

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Influência dos filtros à luz azul nos parâmetros acomodativos

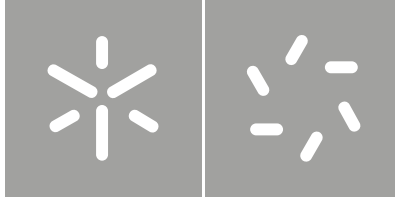
Filipa Margarida Barbosa Gomes

**Influência dos filtros à luz azul nos
parâmetros acomodativos**

UMinho | 2022

Filipa Margarida Barbosa Gomes

Outubro 2022



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Filipa Margarida Barbosa Gomes

**Influência dos filtros à luz azul nos
parâmetros acomodativos**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Optometria Avançada

Trabalho efetuado sob a orientação de
Doutora Sandra Maria de Braga Franco

Outubro 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações CC BY-NC-ND

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

Ao Manuel Lima Gomes...

... pela saudade do sorriso e do olhar.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, aos meus irmãos e à minha família, que me apoiam incondicionalmente em todas as fases da minha vida, pelo suporte que me deram ao longo desta jornada e pela compreensão que tiveram nos dias em que o cansaço se começava a sentir.

Ao meu avô Manuel, que, mesmo já não estando entre nós, sempre acreditou em mim, no meu potencial, e cuja memória nunca me deixou desistir.

Ao meu afilhado, Lisandro, que ainda bebé e sem ter a mínima noção, me ajudou a distrair e desanuviar das situações de maior ansiedade com as suas brincadeiras inocentes.

À minha orientadora, Professora Doutora Sandra Franco, profissional e perspicaz, com uma grande capacidade de observação e com um sentido crítico e sincero, que foi preciso no desenvolvimento deste projeto. A sua ajuda, os seus conselhos, o seu conhecimento e a sua paciência foram fulcrais.

A todos os observadores que participaram voluntariamente nesta experiência pela ajuda e compreensão. Sem vocês nada disto seria possível.

Aos meus amigos universitários, pelos melhores anos da minha vida, com um especial agradecimento àqueles que me acompanharam nesta jornada: Ana, Andreia, Daniel, Diana, Liliana, Margarida, Rita e Sara.

À minha colega Ana Amorim pela ajuda imprescindível na organização deste projeto e pela partilha de conhecimentos.

Porque também merece, um agradecimento ao meu melhor amigo, o Oli, um mini rafeiro que esteve ao meu lado nos momentos mais aborrecidos, distraíndo-me com as suas brincadeiras e com o seu amor incondicional.

O meu maior e mais sincero obrigada!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

Influência dos filtros à luz azul nos parâmetros acomodativos

Resumo

A excessiva utilização de dispositivos digitais, incorporados com emissores de luz diodo (LED), é cada vez mais evidente na vida quotidiana para inúmeras tarefas, maioritariamente em visão próxima. Devido à elevada exposição à luz azul do espectro visível, emitida por estes aparelhos, foram desenvolvidos filtros para proteção à luz azul. Considerando a variedade de filtros à luz azul incorporados em lentes oftálmicas, é relevante perceber de que forma se relacionam com a acomodação.

O principal objetivo deste estudo foi avaliar a influência dos filtros à luz azul nos parâmetros acomodativos em sujeitos com acomodação normal.

Dezassete sujeitos saudáveis, com idades compreendidas entre os 19 e 29 anos ($22,65 \pm 2,71$ anos), realizaram uma tarefa em visão de perto (VP) durante vinte minutos num computador portátil, colocado a 40 cm de distância, enquanto utilizavam três tipos de lentes oftálmicas diferentes, um par de lentes de controlo (lente 2) e dois pares de lentes com filtros à luz azul diferentes (lente 1 e 3). Tanto antes como depois da tarefa de VP foi medida a amplitude de acomodação (AmAc), o atraso acomodativo (AA) e a flexibilidade acomodativa em VP (FA).

Os resultados obtidos mostraram que a amplitude de acomodação não sofreu diferenças estatisticamente significativas com a lente 1 ($p = 0,15$), com a lente 2 ($p = 0,17$) e com a lente 3 ($p = 0,13$) no decorrer da tarefa de VP. O atraso acomodativo aumentou com a utilização das três lentes de estudo, no entanto esta variação só foi estatisticamente significativa para a lente 2 ($p = 0,05$). A flexibilidade acomodativa não variou de forma estatisticamente significativa com a lente 1 ($p = 0,42$), lente 2 ($p = 0,72$) e lente 3 ($p = 0,30$), na realização da tarefa de VP.

Concluiu-se que a amplitude de acomodação e a flexibilidade acomodativa não foram influenciadas pelas três lentes testadas neste estudo. Para além disso, o atraso acomodativo aumentou significativamente com a lente de controlo, concluindo-se que os dois tipos de filtros à luz azul avaliados não influenciaram este parâmetro acomodativo. Em suma, o resultado principal deste estudo sugere que os diferentes filtros à luz azul incorporados em lentes oftálmicas não têm influência nos parâmetros acomodativos em sujeitos com acomodação normal.

Palavras-chave: Acomodação; Astenopia; Filtros à luz azul; Lentes oftálmicas; Luz azul.

Influence of blue light filters on accommodative parameters

Abstract

The excessive use of digital devices, incorporated with light emitting diodes (LED), is increasingly evident in everyday life for the numerous tasks, mostly in near vision. Due to the high exposure to blue light of the visible spectrum emitted by these devices, blue light filters have been developed. Considering the variety of blue light filters incorporated in ophthalmic lenses, it is relevant to understand how they are related to accommodation.

The aim of this study was to evaluate the influence of blue light filters on accommodative parameters in subjects with normal accommodation.

Seventeen healthy subjects, aged between 19 and 29 years (22.65 ± 2.714 years), performed a task in near vision (NV) for twenty minutes on a laptop computer, placed 40 cm away, while using three types of different ophthalmic lenses, a pair of control lenses (lens 2) and two pairs of lenses with different blue light filters (lens 1 and 3). Both before and after the NV task, amplitude of accommodation (AmAc), lag of accommodation (AA) and accommodative facility in near vision (FA) were measured.

The results obtained showed that the amplitude of accommodation did not suffer statistically significant differences with lens 1 ($p = 0,15$), lens 2 ($p = 0,17$) and lens 3 ($p = 0,13$) in the during NV task. The lag of accommodation increased with use of the three study lenses, however this variation was only statistically significant for lens 2 ($p = 0,05$). Accommodative facility did not vary statistically significantly with lens 1 ($p = 0,42$), lens 2 ($p = 0,72$) and lens 3 ($p = 0,30$) in performing the NV task.

It was concluded that the amplitude of accommodation and the accommodative facility were not influenced by the three lenses tested in this study. Moreover, the lag of accommodation increased significantly with the control lens, concluding that the two types of blue light filters evaluated do not influence this accommodative parameter. In summary, the main result of this study suggests that the different blue light blocking filters incorporated in ophthalmic lenses have no influence on accommodative parameters in subjects with normal accommodation.

Keywords: Accommodation; Asthenopia; Blue light; Blue light filters; Ophthalmic lenses.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Índice.....	viii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Abreviaturas, Acrónimos e Símbolos	xiv
Capítulo 1 - Introdução.....	1
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica	3
2.1. Acomodação ocular	3
2.1.1. Componentes da acomodação	4
2.1.2. Fatores de influência na acomodação.....	5
2.2. Exames de avaliação da acomodação.....	11
2.2.1. Amplitude de acomodação.....	12
2.2.2. Atraso acomodativo	13
2.2.3. Flexibilidade acomodativa	14
2.2.4. Intervalo de valores normais dos parâmetros de acomodação.....	15
2.3. Radiação ótica	16
2.3.1. Luz e as estruturas oculares	17
2.4. Luz azul e o sistema visual	18
2.4.1. Luz azul e as estruturas óticas	19
2.4.2. Luz azul e os processos fisiológicos.....	22
2.5. Filtros à luz azul.....	26
2.5.1. Lentes oftálmicas.....	26

2.5.2.	Lentes intraoculares.....	26
2.5.3.	Monitores de dispositivos digitais	27
2.5.4.	Efeito dos filtros à luz azul no sistema visual e vida quotidiana.....	27
Capítulo 3 -	Hipóteses e Objetivos.....	29
3.1.	Formulação do problema.....	29
3.2.	Hipóteses.....	29
3.3.	Objetivos	29
Capítulo 4 -	Material e Métodos	30
4.1.	Tipo de estudo.....	30
4.2.	População estudada.....	30
4.2.1.	Critérios de inclusão	31
4.2.2.	Critérios de exclusão.....	31
4.3.	Procedimento experimental	31
4.3.1.	Consentimento Informado.....	31
4.3.2.	Exame optométrico inicial	32
4.3.3.	Lentes utilizadas no estudo	33
4.3.4.	Espetros de transmitância das lentes de estudo	34
4.3.5.	Distribuição das lentes.....	36
4.3.6.	Fase experimental.....	37
4.4.	Cálculo do tamanho da amostra	37
4.5.	Análise estatística	38
Capítulo 5 -	Resultados	40
5.1.	Variação dos parâmetros acomodativos.....	41
Capítulo 6 -	Discussão dos resultados	46
Capítulo 7 -	Conclusões e trabalho futuro	50
Bibliografia	51	

Anexos 58

Índice de Figuras

Figura 2.1. Mecanismo de acomodação. Representação do cristalino em estado não acomodado e em estado acomodado, respetivamente. Adaptado de Goldeberg D. (2011). ⁹	4
Figura 2.2. Fatores de influência na acomodação. Adaptado de Ciuffreda, K. (2006). ⁵	6
Figura 2.3. Variação da amplitude de acomodação, máxima, média e mínima, com a idade e respetivas fórmulas de <i>Hofstetter</i> . Adaptado de Ciuffreda, K. (2006). ⁵	7
Figura 2.4. <i>Flippers</i> com lentes de $\pm 2,00$ D para visão de perto.	15
Figura 2.5. Espectro eletromagnético com relevância para a visão. Adaptado de Youssef <i>et al.</i> (2011). ³⁸	16
Figura 2.6. Estruturas do olho humano. Adaptado de Bullough J. (2000). ⁴²	17
Figura 2.7. Espectro da luz visível, com representação da zona de emissão da luz azul. Adaptado de Dalal <i>et al.</i> (2020) ²	19
Figura 2.8. Constituição celular da retina. Adaptado de Wahl S. <i>et al.</i> (2019) ⁵¹	21
Figura 2.9. Processo de transdução do sinal circadiano, desde a ativação das células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis pela luz até à supressão da produção de melatonina na glândula pineal. Adaptada de Ostrin L. (2018). ⁵⁵	24
Figura 2.10. Níveis fisiológicos de melatonina durante um dia (24 horas). Adaptada de Wahl S. <i>et al.</i> (2019) ⁵¹	24
Figura 4.1. Retinoscópio com optotipo específico de VP para realização da retinoscopia de MEM.	33
Figura 4.2. Espectro de transmitância das três lentes utilizadas no estudo para um comprimento de onda de 250 nm a 700 nm.....	34
Figura 4.3. Espectro de transmitância das três lentes utilizadas no estudo para um comprimento de onda de 315 nm a 550 nm.....	35
Figura 4.4. Comparação do espectro das lentes com o filtro à luz azul incorporado para um comprimento de onda de 350 nm a 480 nm.	36

Figura 4.5. Óculos de estudo.	36
Figura 5.1. Distribuição dos sujeitos por género.	40
Figura 5.2. Distribuição dos sujeitos por idades.	40
Figura 5.3. Comparação do valor médio da amplitude de acomodação sem lente e com cada uma das lentes de estudo. Sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).	42
Figura 5.4. Comparação do valor médio do atraso acomodativo sem lente e com cada uma das lentes de estudo. Sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).	42
Figura 5.5. Comparação do valor médio da flexibilidade acomodativa sem lente e com cada uma das lentes de estudo. Sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$). * Valor da diferença das três lentes, quando comparadas entre si.	43

Índice de Tabelas

Tabela 2.1. Parâmetros da acomodação e respectivos exemplos de exames de medida.	12
Tabela 2.2. Características do método de <i>Sheard</i> para medição da amplitude de acomodação ⁵	13
Tabela 2.3. Definição e caracterização da retinoscopia de MEM.	14
Tabela 2.4. Intervalo de valores normais dos exames de medição da acomodação. ⁶	15
Tabela 4.1. Lentes utilizadas no estudo.....	33
Tabela 5.1. Valores mínimos (Min.), máximos (Max.), médios (μ) e de desvio padrão (σ) do equivalente esférico e dos parâmetros acomodativos obtidos no exame optométrico inicial.	40
Tabela 5.2. Valores médios e de desvio-padrão dos parâmetros acomodativos para os três tipos de lentes, antes da tarefa de VP.....	44
Tabela 5.3. Valores médios e de desvio-padrão dos parâmetros acomodativos para os três tipos de lentes, depois da tarefa de VP.....	44
Tabela 5.4. Valores médios e desvio-padrão da diferença dos parâmetros acomodativos para os três tipos de lentes (depois – antes da tarefa de VP). * Valor estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$).	45

Abreviaturas, Acrónimos e Símbolos

%: Percentagem

< : Inferior

= : Igual

> : Superior

≤ : Inferior ou igual

A2E: Bis-retinoide N-retinil-N-retinilideno etanolamina

AA: Atraso acomodativo

AC/A: Relação convergência acomodativa/ acomodação

AmAc: Amplitude de acomodação

AV: Acuidade Visual

AVcc: Acuidade Visual com a melhor correção

C/deg: Ciclo por grau de ângulo visual

CEICVS: Comissão de Ética para a Investigação em Ciências da Vida e Saúde

CGR: Células ganglionares da retina

cm: Centímetros

cpm: Ciclo por minuto

D/Δ: Dioptrias prismáticas

D: Dioptria

DNA: Ácido desoxirribonucleico

EPR: Epitélio pigmentar da retina

FA: Flexibilidade Acomodativa

ipCGR: Células ganglionares retinianas intrinsecamente fotossensíveis

IV: Radiação infravermelha

IVA: Radiação infravermelha tipo A

IVB: Radiação infravermelha tipo B

IVC: Radiação infravermelha tipo C

LED: Emissores de luz diodo

LIOs: Lentes intraoculares

Lx: Unidade de medida da iluminância

MEM: Método de estimulação monocular

mm: Milímetros

mRNA: ácido ribonucleico mensageiro

nm: nanometros

NPV: Núcleo Paraventricular

OD: Olho direito

OE: Olho esquerdo

PPC: Ponto próximo de convergência

SNC: Núcleo Supraquiasmático

SOD1: superóxido dismutase

UV: radiação ultravioleta

UVA: radiação ultravioleta tipo A

UVB: radiação ultravioleta tipo B

UVC: radiação ultravioleta tipo C

VDTs: Terminais de exibição de vídeo

VL: Visão de longe

VP: Visão de perto

Capítulo 1 - Introdução

Atualmente vivemos numa sociedade onde os dispositivos digitais estão cada vez mais presentes na vida cotidiana, sendo imprescindíveis para a realização de inúmeras tarefas, maioritariamente em visão próxima. Muitos destes dispositivos mais recentes têm incorporados emissores de luz diodo (LED) que emitem níveis de radiação nos comprimentos de onda correspondentes à luz azul, que podem provocar danos nos tecidos oculares, especialmente na retina ¹, e comprometer a longo prazo a saúde geral ocular. ² Tendo em conta esta maior exposição a este tipo de radiação e às suas possíveis consequências, têm vindo a ser desenvolvidos diferentes tipos de filtros a esta radiação, conhecidos como filtros à luz azul.

A quantidade de tempo que passamos a curtas distâncias em relação aos aparelhos digitais e a quantidade de luz azul a que somos expostos desperta uma grande preocupação relativamente ao comprometimento do sistema acomodativo. Estudos têm abordado o possível efeito que a luz azul emitida pelos dispositivos digitais tem na acomodação ^{3,4}, no entanto há pouca informação na literatura científica que relacione a acomodação com a proteção exercida pelos filtros à luz azul.

O principal objetivo deste estudo consiste em avaliar a influência dos filtros à luz azul nos parâmetros acomodativos em sujeitos com acomodação normal.

Este trabalho está organizado em sete capítulos. O segundo capítulo é constituído pela revisão bibliográfica que aborda conceitos sobre a acomodação, nomeadamente o mecanismo de acomodação, as suas componentes, os fatores que a influenciam e os exames de avaliação acomodativa. Aborda, também, a luz, a luz azul e os seus fatores de influência ocular, e por último os tipos de filtros à luz azul que existem e o seu impacto a nível ocular.

O terceiro capítulo apresenta a formulação do problema, as hipóteses e os objetivos deste estudo.

O quarto capítulo fornece informações sobre o material e a metodologia utilizados para obter a caracterização da amostra e os dados dos parâmetros acomodativos.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos e a respetiva análise estatística.

No sexto capítulo faz-se a discussão e análise dos resultados obtidos complementada com informação de estudos científicos.

O sétimo capítulo apresenta as conclusões obtidas neste estudo e os tópicos a serem desenvolvidos num futuro trabalho.

No final está discriminada a bibliografia utilizada para a realização deste trabalho de investigação e em anexo informação relevante para o desenvolvimento e aprovação deste estudo.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Ao longo deste capítulo são abordados temas importantes e essenciais para este estudo. Inicia-se com a abordagem à acomodação ocular seguindo-se uma breve caracterização do espectro eletromagnético, com especial atenção à radiação visível. Os tópicos finais são referentes à luz azul e aos filtros existentes para este tipo de radiação e ao seu impacto no sistema visual.

Para além das referências citadas ao longo do texto, para este capítulo também foi consultado o capítulo 4⁵ e o capítulo 21⁶ do livro *Borish's Clinical Refraction*.

2.1. Acomodação ocular

A acomodação é o processo pelo qual ocorrem alterações na potência dióptrica do cristalino em função de diferentes distâncias de um objeto, de maneira a manter uma imagem nítida na retina.^{5,7}

O mecanismo de acomodação (Figura 2.1) depende de diversas estruturas oculares, das quais o cristalino, o corpo ciliar, as fibras zonulares, anteriores e posteriores, e a coroide são as mais importantes.

⁸

Ao longo dos anos foram apresentadas e corroboradas várias teorias que descrevem o processo e mecanismo de acomodação. De entre os vários investigadores, destacam-se Cramer (1853), Tscherning (1895) e mais recentemente Fincham (1937), Fisher (1982) e Schachar (1996). Apesar de todas as teorias desenvolvidas, o mecanismo de acomodação descrito por Helmholtz (1855) continua a ser o mais aceite.

Segundo a teoria de Helmholtz, quando o olho está no estado não acomodado, o músculo ciliar e as fibras zonulares posteriores encontram-se relaxadas enquanto é exercida uma tensão sobre as fibras zonulares anteriores. Esta tensão leva à diminuição da espessura e curvatura das superfícies do cristalino, com conseqüente diminuição da potência dióptrica, e ao aumento no seu diâmetro. O cristalino fica no estado não acomodado.

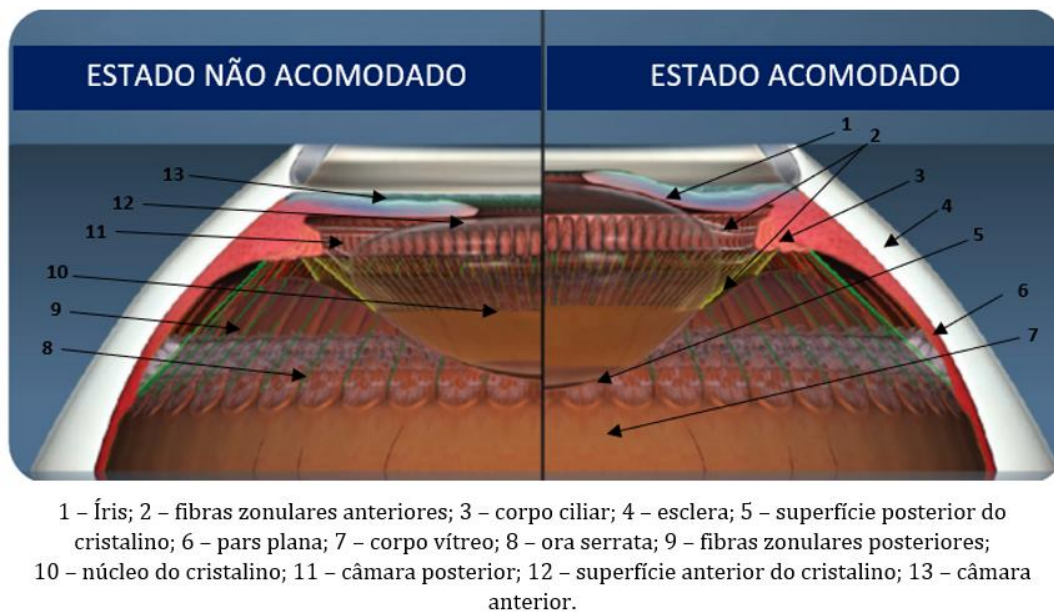


Figura 2.1. Mecanismo de acomodação. Representação do cristalino em estado não acomodado e em estado acomodado, respectivamente. Adaptado de Goldeberg D. (2011).⁹

Quando há um estímulo ocular de visão próxima, dá-se a contração do músculo ciliar. O corpo ciliar avança anteriormente e, simultaneamente, as fibras zonulares posteriores, interligadas com a membrana vítrea hialoide e a cápsula posterior do cristalino, esticam. Este processo faz com que haja um aumento na curvatura das cápsulas, anterior e posterior, do cristalino que resulta no aumento da sua potência dióptrica, ficando mais esférico. O cristalino fica em estado acomodado.

2.1.1. Componentes da acomodação

Health (1956)¹⁰ classificou a acomodação em quatro componentes específicas: acomodação reflexa, acomodação por convergência, acomodação proximal e acomodação tônica.⁵

2.1.1.1. Acomodação reflexa

A acomodação reflexa é definida como a adaptação automática do poder refrativo para que seja possível obter uma imagem focada e nítida na retina em resposta a uma imagem desfocada e de baixo contraste. Os recetores envolvidos na sua ativação são os cones, na zona foveal¹¹ e ocorre quando há uma desfocagem de aproximadamente 2,00 D.

É a maior e mais importante componente acomodativa, tanto em condições monoculares como binoculares.

2.1.1.2. Acomodação por convergência

A acomodação por convergência representa a quantidade de acomodação que sofre estimulação ou relaxamento pelo efeito da convergência. É induzida pela ligação neurológica entre a acomodação e a ação da convergência para manter uma imagem nítida. Esta combinação dá origem à relação convergência acomodativa/ acomodação (AC/A) sendo aproximadamente de 0,40 D/ Δ em jovens adultos.

Representa a segunda maior componente acomodativa.

2.1.1.3. Acomodação proximal

A acomodação proximal dá-se pela percepção de proximidade de um objeto. É estimulada por objetos localizados a uma distância inferior a três metros, influenciando o sistema acomodativo e de vergência, simultaneamente. Em ambientes abertos, atinge cerca de 80% da resposta proximal. Em condições normais de binocularidade e em ambientes fechados, esta resposta desce para 4%, podendo atingir o máximo de 10%.

É a terceira componente mais importante do sistema acomodativo.

2.1.1.4. Acomodação tónica

Este tipo de acomodação revela-se mesmo na ausência de uma imagem desfocada, disparidade ou qualquer estímulo de proximidade, refletindo a inervação do músculo ciliar. O valor médio da acomodação tónica em jovens adultos é de aproximadamente 1,00 D, podendo variar entre 2,00 D a 3,00 D, em condições de iluminação reduzida e para uma distância de fixação superior a três metros.

É independente de qualquer uma das outras três componentes.

2.1.2. Fatores de influência na acomodação

A acomodação ocular pode ser influenciada por alguns fatores que impliquem desfoque na imagem retiniana.^{5,12}

Os fatores mais importantes encontram-se discriminados na Figura 2.2. Podem ser categorizados segundo o estímulo, as pistas (ópticas e perceptuais) e as influências (relacionadas ou não com a imagem retiniana) na acomodação.

O estímulo principal para a acomodação é efetivamente o desfocado, já que, quando é detetado um padrão de desfoque, o olho humano responde de maneira a produzir uma imagem nítida na retina.

As pistas para a acomodação, que podem ser óticas e/ou percetuais, fornecem a informação direcional necessária em relação ao padrão de desfoque. Se esta informação direcional for removida, o sistema acomodativo responde de forma aleatória.

Depois, existem fatores de influência relacionados com a imagem retiniana e não relacionados com a mesma na acomodação. Em todos os casos de influência retiniana, com degradação suficiente da imagem na retina, a resposta acomodativa aproxima-se do nível tónico.

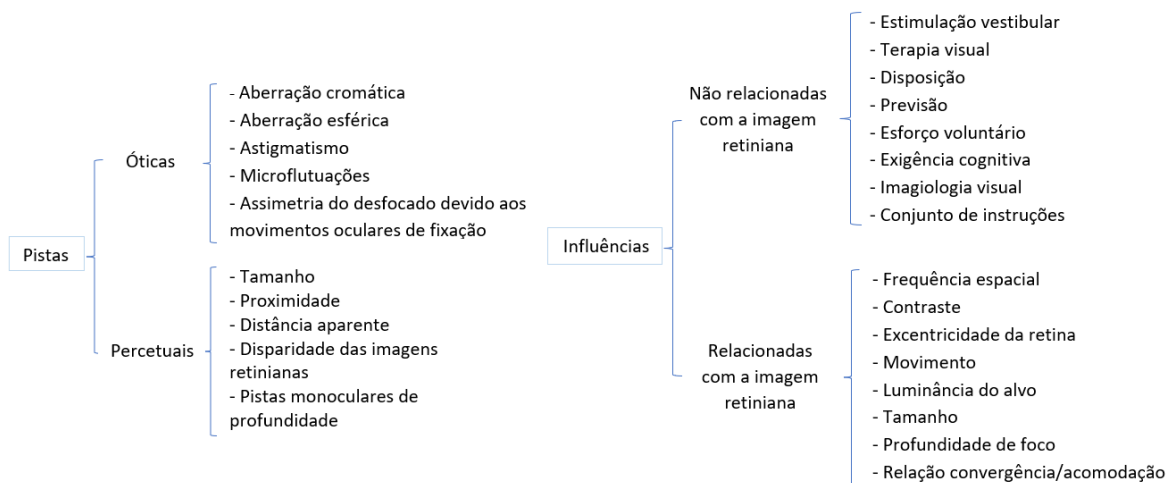


Figura 2.2. Fatores de influência na acomodação. Adaptado de Ciuffreda, K. (2006).⁵

Para além dos mencionados, fatores como a idade, o erro refrativo, o tamanho pupilar e as exigências na realização de tarefas em VP com dispositivos digitais podem provocar alterações na acomodação.

2.1.2.1. Idade

Foram propostas várias abordagens experimentais diferentes para obter mais conhecimento sobre as alterações provocadas pela idade nos elementos que constituem o mecanismo de acomodação.⁸

Com a idade, o cristalino sofre alterações na espessura, que aumenta, e na elasticidade, que diminui¹³, e dá-se uma redução da amplitude de acomodação, que tende a estar no seu limite por volta dos 60 anos.¹⁴ Comprovou-se, ainda, que a redução da amplitude de acomodação é provocada por alterações nas propriedades viscoelásticas do cristalino.⁸

O musculo ciliar tende a perder poder de contração. Isto implica pequenas mudanças na potência dióptrica do cristalino e conseqüentemente uma diminuição da amplitude de acomodação ¹⁵ (Figura 2.3). Adicionalmente, a elasticidade da esclera e da coroide tende a diminuir com a idade, sendo mais um dos fatores que levam à perda de acomodação. ¹⁶

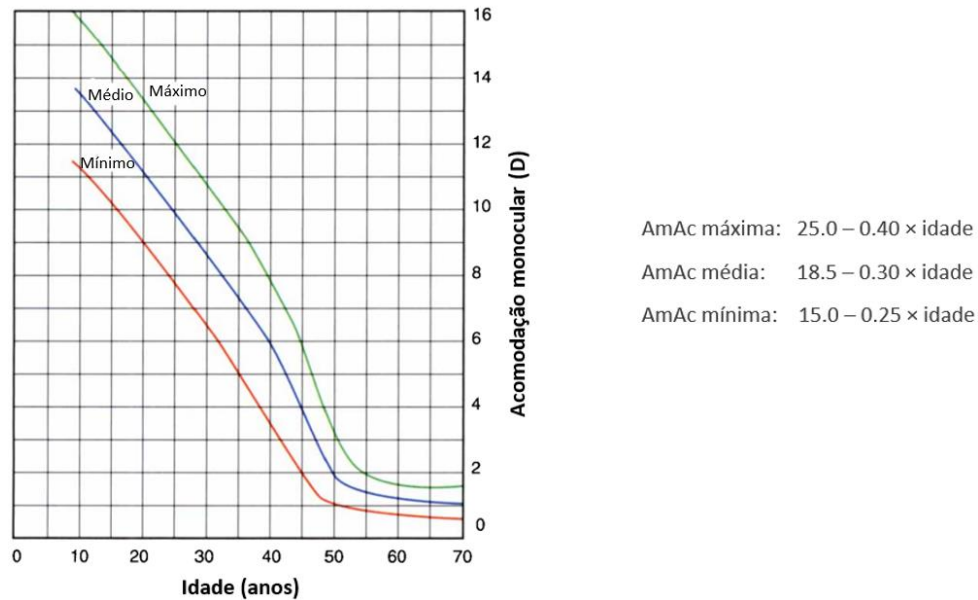


Figura 2.3. Variação da amplitude de acomodação, máxima, média e mínima, com a idade e respectivas fórmulas de *Hofstetter*. Adaptado de Ciuffreda, K. (2006). ⁵

Estima-se que por volta dos 10 anos de idade a amplitude de acomodação média ronde as 13,50 D e que a partir dos 52 anos se vá aproximando das 0 D, sendo que desde os 5 aos 52 anos de idade há uma redução de 0,30 D/ano. ⁵

Posto isto, para além de haver uma diminuição da amplitude de acomodação máxima com a idade, a própria acomodação fica comprometida. ⁸

2.1.2.2. Erro refrativo

Na ausência de um estímulo apropriado, a acomodação assume uma condição de foco fixo intermédio designado por “foco escuro” da acomodação. Mostrou-se que pode ser responsável pela ocorrência de uma miopia anormal, incluindo miopia noturna, miopia espacial e miopia instrumental. ⁷

O “foco escuro” da acomodação é maior em hipermetropes compensados e menor nos míopes compensados. ⁷

Os míopes de início tardio têm uma maior amplitude de acomodação do que os míopes de início precoce, emetropes e hipermetropes, respectivamente. ^{7,17}

Por outro lado, o erro refrativo positivo pode ser um fator de risco para o desenvolvimento da presbiopia. ⁵ A exigência acomodativa a nível corneal nos hipermetropes é maior do que nos míopes, quando compensados, para o mesmo estímulo acomodativo e para o grau de ametropia espectral no plano dos óculos. Assim, os hipermetropes compensados com óculos apresentam amplitudes de acomodação aparentemente mais reduzidas quando comparados com míopes compensados. Por esta razão, os hipermetropes têm uma maior tendência para uma presbiopia precoce relativamente aos míopes e/ou emetropes. ⁵

2.1.2.3. Frequência espacial

A resposta acomodativa varia com a frequência espacial. ¹⁸

Na relação entre a frequência espacial e os estímulos acomodativos foram desenvolvidas duas hipóteses ^a : (1) controle de foco fino; (2) controle de contraste.

Relativamente à teoria do controle de foco fino, a profundidade de foco vai diminuindo com o aumento da frequência espacial. Desta forma, as frequências espaciais mais altas fazem com que a curva estímulo/resposta da acomodação se torne mais precisa. Quando o olho é apresentado a um novo alvo e este está desfocado, as baixas frequências espaciais dão orientação para a direção de desfocagem. Como o olho acomoda e converge em direção ao alvo, as frequências espaciais mais altas atuam, levando o sistema acomodativo a dar uma resposta apropriada. Assim, a hipótese do controle de foco fino pode refletir o comportamento do sistema de acomodação quando um componente voluntário adicional está presente. ¹⁹ Para além disso, à medida que a luminância é reduzida, de níveis fotópicos para escotópicos, a amplitude de acomodação diminui. Isto pode dever-se à incapacidade de o sistema visual usar a informação das altas frequências espaciais nestas condições. ²⁰

A hipótese de controle de contraste sugere que frequências espaciais mais altas não são bons estímulos acomodativos, já que o sistema visual é mais sensível a mudanças no contraste para frequências espaciais que rondam o pico da função de sensibilidade ao contraste (aproximadamente 3c/deg). ²¹

^a Carpernter R, Robson J. Vision Research: A Practical Guide to Laboratory Methods. Oxford University Press.1998 ¹⁹. Citado por Warp P (1987) ²²

2.1.2.4. Contraste

O efeito do contraste na resposta acomodativa assumiu particular relevância com o aumento do uso de unidades de visualização de dados, onde o contraste de um alvo é frequentemente degradado por limitações na focagem do feixe, entre outros fatores. ²²

À medida que o contraste diminui, a resposta acomodativa média pode ser, no máximo, de 2,50 D, especialmente para baixas frequências espaciais e a acomodação sem resposta a um estímulo permanece praticamente constante. ²³ O atraso acomodativo aumenta para baixas frequências espaciais e diminui para altas frequências. ²³⁻²⁵

Quando os contornos e o contraste de um alvo são danificados, a resposta acomodativa diminui para perto e aumenta para longe. Além disso, a desfocagem do alvo reduz os gradientes de contraste na retina e conseqüentemente reduz o estímulo da acomodação reflexa. ²⁵

2.1.2.5. Tamanho pupilar e profundidade de foco

O sistema de acomodação depende de informações na imagem retiniana para produzir uma resposta adequada. Dois dos fatores mais importantes na ativação da acomodação e formação da imagem na retina são o tamanho pupilar e a profundidade de foco. ²²

A pupila desempenha três funções primárias e cada uma delas afeta a qualidade da imagem na retina. Controla o fluxo de luz que entra no olho, modifica a profundidade de foco e varia a extensão das aberrações óticas. ⁵

A profundidade de foco ocular pode ser descrita como o nível de desfocagem da imagem retiniana que pode ocorrer e não ser percebida. ²² É inversamente proporcional à acuidade visual e ao tamanho da pupila (com menos de 4 mm). ^b Pupilas com diâmetro superior a 3 mm não afetam a alteração da profundidade de foco. ²²

A redução do tamanho pupilar induz um aumento, tanto do excesso como do atraso acomodativo, aplanando a curva de resposta acomodativa. ²⁶ Para pupilas de 1mm, uma alteração de 2,00 D na convergência acomodativa seria suficiente para servir de próprio estímulo acomodativo. ²⁷

^a Tucker J, Charman WN. The depth of focus of the human eye for Snellen targets. Am J Optom Physiol Opt 1957; 52:3-21. Citado por Warp P (1987) ²²

2.1.2.6. Aberração ótica ocular

Foram desenvolvidos vários estudos que relacionam os aspectos clássicos das aberrações óticas oculares e os seus efeitos na acomodação. ⁵

A aberração cromática axial refere-se à variação do foco com comprimentos de onda, que resulta da diminuição do índice de refração do sistema ótico com o aumento do comprimento de onda. Observou-se que a precisão da resposta acomodativa, em estado de repouso, à luz branca não foi influenciada pela aberração cromática, no entanto a resposta da acomodação dinâmica parece ter sido ligeiramente melhorada com a adição desta informação cromática. ⁵

Foi considerada uma pista efetiva para a acomodação, no entanto, para observadores treinados não parece ser uma pista acomodativa essencial. ²⁸ Isto pode explicar os dados que mostram que o sistema de acomodação não requer aberração cromática como uma sugestão direcional. ²⁹

A aberração longitudinal esférica refere-se à falta de coincidência entre os raios *off-axis* (periféricos, marginais) e os raios *on-axis* (centrais), resultantes da ótica geométrica básica. É considerada a aberração ótica monocromática dominante do olho humano. ⁵

Em vários estudos de acomodação ocular e qualidade de imagem, as pupilas artificiais anulares têm sido usadas como tentativa de “controlar” a aberração esférica, através do isolamento de uma zona relativamente estreita de potência aproximadamente constante. ³⁰

Na luz branca, pensa-se que a aberração cromática desempenha um papel significativo na orientação da resposta acomodativa, produzindo uma assimetria na imagem em ambos os lados do foco. Em função disso, tem sido sugerido que a aberração esférica poderia desempenhar um papel semelhante na luz monocromática. ³⁰

Para examinar o papel das aberrações monocromáticas, Campbell *et al.* (1959) ³¹ consideraram o possível papel da aberração esférica e do astigmatismo na acomodação. Descobriram que os sujeitos eram incapazes de detetar a direção correta da desfocagem com uma pupila anular, enquanto todos tiveram sucesso com uma pupila circular com o mesmo diâmetro externo (4 mm). Sugeriram, assim, que a aberração esférica poderia fornecer uma tática acomodativa útil em algumas circunstâncias. No entanto, apesar de a profundidade de foco com pupilas anulares ser igual às pupilas circulares com a mesma área, pode ser maior se o anel for mais estreito, diminuindo as microflutuações acomodativas. Assim, os erros na resposta acomodativa nos sujeitos com pupilas anulares podem refletir o efeito da maior profundidade de foco e não do efeito da aberração esférica na acomodação. ³⁰

A descoberta de Campbell de que o astigmatismo induzido artificialmente ajuda na acomodação reflexa sugere que ele pode atuar como um sinal de erro. ³¹

2.1.2.7. Tarefas em VP com dispositivos digitais

Com a constante utilização de dispositivos digitais, são reportados vários sintomas. Muitos deles podem estar relacionados com problemas acomodativos e/ou anormalidades em visão de perto. ³²

Existe controvérsia na literatura científica relativamente ao efeito destes dispositivos digitais na acomodação.

Alguns estudos demonstraram uma diminuição do atraso acomodativo ao visualizar dispositivos digitais (colocados a 50 cm) em comparação com a visualização de uma cópia impressa. ^{3,4}

No entanto, também foi demonstrado que o uso de dispositivos digitais não tem influência na acomodação. Collier and Rosenfield (2011) ³² dividiram a amostra em dois grupos, um com sujeitos sintomáticos e outro com sujeitos assintomáticos, que realizaram uma tarefa num computador durante trinta minutos. Verificaram que não houve diferenças na acomodação entre usuários de computadores sintomáticos e assintomáticos e não houve diferenças significativas na acomodação ao longo dos 30 minutos de teste em terminais de exibição de vídeo (VDTs).

A verdade é que, embora a acomodação e a vergência tenham sido citadas como contribuindo para muitos destes sintomas, há relativamente poucos dados objetivos que demonstrem como é que estes parâmetros oculomotores alteram durante o uso de qualquer dispositivo digital. ³²

2.2. Exames de avaliação da acomodação

A visão binocular tem dois sistemas interligados entre si: o acomodativo e o de vergência. É importante que os exames de medição da acomodação sejam realizados de forma monocular para evitar a ação da convergência.

A Tabela 2.1 faz referência aos parâmetros acomodativos e os respetivos exames necessários para efetuar a avaliação da acomodação.

Tabela 2.1. Parâmetros da acomodação e respectivos exemplos de exames de medida.

Parâmetros acomodativos	Exemplos de testes de medida
Amplitude de acomodação	Método de <i>Sheard</i>
Atraso acomodativo	Retinoscopia de MEM
Flexibilidade Acomodativa	<i>Flipper's</i> $\pm 2,00 D$ para VP

2.2.1. Amplitude de acomodação

A amplitude de acomodação (*AmAc*) representa a resposta ao ponto mais próximo que é possível focar (nível máximo de acomodação), produzida com o máximo de esforço voluntário e com a melhor correção para visão de longe. ⁵

A amplitude de acomodação pode ser medida monocular e binocularmente. Monocularmente, o valor deve ser aproximadamente igual nos dois olhos, com diferenças de 0,25 D no máximo. Na forma binocular, os valores podem ser maiores, cerca de 0,50 D, devido ao efeito da convergência.

Os valores considerados normais para a amplitude de acomodação são calculados a partir das fórmulas desenvolvidas por *Hofstetter* (Figura 2.3). ³³

2.2.1.1. Método de Sheard

Dos vários métodos de medição da amplitude de acomodação, o método de *Sheard* é dos mais utilizados devido à sua maior repetibilidade e confiança nas medidas obtidas segundo as características discriminadas na Tabela 2.2.

Neste exame, o optotipo de VP está estático, a uma distância de 40 cm, e são adicionadas lentes negativas em passos de 0,25 D até que o paciente refira já não o conseguir focar de forma constante.

Tabela 2.2. Características do método de *Sheard* para medição da amplitude de acomodação ⁵

Características do método de <i>Sheard</i>
O tamanho da imagem na retina diminui ligeiramente (cerca de 10%).
O tamanho da imagem retiniana aumenta cerca de 3% devido ao mecanismo ótico de acomodação.
O estímulo acomodativo proximal mantém-se constante.
A mudança no optotipo de perto é menos comum.
O tamanho da pupila diminui.
A mudança de estímulo é discreta.

2.2.2. Atraso acomodativo

O atraso acomodativo (AA) é a diferença dióptrica entre o estímulo e a resposta acomodativa ⁶. É útil para verificar o equilíbrio acomodativo entre os dois olhos.

Esta diferença pode ser positiva (atraso acomodativo) ou negativa (adianto/excesso acomodativo). Através do seu valor, é possível obter informação sobre possíveis erros refrativos, anisometropias e/ou deficiências acomodativas e de visão binocular. Também pode ser um indicador de presbiopia.

2.2.2.1. Retinoscopia de MEM

Existem vários métodos, objetivos e subjetivos, para medir a resposta acomodativa.

Objetivamente, os valores são obtidos por meio da retinoscopia dinâmica, recorrendo ao método de estimulação monocular (MEM), retinoscopia de Nott e/ou utilizando um auto-refratômetro de campo aberto (retinoscopia de Cross). Subjetivamente, pode utilizar-se os Cilindros Cruzados Fixos. ³⁴

A retinoscopia estática dá valores mais negativos do que a refração subjetiva (cerca de -1,60 D).

³⁴

A técnica mais utilizada, clinicamente, para a medição da resposta acomodativa é o método de estimulação monocular, conhecida como retinoscopia de MEM (Tabela 2.3).

⁶ Schapero M, Cline D, Hofstetter H. *Dictionary of Visual Science*, 2nd ver ed. Philadelphia: Chilton Book Co., 1968. Citado por ³⁶.

Tabela 2.3. Definição e caracterização da retinoscopia de MEM.

Retinoscopia de MEM	
Procedimento	<p>Consiste na estimativa da resposta acomodativa monocular, em condições binoculares, recorrendo à colocação de lentes esféricas na frente do olho de forma rápida.</p> <p>Todo o processo se realiza a uma distância de 40 cm (correspondendo a um estímulo de 2,50 D) e o optotipo de perto utilizado está colado na cabeça do retinoscópio (Figura 4.1).</p>
Características	<ul style="list-style-type: none"> - Técnica mais rápida e prática. - O valor da lente esférica de neutralização é o resultado do atraso acomodativo. - Fornece um resultado de AA mais positivo. - Ao colocar as lentes esféricas na frente do olho, o paciente não se adapta à sua potência, se a mudança for rápida.

2.2.3. Flexibilidade acomodativa

A flexibilidade acomodativa (FA) define-se como sendo a capacidade de o sistema acomodativo conseguir alterar a sua potência dióptrica de forma rápida em função da distância de focagem, num curto espaço de tempo. ^{35,36}

Clinicamente, é medida usando lentes que estimulam a acomodação (lentes negativas) e lentes que a relaxam (lentes positivas), com uma potência máxima de 2,00 D. As lentes são montadas num suporte denominado *flipper* (Figura 2.4). Pode ser feita de forma monocular, eliminando a influência da convergência, e de forma binocular. Em visão de perto são utilizados flippers com lentes de $\pm 2,00$ D e em visão de longe utiliza-se uma lente neutra e outra de -2,00 D. ³⁵



Figura 2.4. *Flippers* com lentes de $\pm 2,00$ D para visão de perto.

A avaliação da flexibilidade acomodativa para perto é feita com um optotipo colocado a 40 cm do paciente e procede-se com a colocação da lente de + 2,00 D à frente do olho até que a pessoa refira ver as letras nítidas substituindo-se de forma rápida pela lente de - 2,00 D até ficarem nítidas novamente.³⁷ Repete-se este procedimento sucessivo durante 1 minuto e, simultaneamente, conta-se os ciclos que a pessoa faz neste espaço de tempo.

2.2.4. Intervalo de valores normais dos parâmetros de acomodação

Na Tabela 2.4 estão discriminados os intervalos de valores dos exames clínicos de avaliação dos parâmetros acomodativos.

Tabela 2.4. Intervalo de valores normais dos exames de medição da acomodação.⁶

Intervalos de valores normais		
Amplitude de acomodação (método de <i>Sheard</i>)	Atraso acomodativo (retinoscopia de MEM)	Flexibilidade acomodativa monocular em VP (<i>Flippers</i>)
25,0 – 0,40 × idade		
15,0 – 0,25 × idade	[+ 0,25; + 0,75]D	[12; 17]cpm
(Fórmulas da AmAc máxima e mínima de <i>Hofstetter's</i>)		

2.3. Radiação ótica

A luz é a radiação do espectro eletromagnético (Figura 2.5) que é percebida pelo olho humano.

A radiação ótica divide-se em três grupos principais: luz ultravioleta (UV), luz visível e luz infravermelha (IV).

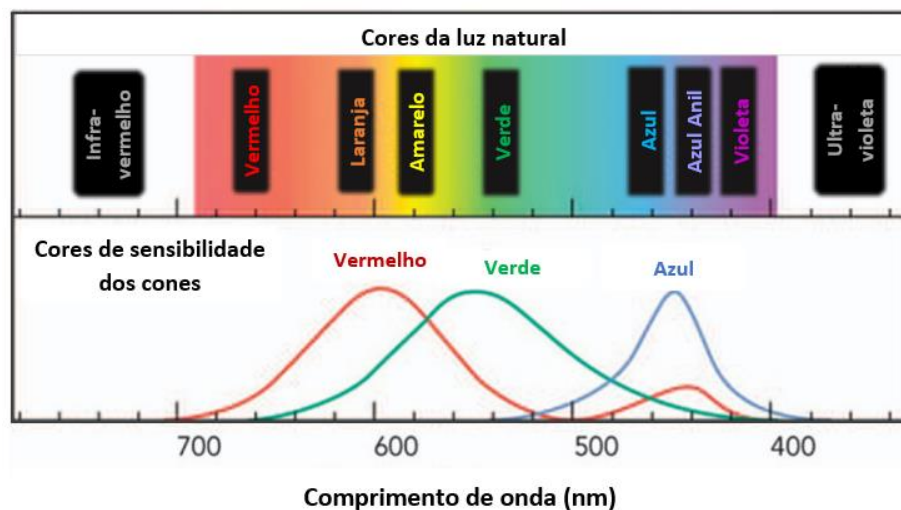


Figura 2.5. Espectro eletromagnético com relevância para a visão. Adaptado de Youssef *et al.* (2011).³⁸

A radiação UV caracteriza-se pelos comprimentos de onda mais baixos, concentrados entre os 100 nm e os 400 nm. Foi definida por três regiões espectrais, nomeadamente UVA (315 nm a 400 nm), UVB (280 nm a 315 nm) e UVC (100 nm a 280 nm).³⁹

A luz visível é a parte do espectro eletromagnético (Figura 2.5) com radiação perceptível pelo nosso olho a partir dos cones e bastonetes. Situa-se entre os 400 nm e os 700 nm.⁴⁰ Pode ser subdividida em radiação de comprimentos de onda curtos, médios e longos, com correspondência ao pico de absorção máxima dos pigmentos visuais, que são, para os bastonetes, 505 nm e para os cones entre 430 nm e 558 nm.⁴¹

A radiação IV está compreendida entre os 700 nm e os 10000 nm. É, também, distribuída por três subgrupos: IVA (700 nm a 1400 nm), IVB (1400 nm a 3000 nm) e IVC (3000 nm a 10000 nm).³⁸

2.3.1. Luz e as estruturas oculares

A gama de comprimentos de onda que uma espécie percebe depende do espectro disponível num determinado ambiente, do grau de transmissão através dos meios oculares e dos pigmentos visuais da retina (cones e bastonetes).⁴⁰

O olho humano (Figura 2.6) está desenvolvido para que, ao receber luz, esta se concentre num ponto fulcral na retina. Uma parte dessa luz é absorvida e outra parte sofre dispersão pelos tecidos oculares que constituem o segmento anterior do olho.³⁸

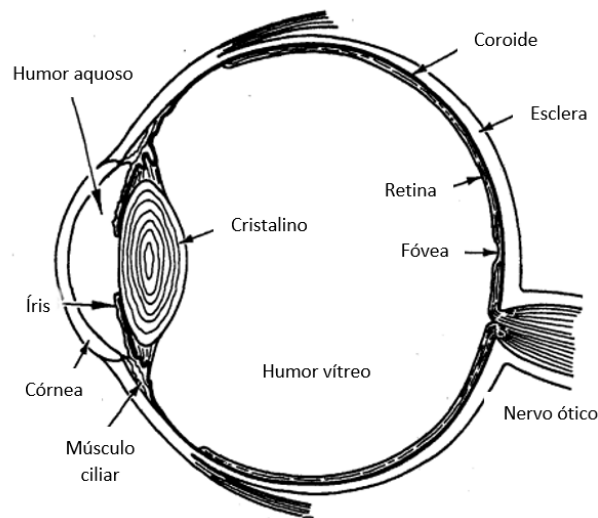


Figura 2.6. Estruturas do olho humano. Adaptado de Bullough J. (2000).⁴²

A absorção permite determinar o grau de toxicidade da radiação para a retina quando chega a este tecido. A dispersão ocorre quando há um desvio da trajetória de um fóton, secundário à alteração do índice de refração ou interação com partículas no meio de transmissão da luz.³⁸

Dos meios oculares pelos quais a radiação eletromagnética se propaga, aqueles com maior poder de absorção são a córnea e o cristalino.³⁸

A córnea absorve a radiação ultravioleta abaixo dos 295 nm. Nesta gama está incluída a radiação UVC e parte da radiação UVB.³⁸

O cristalino absorve uma parte da radiação compreendida entre os 300 nm e 315 nm, correspondente à luz UVB. Para além disso, absorve toda a radiação UVA.³⁸ É importante salientar que, com a idade, o cristalino sofre alterações que levam ao aparecimento de cataratas. Estas absorvem

maioritariamente a radiação de comprimentos de onda mais curtos (300 nm a 400 nm). Assim, a quantidade de luz que chega à retina, nesta gama, é mais limitada. ⁴³

A radiação de comprimentos de onda entre os 300 nm e os 400 nm é absorvida pela pupila e pela íris. ⁴⁴

O humor vítreo é composto por aproximadamente 98% de água. Assim, as suas propriedades de absorção da radiação assemelham-se às da água. A radiação UVC, IVB e IVC são praticamente absorvidas por este meio ocular enquanto a radiação visível (400 nm a 700 nm) e a IVA (700 nm a 1400 nm) se propagam com mais facilidade. ³⁸

A luz que se propaga entre os 400 nm e os 1400 nm acaba por atingir a retina, sendo que a região deste tecido que a absorve é considerada de risco. ⁴⁵ A radiação ultravioleta que chega até à retina representa 1% da radiação total. ⁴⁵

Existem outros fatores que determinam os possíveis danos que possam acontecer nos tecidos oculares, como a direção do olhar ⁴⁵, as características do cristalino ⁴⁶, a duração da transmissão direta da luz através da pupila, a pigmentação da íris e o diâmetro pupilar. ⁴⁷

2.4. Luz azul e o sistema visual

A radiação do espectro de luz visível de alta energia e de comprimentos de onda curtos, situados entre os 380 nm e os 500 nm, designa-se por “luz azul”. ^{2,48}

A luz azul (também designada por alta energia visível) corresponde a um terço da luz visível total (Figura 2.7) e pode ser obtida através de fontes naturais e artificiais. ² A maior fonte natural de luz azul é o sol. Como fontes artificiais, são considerados os dispositivos eletrónicos atuais (como computadores, telemóveis, tablets) e algumas luzes (LED).

Nos últimos anos, este tema tem sido amplamente abordado na literatura científica devido aos seus efeitos desproporcionais na função visual humana, nos seus tecidos óticos ⁴⁸ e nos processos fisiológicos humanos.

Os dispositivos eletrónicos atuais têm incorporados emissores de luz de diodo (LED) que emitem uma grande quantidade de luz azul para o olho, tendo como resultado um grande impacto negativo nas células fotorreceptoras da retina. ¹ Por esta razão, e segundo várias experiências, a luz azul é considerada de risco para o olho e o grau dos danos que nele é provocado está relacionado com determinados fatores,

como a intensidade de luz azul recebida pelo olho, a distância de iluminação, a direção do eixo visual e o espectro da fonte que emite a luz azul. ⁴⁹

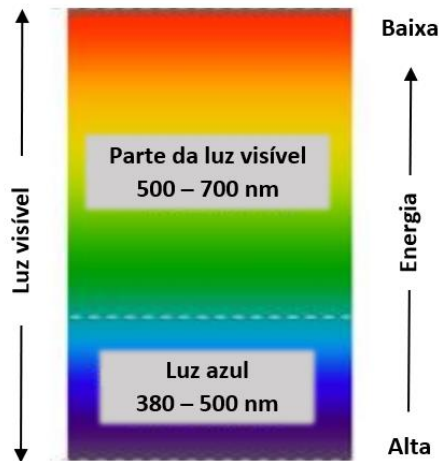


Figura 2.7. Espectro da luz visível, com representação da zona de emissão da luz azul. Adaptado de Dalal *et al.* (2020) ²

2.4.1. Luz azul e as estruturas óticas

A luz azul provoca alterações em várias estruturas óticas quando as atravessa. As que sofrem um maior impacto são a córnea, o cristalino e a retina já que são os meios de maior absorção direta da luz azul. ⁴⁹

2.4.1.1. Córnea

A córnea representa a superfície anterior do olho e é a primeira estrutura a absorver a luz de alta energia do espectro visível. ⁴⁴

De uma forma geral, a luz azul representa um risco para a superfície ocular na medida em que envolve danos por stress oxidativo, resposta inflamatória, apoptose celular e olho seco. ⁴⁹

A luz azul aumenta a produção de espécies reativas ao oxigénio nas células epiteliais da córnea ⁴⁴ e ativa o stress oxidativo. ⁴⁹ É desencadeada uma resposta inflamatória, provocada pelo stress oxidativo, em que há libertação de citocinas inflamatórias e macrófagos ⁴⁹, que reduzem a secreção de lágrima e mucina. Isto leva a uma perda do suporte e da estabilidade do filme lacrimal ao nível das microvilosidades

do epitélio corneal ⁴⁴, promovendo a evaporação da lágrima (criação de um ambiente superficial hiperosmótico), e o conseqüente desenvolvimento de olho seco. ⁴⁴

Apesar de tudo, a córnea possui um poderoso mecanismo de defesa antioxidante, conseguido pela indução da suprarregulação do superóxido dismutase (SOD1). O dano oxidativo e a apoptose nas células epiteliais da córnea, causados pela luz azul, mostrou ser reduzido pela eliminação eficaz de radicais livres associados ao extrato antioxidante. ⁵⁰

Uma outra conseqüência da absorção da luz azul é o seu efeito inibitório significativo na atividade das células estromais da córnea, que pode estar relacionado com a influência da luz azul na autofagia destas células. ⁴⁴

2.4.1.2. Cristalino

O cristalino, para além de ser uma das estruturas com maior potência dióptrica do olho, é um dos meios mais importantes na proteção da retina à luz azul. Esta estrutura ótica contém proteínas estruturais, enzimas e metabólitos de proteínas que absorvem a luz de comprimentos de onda curtos ⁴⁴.

Esta absorção vai-se refletindo ao longo dos anos, com a perda progressiva da transparência do cristalino que, conseqüentemente leva à formação da catarata. Por esta razão se afirma que a exposição à luz azul é um potencial fator de risco para o seu desenvolvimento. ⁴⁴

2.4.1.3. Retina

A retina, como recetor de sinais de luz, é composta por um conjunto de células (Figura 2.8) e tem como uma das principais funções a formação de imagens. ⁴¹ Representa um dos locais com maior incidência de lesões que induzem doenças oculares e conseqüentemente a cegueira. ^{44,49}

Existem duas categorias de células que estão particularmente envolvidas na ação visual: os fotorreceptores (cones e bastonetes) e as células do epitélio pigmentar da retina (EPR). ⁴⁹

As células fotorreceptoras têm como principal função detetar fotões de luz e convertê-los em sinais elétricos. As células do EPR desempenham um papel importante no desenvolvimento e função visual, como a secreção do fator de crescimento, proteção antioxidante, fagocitose de fragmentos celulares do segmento externo dos fotorreceptores, manutenção da barreira hematorretiniana e outras funções fisiológicas. ⁴⁹

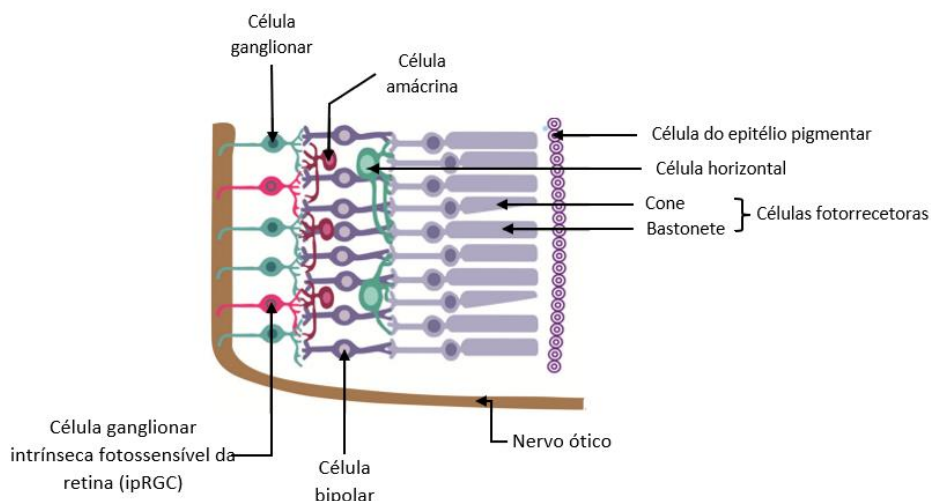


Figura 2.8. Constituição celular da retina. Adaptado de Wahl S. *et al.* (2019) ⁵¹

A luz azul, quando penetra o cristalino, pode causar danos fotoquímicos na retina por ativação de fotopigmentos das suas células. ⁴⁴ A lipofuscina, também designada por “pigmento da idade”, é um material castanho-amarelado, denso em elétrons e autofluorescente que se acumula progressivamente em lisossomas de células pós-mitóticas, sendo um indicador da idade. ⁵² Na sua composição tem como principal ingrediente o bis-retinoide N-retinil-N-retinilideno etanolamina (A2E) e os seus produtos de oxidação, que podem ser encontrados nas células EPR. ⁵³

A luz azul provoca alterações fotoquímicas no A2E originando produtos, como oxigénio monomérico, peróxido de hidrogénio e radicais livres de hidroxila ⁴⁹, que induzem a produção de espécies reativas ao oxigénio. Estas dão origem ao stress oxidativo das células da retina que contêm A2E. ⁴ Pela influência deste stress é gerada uma resposta inflamatória que leva à destruição da barreira hematorretiniana e à morte das células fotorreceptoras. ⁵⁴

Além disso, a exposição à luz azul causa danos no ácido desoxirribonucleico (DNA), inibe a função das mitocôndrias e dos lisossomas das células da retina e induz apoptose celular. ⁴⁹

As mitocôndrias também são afetadas na medida em que são os principais alvos de radicais livres de oxigénio provenientes deste stress oxidativo da retina. Em condições aeróbicas, estes radicais livres destroem o ácido ribonucleico mensageiro (mRNA) e as proteínas, desenvolvendo necrose nas células fotorreceptoras e do epitélio pigmentar da retina. ^{44,49}

⁴ Lamb, JD, Simon, JD. A2E: A Componente of Ocular Lipofuscin. *Photochem Photobiol* 79(2)2004, 127-136. Citado por Ouyang, X *et al.* (2020) ⁴⁹

2.4.1.4. Erro refrativo

A função da melatonina no desenvolvimento do erro refrativo ainda não está bem explícita, mas tem sido alvo de uma maior atenção na medida em que houve um aumento do interesse em perceber uma possível relação entre a exposição à luz azul e o desenvolvimento do erro refrativo. ⁵⁵

A melatonina, para além de ter um potencial papel na fisiopatologia da miopia, também pode ser alterada em função das mudanças estruturais internas da retina que afetam as células ganglionares retinianas intrinsecamente fotossensíveis (ipCGR). Com o crescimento do olho míope, a retina sofre mudanças estruturais que podem reduzir a atividade das ipCGR. ⁵⁵

Os intervalos regulares de períodos claros e escuros são essenciais para o crescimento do olho e para o processo de emetropização. Se os períodos de luz ou de escuridão forem constantes, há uma interrupção na regulação do crescimento do olho que resulta no aparecimento de erros refrativos. ⁵⁵

Segundo a evidência científica e epidemiológica, as atividades ao ar livre podem prevenir o aparecimento e desenvolvimento da miopia. ⁵⁶ Rucker *et al.* (2015) ⁵⁷ comprovaram que a luz solar é muito mais rica em luz de comprimento de onda curto do que a maioria das iluminações artificiais, tendo um papel importante na redução do comprimento axial do olho através do mecanismo de libertação de dopamina na retina. Além disso, a luz azul mostrou ser essencial para a redução do desenvolvimento do astigmatismo.

Kearney *et al.* (2017) ⁵⁸ estudaram a relação entre as concentrações séricas matinais de dopamina e melatonina e o erro refrativo em jovens adultos. Segundo os resultados obtidos, os indivíduos míopes exibiram níveis séricos de melatonina maiores do que os não míopes, enquanto a concentração de dopamina foi semelhante nos dois grupos. Assim, prevê-se que a exposição à luz azul possa levar ao desenvolvimento da miopia, na medida em que é um fator de risco para o crescimento axial do olho.

2.4.2. Luz azul e os processos fisiológicos

O sistema visual é incentivado pela consciente percepção do mundo. Para além de ter um papel importante na formação das imagens, tem uma influência paralela num grande número de processos fisiológicos que, quando expostos à luz azul, podem sofrer alterações. ⁵⁵

A melatonina é um neurotransmissor sintetizado localmente na retina ⁵⁹, no entanto existem outros componentes oculares onde pode ser produzida como o corpo ciliar ⁶⁰ e o cristalino. ⁶¹

A melatonina contribui para vários processos fisiológicos no olho, desde fototransdução e renovação de fotorreceptores na retina ⁶², produção de humor aquoso e modulação da pressão intraocular na câmara anterior ⁶³, cicatrização de ectasias na superfície ocular ⁶⁴ e ação antioxidante no cristalino. ⁶⁵ Influencia, também, processos fisiológicos não oculares como o ritmo circadiano, padrões de sono e estado de alerta, horários sazonais, reprodução, memória e cognição. ⁴⁴

A síntese e a libertação da melatonina na glândula pineal estão diretamente relacionadas à exposição à luz azul. ⁵⁵

2.4.2.1. Ritmo circadiano

O ritmo circadiano é um ciclo biológico com um período de cerca de 24 horas. Durante este período diário dão-se oscilações de algumas variáveis como a temperatura corporal, níveis hormonais, duração e qualidade do sono e o desempenho cognitivo. ⁵¹

Foi identificado um novo fotorreceptor no olho humano, especialmente sensível à luz azul, que comunica diretamente com o cérebro. ⁵¹ Trata-se de uma célula ganglionar da retina (CGR) denominada célula ganglionar retiniana intrinsecamente fotossensível (ipCGR) e representa cerca de 1% do total de células ganglionares retinianas (Figura 2.8). ⁵¹

Quando o olho recebe iluminação continuamente, esta evoca uma despolarização sustentada das ipCGR que codificam a energia do estímulo. Os fotorreceptores ipCGR negativos enviam a informação fótica não visual através do trato retino-hipotalâmico para o núcleo supraquiasmático (SNC) ⁵¹ (Figura 2.9). A partir do SNC, os neurónios fazem sinapse no núcleo paraventricular do hipotálamo e depois na coluna interomediolateral. Posteriormente, as fibras pré-ganglionares simpáticas fazem sinapse no gânglio cervical e as fibras pós-ganglionares com a glândula pineal, local onde é produzida e secretada a melatonina. ⁵⁵

Quando a informação passa do trato retino-hipotalâmico para o núcleo supraquiasmático dá-se o alinhamento do tempo biológico interno com o ambiental externo. ⁵¹

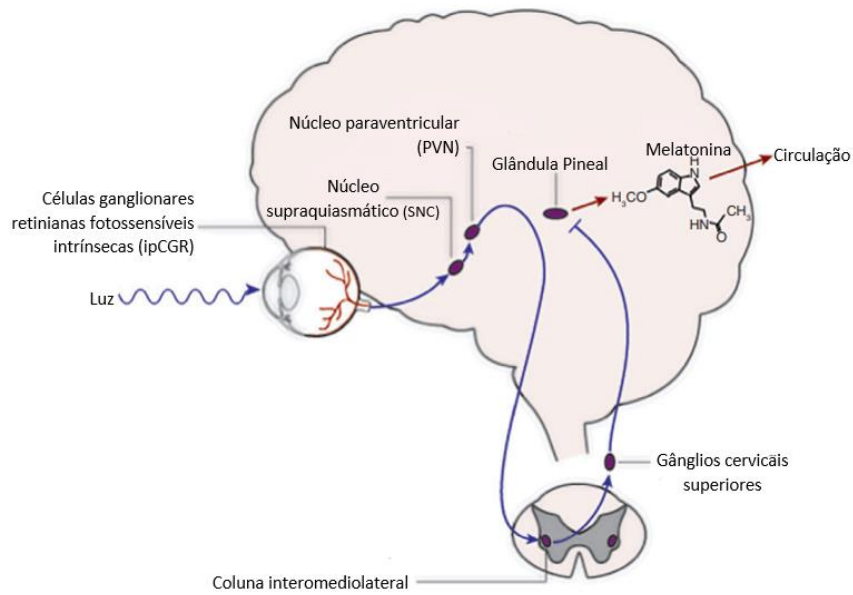


Figura 2.9. Processo de transdução do sinal circadiano, desde a ativação das células ganglionares da retina intrinsecamente fotossensíveis pela luz até à supressão da produção de melatonina na glândula pineal.

Adaptada de Ostrin L. (2018).⁵⁵

As ipCGR contêm fotopigmentos, a melanopsina e a melatonina. Em condições normais fotópicas é ativada a melanopsina, com um pico de sensibilidade de aproximadamente 482 nm, e em condições escotópicas a melatonina.⁵⁵ Ambas têm um papel importante na regulação do ritmo circadiano na medida em que a melanopsina promove o estado de alerta e a melatonina promove o sono (Figura 2.10).^{51,55}

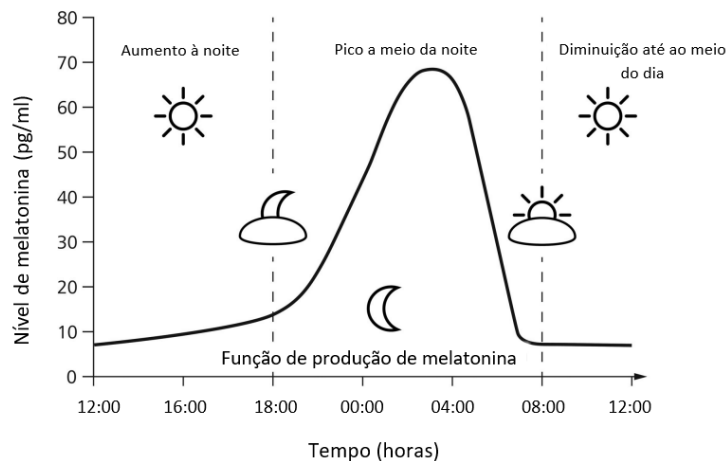


Figura 2.10. Níveis fisiológicos de melatonina durante um dia (24 horas). Adaptada de Wahl S. *et al.* (2019)⁵¹

A luz azul tem um impacto no ritmo circadiano, sendo que é mais potente para a supressão aguda da melatonina através da ativação da melanopsina. ⁶⁶

A sensibilidade dos picos noturnos de supressão de melatonina humana ⁶⁷ na porção azul do espectro de luz visível dá-se entre os 446 nm e 477 nm. ⁵¹ A absorção espectral pela melanopsina atinge o pico em 479 nm. ⁵¹ Assim, pode assumir-se que os comprimentos de onda azuis podem exercer efeitos mais poderosos no ritmo circadiano humano do que os restantes comprimentos de onda (verde e amarelo). ⁵¹

Com base nestes achados, o uso noturno de dispositivos eletrónicos resulta numa alteração do ritmo circadiano com consequentes complicações a nível da qualidade do sono e no tempo de demora a adormecer. ⁶⁸

Alguns estudos descobriram também que a exposição à luz azul de uma fonte natural causa maiores alterações no ritmo circadiano quando comparada com uma fonte de luz artificial. Apesar de tudo, provou-se que baixos níveis de iluminação são suficientes para desencadear o despertar e há indícios de que o efeito de altos níveis de iluminação resulta numa elevada saturação do ciclo circadiano.

⁶⁹

2.4.2.2. Ciclo sono/vigília

Apesar da influência de luz azul no ciclo circadiano e consequentes alterações no sono, o ciclo sono/vigília não deve ser equiparado aos ritmos circadianos, uma vez que fatores adicionais, como o nível de impulso homeostático do sono, que só diminui pelo próprio sono, podem afetar a propensão do mesmo. ⁵¹

Foi ainda colocada a hipótese de que a luz azul tem efeitos adicionais não circadianos no estado de alerta e no ciclo sono/vigília com uma atuação mais notável na promoção do sono, como o núcleo supraquiasmático e regiões cerebrais promotoras da vigília, direta ou indiretamente através do SNC. ⁷⁰

Reconhece-se que o estado de alerta subjetivo também é influenciado por aspetos subjetivos, como bem-estar e conforto visual. ⁷¹

2.4.2.3. Outros processos fisiológicos

Comprimentos de onda curtos podem levar ao aumento da temperatura corporal e da frequência cardíaca, enquanto provocam respostas nas estruturas subcorticais e nas áreas límbicas relacionadas ao estado de alerta. ⁵¹

Além disso, pode provocar alterações a nível da concentração e memória. ⁴⁴

2.5. Filtros à luz azul

Na sociedade atual, os dispositivos eletrônicos digitais estão cada vez mais presentes, tanto no local de trabalho como em ambientes domésticos, o que implica uma maior exposição à luz de baixo comprimento de onda. Cerca de 90% dos usuários reportam uma diversidade de sintomas oculares, como astenopia, fadiga e desconforto ocular, cefaleias, olho seco, visão turva e diplopia. ²

De forma a reduzir esta sintomatologia foram desenvolvidos filtros à luz azul incorporados em diversos suportes oftálmicos. Inicialmente, foram desenvolvidos filtros à luz azul para as lentes intraoculares após cirurgia da catarata. Recentemente, incorporaram estes filtros em lentes oftálmicas e em monitores de dispositivos digitais.

2.5.1. Lentes oftálmicas

As lentes oftálmicas incorporadas com filtro à luz azul, que são comercializadas atualmente, têm graus de proteção que variam de 10% a 100%. Foram introduzidas com o objetivo de reduzir a toxicidade retiniana provocada pela luz azul, reduzir sintomas de fadiga ocular, melhorar o ritmo circadiano e prevenir a progressão da degeneração macular associada à idade devido a danos fototóxicos na retina.

⁷²

As lentes oftálmicas podem conter ou ser revestidas com cromóforos que absorvem a luz incidente de comprimento de onda curto, sendo que a extensão da atenuação depende das propriedades específicas da absorção do cromóforo. ⁷³ Enquanto as lentes normais costumam proteger da radiação UV até 380 nm ⁷⁴, a adição de um cromóforo amarelo ⁷⁵ mostrou uma diminuição da transmissão da luz azul. Além disso, uma abordagem alternativa envolve a aplicação de revestimentos antirreflexo ⁷³, nas superfícies anterior e posterior das lentes, capazes de filtrar seletivamente o espectro de luz azul-violeta (415 nm a 455 nm). ⁷⁴

2.5.2. Lentes intraoculares

As lentes intraoculares (LIOs) com filtro UV foram introduzidas na década de 1980. Estas tinham a capacidade de filtrar a luz de comprimentos de onda abaixo dos 400 nm. Recentemente descobriu-se

que as LIOs tradicionais transmitiam cerca de 10% da radiação UVA entre os 350 nm e os 400 nm, deixando passar fótons de alta energia que induziam graves efeitos nas células retinianas.²

Para reverter esta situação, foram introduzidos novos tipos de LIOs com coloração amarelada que fornecem um maior grau de proteção contra a radiação UV e contra a luz azul.⁷⁶ No entanto, devido a esta coloração residual é induzida uma redução da sensibilidade escotópica², quase impercetível pelo usuário, do brilho⁷⁶ e da aberração óptica cromática², por bloqueio à luz azul, e um aumento da sensibilidade ao contraste.⁷⁶

2.5.3. Monitores de dispositivos digitais

Atualmente, a maioria dos dispositivos digitais oferecem uma opção de configuração "noturno" que permite a diminuição da intensidade de luz azul emitida pelos monitores, ficando com uma tonalidade mais amarelada, com a intenção de limitar a exposição à luz azul durante a noite e melhorar a qualidade do sono.⁷³

2.5.4. Efeito dos filtros à luz azul no sistema visual e vida quotidiana

A utilização de filtros à luz azul em dispositivos óticos gerou uma fonte de questões relacionadas com o seu efeito e possíveis danos, diretos ou indiretos, no sistema visual, nomeadamente na sensibilidade visual ao contraste, visão das cores, sensibilidade escotópica, ciclo circadiano, ciclo do sono e acomodação.

Estudos^{77,78} mostraram que não existe qualquer evidência de que os filtros à luz azul provoquem alterações na função de sensibilidade visual ao contraste, na perceção das cores e na visão escotópica.

É esperado que os filtros à luz azul incorporados em LIOs possam ter um impacto positivo no controlo do ritmo circadiano e do ciclo do sono, em sujeitos afáquicos.^{79,80}

Relativamente à acomodação, poucos são os estudos que fornecem informações dos possíveis efeitos destes filtros nos parâmetros acomodativos e, dos estudos que existem, há controvérsia. Alguns estudos comprovaram que filtros de precisão espectral, nomeadamente lentes coloridas, podem ajudar no controlo de microflutuações na acomodação e consequente redução da sintomatologia associada.⁸¹ Outros assumem que as diferenças na resposta acomodativa não ocorrem pela influência dos filtros das

lentes, mas sim devido à diferença de luminância que estas provocam.^{82,83} Além disso, parece não haver uma influência na acomodação por parte de alguns filtros de bloqueio à luz azul.⁸⁴

Embora o princípio de utilização de produtos oftálmicos com filtros à luz azul tenha plausibilidade científica por parte de alguns estudos, foram levantadas questões, tanto na imprensa popular como na literatura científica⁸⁵, quanto à existência de provas suficientes para apoiar alegações que tenham sido feitas em relação aos efeitos e benefícios das lentes oftálmicas com filtro à luz azul na vida quotidiana.

Lawrenson, J *et al.* (2016)⁷⁶ apresentaram conclusões de uma revisão sistemática que considera os potenciais benefícios e danos dos filtros à luz azul das lentes oftálmicas. Os resultados desta revisão demonstram implicações significativas para a prática oftálmica, e dão, também, ênfase à necessidade de uma maior investigação para melhorar a compreensão científica do efeito dos filtros à luz azul das lentes oftálmicas sobre o desempenho visual e na saúde ocular.⁷³

Existe a necessidade de melhor orientação para os especialistas da visão em relação à conveniência de prescrever produtos oftálmicos que atenuam seletivamente a luz de comprimento de onda curto, dado que a prescrição de uma lente oftálmica deste tipo tem um custo para o consumidor tipicamente maior do que uma lente sem filtro.⁷³

É, também, importante que a sua prescrição seja consciente e consistente com os atuais factos fornecidos pela literatura científica.⁷³

Capítulo 3 - Hipóteses e Objetivos

Neste capítulo é apresentada a formulação do problema que levou ao desenvolvimento deste trabalho, bem como as hipóteses e os objetivos deste estudo.

3.1. Formulação do problema

A quantidade de tempo que passamos a curtas distâncias em relação aos aparelhos digitais e a quantidade de luz azul a que somos expostos desperta uma grande preocupação relativamente ao comprometimento do sistema acomodativo. Tem sido abordado na literatura científica o possível efeito que a luz azul emitida pelos dispositivos digitais tem na acomodação ^{3,4}, no entanto é relativamente reduzida a informação que relacione a acomodação com a proteção exercida pelos filtros à luz azul.

3.2. Hipóteses

Este trabalho propõe-se a verificar as seguintes hipóteses:

- Não há diferenças na amplitude de acomodação, no atraso acomodativo e na flexibilidade acomodativa com a utilização de lentes oftálmicas com filtros à luz azul;
- Não há diferenças nos parâmetros acomodativos com a utilização de diferentes filtros à luz azul incorporados nas lentes oftálmicas.

3.3. Objetivos

O principal objetivo deste estudo consistiu em avaliar a influência dos filtros à luz azul nos parâmetros acomodativos, em sujeitos com acomodação normal. Assim, procurou-se avaliar se existem alterações nos parâmetros acomodativos quando utilizadas lentes oftálmicas com filtro à luz azul. Avaliou-se o impacto de diferentes tipos de filtros na amplitude de acomodação, no atraso acomodativo e na flexibilidade acomodativa, durante a realização de uma tarefa em visão de perto, num dispositivo digital.

Capítulo 4 - Material e Métodos

Este capítulo está dividido em cinco partes.

A primeira parte apresenta o tipo de estudo utilizado e os aspetos éticos cumpridos.

A segunda parte contém a informação da população recrutada para este estudo, bem como os critérios de inclusão e exclusão da mesma.

O procedimento experimental é abordado na terceira parte. Neste inclui-se a apresentação do consentimento informado, a explicação do exame optométrico inicial e dos exames de medição dos parâmetros acomodativos, a descrição das lentes oftálmicas utilizadas e os seus espectros de transmitância e, por último, a explicação de como foi feita a distribuição dos diferentes pares de lentes por cada um dos sujeitos para a recolha dos dados.

A quarta parte incide-se no cálculo da amostra utilizada.

Por último, na quinta parte, é demonstrada a metodologia utilizada na análise estatística dos dados obtidos.

4.1. Tipo de estudo

O estudo realizado é do tipo experimental, aleatório e mascarado.

Aplicou-se um teste duplo cego. Todos os participantes e o próprio administrador desconheciam as condições aplicadas.

Este estudo obteve aprovação pela Comissão de Ética para a Investigação em Ciências da Vida e Saúde (CEICVS) da Universidade do Minho com o número SECVS 029/2014 (ADENDA) (Anexo 1).

4.2. População estudada

Para a realização deste estudo, houve a necessidade de recrutar voluntários que, na sua grande maioria, eram estudantes da Universidade do Minho.

Foram avaliados 17 participantes na totalidade, 13 indivíduos do sexo feminino e 4 do sexo masculino, com idade de (média \pm desvio padrão) $22,65 \pm 2,71$ anos.

4.2.1. Critérios de inclusão

Para este estudo foram incluídos os sujeitos consoante os seguintes critérios: (1) Valores de acuidade visual (AV), com a melhor correção (AVcc), de igual ou superior a 1.0 em visão de longe (VL) e em visão de perto (VP); (2) Erros refrativos com valores de: miopia inferior a -3,00 D, hipermetropia inferior a +1,50 D e astigmatismo inferior a -1,00 D; (3) Idades compreendidas entre os 18 e os 30 anos de idade, já que a acomodação vai diminuindo com a idade, sendo que começa a estar no seu limite para VP a partir dos 35 anos (como abordado no ponto 2.1.2.1. da revisão bibliográfica).

4.2.2. Critérios de exclusão

Excluíram-se os sujeitos que apresentassem: (1) Disfunções acomodativas e de visão binocular; (2) Historial de estrabismos, ambliopias, cirurgias refrativas, ortoqueratologia, distúrbios oculomotores e visão monocular; (3) Utilização de fármacos que pudessem interferir nos resultados do estudo.

4.3. Procedimento experimental

4.3.1. Consentimento Informado

No início da realização de qualquer medida optométrica, foi esclarecido, a todos os participantes, o objetivo do estudo e os exames a que iriam ser submetidos.

Em complementaridade, apresentou-se o consentimento informado (Anexo 2), que foi lido e assinado livremente pelos participantes. Neste constava o objetivo principal da investigação, a descrição dos exames a serem realizados, as condições e financiamento, o processo de confidencialidade e anonimato estabelecido e a informação da aprovação pela CEICVS da Universidade do Minho.

4.3.2. Exame optométrico inicial

Depois de preenchido o consentimento informado, todos os participantes foram submetidos a um exame optométrico inicial completo.

Utilizaram-se instrumentos de medida como um projetor com optotipo de *Snellen* para visão de longe, foróptero com optotipo para visão de perto, o retinoscópio com optotipo de VP específico, uma armação de prova, *flippers* com lentes de $\pm 2,00$ D, um optotipo de visão de perto, oclusor e cronómetro.

O exame começou com uma anamnese seguida da realização de exames preliminares como o ponto próximo de convergência (PPC) e o *Cover-Test* (unilateral e alternante) e a medição da acuidade visual (AV) monocular e binocular para longe e para perto. Avaliou-se o estado refrativo e foram medidas as forias e reservas laterais. Por último, mediu-se a amplitude de acomodação (AmAc), o atraso acomodativo (AA) e a flexibilidade acomodativa (FA).

A anamnese permitiu, através de algumas perguntas, descartar quaisquer antecedentes oculares, de saúde geral e familiares.

Realizou-se o PPC e o *Cover-Test* unilateral e alternante.

A acuidade visual (AV) foi medida monocular e binocularmente utilizando um optotipo de *Snellen*, para visão de longe e para visão de perto.

O estado refrativo avaliou-se por dois métodos: objetivo e subjetivo.

O método objetivo foi avaliado através da retinoscopia estática.

O método subjetivo realizou-se através do exame subjetivo em visão de longe. Para a realização deste exame, parte-se do valor neto da retinoscopia estática de modo a obter a melhor correção em visão de longe, ou seja, o máximo positivo para a máxima AV. Este exame é constituído por três fases: monocular, biocular e binocular.

Para avaliar a visão binocular mediram-se as forias e as reservas fusionais laterais.

As forias horizontais foram medidas para visão de longe e para visão de perto pelo método de *Von Graefe*.

Para avaliar a parte acomodativa mediu-se a amplitude de acomodação monocular, o atraso acomodativo e a flexibilidade acomodativa monocular.

A amplitude de acomodação determinou-se pelo Método de *Sheard*. Ao módulo das lentes negativas adicionadas somou-se + 2,50 D e assim obteve-se o valor da AmAc.

O atraso acomodativo mediu-se a partir da retinoscopia de MEM (Tabela 2.3).



Figura 4.1. Retinoscópio com optotipo específico de VP para realização da retinoscopia de MEM.

Para avaliar a flexibilidade acomodativa colocou-se o valor do subjetivo de longe na armação de prova e utilizaram-se os *flippers* de $\pm 2,00$ D (Figura 2.4). O exame foi feito monocularmente, com um optotipo a uma distância de 40 cm e com o sujeito a fixar as letras de AV de 0.8 do optotipo de VP. Considerou-se este parâmetro normal para valores superiores ou iguais a 11 cpm.

4.3.3. Lentes utilizadas no estudo

Para este estudo foram utilizados três pares de lentes oftálmicas (lente 1, lente 2 e lente 3) com tratamentos diferentes (Tabela 4.1). A lente 2 corresponde à lente de controlo e as lentes 1 e 3 são as lentes de estudo com filtros à luz azul.

Tabela 4.1. Lentes utilizadas no estudo.

Lentes de estudo		
Lente 1	Lente 2	Lente 3
Filtro à luz azul incorporado na matéria da lente	Tratamento antirreflexo sem filtro à luz azul	Filtro à luz azul por reflexão

As lentes eram em acrílico e com potência dióptrica neutra.

4.3.4. Espectros de transmitância das lentes de estudo

Mediu-se os seus espectros de transmitância das lentes de estudo através do espectrofotómetro UV-3101PC (UV-VIS-NIR SCANNING SPECTROPHOTOMETER).

Na Figura 4.2 estão representados os espectros de transmitância dos três tipos de lentes em estudo para comprimentos de onda entre os 250 nm e os 700 nm.

A lente 1, representada pela linha azul, corresponde à lente com filtro à luz azul incorporado na matéria da lente.

A lente 2, distinguida pela linha de cor laranja, representa a lente com tratamento antirreflexo (lente de controle).

A lente 3, linha de cor verde, corresponde à lente com o filtro à luz azul por reflexão.

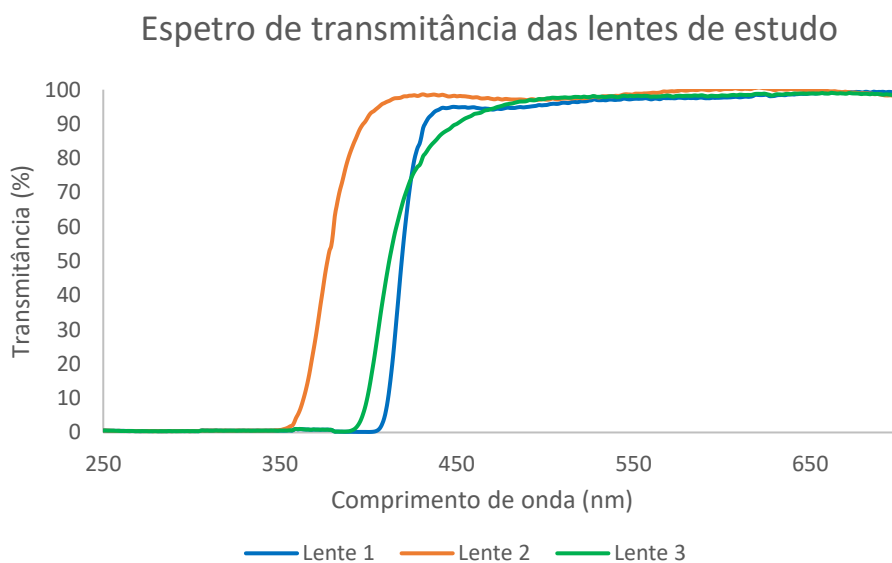


Figura 4.2. Espectro de transmitância das três lentes utilizadas no estudo para um comprimento de onda de 250 nm a 700 nm.

A luz pode provocar diversas alterações, quer ao nível da retina como do ciclo circadiano na gama de comprimentos de onda entre 415 nm e os 490 nm.

Analisando este intervalo de comprimentos de onda (Figura 4.3), a lente 2 não filtra qualquer tipo de radiação azul do espectro visível a partir dos 350 nm.

A lente 1 filtra a radiação totalmente até aos 407 nm. A partir deste valor, a transmitância vai aumentando e, a partir dos 437 nm, a transmitância é de praticamente 100%.

A lente 3, pelo contrário, filtra a totalidade da radiação até aos 397 nm, no entanto, a transmitância vai aumentando, aproximando-se dos 100% a partir dos 457 nm.

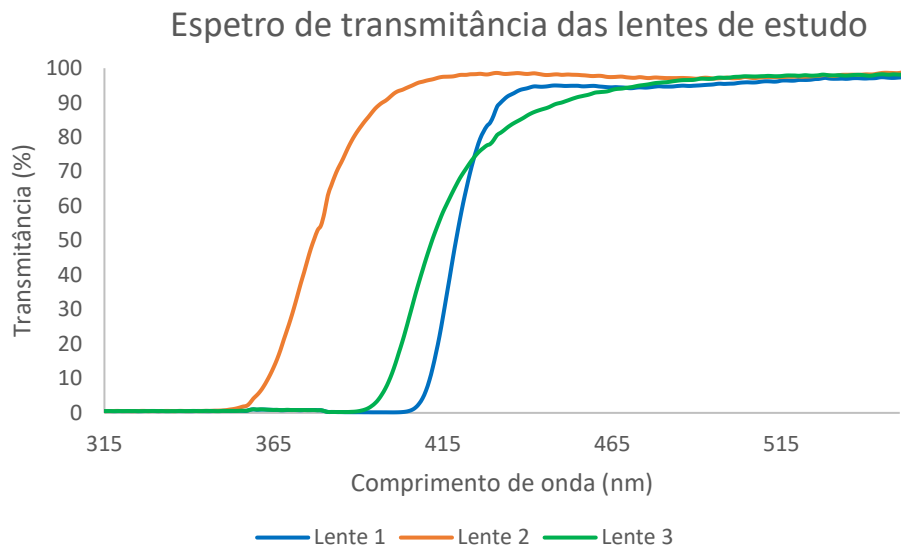


Figura 4.3. Espectro de transmitância das três lentes utilizadas no estudo para um comprimento de onda de 315 nm a 550 nm.

Comparando os espectros das lentes com o filtro de luz azul (lente 1 e 3), denota-se que ambas filtram a radiação azul do espectro visível da mesma forma, mas para diferentes comprimentos de onda correspondentes à luz azul (Figura 4.4).

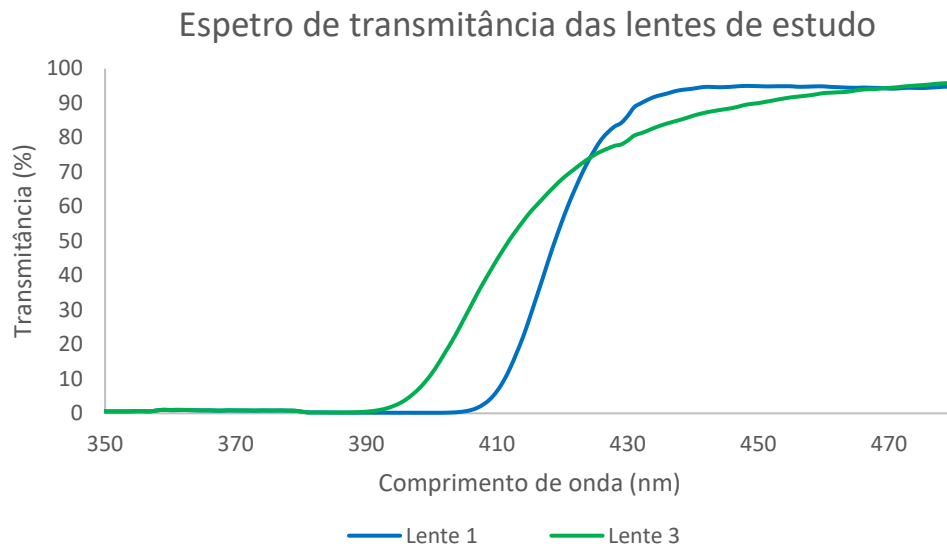


Figura 4.4. Comparação do espectro das lentes com o filtro à luz azul incorporado para um comprimento de onda de 350 nm a 480 nm.

4.3.5. Distribuição das lentes

Foram disponibilizadas três armações de massa exatamente iguais. Em cada uma delas foram montadas as lentes com os diferentes tratamentos (Tabela 4.1) e no final numerou-se os óculos de 1 a 3 (Figura 4.5).



Figura 4.5. Óculos de estudo.

As lentes colocadas em cada armação eram desconhecidas pelo investigador e pelo participante para evitar qualquer influência nos exames e na obtenção dos dados. Em função disso, foi elaborada uma tabela de aleatorização para a realização das medidas do estudo (Anexo 3).

Todos os sujeitos utilizaram os três óculos, atribuídos de forma aleatória, e, para cada um deles, foram medidos três parâmetros de acomodação (Tabela 2.1). As medições foram efetuadas no mesmo consultório clínico e nas mesmas condições de iluminação (580 lx).

4.3.6. Fase experimental

Nesta fase foram realizados três exames para avaliar a acomodação, já aplicados anteriormente: amplitude de acomodação, atraso acomodativo e flexibilidade acomodativa em VP. Estes parâmetros foram medidos apenas ao OD e incluiu-se ao material inicial um computador portátil.

Mediu-se os parâmetros acomodativos em dois momentos diferentes: (1) logo após colocar o óculo; (2) após realização de uma tarefa em VP num dispositivo eletrônico durante vinte minutos.

Antes de iniciar as medidas experimentais foi fornecido um dos óculos ao sujeito de acordo com a tabela de aleatorização.

Logo após colocar o óculo, mediu-se a amplitude de acomodação, o atraso acomodativo e a flexibilidade acomodativa em VP, respetivamente.

De seguida, colocou-se o sujeito a desempenhar uma tarefa em VP no computador portátil durante 20 minutos. O computador estava situado a uma distância de 40 cm e a tarefa realizou-se de forma binocular com o óculo colocado. Após os 20 minutos, foram medidos novamente os parâmetros acomodativos ao OD, pela mesma ordem descrita acima. Repetiu-se este procedimento para os três óculos.

Entre as medidas de cada óculo foi disponibilizado um período de descanso de 5 minutos em que o paciente, em condições de luz natural e sem o óculo de estudo colocado, fixava um ponto detalhado em VL para relaxar a acomodação.

4.4. Cálculo do tamanho da amostra

Para calcular o tamanho da amostra usou-se o Software *Power and Sample Size Program*.

Para o cálculo da amostra, teve-se em conta as diferenças mínimas detetáveis necessárias para os três parâmetros acomodativos a avaliar: amplitude de acomodação, atraso acomodativo e flexibilidade acomodativa.

Para a amplitude de acomodação considerou-se como uma diferença mínima detetável o valor de 1,00 D e um desvio padrão de 1,25 D. Assim, determinou-se que seriam necessários, no mínimo, 14 sujeitos de forma a poder rejeitar a hipótese nula de que a diferença é zero com uma probabilidade (potência) de 0,8.

Para o atraso acomodativo considerou-se uma diferença mínima detetável de 0,50 D e um desvio padrão de 0,50 D. Assim, determinou-se que seriam necessários, no mínimo, 10 sujeitos de forma a poder rejeitar a hipótese nula de que a diferença é zero com uma probabilidade (potência) de 0,8.

Para a flexibilidade acomodativa utilizou-se como diferença mínima detetável o valor de 3 cpm e um desvio padrão de 4,2 cpm. Assim, determinou-se que seriam necessários, no mínimo, 17 sujeitos de forma a poder rejeitar a hipótese nula de que a diferença é zero com uma probabilidade (potência) de 0,8.

Assim, para corresponder às diferenças mínimas detetáveis dos três parâmetros acomodativos, de forma a poder rejeitar-se a hipótese nula, definiu-se como 17 o limite mínimo de sujeitos necessários para este estudo.

A probabilidade de ocorrer um erro de Tipo I associada a estes testes destas hipóteses nulas é de 0,05.

4.5. Análise estatística

A análise estatística dos resultados foi efetuada recorrendo ao programa *IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences)*, versão 28.0, e ao programa Excel.

Inicialmente, utilizou-se o teste *Shapiro-Wilk (S-W)* para se verificar a normalidade e a igualdade da variância das variáveis em estudo, já que o tamanho da amostra deste estudo é inferior a 30 sujeitos ($n < 30$). Considerou-se que uma variável seguia uma distribuição normal quando a sua significância estatística era superior a 0,05, ou seja, com valor de $p > 0,05$.

Para as variáveis que seguiam uma distribuição normal, a análise estatística realizou-se recorrendo ao teste estatístico ANOVA para medidas repetidas, já que se compararam os valores obtidos entre três grupos. As múltiplas comparações foram corrigidas pelo método Bonferroni.

Para as variáveis que não seguiam uma distribuição normal realizou-se a análise estatística recorrendo a testes não paramétricos, nomeadamente ao teste de *Friedman*.

Todas as variáveis avaliadas seguiam uma distribuição normal, exceto três: o atraso acomodativo medido antes da tarefa de VP com a lente 2, o atraso acomodativo medido depois da tarefa de VP com a lente 2 e o atraso acomodativo medido depois da tarefa de VP com a lente 3.

Considerou-se como variáveis independentes os três tratamentos diferentes das lentes em estudo e os períodos em que se realizaram as medições, ou seja, antes e depois da tarefa de visão de perto. A amplitude de acomodação, o atraso acomodativo e a flexibilidade acomodativa foram consideradas como as variáveis dependentes.

Os valores obtidos foram considerados estatisticamente significativos para valores de $p \leq 0,05$.

Capítulo 5 - Resultados

Todos os resultados apresentados ao longo deste capítulo e todos os valores utilizados na análise estatística são referentes ao OD e foram obtidos com a melhor compensação ótica.

Neste estudo participaram 13 indivíduos do sexo feminino (76,47%) e 4 do sexo masculino (23,53%), com idade de (média \pm desvio padrão) 22,65 \pm 2,71 anos (Figura 5.1 e Figura 5.2, respetivamente).

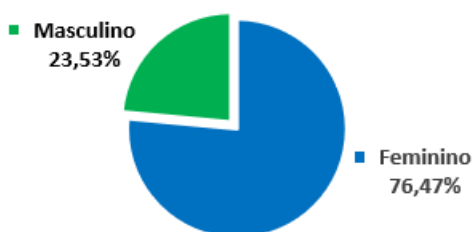


Figura 5.1. Distribuição dos sujeitos por género.

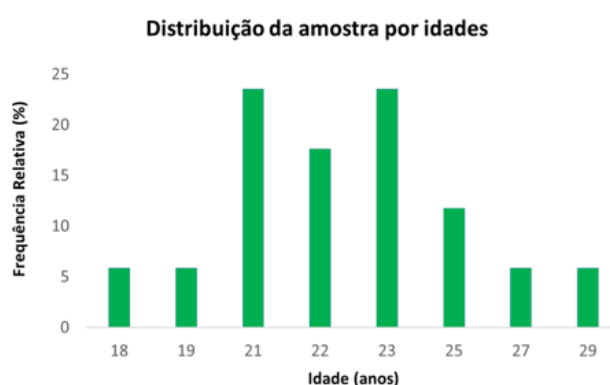


Figura 5.2. Distribuição dos sujeitos por idades.

Os valores do exame subjetivo, que foi transformado no seu valor de equivalente esférico (EE), encontram-se discriminados na Tabela 5.1 assim como os valores dos parâmetros acomodativos, nomeadamente da amplitude de acomodação (AmAc), do atraso acomodativo (AA) e da flexibilidade acomodativa (FA).

Tabela 5.1. Valores mínimos (Min.), máximos (Max.), médios (μ) e de desvio padrão (σ) do equivalente esférico e dos parâmetros acomodativos obtidos no exame optométrico inicial.

	Min.	Max.	μ	σ
Equivalente esférico (D)	-2,50	+0,50	-0,34	0,81
Amplitude de acomodação (D)	4,75	13,00	9,24	1,77
Atraso Acomodativo (D)	0,00	1,00	0,32	0,26
Flexibilidade Acomodativa (cpm)	12,00	26,00	17,12	4,82

O equivalente esférico variou entre -2,50 D e +0,50 D, com uma média de (média \pm desvio padrão) $-0,34 \pm 0,81$ D, o que significa que houve uma prevalência de míopes na amostra populacional.

A amplitude de acomodação média foi de (média \pm desvio padrão) $9,24 \pm 1,76$ D, sendo que variou entre 4,75 D e 13,00 D.

O atraso acomodativo variou entre 0,00 D e 1,00 D, obtendo-se um valor médio de (média \pm desvio padrão) $0,32 \pm 0,26$ D.

O valor médio da flexibilidade acomodativa foi de (média \pm desvio padrão) $17,1 \pm 4,82$ cpm, com uma variação entre 12,00 cpm e 26,00 cpm.

5.1. Variação dos parâmetros acomodativos

A AmAc, o AA e a FA foram avaliados em duas etapas diferentes.

Na primeira etapa, os parâmetros acomodativos foram medidos sem nenhuma das lentes em estudo, correspondendo aos valores obtidos no exame optométrico inicial (Tabela 5.1). Estes valores foram posteriormente comparados com os obtidos com cada uma das lentes utilizadas no estudo.

Na segunda etapa foram avaliados os parâmetros acomodativos com cada um dos 3 pares de lentes. Nesta, avaliou-se a AmAc, o AA e a FA em duas fases: antes de realizar uma tarefa de VP e depois de realizá-la, estando designadas ao longo deste capítulo por “Antes” e “Depois”, respetivamente.

Comparando os valores médios da AmAc sem lente (S/lente) e com lente (C/lente) (Figura 5.3), não se verificaram diferenças estatisticamente significativas para a lente 1 ($p = 0,67$), lente 2 ($p = 0,55$) e lente 3 ($p = 0,69$).

Ou seja, não foram verificadas alterações significativas na amplitude de acomodação com a utilização das lentes de estudo (obtida antes da tarefa de VP) quando comparadas com os valores medidos sem as mesmas (obtida no exame optométrico inicial).

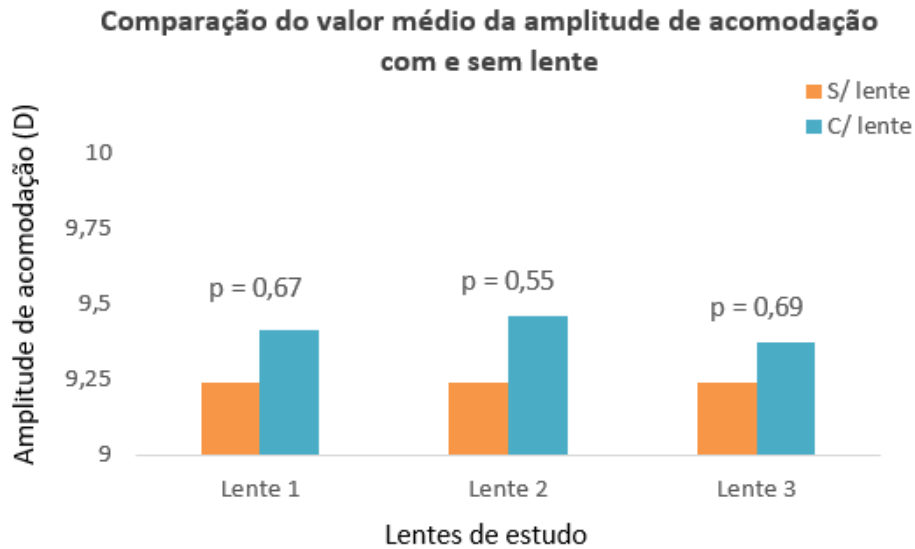


Figura 5.3. Comparação do valor médio da amplitude de acomodação sem lente e com cada uma das lentes de estudo. Sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

Fez-se a mesma comparação para os valores médios do AA sem lente e com lente (Figura 5.4). Observou-se que este parâmetro acomodativo aumentou, mas sem significância do ponto de vista estatístico para a lente 1 ($p = 0,40$), para a lente 2 ($p = 0,48$) e para a lente 3 ($p = 0,46$).

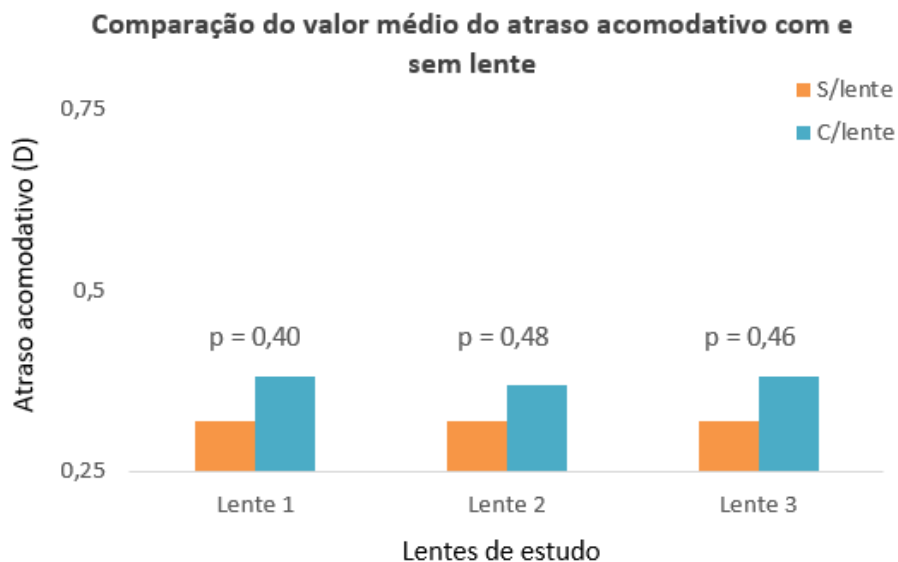


Figura 5.4. Comparação do valor médio do atraso acomodativo sem lente e com cada uma das lentes de estudo. Sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$).

Quanto à flexibilidade acomodativa (Figura 5.5), verificou-se um aumento desta com todas as lentes avaliadas. No entanto, este aumento só foi estatisticamente significativo para a lente 1 ($p = 0,005$) e para a lente 2 ($p = 0,04$). Para a lente 3, obteve-se uma diferença média de 1,29 cpm, no entanto esta não foi estatisticamente significativa ($p = 0,24$).

Quando comparadas as diferenças entre si, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas da FA ($p = 0,09$).

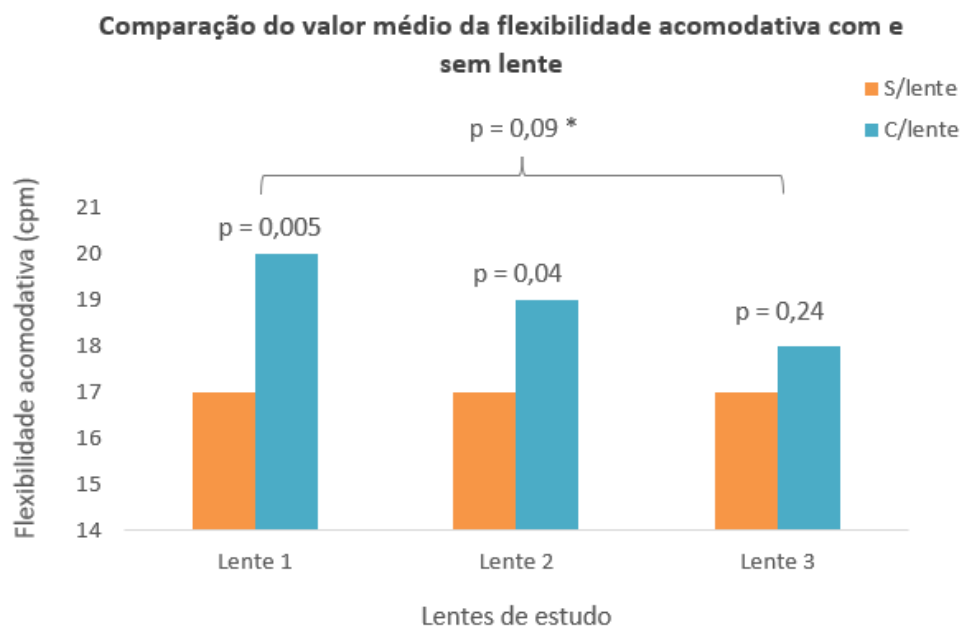


Figura 5.5. Comparação do valor médio da flexibilidade acomodativa sem lente e com cada uma das lentes de estudo. Sem diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$). * Valor da diferença das três lentes, quando comparadas entre si.

A Tabela 5.2 mostra os valores médios e respetivo desvio padrão dos parâmetros acomodativos obtidos com cada uma das lentes antes da realização da tarefa de VP.

Como se pode verificar, antes da realização da tarefa não se obtiveram diferenças estatisticamente significativas para a AmAc ($p = 0,90$), para o AA ($p = 0,41$) e para a FA ($p = 0,41$).

Tabela 5.2. Valores médios e de desvio-padrão dos parâmetros acomodativos para os três tipos de lentes, antes da tarefa de VP.

Antes	Parâmetros acomodativos		
	AmAc (D)	AA (D)	FA (cpm)
	Média ± Desvio padrão	Média ± Desvio padrão	Média ± Desvio padrão
Lente 1	9,41 ± 1,26	0,38 ± 0,32	19,65 ± 5,95
Lente 2	9,46 ± 1,43	0,37 ± 0,20	19,35 ± 5,31
Lente 3	9,37 ± 1,41	0,38 ± 0,31	18,41 ± 5,03
p	0,90	0,41	0,41

Fazendo a mesma análise para os valores acomodativos obtidos depois da tarefa de VP (Tabela 5.3), também não se verificaram diferenças estatisticamente significativas para a AmAc ($p = 0,75$), para o AA ($p = 0,71$) e para a FA ($p = 0,27$).

Tabela 5.3. Valores médios e de desvio-padrão dos parâmetros acomodativos para os três tipos de lentes, depois da tarefa de VP.

Depois	Parâmetros acomodativos		
	AmAc (D)	AA (D)	FA (cpm)
	Média ± Desvio padrão	Média ± Desvio padrão	Média ± Desvio padrão
Lente 1	9,71 ± 1,00	0,40 ± 0,29	20,24 ± 6,63
Lente 2	9,82 ± 1,36	0,47 ± 0,26	18,94 ± 5,65
Lente 3	9,65 ± 1,28	0,41 ± 0,28	19,18 ± 5,19
p	0,75	0,71	0,27

Na Tabela 5.4 encontram-se os valores médios e de desvio padrão da diferença entre o momento “depois” e “antes” da tarefa de VP.

Analisando a diferença encontrada para todos os parâmetros acomodativos obtidos com cada uma das lentes, verifica-se que a AmAc aumentou cerca de 0,25 D durante a realização da tarefa, no entanto esta diferença não foi estatisticamente significativa para a lente 1 ($p = 0,15$), para a lente 2 ($p = 0,17$) e para a lente 3 ($p = 0,13$).

Tabela 5.4. Valores médios e desvio-padrão da diferença dos parâmetros acomodativos para os três tipos de lentes (depois – antes da tarefa de VP). * Valor estatisticamente significativo ($p \leq 0,05$).

Diferença	Parâmetros acomodativos					
	AmAc (D)		AA (D)		FA (cpm)	
	Média \pm Desvio padrão	p	Média \pm Desvio padrão	p	Média \pm Desvio padrão	p
Lente 1	0,29 \pm 0,80	0,15	0,01 \pm 0,14	0,66	0,59 \pm 2,94	0,42
Lente 2	0,37 \pm 1,05	0,17	0,10 \pm 0,20	0,05*	- 0,41 \pm 4,57	0,72
Lente 3	0,28 \pm 0,73	0,13	0,03 \pm 0,17	0,48	0,76 \pm 2,93	0,30

O AA não sofreu alterações significativas com as lentes 1 ($p = 0,66$) e 3 ($p = 0,48$). Com a lente 2, o AA comportou-se de maneira diferente. Aumentou $0,10 \pm 0,20$ D, obtendo-se uma diferença estatisticamente significativa ($p = 0,05$).

A flexibilidade acomodativa aparentemente teve um comportamento diferente com as três lentes. Variou, em média, $0,59 \pm 2,94$ cpm para a lente 1 e $0,76 \pm 2,93$ cpm para a lente 3. Para a lente 2 o valor médio da variação foi negativo ($- 0,41 \pm 4,57$ cpm) o que significa que o valor da FA depois da tarefa de VP foi aparentemente inferior ao valor da FA antes da tarefa (Tabela 5.2 e Tabela 5.3).

Capítulo 6 - Discussão dos resultados

O principal objetivo deste estudo consistiu em avaliar a influência da utilização de lentes oftálmicas com filtros à luz azul nos parâmetros acomodativos em sujeitos com acomodação normal. Assim, procurou-se avaliar a existência de alterações nos parâmetros acomodativos com a utilização destas lentes durante a realização de uma tarefa em VP num ecrã digital. Avaliou-se, ainda, se o tipo de filtro utilizado teria impacto na amplitude de acomodação, no atraso acomodativo e na flexibilidade acomodativa.

Analisando o valor da amplitude de acomodação com a utilização das lentes de estudo, observou-se que este parâmetro acomodativo não variou de forma estatisticamente significativa com nenhuma das lentes estudadas (Tabela 5.4), ou seja, a utilização das lentes com filtros à luz azul não provocou alterações neste parâmetro de acomodação ocular durante os vinte minutos de realização da tarefa de VP.

Palavets T. *et al.* (2019)⁷², realizaram um estudo cujo objetivo consistia em avaliar o efeito dos filtros de luz azul nos sintomas de cansaço ocular digital induzidos pela leitura de um texto num *tablet* durante trinta minutos. Foram avaliados vinte e quatro sujeitos com idade média de 24,3 anos e desvio padrão de 1,01 anos e foram colocados dois tipos de filtros diferentes (um filtro à luz azul e um filtro neutro) sobre o ecrã do *tablet*. Mediram a resposta da acomodação, o diâmetro pupilar e a abertura palpebral verticalmente em quatro períodos diferentes, nomeadamente aos 0, 9 minutos, 19 minutos e 29 minutos. Segundo a análise da variação entre a resposta acomodativa e o tempo verificou-se que não houve um efeito significativo dos dois filtros na resposta acomodativa ($p = 0,53$), apesar de ter havido uma variação da amplitude de acomodação ao longo do tempo com diferenças estatisticamente significativas entre o momento 0 a 9 minutos ($p = 0,02$), aos 19 minutos ($p = 0,01$) e aos 29 minutos ($p = 0,05$). Assim, as variações na amplitude de acomodação encontradas neste trabalho de dissertação, ainda que não tenham sido significativas, podem estar relacionadas com o tempo que foi dispensado na realização da tarefa de VP e não ter uma relação direta com os filtros incorporados nas lentes oftálmicas.

Marçal C. (2021)⁸⁶ avaliou a influência da iluminação de coloração diferente na amplitude de acomodação e na flexibilidade acomodativa. Verificou que o valor médio da amplitude de acomodação foi maior com a luz azul, seguida da lâmpada verde e vermelha, sendo que para as três lâmpadas obteve

diferenças estatisticamente significativas, o que pode indicar que, para comprimentos de onda correspondentes ao azul, a resposta acomodativa é menor.

Relativamente ao comportamento do atraso acomodativo, ao analisar a diferença dos valores obtidos antes e após a tarefa de VP (Tabela 5.4), notou-se que, com a utilização da lente 2, o seu valor médio aumentou de forma estatisticamente significativa ($p = 0,05$). Pelo contrário, com as lentes 1 e 3 as variações não foram significativas. Este resultado, aparentemente, indica que, com a utilização da lente sem filtro à luz azul (lente 2), o sujeito tendia a acomodar menos.

Redondo B. *et al.* (2020)⁸⁷ avaliaram a resposta acomodativa com e sem filtro à luz azul para diferentes intervalos de tempo de um total de 30 minutos. Verificaram que a variação do atraso acomodativo não foi estatisticamente significativa com o uso do filtro à luz azul para cada um dos 6 intervalos de tempo de medição.

Noutros estudos de investigação⁸⁶ comprovou-se que a resposta acomodativa com a luz azul tende a ser maior, quando comparada com iluminação verde e vermelha. Assim, é provável que sujeitos expostos à luz azul tenham uma tendência para acomodar menos, o que pode implicar um maior atraso acomodativo. Isto pode explicar os valores significativamente maiores do atraso acomodativo com a utilização da lente 2, que não contém qualquer tipo de filtro à luz azul, ou seja, deixa passar a radiação de comprimentos de onda curto.

Analisando a flexibilidade acomodativa, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas com a lente 1 ($p = 0,42$), com a lente 2 ($p = 0,72$) e com a lente 3 ($p = 0,30$) quando realizaram a tarefa em VP.

Estes resultados vão de encontro aos encontrados no estudo de Marçal C (2021)⁸⁶, que avaliou a flexibilidade acomodativa sob iluminâncias de três comprimentos de onda correspondente às cores azul, verde e vermelho, verificando que não houve diferenças estatisticamente significativas deste parâmetro acomodativo para todas as comparações feitas sob a influência das três iluminações.

Aliado aos estudos que comprovaram não haver uma relação entre os filtros à luz azul com outros parâmetros acomodativos^{72,87} e tendo como base os resultados obtidos neste estudo, é expectável que a flexibilidade acomodativa também não seja influenciada por estes filtros.

Embora não fosse um objetivo inicial deste trabalho, também se realizou uma análise complementar para verificar se a utilização do filtro, só por si, poderia alterar os parâmetros acomodativos. Para isso, recorreu-se aos valores da amplitude de acomodação, do atraso acomodativo

e da flexibilidade acomodativa obtidos no exame optométrico inicial, ou seja, sem nenhum filtro incorporado nas lentes.

Comparou-se, então, os valores dos três parâmetros acomodativos obtidos no exame subjetivo com os valores obtidos com cada uma das três lentes de teste antes da realização da tarefa de VP (Tabela 5.2).

A amplitude de acomodação medida com as lentes com filtros à luz azul foi maior do que sem nenhuma lente (Figura 5.3), com uma variação de 0,17 D, 0,22 D e 0,13 D para a lente 1, lente 2 e lente 3, respetivamente, mas sem diferenças estatisticamente significativas.

O atraso acomodativo manteve-se praticamente estável com e sem as lentes avaliadas neste estudo (Figura 5.4), não se tendo verificado diferenças estatisticamente significativas para cada uma das lentes de teste.

Estes resultados permitem concluir que o facto de se filtrar a radiação com estes comprimentos de onda incorporando filtros nas lentes oftálmicas, não produz efeitos nestes dois parâmetros acomodativos avaliados, neste estudo. Em trabalhos anteriormente desenvolvidos⁸⁶, verificou-se que na presença de iluminação de comprimentos de onda mais elevados (correspondentes à luz verde e vermelha) a acomodação apresentava um comportamento diferente daquele que foi obtido com a iluminação azul.

A variação na flexibilidade acomodativa com e sem as lentes de teste (Figura 5.5) foi estatisticamente significativa com a lente 1 ($p = 0,005$) e com a lente 2 ($p = 0,04$). Uma vez que a avaliação deste parâmetro de acomodação, sem lentes e com lentes, não se realizou no mesmo dia e no mesmo horário, estas diferenças encontradas na flexibilidade acomodativa podem relacionar-se com a hora do dia em que se realizaram as medidas e com as possíveis atividades em visão próxima que os sujeitos possam ter feito antes das medições.

Mendes C. (2012)⁸⁸ avaliou as variações da amplitude de acomodação, do atraso acomodativo e da flexibilidade acomodativa em três momentos diferentes do dia, nomeadamente ao início da manhã, no final da manhã e no final da tarde. Verificou que a flexibilidade acomodativa aumentou de forma estatisticamente significativa entre o início da manhã e o final da tarde.

Como esta análise não fazia parte dos objetivos estabelecidos para este estudo, não houve um controlo rigoroso na realização destas medidas o que implica uma análise e interpretação mais cuidadosa destes resultados, sendo uma limitação.

Este estudo teve como principal limitação o tempo reduzido da tarefa de VP em frente ao dispositivo digital.

Seria necessário aumentar o tempo de realização da tarefa de VP, em aproximadamente duas horas ⁸⁹, para se verificar se de facto as alterações nos parâmetros acomodativos diferiam muito das obtidas neste estudo, e, quem sabe, verificar uma relação mais coesa para as variações observadas, já que a duração da realização da tarefa neste estudo não corresponde aos longos períodos que a população passa a executar tarefas em visão próxima e com exposição à luz azul dos dispositivos ⁷².

Capítulo 7 - Conclusões e trabalho futuro

De acordo com os objetivos propostos para este trabalho e os resultados obtidos, a amplitude de acomodação e a flexibilidade acomodativa, no decorrer da tarefa de VP em frente ao ecrã digital, não sofreram uma variação estatisticamente significativa com nenhuma das três lentes de teste utilizadas neste estudo, levando a concluir que os diferentes filtros à luz azul incorporados nas lentes oftálmicas não influenciam estes parâmetros acomodativos.

O atraso acomodativo, durante a realização da tarefa em VP, variou de forma estatisticamente significativa com a lente sem filtro à luz azul (lente de controlo), ao contrário das lentes com estes filtros. Conclui-se, assim, que os filtros à luz azul incorporados na matéria da lente e os filtros por reflexão não influenciam o atraso acomodativo.

Na avaliação com e sem as lentes de teste, utilizadas neste estudo, a amplitude de acomodação e o atraso acomodativo não variaram de forma significativa, o que leva a concluir que a colocação de uma lente com filtro à luz azul, por si só, não influencia estes dois parâmetros acomodativos. Pelo contrário, a flexibilidade acomodativa é influenciada significativamente pelas lentes com o filtro à luz azul incorporado na sua matéria.

Em suma, o resultado principal deste estudo sugere que os diferentes filtros de bloqueio à luz azul, incorporados em lentes oftálmicas, não têm influência nos parâmetros acomodativos quando utilizados na realização de uma tarefa em VP num ecrã digital durante vinte minutos em sujeitos jovens e com acomodação normal.

Para tentar perceber se o resultado fundamental encontrado neste estudo difere com a alteração das condições experimentais, é pertinente:

- Aumentar o período de realização de uma tarefa em visão de perto num dispositivo digital em, pelo menos, duas horas, para verificar as alterações que ocorrem na acomodação ao longo desse tempo.
- Avaliar os parâmetros acomodativos com e sem lentes com filtro à luz azul controlando de forma rigorosa as atividades realizadas antes das medições e definir um horário para a realização das medidas.
- Aplicar este procedimento experimental numa população de indivíduos diferente da universitária, com diferentes idades e ametropias e com disfunções acomodativas.

Bibliografia

1. Kuse Y, Ogawa K, Tsuruma K, Shimazawa M, Hara H. Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Sci Rep.* 2014 Jun 9; 4:5223.
2. Dalal DM, Samanta A, Dalal MK. Effect of Blue Light on Human Eye: Advances to counter its impact (A Review). *Consultant Optometrist, Shri CHNagari Municipal Eye Hospital.* 2020; 19:2279-0861.
3. Penisten DK, Goss DA, Philpott G, Pham A, West RW. Comparisons of dynamic retinoscopy measurements with a print card, a video display terminal, and a PRIO System Tester as test targets. *Optometry.* 2004 Apr;75(4):231-40.
4. Wick B, Morse S. Accommodative accuracy to video display monitors. *Optometry and Vision Science.* 2002;79(12):218.
5. Ciuffreda KJ. Accommodation, the Pupil, and Presbyopia. In: *Borish's Clinical Refraction.* Elsevier Inc.; 2006:93-144.
6. Saladin JJ. Phorometry and Stereopsis. In: Benjamin WJ, Borish IM, Consultor, eds. *Borish's Clinical Refraction.* 2nd ed.; 1998:899-960.
7. Maddock RJ, Millodot M, Leat S, Johnson CA. Accommodation responses and refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1981 Mar;20(3):387-91.
8. Beers AP, van der Heijde GL. Age-related changes in the accommodation mechanism. *Optom Vis Sci.* 1996 Apr;73(4):235-42.
9. Goldberg DB. Computer-animated model of accommodation and theory of reciprocal zonular action. *Clin Ophthalmol.* 2011; 5:1559-66.
10. HEATH GG. Components of accommodation. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1956 Nov;33(11):569-79.
11. CAMPBELL FW. The minimum quantity of light required to elicit the accommodation reflex in man. *J Physiol.* 1954 Feb 26;123(2):357-66.
12. CAMPBELL FW, WESTHEIMER G. Factors influencing accommodation responses of the human eye. *J Opt Soc Am.* 1959 Jun;49(6):568-71.

13. Fisher RF. ELASTIC CONSTANTS OF THE HUMAN LENS CAPSULE. *J Physiol.* 1969; 201:1-19.
14. Fisher RF. Presbyopia and the changes with age in the human crystalline lens. *J Physiol.* 1973 Feb;228(3):765-79.
15. Fisher RF. The force of contraction of the human ciliary muscle during accommodation. *J Physiol.* 1977 Aug;270(1):51-74.
16. Graebel WP, H M van ALPHEN GW, Arbor A. The Elasticity of Sclera and Choroid of the Human Eye, and Its Implications on Scleral Rigidity and Accommodation. *J Biomech Eng.* Published online 1977;99(4):203-208.
17. McBrien NA, Millodot M. Amplitude of accommodation and refractive error. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986 Jul;27(7):1187-90.
18. Charman WN, Tucker J. Dependence of accommodation response on the spatial frequency spectrum of the observed object. *Vision Res.* 1977;17(1):129-39.
19. Carpenter R, Robson J. *Vision Research A Practical Guide to Laboratory Methods.* Oxford University Press; 1998.
20. Tucker J, Charman WN. Depth of focus and accommodation for sinusoidal gratings as a function of luminance. *Am J Optom Physiol Opt.* 1986 Jan;63(1):58-70.
21. Ciuffreda KJ, Hokoda SC. SPATIAL FREQUENCY DEPENDENCE OF ACCOMMODATIVE RESPONSES IN AMBLYOPIC EYES. Vol 23.; 1983.
22. PA Ward. A Review of Some Factors Affecting Accommodation, Clinical and Experimental Optometry. 1987;70(1):23-32.
23. Ciuffreda KJ, Rumpf D. Contrast and accommodation in amblyopia. *Vision Res.* 1985;25(10):1445-57.
24. Charman WN, Tucker J. Accommodation as a function of object form. *Am J Optom Physiol Opt.* 1978 Feb;55(2):84-92.
25. HEATH GG. The influence of visual acuity on accommodative responses of the eye. *Am J Optom Arch Am Acad Optom.* 1956 Oct;33(10):513-24.
26. Ward PA, Charman WN. EFFECT OF PUPIL SIZE ON STEADY STATE ACCOMMODATION. *Vision Res.* 1985:1317-1326.

27. Ripps H, Chin NB, Siegel IM, Breinin GM. The effect of pupil size on accommodation, convergence, and the AC/A ratio. *Invest Ophthalmol.* 1962 Feb; 1:127-35.
28. Kruger PB, Pola J. Stimuli for accommodation: blur, chromatic aberration and size. *Vision Res.* 1986;26(6):957-71.
29. Charman WN, Tucker J. Accommodation and color. *J Opt Soc Am.* 1978 Apr;68(4):459-71.
30. Charman WN, Jennings JAM. PROPERTIES OF ANNULAR ARTIFICIAL PUPILS. *Vision Res.* 1979;19(8):947-947.
31. CAMPBELL FW, WESTHEIMER G. Factors influencing accommodation responses of the human eye. *J Opt Soc Am.* 1959 Jun;49(6):568-71.
32. Collier JD, Rosenfield M. Accommodation and convergence during sustained computer work. *Optometry.* 2011 Jul;82(7):434-40.
33. Taub MB, Shallo-Hoffmann J. A Comparison of Three Clinical Tests of Accommodation Amplitude to Hofstetter's Norms to Guide Diagnosis and Treatment.; 2012.
34. del Pilar Cacho M, García-Muñoz A, García-Bernabeu JR, López A. Comparison between MEM and Nott dynamic retinoscopy. *Optom Vis Sci.* 1999 Sep;76(9):650-5.
35. Shukla Y. Accommodative anomalies in children. *Indian J Ophthalmol.* 2020 Aug;68(8):1520-1525.
36. Jaiswal S, Asper L, Long J, Lee A, Harrison K, Golebiowski B. Ocular and visual discomfort associated with smartphones, tablets and computers: what we do and do not know. *Clin Exp Optom.* 2019;102(5):463-477.
37. Sterner B, Abrahamsson M, Sjostrom A. Accommodative facility training with a long term follow up in a sample of school aged children showing accommodative dysfunction. *Doc Ophthalmol.* 1999;99(1):93-101.
38. Youssef PN, Sheibani N, Albert DM. Retinal light toxicity. *Eye.* 2011;25(1):1-14.
39. Diffey BL. Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Methods.* 2002 Sep;28(1):4-13.
40. Douglas RH, Jeffery G. The spectral transmission of ocular media suggests ultraviolet sensitivity is widespread among mammals. *Proc. R. Soc. B: Biological Sciences.* 2014;281.

41. Calderone JB, Jacobs GH. Spectral properties and retinal distribution of ferret cones. *Vis Neurosci*. 2003 Jan-Feb;20(1):11-7.
42. Bullough JD. The blue-light hazard: A review. *Journal of the Illuminating Engineering Society*. 2000;29(2):6-14.
43. Sample PA, Esterson FD, Weinreb RN, Boynton RM. The aging lens: in vivo assessment of light absorption in 84 human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1988 Aug;29(8):1306-11.
44. Zhao ZC, Zhou Y, Tan G, Li J. Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes. *Int J Ophthalmol*. 2018 Dec 18;11(12):1999-2003.
45. Sliney DH. How light reaches the eye and its components. *Int J Toxicol*. 2002 Nov-Dec;21(6):501-9.
46. Ambach W, Blumthaler M, Schöpf T, Ambach E, Katzgraber F, Daxecker F, Daxer A. Spectral transmission of the optical media of the human eye with respect to keratitis and cataract formation. *Doc Ophthalmol*. 1994;88(2):165-73.
47. Norren DV, Vos JJ. Spectral transmission of the human ocular media. *Vision Res*. 1974 Nov;14(11):1237-44.
48. Hammond BR, Sreenivasan V, Suryakumar R. The Effects of Blue Light-Filtering Intraocular Lenses on the Protection and Function of the Visual System. *Clin Ophthalmol*. 2019 Dec 5; 13:2427-2438.
49. Ouyang X, Yang J, Hong Z, Wu Y, Xie Y, Wang G. Mechanisms of blue light-induced eye hazard and protective measures: a review. *Biomed Pharmacother*. 2020 Oct; 130:110-577.
50. Lee JB, Kim SH, Lee SC, Kim HG, Ahn HG, Li Z, Yoon KC. Blue light-induced oxidative stress in human corneal epithelial cells: protective effects of ethanol extracts of various medicinal plant mixtures. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2014 Jun 12;55(7):4119-27.
51. Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov I v. The inner clock—Blue light sets the human rhythm. *J Biophotonics*. 2019;12(12).
52. Terman A, Brunk U. Lipofuscin: Mechanisms of formation and increase with age. *APMIS*. 1998;106(2):265-276.
53. Brunk UT, Terman A. Lipofuscin: mechanisms of age-related accumulation and influence on cell function. *Free Radic Biol Med*. 2002 Sep 1;33(5):611-9.

54. Kuse Y, Tsuruma K, Kanno Y, Shimazawa M, Hara H. CCR3 Is Associated with the Death of a Photoreceptor Cell-line Induced by Light Exposure. *Front Pharmacol.* 2017 Apr 18; 8:207.
55. Ostrin LA. Ocular and systemic melatonin and the influence of light exposure. *Clin Exp Optom.* 2019 Mar;102(2):99-108.
56. Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W, Mitchell P. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology.* 2008 Aug;115(8):1279-85.
57. Rucker F, Britton S, Spatcher M, Hanowsky S. Blue Light Protects Against Temporal Frequency Sensitive Refractive Changes. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2015 Sep;56(10):6121-31.
58. Kearney S, O'Donoghue L, Pourshahidi LK, Cobice D, Saunders KJ. Myopes have significantly higher serum melatonin concentrations than non-myopes. *Ophthalmic and Physiological Optics.* 2017;37(5):557-567.
59. Iuvone PM, Tosini G, Pozdeyev N, Haque R, Klein DC, Chaurasia SS. Circadian clocks, clock networks, arylalkylamine N-acetyltransferase, and melatonin in the retina. *Prog Retin Eye Res.* 2005 Jul;24(4):433-56.
60. Martin XD, Malina HZ, Brennan MC, Hendrickson PH, Lichter PR. The ciliary body-the third organ found to synthesize indoleamines in humans. *Eur J Ophthalmol.* 1992 Apr-Jun;2(2):67-72.
61. Alkozi HA, Wang X, Perez de Lara MJ, Pintor J. Presence of melanopsin in human crystalline lens epithelial cells and its role in melatonin synthesis. *Exp Eye Res.* 2017 Jan; 154:168-176.
62. White MP, Fisher LJ. Effects of exogenous melatonin on circadian disc shedding in the albino rat retina. *Vision Res.* 1989;29(2):167-79.
63. Pescosolido N, Gatto V, Stefanucci A, Rusciano D. Oral treatment with the melatonin agonist agomelatine lowers the intraocular pressure of glaucoma patients. *Ophthalmic and Physiological Optics.* 2015;35(2):201-205.
64. Crooke A, Guzman-Aranguez A, Mediero A, Alarma-Estrany P, Carracedo G, Pelaez T, Peral A, Pintor J. Effect of melatonin and analogues on corneal wound healing: involvement of Mt2 melatonin receptor. *Curr Eye Res.* 2015 Jan;40(1):56-65.
65. Bai J, Dong L, Song Z, Ge H, Cai X, Wang G, Liu P. The role of melatonin as an antioxidant in human lens epithelial cells. *Free Radic Res.* 2013 Aug;47(8):635-42.

66. Brainard GC, Hanifin JP. Photons, clocks, and consciousness. *J Biol Rhythms*. 2005 Aug;20(4):314-25.
67. Brainard GC, Sliney D, Hanifin JP, Glickman G, Byrne B, Greeson JM, Jasser S, Gerner E, Rollag MD. Sensitivity of the human circadian system to short-wavelength (420-nm) light. *J Biol Rhythms*. 2008 Oct;23(5):379-86.
68. Gradisar M, Wolfson AR, Harvey AG, Hale L, Rosenberg R, Czeisler CA. The sleep and technology use of Americans: findings from the National Sleep Foundation's 2011 Sleep in America poll. *J Clin Sleep Med*. 2013 Dec 15;9(12):1291-9.
69. Rea MS, Figueiro MG. Light as a circadian stimulus for architectural lighting. *Lighting Research and Technology*. 2018;50(4):497-510.
70. Hubbard J, Ruppert E, Gropp CM, Bourgin P. Non-circadian direct effects of light on sleep and alertness: lessons from transgenic mouse models. *Sleep Med Rev*. 2013 Dec;17(6):445-52.
71. Cajochen C, Freyburger M, Basishvili T, et al. Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep. *Lighting Research & Technology*. 2019;51(7):1044-1062.
72. Palavets T, Rosenfield M. Blue-blocking Filters and Digital Eyestrain. *Optom Vis Sci*. 2019 Jan;96(1):48-54.
73. Downie LE. Blue-light filtering ophthalmic lenses: to prescribe, or not to prescribe? *Ophthalmic Physiol Opt*. 2017 Nov;37(6):640-643.
74. Vagge A, Ferro Desideri L, Del Noce C, Di Mola I, Sindaco D, Traverso CE. Blue light filtering ophthalmic lenses: A systematic review. *Semin Ophthalmol*. 2021 Oct 3;36(7):541-548.
75. Boulton M, Rózanowska M, Rózanowski B. Retinal photodamage. *J Photochem Photobiol B*. 2001 Nov 15;64(2-3):144-61.
76. Lawrenson JG, Hull CC, Downie LE. The effect of blue-light blocking spectacle lenses on visual performance, macular health and the sleep-wake cycle: a systematic review of the literature. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2017 Nov;37(6):644-654.
77. Rodríguez-Galietero A, Montés-Micó R, Muñoz G, Albarrán-Diego C. Comparison of contrast sensitivity and color discrimination after clear and yellow intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2005 Sep;31(9):1736-40.

78. Muftuoglu O, Karel F, Duman R. Effect of a yellow intraocular lens on scotopic vision, glare disability, and blue color perception. *J Cataract Refract Surg.* 2007 Apr;33(4):658-66.
79. Cuthbertson FM, Peirson SN, Wulff K, Foster RG, Downes SM. Blue light-filtering intraocular lenses: review of potential benefits and side effects. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Jul;35(7):1281-97.
80. Greenstein VC, Chiosi F, Baker P, Seiple W, Holopigian K, Braunstein RE, Sparrow JR. Scotopic sensitivity and color vision with a blue-light-absorbing intraocular lens. *J Cataract Refract Surg.* 2007 Apr;33(4):667-72.
81. Riddell PM, Wilkins A, Hainline L. The effect of colored lenses on the visual evoked response in children with visual stress. *Optom Vis Sci.* 2006 May;83(5):299-305.
82. Ciuffreda KJ, Scheiman M, Ong E, Rosenfield M, Solan HA. Irlen lenses do not improve accommodative accuracy at near. *Optom Vis Sci.* 1997 May;74(5):298-302.
83. Simmers AJ, Gray LS, Wilkins AJ. The influence of tinted lenses upon ocular accommodation. *Vision Res.* 2001; 41:1229-1238.
84. Leung TW, Li RW, Kee CS. Blue-Light Filtering Spectacle Lenses: Optical and Clinical Performances. *PLoS One.* 2017 Jan 3;12(1).
85. O'Hagan JB, Khazova M, Price LL. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye (Lond).* 2016 Feb;30(2):230-3.
86. Marçal C. Avaliação da resposta acomodativa para iluminação de diferentes comprimentos de onda. *Dissertação de Mestrado. Escola de Ciências, Universidade Do Minho.*2021;1-72.
87. Redondo B, Vera J, Ortega-Sánchez A, Molina R, Jiménez R. Effects of a blue-blocking screen filter on accommodative accuracy and visual discomfort. *Ophthalmic and Physiological Optics.* 2020;40(6):790-800.
88. Mendes C. Variações de Parâmetros Acomodativos Ao Longo Do Dia. *Dissertação de Mestrado. Escola de Ciências, Universidade Do Minho.*2012:1-73.
89. Ide T, Toda I, Miki E, Tsubota K. Effect of Blue Light-Reducing Eye Glasses on Critical Flicker Frequency. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila).* 2015 Mar-Apr;4(2):80-5.

Anexos

Anexo 1. Parecer de Aprovação pela Comissão de Ética para a Investigação em Ciências da Vida e da Saúde (CEVS)



Universidade do Minho

Conselho de Ética

Comissão de Ética para a Investigação em Ciências da Vida e da Saúde (CEICVS)

Identificação do documento: SECVS 029/2014 (ADENDA)

Título do projeto: *Aplicação da ótica fisiológica à caracterização de estruturas oculares*

Equipa de investigação: Sandra Maria de Braga Franco e Sérgio Miguel Cardoso Nascimento, Departamento de Física, Escola de Ciências, Universidade do Minho

Unidade Orgânica Promotora: Centro de Física da Universidade do Minho

PARECER

De acordo com a documentação apresentada, o projeto intitulado "Aplicação da ótica fisiológica à caracterização de estruturas oculares" conta com o apoio institucional do Centro de Física da Universidade do Minho, para a sua realização na Unidade, com duração inicial prevista de 5 anos e com início em maio de 2014.

Trata-se de um estudo observacional, transversal e longitudinal (com base na tarefa), analítico. O objetivo geral do projeto é o estudo das várias estruturas oculares (córnea, o cristalino e a retina) utilizando meios óticos e aplicando conhecimentos de ótica fisiológica. Foram definidos no protocolo do projeto de investigação objetivos específicos do estudo relativos a estas estruturas, que se centram no estudo *in vivo* das propriedades óticas do cristalino através um sistema não invasivo de tomografia ótica para reconstrução tridimensional do segmento anterior do olho, desenvolvido no Centro de Física da Universidade do Minho, bem como o algoritmo de processamento e análise de imagem, utilizado com sucesso para realizar a análise 3D completa da córnea incluindo a forma, a curvatura, a espessura e as aberrações e está agora em desenvolvimento para alargar a sua aplicabilidade ao cristalino e lentes intraoculares.

Após verificação e análise dos documentos associados ao processo de pedido de emissão de parecer ético sobre o projeto em apreço, a que reporta sumariamente a respetiva "Grelha de verificação e avaliação ética", considera-se que (i) o processo está devidamente instruído, (ii) a análise dos documentos apresentados sobre o estudo a realizar obedecem às regras de conduta ética e requisitos exigidos para as boas práticas na

experimentação com humanos e (iii) estão em conformidade com o Guião para submissão de processos a pedido de Parecer Ético na UMinho.

Face ao exposto, a Comissão de Ética para a Investigação em Ciências da Vida e da Saúde (CEICVS) nada tem a opor à realização do projeto, emitindo o seu parecer favorável, que foi aprovado por unanimidade dos seus membros.

Braga, 2 de julho de 2019.

A Presidente da CEICVS

MARIA CECÍLIA
DE LEMOS PINTO
ESTRELA LEÃO

Assinado de forma digital por
MARIA CECÍLIA DE LEMOS
PINTO ESTRELA LEÃO
Dados: 2019.07.02 15:42:41
+01'00'

ANÁLISE E JUSTIFICAÇÃO DO PARECER

Relatora: Nadine Santos (Investigadora doutorada/EM e Centro Clínico Académico - HB)

Justificação de alteração a protocolo inicial

Trata-se de um pedido de alteração/adenda ao protocolo inicial do estudo "Aplicação da ótica fisiológica à caracterização de estruturas oculares" que foi alvo de Deliberação da SECVS, a 24 de abril de 2014.

Foi submetido novo protocolo de investigação, sendo efetuadas as seguintes alterações ao protocolo inicial:

- Calendário do estudo

Prorrogação por mais 5 anos.

- Procedimento

Para além do estabelecidos anteriormente, acrescenta-se: os exames poderão ser realizados em diferentes condições de iluminação (cor, intensidade, temperatura correlaciona de cor).

- Critérios de inclusão

Para além dos estabelecidos anteriormente, acrescenta-se: problemas acomodativos e de visão binocular.

Assegurou-se que os compromissos de boas práticas na investigação dadas pelo IR do estudo e por outros investigadores ou colaboradores na investigação, incluindo garantias de confidencialidade, continuarão a ser seguidas.

Apresentou-se em anexo o protocolo de investigação com fundamentação teórica e metodológica para as alterações ao protocolo original supracitadas.

Considerações/Orientações gerais de natureza formativa

A realização de projetos de investigação deverá ter em consideração as regras de conduta e diretivas de boas práticas no âmbito da investigação clínica com seres humanos. Deverá ser solicitado Parecer e/ou Autorização da entidade onde o projeto será realizado, e deverão ser seguidas as diretivas nacionais e/ou locais, de cada lugar de recolha, como aplicável, incluindo de Unidades Hospitalares e/ou Unidades de Saúde onde será realizado o estudo, e/ou onde serão recolhidas as amostras e/ou dados e/ou aplicados os questionários. Deverá ser seguido o Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de abril de 2016, com entrada em vigor em 25 de maio de 2018, que revoga a Diretiva 95/46/CE (Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados. O Regulamento (UE) 2016/679 é o novo Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD) da União Europeia (UE) relativo à proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados, estabelecendo as regras relativas ao tratamento, por uma pessoa, uma empresa ou uma organização, de dados pessoais relativos a pessoas na EU.

Salienta-se o respeito pelas normas e as recomendações constantes da Declaração de Helsinquia (com as emendas de Tóquio 1975, Veneza 1983, Hong-Kong 1989, Somerset West 1996, Edimburgo 2000, Washington 2002, Tóquio 2004 e Seul 2008), da Directiva 95/46/EC do Parlamento Europeu e do Conselho, das Directrizes Sobre as Boas Práticas Clínicas da EMEA - Agência Europeia do Medicamento (Londres 2000), das Directrizes Éticas Internacionais para a Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Organização Mundial de Saúde (Genebra 2002), das Directrizes Éticas Internacionais para os Estudos Epidemiológicos do Conselho de Organizações Internacionais de Ciências Médicas (Genebra 2009) e da Resolução da Assembleia da República n.º 1/2001.

Quando aplicável o Consentimento Informado, recomenda-se as normas e/ou documentos-guia da Direção Geral de Saúde e/ou da ARS Norte na elaboração do mesmo. A inclusão dos participantes em qualquer um dos âmbitos de investigação considerados num Projeto de Investigação está subjacente o seu consentimento escrito (Lei n.º 12/2005, de 26 de janeiro; Lei n.º 46/2007, de 24 de agosto). O preenchimento e assinatura do formulário de consentimento informado, livre e esclarecido, deverá ser feito em duplicado, garantindo a privacidade e confidencialidade dos dados pessoais e o direito a recusar/abandonar o estudo sem sofrer qualquer penalização.

Os participantes não deverão incorrer em qualquer custo acrescido, incluindo pagamento de taxas moderadoras, pela sua participação no projeto. Qualquer meio complementar de diagnóstico que não seja suportado pelo centro hospitalar, e/ou outro, onde for realizado o estudo, como parte da prática clínica corrente no processo de diagnóstico ou tratamento, deverá ser apoiado através de financiamento próprio do estudo.

Se se pretende que o(s) questionário(s) e/ou colheita de dados seja aplicado(s) via contato telefónico, e/ou que o consentimento informado seja verbal, do próprio e do adulto responsável, o guião da entrevista deverá ser fornecido em anexo ao processo. O guião deverá encontrar-se em conformidade com as guidelines fornecidas por Singer & Frankel (1982) (Informed consent procedures in telephone interviews. *Am Sociol Rev*, 47(3), 416-427), não violando os preceitos da WHO ou CIOMS. O procedimento será aceitável se a investigação não envolver o mínimo risco para os intervenientes, a alteração do processo de consentimento informado não vai prejudicar os direitos e bem-estar dos indivíduos, e sempre que necessário e/ou solicitado, serão fornecidas informações pertinentes adicionais aos indivíduos após a participação e/ou o envio do Consentimento Informado.

Se forem realizadas entrevistas gravadas (vídeo ou áudio) estas deverão ser mantidas durante um tempo limitado à sua transcrição e devida análise e deverão ser subsequentemente destruídas, não sendo utilizadas para outros fins.

Se tiver lugar a recolha de produtos biológicos, esta deverá ter em conta os princípios para obtenção e conservação de material biológico (Art. 18.º) da Lei 12/2005 de 26 de janeiro. O tratamento das informações de saúde recolhidas terá em consideração os princípios aplicáveis aos tratamentos de dados pessoais efetuados no âmbito de Investigação Clínica, definidos pela Comissão Nacional de Proteção de Dados e decorrentes da Deliberação n.º 1704/2015.

Informações pessoais tratadas não deverão ser identificáveis, mas sim irreversivelmente anonimizadas (Art. 3.º da LPDP), e todos os dados obtidos no âmbito de um Projeto de Investigação estão ao abrigo de medidas técnicas e organizativas adequadas que dão cumprimento ao disposto no Art. 14.º e Art. 15.º da LPDP. Aplica-se ainda o disposto no n.º 1 do Art. 17.º da LPDP relativamente ao sigilo profissional. Quando não for possível a anonimização dos dados, estes deverão codificados de acordo com uma chave específica, acessível apenas aos investigadores do estudo, e que dificulta a identificabilidade dos participantes, tal como especificado na Deliberação n.º 1704/2015 da CNPD e complementado pelo Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD), com entrada em vigor em 25 de Maio de 2018, e que substitui a atual diretiva e lei de proteção de dados (o Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho. Os dados obtidos deverão ser conservados de forma a permitir a identificação dos seus titulares apenas durante o período necessário para a prossecução das finalidades da recolha ou do tratamento posterior, tal como definido no Art. 5.º, n.º 1, alínea e), da LPDP.

O Modelo de declaração de compromisso e confidencialidade utilizado pelo IR deverá ser seguido e assinado por outros investigadores ou colaboradores na investigação, conforme aplicável, destinado a documentar o seu envolvimento nas garantias de confidencialidade e boas práticas dadas pelo(a) IR. Sempre que necessário, os membros da equipa de investigação deverão assinar uma Declaração de Interesses e Incompatibilidades de acordo com o Decreto-lei n.º 14/2014, de 22 de janeiro.

Neste contexto, assume-se que os investigadores que trabalham com registos ou amostras humanas, ou com a análise de dados, estão obrigados a manter sigilo profissional sobre os dados pessoais e sobre os resultados ou demais obtidos, segundo a ética profissional, nunca devendo, por isso, fazer uso dos mesmos a não ser para o fim a que se destinam. Esta obrigação mantém-se em efeito após término do projeto de investigação.

Anexo 2. Consentimento informado

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.

Título do estudo:

- “O efeito das lentes de filtro azul na acomodação”.

Enquadramento:

Os estudos serão realizados no âmbito de uma tese de Mestrado de Optometria Avançada, em desenvolvimento no Centro de Física da Universidade do Minho sob a orientação da Doutora Sandra Franco.

Objetivo:

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito que a utilização de filtros para a luz azul tem na acomodação.

Descrição dos exames a realizar:

Inicialmente vai ser realizada uma consulta optométrica com base nos exames preliminares, na avaliação do estado refrativo, avaliação da acomodação e da visão binocular.

De seguida vão ser realizados exames alusivos aos métodos em estudo com a utilização de um dos três óculos atribuído de forma aleatória, relacionados com os parâmetros acomodativos. Todos os exames são completamente indolores e não invasivos.

Posteriormente, o participante vai ser exposto, com a utilização do mesmo óculo referido em cima, durante 20 minutos, a uma tarefa de visão de perto num ecrã digital. Por fim, vão ser novamente avaliados os parâmetros acomodativos.

Este estudo já se encontra aprovado pela Comissão de Ética para a Investigação em Ciências da Vida e Saúde (CEICVS) da Universidade do Minho.

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:

Declaro ter lido e compreendido este documento, bem como as informações verbais que me foram fornecidas pela pessoa que acima assina. 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 para esta investigação e nas garantias de confidencialidade e anonimato que me são dadas pela investigadora.

E-mail: _____ Telemóvel: _____

Nome: _____ N.º: _____

Assinatura: _____ Data: ____/____/____

Anexo 3. Tabela de aleatorização

		Óculos		
		1º	2º	3º
Número do estudo	1	3	2	1
	2	3	1	2
	3	1	3	2
	4	3	1	2
	5	1	3	2
	6	1	2	3
	7	1	2	3
	8	3	2	1
	9	3	2	1
	10	3	1	2
	11	1	3	2
	12	3	1	2
	13	1	2	3
	14	3	2	1
	15	3	2	1
	16	2	3	1
	17	3	1	2

Anexo 4. Folha de registo de dados

FOLHA DE REGISTO



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Fase 1. Exame optométrico inicial

Nome completo: _____ N° de estudo: _____
Idade: _____
Profissão: _____

Anamnese:

Antecedentes oculares e saúde geral:	Antecedentes familiares:	Observações gerais:

Refração habitual:

OD: esf _____ cil _____ x _____ ° Tempo de uso _____
OE: esf _____ cil _____ x _____ ° _____

PPC: _____

Cover-teste: _____

Acuidade visual:

AV _s /correção:		OD	OE	AO
	VL			
	VP			
AV _c /correção:		OD	OE	AO
	VL			
	VP			

Retinoscopia:

OD: esf _____ cil _____ x _____ ◯

OE: esf _____ cil _____ x _____ ◯

Exame subjetivo:

OD: esf _____ cil _____ x _____ ◯

AVl:

OE: esf _____ cil _____ x _____ ◯

AVvl:

Avaliação da visão binocular:

	VL	VP
Forias horizontais		
Reservas horizontais	Δ BN: Δ BT:	Δ BN: Δ BT:

Avaliação da acomodação:

Amplitude de acomodação monocular (método de Sheard):

OD: _____

Atraso Acomodativo (retinoscopia de MEM):

OD: _____

Flexibilidade Acomodativa Monocular VP (Flippers \pm 2,00 D):

OD: _____

Fase 2. Fase de estudo randomizado (com lentes)

Nº estudo: _____

Nº do óculo: _____

Fase 2.1. Medição dos parâmetros acomodativos antes da tarefa de visão de perto

Amplitude de acomodação monocular (método de Sheard):

OD: _____

Atraso Acomodativo (retinoscopia de MEM):

OD: _____

Flexibilidade Acomodativa Monocular VP (Flippers $\pm 2,00$ D):

OD: _____

Fase 2.2. Medição dos parâmetros acomodativos após a tarefa de visão de perto (20 minutos)

Amplitude de acomodação monocular (método de Sheard):

OD: _____

Atraso Acomodativo (retinoscopia de MEM):

OD: _____

Flexibilidade Acomodativa Monocular VP (Flippers $\pm 2,00$ D):

OD: _____