foco pode melhorar a mesma. Desta forma, o autor afirma que a aberração cromática longitudinal (LCA) atua como um estímulo à acomodação, visto que com a luz azul haverá uma menor profundidade de foco, a resposta acomodativa será maior. Com a luz vermelha, existe uma maior profundidade de foco, daí uma menor resposta acomodativa.

No estudo de R. Moreira⁷⁵, foi calculado através da equação a baixo apresentada, os valores de aberração cromática longitudinal referentes aos comprimentos de onda dos LEDs verde e vermelho utilizados na sua experiência em sujeitos emetropes. Sob iluminação verde (515nm) o ponto focal estava 0,40D à frente da retina. Na iluminação vermelha (635nm), 0,25D atrás da retina.

$$\delta D = A - B * p^{\frac{\lambda - 350}{50} * 76}$$

Para um olho com ponto de focagem em 580nm, onde $A = 0,82476$, $B = 3,5450$, $p = 0,7261$ e λ representa o comprimento de onda.⁷⁶

Segundo esta equação, é possível calcular a aberração cromática longitudinal em todos os comprimentos de onda da região visível do espectro eletromagnético. Os valores encontram-se representado na Figura 30.⁷⁵

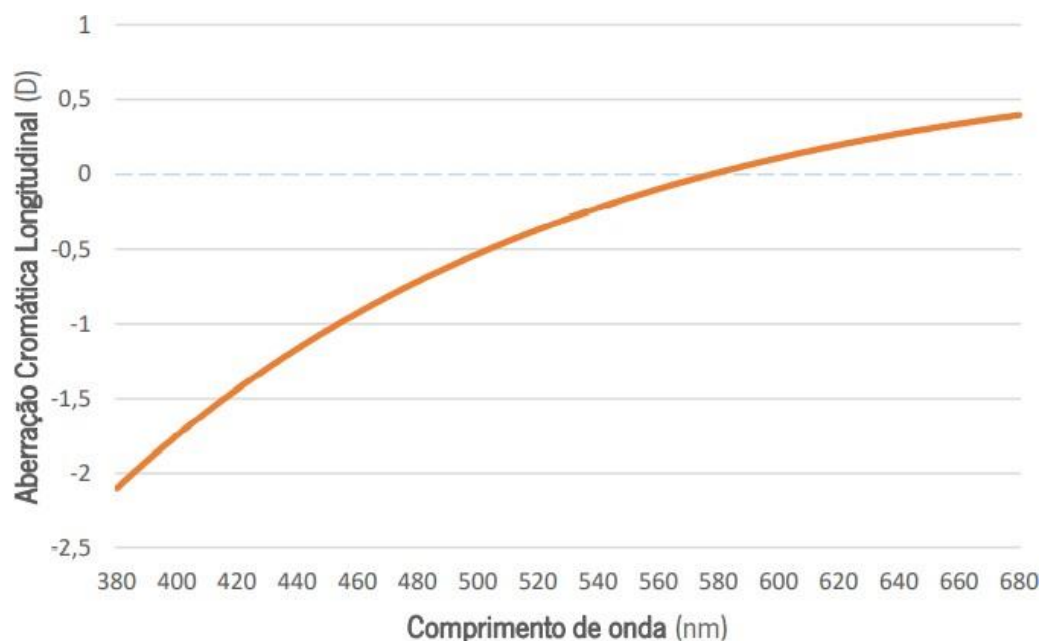


Figura 30. Aberração cromática longitudinal do olho humano. Desfocagem relativa em dioptrias em função do comprimento de onda. Adaptado de R.Moreira (2019).

Usando o mesmo método, no presente estudo, sob iluminação azul (pico em 450nm) o ponto focal estaria 1,04D à frente da retina, com iluminação verde (pico em 525nm), 0,33D à frente da retina e com iluminação vermelha (pico em 625nm), 0,22D atrás da retina.

Da comparação entre os resultados dos dois estudos sabe-se que os valores não seguem o mesmo padrão, pois este estudo apresenta diferenças superiores ao estudo de R.Moreira. Uma explicação possível para este facto é que no estudo de R.Moreira, apenas foram avaliados sujeitos emetropes, enquanto que no estudo presente foram avaliados emetropes, míopes e hipermetropes.

As variações são mais pequenas pelo modelo teórico do que as observadas no estudo (Tabela 11)

Tabela 11. Valores teóricos e obtidos em D da aberração cromática longitudinal, para as três cores.

	LCA obtido (D)	LCA teórico (D)
Diferença entre azul para verde	1.31	0,71
Diferença verde para vermelho	1.42	0,55
Diferença azul para vermelho	2.73	1,26

Os resultados presentes apoiam as descobertas de que os cones de tipo S contribuem para o processo acomodativo e que os pacientes podem acomodar apenas com o uso dos cones de tipo S. ⁷⁷

Rucker e Kruger, 2001⁷⁸ descobriram que a resposta acomodativa melhorou quando a largura de banda espectral da iluminação era mais larga, de forma a incluir luz de comprimento de onda curto.

A segunda hipótese afere sobre as diferenças em cada grupo de ametropia nos valores obtidos da AM para cada comprimento de onda. Desta análise encontraram-se diferenças estatisticamente significativas mediante as iluminações azul e verde entre o grupo de míopes e hipermetropes. Com o iluminante vermelho não se observam diferenças estatisticamente significativas entre nenhuma ametropia. Esta avaliação indica que o grupo de míopes e hipermetropes não possuíram os mesmos resultados na componente da amplitude de acomodação na luz azul e na luz verde, no entanto, não se detetaram diferenças nos valores médios desta componente acomodativa entre ametropias para a cor vermelha.

Sendo este tema pouco estudado, não foram encontradas possíveis explicações para estes resultados.

A próxima hipótese avalia se em cada ametropia houve diferenças nos valores obtidos da AM para cada comprimento de onda, pelo que se detetou que nas três ametropias existem diferenças entre todas os comprimentos de onda ($p < 0,001$). Desta forma percebemos que a AM varia em cada ametropia segundo a cor do iluminante.

Fincham⁶⁷ afirmou que, como resultado da LCA ocular, a imagem de um ponto luminoso num olho em estado não acomodado será rodeada por uma franja azulada. Num olho em estado acomodado, uma franja avermelhada estará presente. O autor referiu que o cérebro consegue usar estas indicações cromáticas, de forma a perceber a existência e o tipo de qualquer erro refrativo ocular e, desta forma, levar a uma resposta de acomodação adequada. Depois dele, vários autores^{67,68} sugeriram que a LCA do olho fornece um importante estímulo dióptrico para o controle da acomodação ocular.

De forma a comprovar se estas diferenças surgiram devido à cor do iluminante foi necessário verificar se inicialmente já existiam diferenças para a componente da AM com iluminação branca, verificando-se que não existiam diferenças estatisticamente significativas na consulta inicial (aproximadamente 10D para as três condições visuais). Desta forma, de acordo com os resultados pode-se concluir que as diferenças na resposta acomodativa surgiram com a cor do iluminante, para cada ametropia. No grupo de míopes, os valores da AM apresentaram valores superiores nas três cores em relação ao valor inicial, sendo que a diferença é mais notória no azul, depois no verde e de seguida no vermelho. Quanto aos grupos dos emetropes e hipermetropes, apresentaram valores superiores com as iluminações azul e verde com que com a luz branca enquanto na cor vermelha observou-se a situação contrária.

Deverão ser realizados estudos futuros de forma a perceber com precisão qual é o fator ótico que permitiu que se obtivessem estas diferenças.

5.2 Flexibilidade Acomodativa

A primeira hipótese testada consistiu na influência da iluminância nos valores de flexibilidade de acomodação. Este parâmetro foi medido sob iluminâncias de três comprimentos de onda correspondente às cores vermelho, azul e verde.

Analisando as flexibilidades de acomodação médias atingidas pelos voluntários verificou-se que foi superior com a lâmpada azul (7,07 cpm \pm 6,83 cpm), de seguida com a lâmpada vermelha (6,71 cpm \pm 7,40 cpm) e por fim com a lâmpada verde (6,24 cpm \pm 6,66 cpm), não se tendo verificando diferenças estatisticamente significativa entre as médias das flexibilidades acomodativas para todas as comparações feitas sob a influência das três iluminações. Esta comparação indica que a flexibilidade de acomodação medida nos sujeitos foi igual nas três cores.

A segunda hipótese avalia se para cada comprimento de onda havia diferenças em cada grupo de ametropia nos valores obtidos da FA. Os resultados mostram que para as três cores existiram diferenças estatisticamente significativas entre os míopes e os emetropes e entre os míopes e hipermetropes, constatando-se um comportamento semelhante nos valores obtidos de FA entre os emetropes e os hipermetropes ($p > 0,05$).

A terceira hipótese analisar se em cada ametropia houve diferenças nos valores obtidos da FA para cada comprimento de onda e os resultados indicam que nos míopes e nos hipermetropes não se constataram diferenças estatisticamente significativas nas três cores, pelo que adotaram o mesmo comportamento. No entanto, nos hipermetropes existiram diferenças entre a luz azul e verde, sendo superior com a azul (média de 5,6 cpm) e menor com a verde (média de 3,3 cpm).

A. Pandian⁷⁹ estudou a influência do erro refrativo na componente da FA sob luz branca e relatou que não houve diferenças entre as três ametropias estudadas para uma distância de visão próxima. Desta forma podemos pensar que as diferenças encontradas nos sujeitos hipermetropes poderão surgir da cor do iluminante.

De forma a perceber se estas diferenças surgem da influência da cor da iluminação foi necessário perceber se já existiam previamente com luz branca, no decorrer da consulta inicial. E os resultados indicam que apenas existem diferenças estatisticamente significativas para o comprimento de onda correspondente à cor verde ($p = 0,028$), sendo que com a mesma, a diferença para o grupo de míopes foi de menos 2,07 cpm do que com a luz branca, nos emetropes menos 5,94 cpm e nos hipermetropes menos 8,00 cpm, não havendo diferenças estatisticamente significativas entre estes últimos dois.

De seguida, procurou analisar-se se em cada ametropia já havia diferenças nos valores obtidos da FA com a luz branca. A nível do grupo de miopes não se observaram diferenças estatisticamente significativas, com uma diminuição de 2,50 cpm para os três comprimentos de onda, o que indica que a FA foi a mesma. Nos emetropes o mesmo se verifica com uma diminuição de cerca de 6,00 cpm para cada comprimento de onda. Por fim, no grupo de hipermetropes observou-se uma diminuição de cerca de 5 cpm na cor azul e 7 cpm nas cores verde e vermelha.

No grupo de sujeitos observou-se um claro aumento da dificuldade na FA sob a influência das três luzes coloridas em relação aos resultados obtidos com a luz branca, o que deverá ser verificado em estudos futuros com uma maior amostra.

5.3 Limitações do estudo

A nível da normalidade da visão das cores dos sujeitos, embora a maioria dos participantes viessem de cursos em que já tinha sido verificada, a mesma não foi confirmada no conjunto de sujeitos. A situação pandémica mundial fez com que a Universidade do Minho, local de avaliação, fechasse quando o teste de Ishihara foi obtido, sendo a sua reabertura prevista em outubro, pelo que já não foi possível voltar a contactar os sujeitos. Este fator constitui uma limitação no estudo.

Outra limitação do estudo prende-se com o facto de que as medições efetuadas na primeira consulta, com luz branca não foram feitas para 115 lux tal como foi efetuado para as iluminações coloridas, mas sim com 260 lux, pelo que esta comparação não pode ser feita diretamente, desta forma a luz branca só serviu para estudar se sem o fator da cor da luz já havia diferenças entre ametropias.

Outra limitação ao estudo é que em situação de iluminação colorida de 115 lux, relatou-se um número consequente de voluntários que não conseguiram fazer nenhum ciclo por minuto com algumas das luzes ou com todas. Embora isto aconteça com a luz colorida, tal não se verificou durante a primeira etapa em que a FA foi medida com luz branca, desta forma, serão necessários estudos futuros para se compreender qual o fator consequente.

Outra limitação prende-se com o facto de que a relação entre a cor, a ametropia e a acomodação ainda não foi diretamente estudada, pelo que dificultou as justificações para os resultados apresentados.

Capítulo 6 - Conclusões e trabalho futuro

Neste estudo foi analisada a influência da cor na capacidade acomodativa do olho. As medidas foram realizadas para três iluminâncias, de três cores distintas.

Em termos de AM, foi possível concluir que, para a iluminação azul o olho possui uma maior capacidade de acomodação do que com as luzes verde e vermelha, a luz verde, por sua vez, permite uma capacidade de acomodação maior do que com a luz vermelha e por fim, a luz vermelha é a que permite uma menor capacidade de acomodação. Estes resultados poderão ser importantes para a compreensão do processo de acomodação.

A nível de ametropia, obteve-se diferenças nos valores da AM para as cores azul e verde entre míopes e hipermetropes, sendo que com a luz vermelha não houve qualquer diferença nas três ametropias.

Em termos cor, nas três ametropias existem diferenças na AM entre todas os comprimentos de onda.

Em termos de FA conclui-se que não há diferenças para as três cores, tendo-se notado uma diminuição dos cpm efetuados com as três cores em relação à luz branca.

Para as três cores existiram diferenças estatisticamente significativas na FA entre os míopes e os emetropes e entre os míopes e hipermetropes, no entanto com a cor verde estas diferenças já existiam previamente com luz branca.

A nível da ametropia, nos míopes e nos hipermetropes não se constataram diferenças estatisticamente significativas de FA nas três cores. No entanto, nos hipermetropes existiram diferenças entre a luz verde e a luz azul. Estas diferenças não existiam previamente com a luz branca.

Numa tentativa de compreender se o objetivo fundamental deste estudo se mantém noutras condições experimentais, deverão ser realizados mais estudos. Para tal, dever-se-á aumentar a amostra e testar os parâmetros clínicos de acomodação para outros valores, nos parâmetros de iluminação, em indivíduos com erros refrativos classificados em grau (alto, baixo médio) e em outras condições oculares.

Bibliografia

1. Chellappa SL, Steiner R, Blattner P, Oelhafen P, Götz T, Cajochen C. Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can blue-enriched light keep us alert? *PLoS One*. 2011;6(1):e16429. doi:10.1371/journal.pone.0016429
2. Nascimento SMC, Amano K, Foster DH. Spatial distributions of local illumination color in natural scenes. *Vision Res*. 2016;120:39-44. doi:10.1016/j.visres.2015.07.005
3. Kim J, Kane D, Banks MS. The rate of change of vergence-accommodation conflict affects visual discomfort. *Vision Res*. 2014;105:159-165. doi:10.1016/j.visres.2014.10.021
4. Mordi JA, Ciuffreda KJ. Dynamic aspects of accommodation: Age and presbyopia. *Vision Res*. 2004;44(6):591-601. doi:10.1016/j.visres.2003.07.014
5. Bernhardt KA, Poltavski D. Symptoms of convergence and accommodative insufficiency predict engagement and cognitive fatigue during complex task performance with and without automation. *Appl Ergon*. 2021;90(May 2020):103152. doi:10.1016/j.apergo.2020.103152
6. Cole DF. *Physiology of the Eye. An Introduction to the Vegetative Functions*. Vol 63.; 1979. doi:10.1136/bjo.63.7.528-c
7. Licensing C. Optics of the Human Eye. *Opt Hum Eye*. Published online 2000. doi:10.1016/b978-0-7506-3775-6.x5001-9
8. David A. Quillen BAB. *Clinical Retina*.
9. Willoughby CE, Ponzin D, Ferrari S, Lobo A, Landau K, Omidi Y. Anatomy and physiology of the human eye: Effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function - a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2010;38(SUPPL. 1):2-11. doi:10.1111/j.1442-9071.2010.02363.x
10. Sivak JG. *Clinical Anatomy of the Eye*. Vol 67.; 1990. doi:10.1097/00006324-199002000-00018
11. Williams T. *The Physiology of the Eye*. Vol 12.; 1829. doi:10.1016/S0140-6736(02)94662-3
12. Downie LE, Bandlitz S, Bergmanson JPG, et al. CLEAR - anatomy and physiology of the anterior eye. *Contact Lens Anterior Eye*. 2021;44(2):In press. doi:10.1016/j.clae.2021.02.009
13. Sataloff RT, Johns MM, Kost KM. *Measuring Colour*.

14. Bonilha VL, Rayborn ME, Bhattacharya SK, et al. The Retinal Pigment Epithelium Apical Microvilli and Retinal Function. In: Hollyfield JG, Anderson RE, LaVail MM, eds. *Retinal Degenerative Diseases*. Springer US; 2006:519-524.
15. Stone J. Chapter 1 The origins of the cells of vertebrate retina. *Prog Retin Res*. 1988;7:1-19. doi:[https://doi.org/10.1016/0278-4327\(88\)90003-X](https://doi.org/10.1016/0278-4327(88)90003-X)
16. Hurvich LM. *Color Vision*. Sinauer Associates; 1981.
17. De Sá LCF, Plutt M. Accommodation. *Arq Bras Oftalmol*. 2001;64(5):481-483. doi:10.1590/s0004-27492001000500021
18. HEATH GG. Components of accommodation. *Am J Optom Arch Am Acad Optom*. 1956;33(11):569-579. doi:10.1097/00006324-195611000-00001
19. Keeney AH, Hagman RE, Fratello CJ. *Dictionary of Ophthalmic Optics*. Butterworth-Heinemann; 1995.
20. Davis JA, Pascoguin BML, Tuvey CS, Cottrell DM. Fourier transform pupil functions for modifying the depth of focus of optical imaging systems. *Appl Opt*. 2009;48(26):4893-4898. doi:10.1364/AO.48.004893
21. Marcos S, Moreno E, Navarro R. The depth-of-field of the human eye from objective and subjective measurements. *Vision Res*. 1999;39(12):2039-2049. doi:10.1016/S0042-6989(98)00317-4
22. Petermeier K, Frank C, Gekeler F, Spitzer MS, Messias A, Szurman P. Influence of the pupil size on visual quality and spherical aberration after implantation of the Tecnis 1-piece intraocular lens. *Br J Ophthalmol*. 2011;95(1):42-45. doi:10.1136/bjo.2009.169680
23. Wang Y, Zhao K, Jin Y, Niu Y, Zuo T. Changes of higher order aberration with various pupil sizes in the myopic eye. *J Refract Surg*. 2003;19(2 Suppl):S270-4.
24. Burd HJ, Judge SJ, Flavell MJ. Mechanics of accommodation of the human eye. *Vision Res*. 1999;39(9):1591-1595. doi:10.1016/S0042-6989(98)00298-3
25. Planten JT. Age and the lens-refraction and accommodation. *Doc Ophthalmol*. 1987;67(1-2):53-57. doi:10.1007/BF00142697
26. Benjamin WJ. *Borish's Clinical Refraction*; 2006. doi:10.1016/B978-0-7506-7524-6.X5001-7
27. Hartridge H. HELMHOLTZ'S THEORY OF ACCOMMODATION. *Br J Ophthalmol*. 1925;9(10):521-523. doi:10.1136/bjo.9.10.521
28. Goldberg DB. Computer-animated model of accommodation and theory of reciprocal zonular action. *Clin Ophthalmol*. 2011;5(1):1559-1566. doi:10.2147/opth.s25983

29. Scheiman M, Wick B. *Clinical Management of Binocular Vision: Heterophoric, Accommodative, and Eye Movement Disorders: Fourth Edition.*; 2013.
30. Goss D. *Ocular Accommodation, Convergence and Disparity Fixation: A Manual of Clinical Analysis.*; 1995.
31. Abu EK, Ocansey S, Yennu J, Asirifi I, Marfo R. Comparing Different Methods of Measuring Accommodative Amplitude with Hofstetter's Normative Values in a Ghanaian Population. *CurrEye Res.* 2018;43(9):1145-1150. doi:10.1080/02713683.2018.1480044
32. Duane A. Studies in Monocular and Binocular Accommodation, with Their Clinical Application. *Trans Am Ophthalmol Soc.* 1922;20:132-157.
33. Donders FC. *Accommodation and Refraction of the Eye.* R.E. Krieger Publishing Company; 1979. <https://books.google.pt/books?id=kVI5AQAAAMAAJ>
34. Charman WN. The eye in focus: Accommodation and presbyopia. *Clin Exp Optom.* 2008;91(3):207-225. doi:10.1111/j.1444-0938.2008.00256.x
35. David B. Elliott. *Clinical Procedures in Primary Eye Care.*; 2005.
36. Park SM, Moon BY, Kim SY, Yu DS. Diurnal variations of amplitude of accommodation in different age groups. *PLoS One.* 2019;14(11):1-13. doi:10.1371/journal.pone.0225754
37. Goss DA, Zhai H. Clinical and laboratory investigations of the relationship of accommodation and convergence function with refractive error. *Doc Ophthalmol.* 1994;86(4):349-380. doi:10.1007/BF01204595
38. Mutti DO, Jones LA, Moeschberger ML, Zadnik K. AC/A ratio, age, and refractive error in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2000;41(9):2469-2478.
39. Allen PM, O'Leary DJ. Accommodation functions: co-dependency and relationship to refractive error. *Vision Res.* 2006;46(4):491-505. doi:10.1016/j.visres.2005.05.007
40. Wick B, Yothers TL, Jiang B-C, Morse SE. Clinical testing of accommodative facility: Part 1. A critical appraisal of the literature. *Optometry.* 2002;73(1):11-23.
41. Wick B, Gall R, Yothers T. Clinical testing of accommodative facility: part III. Masked assessment of the relation between visual symptoms and binocular test results in school children and adults. *Optometry.* 2002;73(3):173-181.
42. Duckman RH. Visual Development, Diagnosis, and Treatment of the Pediatric Patient. *Clin Exp Optom.* 2006;90:395-396.

43. Ciuffreda KJ. Components of Clinical Near Vergence testing. *J Behav Optom.* 1992;3(1):3-13.
44. Hartridge H. Helmholtz'S Theory of Accommodation. *Br J Ophthalmol.* 1925;9(10):521-523.
doi:10.1136/bjo.9.10.521
45. Wybar K. Wolff's Anatomy of the Eye and Orbit. *Br J Ophthalmol.* 1977;61(4):302-302.
doi:10.1136/bjo.61.4.302-a
46. Masland RH. The fundamental plan of the retina. *Nat Neurosci.* 2001;4(9):877-886.
doi:10.1038/nn0901-877
47. Amaral G, Bushee J, Cordani UG, et al. *Atlas of Human Anatomy.* Vol 369.; 2013.
doi:10.1017/CBO9781107415324.004
48. Wandell BA. Foundations of vision science. Published online 1995:1-2.
49. D.Kernell. *Colours and Colour Vision.* Vol 53.; 2013.
50. Judd DB, Wyszecki G. *Color in Business, Science, and Industry.* John Wiley & Sons, Limited; 1975.
<https://books.google.pt/books?id=c8-znQAACAAJ>
51. Marcus RT. Colour Physics for Industry, second edition. *Color Res Appl.* 1997;22(6):418-419.
doi:10.1002/(sici)1520-6378(199712)22:6<418::aid-col9>3.0.co;2-y
52. Stockman A, Sharpe LT. The spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength-sensitive cones derived from measurements in observers of known genotype. *Vision Res.* 2000;40(13):1711-1737. doi:10.1016/S0042-6989(00)00021-3
53. Roorda A, Williams DR. The arrangement of the three cone classes in the living human eye.
Nature. 1999;397(6719):520-522. doi:10.1038/17383
54. Hofer H, Carroll J, Neitz J, Neitz M, Williams DR. Organization of the human trichromatic cone mosaic. *J Neurosci.* 2005;25(42):9669-9679. doi:10.1523/JNEUROSCI.2414-05.2005
55. Silva N. Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimentode ensino superior para outros mais eficientes. Published online 2011:106.
56. McAlinden C, McCartney M, Moore J. Mathematics of Zernike polynomials: a review. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2011;39(8):820-827. doi:10.1111/j.1442-9071.2011.02562.x
57. Noll RJ. Zernike polynomials and atmospheric turbulence\$. *J Opt Soc Am.* 1976;66(3):207-211.
doi:10.1364/JOSA.66.000207

58. Artal P. Optics of the eye and its impact in vision: a tutorial. *Adv Opt Photonics*. 2014;6(3):340. doi:10.1364/aop.6.000340
59. Webster MA, Georgeson MA, Webster SM. Neural adjustments to image blur. *Nat Neurosci*. 2002;5(9):839-840. doi:10.1038/nn906
60. Mcalinden C, McCartney M, Moore J. Mathematics of Zernike polynomials: A review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2011;39(8):820-827. doi:10.1111/j.1442-9071.2011.02562.x
61. Cholewiak SA, Love GD, Srinivasan PP, Ng R, Banks MS. ChromaBlur: Rendering chromatic eye aberration improves accommodation and realism. *ACM Trans Graph*. 2017;36(6). doi:10.1145/3130800.3130815
62. Bedford RE, Wyszecki G. Axial Chromatic Aberration of the Human Eye. *J Opt Soc Am*. 1957;47(6):564_1-565. doi:10.1364/JOSA.47.0564_1
63. Thibos LN, Bradley A, Still DL, Zhang X, Howarth PA. Theory and measurement of ocular chromatic aberration. *Vision Res*. 1990;30(1):33-49. doi:10.1016/0042-6989(90)90126-6
64. Schwiegerling J. Theoretical limits to visual performance. *Surv Ophthalmol*. 2000;45(2):139- 146. doi:10.1016/s0039-6257(00)00145-4
65. Kruger PB, Pola J. Stimuli for accommodation: Blur, chromatic aberration and size. *Vision Res*. 1986;26(6):957-971. doi:10.1016/0042-6989(86)90153-7
66. Simonet P, Campbell MCW. Effect of illuminance on the directions of chromostereopsis and transverse chromatic aberration observed with natural pupils. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1990;10(3):271-279. doi:https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1990.tb00863.x
67. Kruger PB, Mathews S, Aggarwala KR, Sanchez N. Chromatic aberration and ocular focus: Fincham revisited. *Vision Res*. 1993;33(10):1397-1411. doi:10.1016/0042-6989(93)90046-Y
68. Jobke S, Kasten E, Vorwerk C. The prevalence rates of refractive errors among children, adolescents, and adults in Germany. *Clin Ophthalmol*. 2008;2(3):601-607. doi:10.2147/opth.s2836
69. Schiefer U, Kraus C, Baumbach P, Ungewiß J, Michels R. Refractive errors. *Dtsch Arztebl Int*. 2016;113(41):693-702. doi:10.3238/arztebl.2016.0693
70. Morgan Jr, M. W. (1944). Analysis of clinical data. *Optometry and Vision Science*, 21(12) 477-491. No Title.
71. Rouse MW, London R, Allen DC. An evaluation of the monocular estimate method of dynamic retinoscopy. *Optom Vis Sci*. 1982;59(3):234-239. doi:10.1097/00006324-198203000-00006

72. Miranda A. Testes Não Paramétricos. Published online 2020:1-29.
73. Rosendo K, Janu A, Federal U, Grande R, Grande R. Anova medidas repetidas e seus pressupostos : análise passo a passo de um experimento. 2018;10.
74. Joaquim S. *Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R*; 2005.
75. Moreira R. A influência da iluminação colorida nos parâmetros acomodativos oculares. Published online 2019.
76. Flitcroft DI. A neural and computational model for the chromatic control of accommodation. *Vis Neurosci*. 1990;5(6):547-555. doi:DOI: 10.1017/S095252380000705
77. Rucker FJ, Kruger PB. The role of short-wavelength sensitive cones and chromatic aberration in the response to stationary and step accommodation stimuli. *Vision Res*. 2004;44(2):197-208. doi:10.1016/j.visres.2003.09.011
78. Rucker FJ, Kruger PB. Isolated short-wavelength sensitive cones can mediate a reflex accommodation response. *Vision Res*. 2001;41(7):911-922. doi:10.1016/S0042-6989(00)00303-5
79. Pandian A, Sankaridurg PR, Naduvilath T, et al. Accommodative facility in eyes with and without myopia. *Investig Ophthalmol Vis Sci*. 2006;47(11):4725-4731. doi:10.1167/iops.05-1078
80. Baylor DA. Photoreceptor signals and vision. Proctor lecture. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1987;28(1):34-49.
81. Lingelbach B, Jendrusch G. Contrast enhancing filters in ski sports. *J ASTM Int*. 2005;2(1). doi:10.1520/JAI11972

Anexos

Anexo 1 - Consentimento Informado, Livre e Esclarecido para participação em investigação

Por favor, leia com atenção a seguinte informação. Se achar que algo está incorreto ou que não está claro, não hesite em solicitar mais informações. Se concorda com a proposta que lhe foi feita, queira assinar este documento.

a) Título do estudo.

Efeito do diâmetro pupilar nos parâmetros acomodativos oculares

Enquadramento:

O estudo será realizado no âmbito de uma tese de mestrado em desenvolvimento no Centro de Física da Universidade do Minho sob a orientação da Doutora Sandra Franco.

Explicação do estudo:

A pupila para além de controlar a quantidade de luz que atravessa o olho humano tem também um papel responsável na focagem das imagens dos objetos. É conhecido que, na posição primária do olhar a pupila se encontra mais dilatada e contrai ao fixar um objeto mais perto, este dinamismo permite criar uma relação entre a acomodação ocular e o diâmetro pupilar.

Para este estudo irá fazer-se uma consulta completa e, posteriormente, irá proceder-se à medição de parâmetros acomodativos com diferentes tamanhos de pupila, e desta forma, perceber em termos quantitativos qual é o verdadeiro efeito desta variação na acomodação ocular.

Descrição dos exames a realizar:

Preenchimento de um questionário sobre a existência de sintomatologia associada a realização de tarefas visuais.

Acuidade Visual. Será avaliada a visão em termos quantitativos através da identificação de letras de diferentes tamanhos, projetadas num ecrã.

Avaliação do erro refrativo. Esta avaliação será realizada com um retinoscópio que projeta luz no olho e que, através do comportamento desta ao ser refletida pela retina, permite determinar as lentes que compensam a existência de um erro refrativo. Após este exame será realizado serão avaliadas as respostas dadas pelo participante a um conjunto de lentes oftálmicas colocadas à frente dos olhos recorrendo a um foróptero (instrumento com várias lentes) ou armação de prova.

Avaliação da resposta acomodativa. Este procedimento é semelhante ao realizado anteriormente mas agora o participante está a fixar um conjunto de letras colocadas a 40/50 cm.

Avaliação da visão binocular. Nesta fase serão realizados uma série de procedimentos para avaliar o alinhamento dos eixos visuais. Para isso serão usados prismas (lentes) do foróptero ou armação de prova. Durante a realização do teste é normal o participante ver duas imagens devido à colocação dos prismas e que desaparece após estes serem retirados.

Avaliação dos parâmetros acomodativos. Durante a realização desta fase do exame visual, serão avaliadas e registadas as respostas à colocação de lentes esféricas negativas e positivas à visualização de letras colocadas a 40/ 50 cm. Será normal durante a realização destes testes a visão desfocada das mesmas. Esta avaliação será feita algumas vezes para avaliar diferentes parâmetros acomodativo.

Numa segunda fase do estudo, os exames acomodativos serão medidos com a utilização de pupilas artificiais de diferentes diâmetros.

Condições e financiamento:

A participação será de carácter voluntário podendo desistir a qualquer momento, sem que essa decisão tenha qualquer tipo de consequência.

Não haverá qualquer pagamento de deslocações ou outras contrapartidas financeiras.

Confidencialidade e anonimato: ...

Será garantida a confidencialidade e uso exclusivo dos dados recolhidos para o presente estudo. A identificação dos participantes nunca será tornada pública;

Assinatura/s:

.....

Declaro ter lido e compreendido este documento, bem como as informações verbais que me foram fornecidas pela/s pessoa/s que acima assina/m./ Foi-me garantida a possibilidade de, em qualquer altura, recusar participar neste estudo sem qualquer tipo de consequências. Desta forma, aceito participar neste estudo e permito a utilização dos dados que de forma voluntária forneço, confiando em que apenas serão utilizados para esta investigação e nas garantias de confidencialidade e anonimato que me são dadas pelo/a investigador/a.

Declaro ainda que aceito ser contactado por email para agendar as medidas da segunda fase do estudo.

Nome: email:

Assinatura: Data: / /

**ESTE DOCUMENTO É COMPOSTO POR 2 PÁGINAS E FEITO EM DUPLICADO: UMA VIA PARA O/A INVESTIGADOR/A,
OUTRA PARA A PESSOA QUE CONSENTE**

Anexo 2 - Tabela de aleatorização da ordem de teste das cores.

Nº do sujeito/Ordem da cor	1ª	2ª	3ª
1	Vermelho	Verde	Azul
2	Azul	Verde	Vermelho
3	Verde	Vermelho	Azul
4	Verde	Azul	Vermelho
5	Verde	Azul	Vermelho
6	Verde	Azul	Vermelho
7	Verde	Vermelho	Azul
8	Vermelho	Verde	Azul
9	Vermelho	Azul	Verde
10	Verde	Vermelho	Azul
11	Azul	Vermelho	Verde
12	Verde	Vermelho	Azul
13	Verde	Vermelho	Azul
14	Vermelho	Azul	Verde
15	Vermelho	Verde	Azul
16	Vermelho	Verde	Azul
17	Verde	Azul	Vermelho
18	Verde	Vermelho	Azul
19	Verde	Vermelho	Azul
20	Azul	Verde	Vermelho

Anexo 3 - Folha de registo.

Folha de Registo



N.º _____

Idade: _____

Refracção habitual

OD esf _____ cil _____ x _____
OE esf _____ cil _____ x _____

Exames Preliminares

AV VL OD _____ OE _____ AO _____
VP OD _____ OE _____ AO _____

Cover test _____

PPC: _____ / _____

Visão das Cores: _____

Exames Refrativos

Retinoscopia OD _____ OE _____

Exame Subjetivo OD esf _____ cil _____ x _____ AV-
OE esf _____ cil _____ x _____ AV-

Exames Visão Binocular e acomodação

Forias VL _____

Reservas	BT	BN	BS	BI
VL				

Foria VP _____

Reservas	BT	BN	BS	BI
VP				

ARN _____ ARP _____

Amplitude de acomodação OD _____ OE _____

MEM OD _____ OE _____

Flexibilidade acomodativa VL OD _____ OE _____ AO _____

VP OD _____ OE _____ AO _____