

**Fisiologia de Voo: Efeitos da Exposição à Altitude na
Mácula e na Pressão Intraocular**
(versão final após defesa)

Inês Cabral de Medeiros Rebelo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Aeronáutica
(mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutor Jorge Miguel dos Reis Silva
Co-orientadores: Dr. João Manuel da Costa Ribeiro
Prof. Doutor Ivo Miguel da Fonseca Gravito Soares
Prof. Doutor Vasco Miguel Nina de Almeida

dezembro de 2025

Folha em branco

Declaração de Integridade

Eu, Inês Cabral de Medeiros Rebelo, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 44598 de/o Mestrado Integrado em Engenharia Aeronáutica da Faculdade de Engenharia, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 04 /12 /2025

(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente
assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)

Folha em branco

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio constante, pela força nos momentos difíceis e por acreditarem em mim ao longo de todo este percurso acadêmico.

À minha mãe em especial, com todo o meu amor e gratidão, por ser a minha base, o meu exemplo e a presença mais firme e reconfortante em cada etapa desta caminhada.

Por fim dedico também este trabalho ao meu colega e amigo Miguel Marques, que foi como família durante estes cinco anos. Um apoio constante e insubstituível.

Muito obrigada!

Folha em branco

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão ao Prof. Jorge Miguel dos Reis Silva, meu orientador, pela excelente orientação, disponibilidade e apoio ao longo de todo este trabalho.

Aos meus co-orientadores Dr. João Manuel da Costa Ribeiro, Prof. Ivo Miguel da Fonseca Gravito Soares e Prof. Vasco Miguel Nina de Almeida, pela sua valiosa colaboração, acompanhamento contínuo e contributos fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

À Prof.^a Sandra Isabel Pinto Mogo, pela ajuda na organização e estruturação deste trabalho, e ao Centro de Ótica, pela cedência de espaços, materiais e pelo apoio logístico prestado ao longo de todo o processo.

À Andresa Silva Fernandes e ao Bruno Miguel Prior Ribeiro, pela colaboração na execução prática do estudo e na recolha dos dados.

À empresa I30, pelo fornecimento do equipamento OCT, indispensável para a concretização deste projeto.

Ao Departamento de Informática, pelo empréstimo dos equipamentos necessários ao tratamento dos dados, cuja disponibilidade foi essencial ao longo dos vários meses de trabalho.

À Câmara Municipal da Covilhã, na pessoa do Sr. Presidente Vítor Manuel Pinheiro Pereira, pelo apoio logístico no transporte dos pacientes entre a cidade e a Serra da Estrela.

À Guarda Nacional Republicana (GNR), na pessoa do Senhor Sargento Elísio Roque, pela cedência das instalações da torre na Serra da Estrela, que permitiram a realização das medições em condições adequadas.

E, por fim, ao meu colega Miguel Santiago Marques, com quem realizei este trabalho. A sua dedicação, empenho e colaboração foram essenciais para a concretização deste projeto.

Folha em branco

Resumo

A exposição humana a altitudes elevadas, como as encontradas em voos comerciais ou em ambientes montanhosos, induz alterações fisiológicas que podem afetar diversos sistemas do organismo, incluindo o sistema visual. A retina, por ser altamente dependente de uma boa oxigenação, é particularmente vulnerável às variações de pressão atmosférica e de oxigênio que ocorrem com a altitude. Esta dissertação apresenta um estudo pioneiro em território nacional que visa investigar os efeitos da altitude na mácula e na pressão intraocular, com especial enfoque nas alterações estruturais e vasculares da retina.

O trabalho foi desenvolvido com base em medições realizadas em três momentos distintos: duas fases em baixa altitude (Universidade da Beira Interior, 700 metros) e uma fase em altitude elevada (Serra da Estrela, 1993 metros), considerada representativa das condições encontradas em cabines de aeronaves comerciais. Foram utilizados equipamentos especializados, como o tomógrafo de coerência ótica (OCT) e o tonómetro de sopro, para recolha de dados estruturais e funcionais da retina, bem como medições de saturação de oxigênio e frequência cardíaca.

Para garantir rigor analítico, foram desenvolvidos algoritmos próprios em MATLAB para o cálculo da densidade vascular e do volume retiniano, superando limitações dos softwares nativos dos equipamentos. A análise estatística foi conduzida com base em testes de normalidade, tendo sido aplicados métodos paramétricos ou não paramétricos conforme a distribuição dos dados.

Os resultados revelaram alterações significativas em parâmetros específicos, como a densidade vascular na zona nasal da camada profunda da retina e o volume na zona central da mesma camada, sugerindo que a exposição à altitude pode induzir modificações fisiológicas na retina. A pressão intraocular também apresentou variações significativas em determinados horários, reforçando a necessidade de compreender melhor os efeitos da altitude na saúde ocular.

Este estudo contribui para o aprofundamento do conhecimento sobre a resposta da retina às condições de altitude, com implicações relevantes para a medicina aeronáutica, oftalmologia preventiva e segurança em ambientes de elevada altitude.

Palavras-chave

Altitude; retina; hipóxia; pressão intraocular; densidade vascular; volume retiniano

Folha em branco

Abstract

Human exposure to high altitudes, such as those encountered during commercial flights or in mountainous environments, induces physiological changes that can affect various body systems, including the visual system.

The retina, being highly dependent on adequate oxygenation, is particularly vulnerable to variations in atmospheric pressure and oxygen levels that occur with altitude. This dissertation presents a pioneering study conducted in Portugal aimed at investigating the effects of altitude on the macula and intraocular pressure, with a special focus on structural and vascular changes in the retina.

The study was based on measurements taken at three distinct time points: two phases at low altitude (University of Beira Interior, 700 metros) and one phase at high altitude (Serra da Estrela, 1993 metros), considered representative of conditions found in commercial aircraft cabins. Specialized equipment was used, including optical coherence tomography (OCT) and a non-contact tonometer, to collect structural and functional data from the retina, as well as measurements of oxygen saturation and heart rate.

To ensure analytical rigor, custom algorithms were developed in MATLAB to calculate vascular density and retinal volume, overcoming limitations of the native software provided by the equipment. Statistical analysis was conducted based on normality tests, with parametric or non-parametric methods applied according to data distribution.

The results revealed significant changes in specific parameters, such as vascular density in the nasal region of the deep retinal layer and volume in the central region of the same layer, suggesting that altitude exposure may induce physiological modifications in the retina. Intraocular pressure also showed significant variations at specific times, reinforcing the need for a deeper understanding of altitude-related effects on ocular health.

This study contributes to the advancement of knowledge regarding retinal responses to altitude conditions, with relevant implications for aerospace medicine, preventive ophthalmology, and safety in high-altitude environments.

Keywords

Altitude; Retina; Hypoxia; Intraocular Pressure; Vascular Density; Retinal Volume

Folha em branco

Índice

1	Introdução	1
1.1	Motivação.....	1
1.2	Objeto e Objetivos	1
1.3	Metodologia	2
1.4	Estrutura da Dissertação	3
2	Estado da Arte.....	4
2.1	Introdução	4
2.2	Documentos e Referências Base para o Presente Estudo	4
2.3	Atmosfera Terrestre e Altitude.....	6
2.3.1	Estrutura da Atmosfera	6
2.3.2	Densidade.....	8
2.3.3	Variações de Pressão e Oxigenação com a Altitude	9
2.4	Hipóxia.....	10
2.4.1	Definição de Hipóxia e a sua Relevância para o Estudo.....	10
2.4.2	Impacto da Hipóxia nos Sistemas Corporais: Enfoque na Retina	11
2.5	Condições de Cabine em Altitude.....	12
2.5.1	Pressurização da Cabine.....	13
2.5.2	Impacto Fisiológico.....	14
2.5.3	Relevância para a Saúde Ocular	14
2.6	Fisiologia Ocular	14
2.6.1	Anatomia e Fisiologia do Olho	14
2.6.2	Estrutura e Função da Retina	16
2.6.3	Efeitos da Altitude na Fisiologia Ocular	18
2.6.3.1	Efeitos da Altitude na Pressão Intraocular	18
2.6.3.2	Efeitos da Altitude na Retina	19
2.7	Conclusão.....	21
3	Caso de Estudo	23
3.1	Introdução	23
3.2	Participantes	23
3.2.1	Caracterização da Amostra	23
3.2.2	Crítérios de Inclusão e Exclusão.....	23
3.2.3	Considerações Éticas	23
3.3	Equipamentos Utilizados	24

3.3.1	Medição da Pressão Intraocular	24
3.3.1.1	Preparação do Participante.....	25
3.3.1.2	Execução da Leitura	25
3.3.2	Tomografia de Coerência Ótica (OCT)	27
3.3.2.1	Preparação do Ambiente e do Paciente	29
3.3.2.2	Especificações dos Dados Recolhidos.....	29
3.3.3	Oxímetro de Dedo.....	33
3.4	Protocolo Experimental	34
3.4.1	Semana 1: Testes na Faculdade (Baixa Altitude).....	34
3.4.1.1	Procedimentos Experimentais.....	34
3.4.2	Semana 2: Testes na Torre, Serra da Estrela (Alta Altitude)	36
3.4.2.1	Transporte e Logística.....	36
3.4.2.2	Procedimentos Experimentais.....	36
3.4.3	Semana 3: Testes na Faculdade (Baixa Altitude).....	37
3.4.3.1	Procedimentos Experimentais.....	37
3.4.4	Condições ambientais (Semana 1 e 3 a baixa altitude).....	38
3.4.5	Condições ambientais (Semana 2, Serra da Estrela)	38
3.5	Processamento de Dados.....	39
3.5.1	Parte 1 - Criação da Máscara de Análise Retiniana	40
3.5.1.1	Explicação da Parte 1 do código das densidades vasculares	41
3.5.2	Parte 2 - Recentragem e Segmentação das Máscaras.....	44
3.5.3	Parte 3 - Cálculo da Densidade Vascular e Exportação dos Resultados	46
3.6	Processamento das Camadas Retinianas.....	48
3.6.1	Parte 1: Extração e Ajuste dos Contornos.....	48
3.6.2	Parte 2: Reconstrução Volumétrica e Análise Temporal	52
3.6.3	Etapas do Processamento - Parte 3: Análise Regional da Espessura Retiniana	55
3.7	Métodos Estatísticos	58
3.7.1	Teste de Normalidade	58
3.7.1.1	Shapiro-Wilk	58
3.7.2	Métodos paramétricos.....	59
3.7.2.1	Análise de Variância para Medições Repetidas (<i>Repeated Measures</i> ANOVA)	59

3.7.2.2	Procedimento Post-Hoc: Teste t para amostras emparelhadas Com Correção de Holm	61
3.7.2.2.1	Teste t para amostras emparelhadas	61
3.7.2.2.2	Procedimento Post-Hoc: Correção de Holm	61
3.7.3	Métodos não paramétricos	63
3.7.3.1	Teste de Friedman	63
3.7.3.2	Procedimentos Post-Hoc Não Paramétricos.....	64
3.7.3.2.1	Teste de Wilcoxon para Amostras Emparelhadas	64
3.7.3.2.2	Teste dos Sinais (<i>Sign Test</i>).....	65
3.7.4	Software e Ferramentas Utilizadas	65
3.8	Conclusão.....	66
4	Análise de resultados.....	68
4.1	Introdução	68
4.1.1	Critérios de exclusão.....	68
4.1.2	Caracterização da amostra.....	68
4.2	Análise de PIO.....	69
4.3	Análise de SpO2.....	72
4.4	Análise da frequência cardíaca.....	74
4.5	Análise da densidade vascular superficial e profunda da mácula	76
4.6	Análise do volume superficial e profundo da mácula	82
4.7	Conclusão.....	89
5	Conclusão	90
5.1	Síntese da dissertação	90
5.2	Comparação com a Literatura	91
5.3	Implicações dos Resultados	92
5.4	Contribuições Metodológicas e Relevância Científica.....	93
5.5	Limitações	93
5.6	Sugestões para investigações futuras.....	95
5.7	Considerações finais	95
	Bibliografia.....	97
	Apêndice A	101
	Apêndice B	108
	Apêndice C	110
	Apêndice D	112
	Anexo A.....	126

Folha em branco

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema representativo da metodologia adotada nesta dissertação (elaboração própria).	3
Figura 2 - Distribuição vertical da temperatura e pressão na atmosfera padrão	6
Figura 3 - Densidade dos constituintes atmosféricos em função da altitude	8
Figura 4 - Hemorragias retinianas associadas à alta altitude. As lesões encontram-se assinaladas a tracejado: hemorragia em chama na figura (A) e hemorragia em mancha na figura (B).	11
Figura 5 - Esquema da pressurização da cabine	13
Figura 6 - Válvula de Saída (Outflow Valve): Componente essencial para o controle da pressão e fluxo de ar em sistemas aeronáuticos.....	14
Figura 7 - Representação sumária do Olho humano	15
Figura 8 - Esquema celular da retina: epitélio pigmentado, fotorreceptores (cones e bastonetes), células bipolares e ganglionares	16
Figura 9 - Camadas da retina, apresentadas num corte histológico (esquerda) e numa representação gráfica (direita)	17
Figura 10 - Tonómetro de sopro Keeler Pulsair IntelliPuff	24
Figura 11 - Passos do alinhamento e medição da PIO com o Pulsair IntelliPuff	27
Figura 12 - Tomógrafo de Coerência Ótica (OCT) HOCT-1/1F da Huvitz	28
Figura 13 - Mapa ETDRS da Retina obtida através da Tomografia de Coerência Ótica (OCT)	30
Figura 14 - Mapa GCC da Retina obtida através da Tomografia de Coerência Ótica (OCT)	31
Figura 15 - (A) Angiografia Macular Superficial (Sup); (B) Angiografia Macular Profunda (Deep).....	32
Figura 16 - Corte Macular Raster - Imagem de um corte detalhado da estrutura macular, obtida através da Tomografia de Coerência Ótica (OCT)	32
Figura 17 - Oxímetro de Dedo - Dispositivo utilizado para medir a saturação de oxigénio no sangue (SpO ₂) e a frequência cardíaca (bpm) dos participantes durante o estudo. .	33
Figura 18 - Torre de radar da Serra da Estrela onde foram realizados os testes para este estudo.....	36
Figura 19 - Exemplo da máscara de análise retiniana utilizada no estudo para o olho direito	40
Figura 20 - Exemplo da seleção manual do centro da mácula (imagem retiniana mais à esquerda).....	41

Figura 21 - Exemplo de máscara completa gerada a partir do ponto central da mácula	42
Figura 22 - Exemplo prático da máscara final, resultante da interseção entre as máscaras alinhadas e a janela de análise (quadrado), aplicada a uma imagem real de um paciente	43
Figura 23 - Exemplo de aplicação da máscara recentrada à imagem original para um momento	44
Figura 24 - Exemplo de divisão anatômica da máscara recentrada (olho direito)	45
Figura 25 - Segmentação binária da máscara final (olho direito)	46
Figura 26 - Aplicação do threshold em zonas anatômicas distintas	47
Figura 27 - Imagem OCT com linhas coloridas desenhadas no software da Huvitz, representando os limites das camadas retinianas	49
Figura 28 - Imagem OCT correspondente, sem anotações, utilizada para sobreposição dos contornos ajustados	49
Figura 29 - Separação das linhas coloridas por camada, com base na sua tonalidade no espaço de cor HSV	50
Figura 30 - Contornos das camadas retinianas extraídos a partir das linhas coloridas e suavizados automaticamente, com as linhas ajustadas e estendidas até aos limites laterais da imagem para garantir uma análise completa.	51
Figura 31 - Exemplo de imagem em que não foi possível detetar automaticamente os contornos das camadas retinianas	51
Figura 32 - Reconstrução tridimensional das superfícies das camadas NFL e ILM no momento 1, a partir dos contornos extraídos. A unidade de medida apresentada no gráfico é o píxel.	52
Figura 33 - Mapas 2D em escala de cinza representando o volume local entre camadas retinianas	53
Figura 34 - Exemplo de correlação entre os momentos 1 e 3 de um paciente	54
Figura 35 - Exemplo de comparação dos volumes na área comum (momento 1), para as camadas ILM-NFL e OPL-IPL, respetivamente	55
Figura 36 - Seleção manual de pontos para determinar o centro da fóvea e o ângulo de orientação da retina	56
Figura 37 - Exemplo de segmentação da retina em cinco zonas anatômicas, com os respetivos volumes calculados em mm ³	57
Figura 38 - Evolução dos valores médios de PIO com intervalo de confiança de 95% ao longo dos três momentos de recolha, para cada horário (8h, 10h e 12h)	71
Figura 39 - Médias dos níveis de SpO ₂ com IC 95% ao longo de três semanas	73

Figura 40 - Médias dos níveis da frequência cardíaca com IC 95% ao longo de três semanas	75
Figura 41 - Evolução das médias das densidades (\pm IC 95%) nas seis zonas da camada profunda (centro, nasal, temporal, superior, inferior e total) ao longo das três semanas	79
Figura 42 - Evolução das médias das densidades (\pm IC 95%) nas seis zonas da camada superficial (centro, nasal, temporal, superior, inferior e total) ao longo das três semanas	80
Figura 43 - Evolução das médias das densidades (\pm IC 95%) nas seis zonas da camada total (centro, nasal, temporal, superior, inferior e total) ao longo das três semanas	81
Figura 44 - Evolução das médias dos volumes (\pm IC 95%) nas cinco zonas da camada profunda (centro, nasal, temporal, superior e inferior) ao longo das três semanas	86
Figura 45 - Evolução das médias dos volumes (\pm IC 95%) nas cinco zonas da camada superficial (centro, nasal, temporal, superior e inferior) ao longo das três semanas.....	87
Figura 46 - Evolução das médias dos volumes totais (\pm IC 95%) nas cinco zonas anatómicas (centro, nasal, temporal, superior e inferior), considerando ambas as camadas	88

Folha em branco

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Efeitos da Exposição Aguda a Baixas Pressões Atmosféricas sobre as Concentrações no Gás Alveolar e na Saturação de Oxigênio Arterial*.....	10
Tabela 2 - Registo das condições meteorológicas na Covilhã, fornecido pela Meteoestrela, para os dias incluídos no estudo (elaboração própria).....	38
Tabela 3 - Condições meteorológicas registadas nas Penhas Douradas (1380 metros), obtidas através da plataforma Ogimet (elaboração própria)	39
Tabela 4 - Casos excluídos na fase de análise devido a erros na aquisição dos dados ou à ausência de informação essencial	68
Tabela 5 - Caracterização dos participantes incluídos na análise final	69
Tabela 6 - Resultados da análise não paramétrica da PIO e comparações entre pares de momentos com o teste de Post Hoc de Sinal.....	70
Tabela 7 - Resultados da análise não paramétrica da saturação periférica de oxigênio (SpO ₂) com comparações entre pares de momentos pelo teste Post Hoc de sinal	73
Tabela 8 - Médias da frequência cardíaca nos três momentos de recolha, resultados da ANOVA de medidas repetidas e das comparações post hoc com teste t para amostras emparelhadas.....	74
Tabela 9 - Médias das densidades nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada profunda (deep).....	77
Tabela 10 - Médias das densidades nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada superficial	77
Tabela 11 - Médias das densidades nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada total.....	77
Tabela 12 - Médias dos volumes nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada profunda (deep).....	83
Tabela 13 - Médias dos volumes nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada superficial	83
Tabela 14 - Médias dos volumes nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada total (ILM-OPL)	84

Folha em branco

Lista de Acrónimos

AMS	Acute Mountain Sickness
AV	Acuidade Visual
ETDRS	Early Treatment Diabetic Retinopathy Study
FC	Frequência cardíaca
GCC	Ganglion Cell Complex
GCL	Ganglion cell layer
GNR	Guarda Nacional Republicana
GON	Glaucomatous Optic Neuropathy
HACE	High-Altitude Cerebral Edema
HAH	High-Altitude Headache
HAR	High altitude retinopathy
HOCT	High-resolution Optical Coherence Tomography
ILM	Inner Limiting Membrane
IPL	Inner Plexiform Layer
NAION	Non-Arteritic Anterior Ischemic Optic Neuropathy
NFL	Nerve Fiber Layer
OCT	Optical Coherence Tomography
OCTA	Optical Coherence Tomography Angiography
OPL	Outer Plexiform Layer
PIO	Pressão intraocular
RNFL	Retinal Nerve Fiber Layer
SD-OCT	Spectral-Domain Optical Coherence Tomography
UBI	Universidade da Beira Interior

Folha em branco

1 Introdução

1.1 Motivação

A deslocação humana para altitudes elevadas, seja por viagens aéreas comerciais ou expedições em montanhas, induz uma série de adaptações fisiológicas no corpo humano, cujos efeitos na saúde ocular ainda não foram completamente elucidados. Uma área particularmente importante e ainda pouco explorada é o impacto dessas mudanças na retina, especialmente em resposta às variações de altitude. Este trabalho apresenta um estudo que procura preencher essa lacuna ao investigar as alterações fisiológicas na retina em resposta a mudanças de altitude

Apesar da relevância deste tema, não encontramos na literatura estudos portugueses que abordem detalhadamente como a retina reage às variações de altitude tais como encontradas em voos comerciais. Os poucos estudos disponíveis concentram-se na resposta vascular da retina em ambientes de hipóxia simulada ao nível do mar, através do recurso a uma técnica de manipulação controlada do oxigénio na fração no ar inspirado criando um ambiente de hipóxia, neste caso normobárica [1,2], o que não reproduz propriamente as condições ambientais das cabines das aeronaves.

1.2 Objeto e Objetivos

Este estudo teve como objeto eventuais alterações fisiológicas em diferentes camadas da retina, mais especificamente, densidade de vasos superficiais e profundos da mácula, em resposta a variações de altitude.

Os objetivos podem sumarizar-se em dois pontos:

- **Investigar as alterações fisiológicas na retina em resposta à mudança de altitude:** Este estudo visa compreender como a retina reage às variações de altitude, utilizando avaliações oculares em diferentes altitudes para identificar possíveis alterações fisiológicas.
- **Analisar o comportamento da pressão intraocular na mudança de altitude.**

1.3 Metodologia

O estudo foi desenhado para avaliar eventuais alterações fisiológicas na retina e na pressão intraocular em duas altitudes distintas, pelo que a recolha de dados foi realizada em dois locais distintos:

1. **Universidade da Beira Interior (600 a 800 metros):** Local representativo da altitude base.
2. **Torre da Serra da Estrela (1993 metros):** Local da altitude mais elevada possível em Portugal continental, similar à altitude de cabine das aeronaves de transporte comercial.

O plano incluiu a definição dos métodos de recolha de dados, seleção de participantes e o uso de equipamentos especializados, garantindo que os procedimentos fossem realizados de forma padronizada em ambas as altitudes.

Os participantes foram selecionados com base em critérios, como idade, ausência de condições oculares pré-existentes e concordância em participar mediante assinatura do termo de consentimento informado (Apêndice A). Garantiu-se o anonimato e a confidencialidade dos dados recolhidos. Foi concedida autorização pela Comissão de Ética da Universidade da Beira Interior (Anexo A).

Recolha de Dados

Os participantes foram submetidos a exames oftalmológicos utilizando os seguintes equipamentos:

- **HOCT-1/1F (Tomógrafo de Coerência Ótica):** Para avaliações detalhadas das estruturas da retina.
- **Tonómetro de Sopro:** Para medição da pressão intraocular.

Os exames foram realizados sob condições padronizadas, utilizando os mesmos procedimentos e equipamentos em ambos os locais para assegurar a consistência dos dados.

As alterações observadas foram interpretadas considerando a influência da pressão atmosférica e da pressão parcial de oxigénio em diferentes altitudes. Em condições de atmosfera padrão ao nível do mar, a pressão atmosférica é de 760 mmHg , com uma pressão parcial de oxigénio (PO_2) de $159,1\text{ mmHg}$. Em altitudes de $1\,524$ metros ($5\,000$ pés), a pressão atmosférica cai para 632 mmHg e a PO_2 alveolar para 79 mmHg . A $2\,438$ metros ($8\,000$ pés), a pressão atmosférica é de 565 mmHg e a PO_2 alveolar é de

cerca de 70 mmHg, situando os indivíduos num estado de hipóxia relativa. Esse fenômeno também ocorre em cabines pressurizadas de aeronaves comerciais.

Representação Esquemática da pesquisa e trabalho de campo

O esquema representativo da metodologia adotada nesta dissertação está apresentado na Figura 1, onde se detalham as etapas principais do estudo.

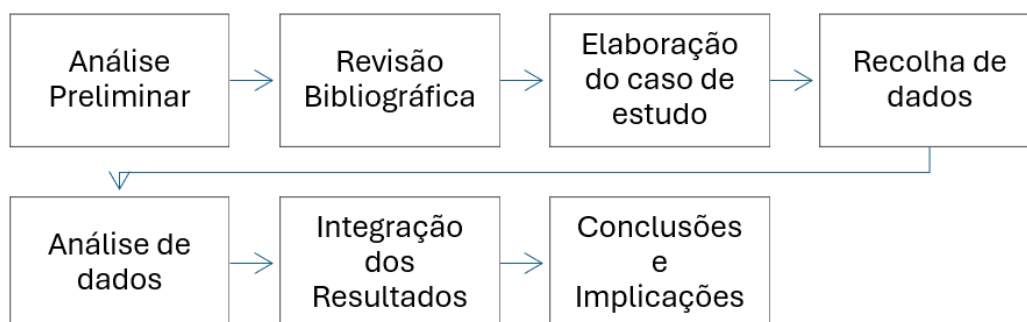


Figura 1 - Esquema representativo da metodologia adotada nesta dissertação (elaboração própria).

1.4 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos, que são apresentados de forma a conduzir o leitor pela motivação, contexto, metodologia, resultados e conclusões do estudo, conforme descrito abaixo.

Capítulo 1: Introdução

O primeiro capítulo introduz o tema da dissertação, apresentando a motivação para o estudo, o objeto de investigação e os objetivos principais. Este capítulo também fornece uma visão geral da estrutura da dissertação, orientando o leitor para os capítulos subsequentes.

Capítulo 2: Revisão da Literatura

Este capítulo reúne a base teórica e os estudos anteriores relevantes para o tema em análise. Inclui uma descrição da atmosfera terrestre e das mudanças de pressão e oxigenação com a altitude. Explora ainda a fisiologia ocular, com destaque para a estrutura, função da retina e os efeitos da altitude. Por fim, apresenta os principais métodos de monitorização ocular, como a Tomografia de Coerência Ótica (OCT).

Capítulo 3: Estudo de Caso

O terceiro capítulo descreve detalhadamente os métodos utilizados para o desenvolvimento do estudo, incluindo a caracterização da amostra de participantes, o

protocolo experimental e os equipamentos utilizados. Explica os procedimentos adotados para a recolha e o processamento dos dados, bem como as considerações éticas envolvidas no estudo.

Capítulo 4: Resultados

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos durante a pesquisa, com análises detalhadas das alterações observadas na retina e na pressão intraocular em diferentes altitudes. Os resultados são discutidos à luz dos objetivos do estudo, com destaque para as comparações entre condições de baixa e alta altitude e as diferenças entre géneros.

Capítulo 5: Conclusão

O último capítulo sintetiza as principais observações da investigação, destacando as implicações teóricas e práticas do estudo. São apresentadas as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros na área, procurando aprofundar o conhecimento sobre os efeitos da altitude na fisiologia ocular.

2 Estado da Arte

2.1 Introdução

A exposição a altitudes elevadas, podem provocar alterações fisiológicas significativas no corpo humano devido à redução da pressão parcial de oxigénio. Alguns estudos focam-se sobretudo nos efeitos da hipóxia em sistemas como o cardiovascular e o respiratório, mas os seus impactos na retina permanecem escassos. Esta revisão bibliográfica procura reunir conhecimentos sobre as condições atmosféricas e fisiológicas em altitude, com especial enfoque nas mudanças oculares, para enquadrar o presente estudo sobre as alterações na retina a diferentes altitudes.

2.2 Documentos e Referências Base para o Presente Estudo

A exposição à alta altitude tem sido estudada devido aos seus variados efeitos na saúde ocular, incluindo alterações na pressão intraocular, espessura da córnea e retinopatia de alta altitude (HAR). A investigação científica sobre estes tópicos expandiu-se ao longo dos últimos anos, com especial destaque para estudos realizados em regiões como a China, Índia, Himalaia e Itália. Esses estudos incluíram uma vasta gama de amostras, desde pequenos grupos, como 20 participantes (17 homens e 3 mulheres) [3], até amostras

maiores, com cerca de 1000 participantes [4], oferecendo uma visão mais abrangente sobre os efeitos da altitude na saúde ocular.

Evolução das Pesquisas: Os primeiros estudos sobre os efeitos da altitude na PIO relataram aumentos na pressão intraocular ao atingir altitudes elevadas [3,5,6]. No entanto, investigações mais recentes têm apresentado resultados contraditórios, com alguns estudos a observar reduções ou ausência de mudanças significativas na PIO [7-9]. Paralelamente, a espessura central da córnea foi investigada, com resultados que indicam uma diminuição da sua espessura em indivíduos residentes em altitude elevada, quando comparados com residentes em baixa altitude [4].

Integração de Perspetivas Diferentes: Ao comparar a exposição aguda à altitude com a exposição prolongada, os investigadores têm tentado entender melhor a adaptação ocular e sistêmica a estas condições extremas. Por exemplo, estudos repetidos de PIO em altitudes elevadas mostraram um aumento inicial, seguido de uma eventual diminuição ou regresso aos níveis basais com a exposição prolongada, o que ajuda a consolidar tendências e identificar variações entre populações e condições ambientais.

Contradições e Divergências: A complexidade da resposta ocular à altitude também se reflete nas divergências observadas entre os estudos. Enquanto alguns relataram aumentos significativos da PIO [3,5,6], outros não observaram mudanças ou até notaram uma diminuição da PIO [7-9]. Estes resultados apontam para a necessidade de mais pesquisas para desvendar os mecanismos subjacentes e fornecer uma compreensão mais clara dos efeitos da altitude sobre a pressão ocular.

Referenciais Teóricos: Os principais referenciais teóricos que orientaram essas investigações incluem estudos sobre alterações na retina [10-15] e a relação entre PIO e hipóxia [16]. Retinopatia de alta altitude (HAR) [10-15], neuropatia ótica isquêmica anterior não artrítica (NAION) [17], e a doença aguda da montanha (AMS) [8,18-20] também foram exploradas como condições diretamente influenciadas pela hipóxia em altitudes elevadas. A HAR, em particular, caracteriza-se por sintomas como dilatação vascular retiniana, edema e hemorragia retiniana, que, na maioria dos casos, não afetam inicialmente a visão, mas em casos mais graves podem levar a perda visual permanente.

Temas Relevantes e Emergentes: Entre os temas mais investigados destacam-se os efeitos da altitude na PIO, espessura da córnea e incidência de retinopatia de alta altitude. Parâmetros como o diâmetro da bainha do nervo ótico e os sintomas relacionados

com a altitude, como a AMS [8,18-20] e HAH [19], também continuam a ser áreas de interesse recorrente nas pesquisas.

Embora as investigações apresentem tendências e inconsistências, a integração de diferentes perspectivas pode levar a uma compreensão mais robusta dos impactos da altitude, respondendo a algumas lacunas na literatura atual.

2.3 Atmosfera Terrestre e Altitude

2.3.1 Estrutura da Atmosfera

A atmosfera terrestre é composta por várias camadas, cada uma com características distintas em termos de temperatura, pressão e composição química. Para entender o impacto da altitude na fisiologia humana, especialmente na retina, é essencial compreender como essas camadas se organizam e influenciam as condições atmosféricas à medida que a altitude aumenta.

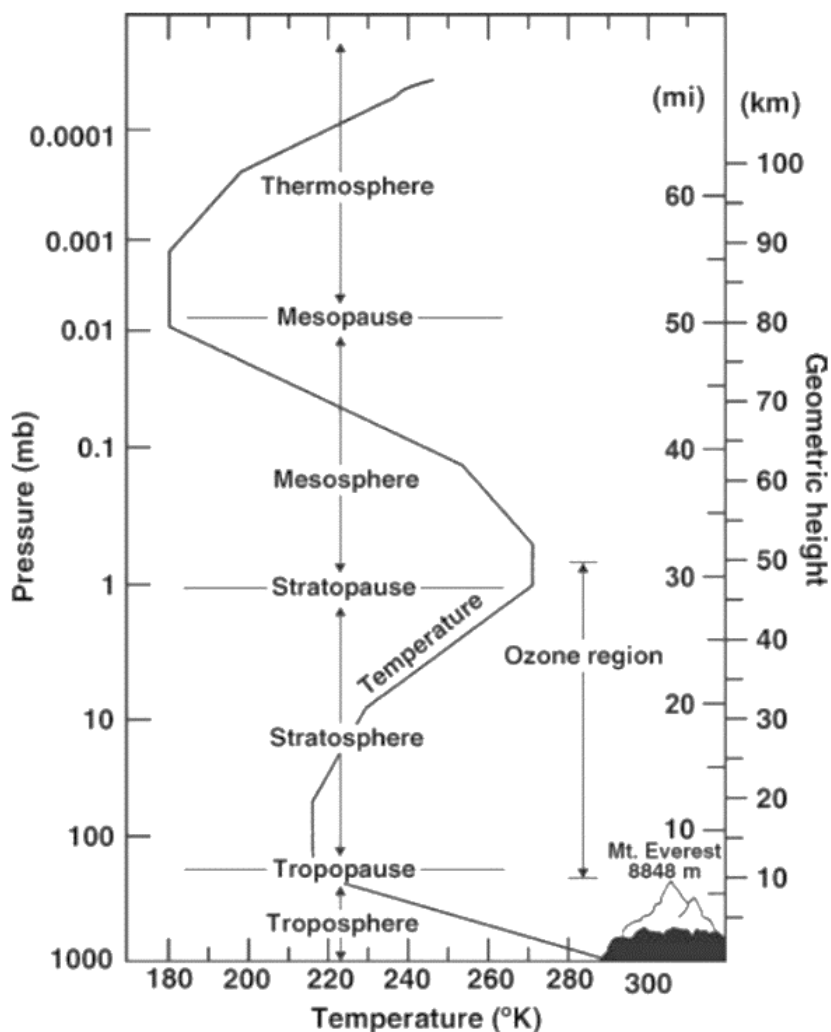


Figura 2 - Distribuição vertical da temperatura e pressão na atmosfera padrão [21]

As quatro camadas principais da atmosfera, como podemos observar na Figura 2, são: a troposfera, a estratosfera, a mesosfera e a termosfera.

A camada mais próxima da superfície terrestre é a troposfera, que se estende desde o nível do mar até aproximadamente 12 quilômetros de altitude. A troposfera contém cerca de 75% da massa total da atmosfera e é onde ocorrem a maioria dos fenômenos meteorológicos. A pressão atmosférica nesta camada diminui com a altitude, caindo cerca de 50% a cada 5 500 metros de elevação. Esta diminuição de pressão afeta diretamente a disponibilidade de oxigênio, criando condições de hipóxia a altitudes mais elevadas. A temperatura nesta camada diminui consistentemente à medida que a altitude aumenta, a uma taxa aproximada de $6,5^{\circ}\text{C}$ por quilômetro, até atingir valores mínimos entre -55°C e -60°C , no ponto chamado tropopausa. A variação da temperatura na troposfera deve-se à transferência de calor convectiva e turbulenta, causada pela absorção de radiação solar na superfície [22].

Logo acima da troposfera está a estratosfera, que se estende dos 12 km até cerca de 50 km de altitude. Embora esta camada não seja relevante para o contexto do estudo, a transição entre a troposfera e a estratosfera, conhecida como tropopausa, é onde as condições atmosféricas começam a estabilizar em termos de temperatura. Nesta camada, a temperatura aumenta gradualmente com a altitude, chegando a cerca de 0°C a 50 km de altura. Este aumento de temperatura deve-se à presença do ozono, que absorve radiação ultravioleta emitida pelo Sol, funcionando como fonte de aquecimento para esta camada. Por isso, a estratosfera é frequentemente designada por ozonosfera. O topo da estratosfera é conhecido como estratopausa [22].

A partir da estratopausa, a temperatura volta a cair, atingindo um mínimo de cerca de -100°C a 80 km de altitude, na região chamada mesopausa. É aqui que a temperatura começa novamente a aumentar, assinalando a transição para a termosfera.

Na termosfera, a temperatura sobe de forma quase contínua com o aumento da altitude, devido à absorção de radiação solar de alta energia, como raios ultravioleta e partículas carregadas. Nesta camada, moléculas de oxigênio e azoto são ionizadas, criando uma zona que reflete ondas de rádio, essencial para as telecomunicações globais. Por esta razão, a termosfera é também chamada de ionosfera. A temperatura varia significativamente nesta camada conforme a atividade solar, podendo atingir cerca de 2000 K durante períodos de elevada atividade solar e descer para 500 K em períodos de menor atividade. A parte superior da termosfera é chamada de heterosfera, acima da qual se encontra a exosfera [22].

No contexto deste estudo, a altitude da Serra da Estrela, localizada a cerca de 1 993 metros acima do nível do mar, situa-se da troposfera. A pressão atmosférica a esta altitude é mais baixa do que ao nível do mar [23], e similar às condições encontradas nas cabines pressurizadas de aviões comerciais, que costumam manter uma altitude pressurizada equivalente a 1 800 a 2 400 metros [24].

Esta variação na estrutura da atmosfera e, conseqüentemente, na pressão atmosférica, é um fator-chave para o estudo das alterações na retina a diferentes altitudes, uma vez que influencia diretamente a quantidade de oxigénio disponível para os tecidos oculares.

2.3.2 Densidade

A densidade do ar é definida como a massa de uma unidade de volume e é expressa em unidades de gramas por centímetro cúbico ou quilogramas por metro cúbico. O inverso da densidade, conhecido como volume específico, corresponde ao volume ocupado por uma unidade de massa.

Embora a densidade do ar não seja comumente medida diretamente por instrumentos, pode ser calculada a partir dos valores de pressão e temperatura, os quais se encontram interligados através da equação de estado: $p = \rho \cdot R \cdot T$, onde p representa a pressão em Pascals (Pa), ρ é a densidade do ar em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3), R é a constante específica dos gases perfeitos para o ar seco, aproximadamente $287 J/(kg \cdot K)$, e T é a temperatura absoluta em Kelvin (K). Assim como a pressão e a temperatura, a densidade do ar apresenta variações tanto temporais como espaciais.

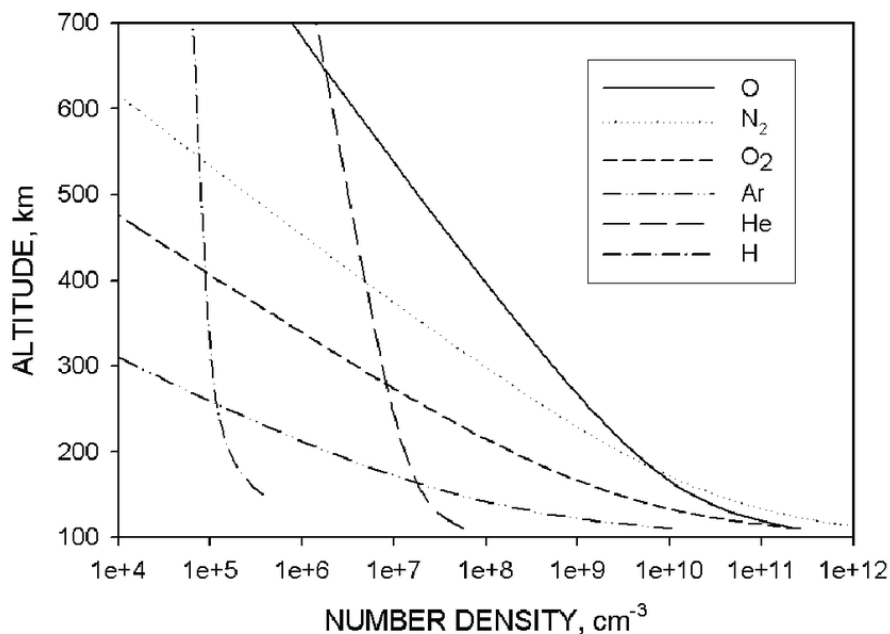


Figura 3 - Densidade dos constituintes atmosféricos em função da altitude [25]

À medida que a altitude aumenta, a densidade do ar diminui significativamente (Figura 3), o que leva à rarefação do ar e à diminuição do teor de oxigênio, um elemento fundamental para a sobrevivência humana. Esta diminuição do oxigênio, associada à redução da pressão atmosférica, pode causar hipóxia, uma condição onde o organismo não recebe oxigênio suficiente para as suas necessidades metabólicas. Este fenômeno é particularmente relevante para atividades realizadas em grandes altitudes, como voos de aeronaves e escalada em montanhas elevadas [22].

A hipóxia é uma preocupação no contexto da aviação, sendo que as aeronaves modernas são projetadas para manter condições de segurança e de conforto dentro da cabine, para evitar a hipóxia garantindo a segurança dos passageiros e da tripulação durante o voo.

2.3.3 Variações de Pressão e Oxigenação com a Altitude

À medida que a altitude aumenta, a pressão barométrica diminui, o que afeta diretamente a pressão parcial de oxigênio (PaO_2) disponível na atmosfera. Embora a percentagem de oxigênio no ar seja ligeiramente abaixo de 21% a diminuição da pressão barométrica reduz proporcionalmente a PaO_2 . Como indicado na Tabela 1, ao nível do mar, e de acordo com a atmosfera padrão, com uma pressão barométrica de 760 *mmHg*, a PaO_2 é de cerca de 159 *mmHg*. A 3.000 *metros* de altitude, a pressão barométrica cai para 523 *mmHg*, resultando numa PaO_2 de aproximadamente 110 *mmHg*, e a 15.000 *metros*, a pressão barométrica é de apenas 87 *mmHg*, implicando uma PaO_2 de 18 *mmHg*.

O dióxido de carbono (CO_2) e o vapor de água influenciam a quantidade de oxigênio disponível nos alvéolos, uma vez que contribuem para a diminuição do oxigênio disponível na fração de ar inspirado. Em altitudes elevadas, como no Monte Everest, a P_{O_2} alveolar pode cair para cerca de 35 *mmHg* em pessoas aclimatadas, o que limita drasticamente a capacidade do organismo para funcionar sem suplementação de oxigênio. Já em altitudes mais moderadas, como os 1 993 *metros* da Serra da Estrela, a P_{O_2} alveolar permanece a níveis relativamente adequados, não se sentindo muito os efeitos da hipóxia.

Além disso, a saturação de oxigênio no sangue arterial também se altera significativamente com a altitude. Até aos 3 048 *metros*, a saturação arterial de oxigênio mantém-se acima dos 90%, mas a altitudes superiores, como a 6 096 *metros*, cai para cerca de 70%, e diminui ainda mais em altitudes extremas [26]. Estas variações afetam

a disponibilidade de oxigénio para os tecidos, incluindo a retina, que é o foco deste estudo. Os dados referidos anteriormente podem ser observados na Tabela 1.

No presente estudo, a altitude da Serra da Estrela, situada a cerca de 1 993 metros, oferece condições comparáveis às cabines pressurizadas de aviões comerciais, proporcionando a oportunidade de investigar possíveis alterações na retina e pressão intraocular em resposta à menor disponibilidade de oxigénio.

*Tabela 1 - Efeitos da Exposição Aguda a Baixas Pressões Atmosféricas sobre as Concentrações no Gás Alveolar e na Saturação de Oxigénio Arterial**

[27]

*Os números, entre parênteses referem-se a valores aclimatizados.

<i>Altitude (m/pés)</i>	<i>Pressão Barométrica (mmHg)</i>	<i>P_{O₂} no Ar (mmHg)</i>	<i>P_{CO₂} Alvéolos (mmHg)</i>	<i>P_{O₂} Alvéolos (mmHg)</i>	<i>Saturação de Oxigénio Arterial (%)</i>
0	760	159	40 (40)	104 (104)	97 (97)
3.050/10.000	523	110	36 (23)	67 (77)	90 (92)
6.100/20.000	349	73	24 (10)	40 (53)	73 (85)
9.150/30.000	226	47	24 (7)	18 (30)	24 (38)
12.200/40.000	141	29			
15.250/50.000	87	18			

2.4 Hipóxia

2.4.1 Definição de Hipóxia e a sua Relevância para o Estudo

A hipóxia refere-se à redução do oxigénio disponível nos tecidos, podendo ter sérias consequências para a saúde, especialmente em condições de altitude elevada.

Existem diferentes tipos de hipóxia [3,27]:

- **Hipóxia Hipóxica ou de Altitude:** ocorre quando não entra oxigénio suficiente nos pulmões, seja por uma menor quantidade de oxigénio no ar, como em grandes altitudes, ou por problemas na área de troca de gases nos alvéolos.
- **Hipóxia Hipémica:** Resulta de uma capacidade reduzida do sangue em transportar oxigénio, geralmente causada por anemia ou intoxicação por monóxido de carbono.
- **Hipóxia Estagnada:** Decorre da diminuição do fluxo sanguíneo para os tecidos, impedindo a entrega de oxigénio, como em casos de coágulos.

- **Hipóxia Histotóxica:** Acontece quando as células não conseguem utilizar o oxigénio, mesmo que esteja presente, frequentemente devido a toxinas como o cianeto.

No contexto da aviação e de ambientes de alta altitude, como os estudados na Serra da Estrela, a hipóxia torna-se um fator de risco. As cabines dos aviões comerciais são pressurizadas para níveis que altitudes equivalentes entre os 1 800 e 2 400 metros. Qualquer operação acima dos 10 000 pés obriga ao uso de oxigénio suplementar. Estudar os efeitos da hipóxia nestas condições permite avaliar os riscos para a segurança e o desempenho humano, especialmente em sistemas sensíveis como a visão.

2.4.2 Impacto da Hipóxia nos Sistemas Corporais: Enfoque na Retina

A hipóxia, ou a falta de oxigénio suficiente para o funcionamento normal dos tecidos, é um problema crítico em altitudes elevadas, e pode afetar vários sistemas corporais. No contexto deste estudo, a hipóxia é particularmente relevante para a retina, que é um tecido altamente dependente de uma boa oxigenação para manter a função visual. Um dos problemas mais comuns associados à exposição a grandes altitudes é a retinopatia de altitude elevada (High altitude retinopathy, HAR), uma patologia ocular que ocorre durante a ascensão a altitudes elevadas. Na Figura 4 observam-se múltiplas hemorragias retinianas de morfologia intrarretiniana de padrão em chama (A) e em mancha (B).

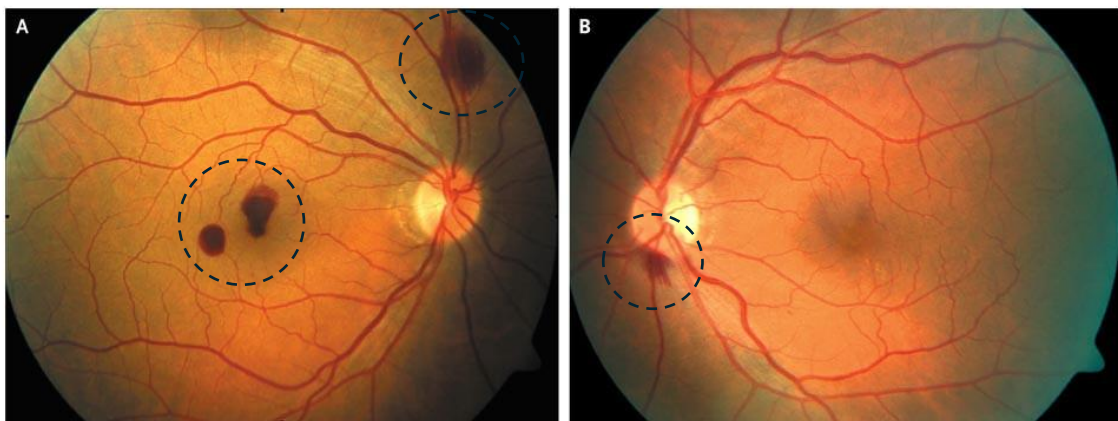


Figura 4 - Hemorragias retinianas associadas à alta altitude. As lesões encontram-se assinaladas a tracejado: hemorragia em chama na figura (A) e hemorragia em mancha na figura (B).

[28]

A HAR manifesta-se através de vários sintomas clínicos, como dilatação vascular retiniana, edema e hemorragias retinianas. Embora estas condições raramente causem uma perda visual significativa, em alguns casos severos podem levar a danos permanentes na visão. Os estudos sobre HAR têm-se focado principalmente em mudanças hemodinâmicas, danos

na barreira hematorretiniana, stress oxidativo e resposta inflamatória. A hipóxia hipobárica, resultante da menor pressão atmosférica em grandes altitudes, tem um papel agravante no desenvolvimento desta condição, o que sublinha a importância de compreender melhor os mecanismos subjacentes a HAR. A sua correlação com o mal de altitude agudo (AMS) e o edema cerebral de altitude elevada (HACE) sugere que a retinopatia pode ser parte de um espectro mais amplo de respostas corporais a condições de hipóxia em altitude [10].

Embora a pressurização das cabines em aviões comerciais reduza os efeitos da hipóxia, a pressão alcançada não é suficiente para eliminar completamente os riscos. A exposição prolongada a ambientes hipóxicos pode levar ao desenvolvimento de condições como a HAR. Compreender esta condição é fundamental, não apenas para a saúde ocular, mas também para a segurança de profissionais que operam nessas condições, como pilotos e tripulantes. A prevenção da HAR e de outras complicações relacionadas com a altitude depende, em grande parte, do controlo da altitude atingida e da gestão adequada das taxas de ascensão.

Portanto, este estudo visa explorar como estas variações de altitude afetam principalmente a retina, particularmente em condições, como as da Serra da Estrela, onde podemos observar possíveis alterações induzidas pela hipóxia moderada. Isso pode fornecer informações úteis sobre o impacto da altitude, não só na retina, mas também na performance visual em ambientes de aviação e atividades de alta altitude.

2.5 Condições de Cabine em Altitude

A simulação possível de condições de cabine em altitude é feita através de câmaras hipobáricas, projetadas para replicar o ambiente de alta altitude que os passageiros e a tripulação enfrentam durante o voo. À medida que as aeronaves ascendem a altitudes que variam de 8 000 a 12 000 metros, a pressão atmosférica diminui drasticamente, resultando em níveis reduzidos de oxigénio disponível. Para garantir que os ocupantes da cabine tenham uma experiência segura e confortável, as aeronaves são equipadas com sistemas de pressurização que mantêm a pressão interna a níveis equivalentes a altitudes de cerca de 1 800 a 2 400 *metros* (6 000 a 8 000 *pés*).

2.5.1 Pressurização da Cabine

O sistema de pressurização das cabines (Figura 5) é concebido para manter a pressão parcial de oxigénio (PaO_2) em níveis adequados, permitindo que os passageiros respirem normalmente, sem manifestar os efeitos adversos da hipóxia. Em geral, a pressurização da cabine é conseguida através da introdução de ar fresco, retirado dos compressores dos motores da aeronave, e da remoção controlada do ar usado por válvulas de saída. O ar ambiente é inicialmente comprimido, aquecendo-se rapidamente, e é então conduzido por uma unidade de arrefecimento (como um permutador de calor ar-combustível) antes de ser canalizado para o interior da cabine. Uma série de válvulas (Figura 6) regula a taxa de exaustão do ar, permitindo que este entre mais rapidamente do que é libertado, o que gera uma pressão interna superior à do exterior. Todo este processo é controlado automaticamente, ajustando a pressão da cabine em função das variações de altitude da aeronave [29].

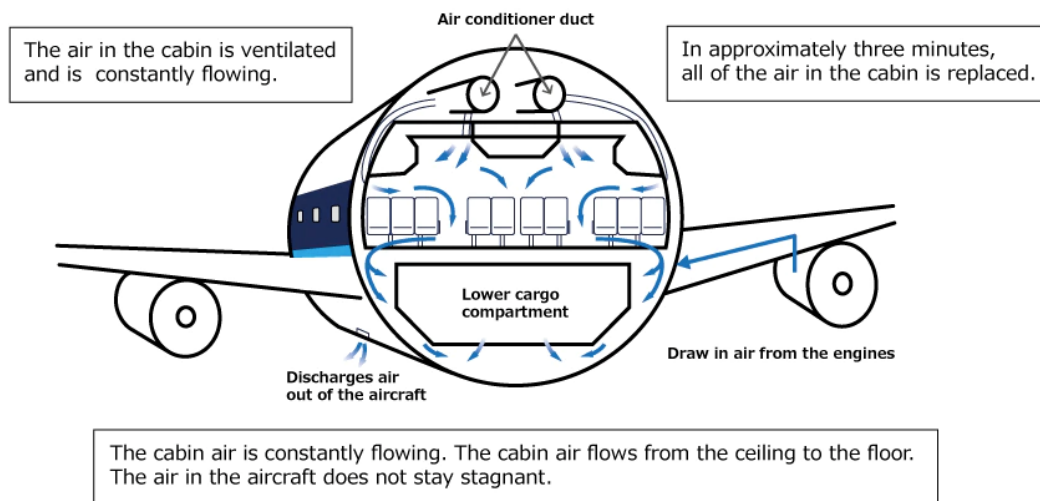


Figura 5 - Esquema da pressurização da cabine [30]

A pressurização também tem um papel importante na regulação da temperatura e da humidade, criando um ambiente mais confortável. O ar dentro da cabine é mantido em uma temperatura média de cerca de 22°C , com níveis de humidade controlados para proporcionar o melhor conforto possível dos seus ocupantes.



Figura 6 - Válvula de Saída (Outflow Valve): Componente essencial para o controle da pressão e fluxo de ar em sistemas aeronáuticos

[31]

2.5.2 Impacto Fisiológico

Apesar da pressurização, a PaO_2 em cabines pressurizadas seja inferior àquela do nível do mar, existe sempre uma hipóxia leve, mais sentida especialmente em passageiros não aclimatados ou em indivíduos com condições de saúde preexistentes. Os sintomas de hipóxia podem incluir fadiga, tontura, e dificuldade de concentração, afetando potencialmente a capacidade de tomada de decisão de pilotos e outros profissionais que operam em altitudes elevadas.

2.5.3 Relevância para a Saúde Ocular

A saúde ocular é uma preocupação relevante em ambientes de alta altitude, onde a pressão reduzida de oxigênio pode afetar a retina e outros tecidos oculares. A retina é particularmente sensível às alterações na perfusão sanguínea e na disponibilidade de oxigênio.

2.6 Fisiologia Ocular

2.6.1 Anatomia e Fisiologia do Olho

Para compreender o funcionamento da visão, é essencial ter um conhecimento básico sobre a anatomia do globo ocular e a fisiologia envolvida (Figura 7) no processo visual.

O olho humano pode ser comparado a um sistema ótico complexo, em que os raios luminosos atravessam várias estruturas transparentes com diferentes índices de refração,

funcionando de maneira similar a um conjunto de lentes organizadas em sequência, com o foco final na retina. Este processo ocorre de forma sequencial:

1. **Córnea:** A luz penetra no olho através da córnea, estrutura transparente e ligeiramente saliente na parte anterior do globo ocular. É nela que ocorre a principal refração inicial dos raios luminosos. A transparência corneana resulta da disposição regular das fibras de colagénio e da ausência de vasos sanguíneos, permitindo a passagem da luz de forma eficiente.
2. **Íris e Pupila:** A íris, a parte colorida do olho, contém músculos lisos que controlam a abertura da pupila, ajustando seu diâmetro para regular a quantidade de luz que entra no globo ocular. Em condições de forte iluminação, o **esfíncter pupilar** contrai a pupila, enquanto, em ambientes mais escuros, o **dilatador da pupila** aumenta o seu tamanho para permitir a entrada de mais luz.
3. **Cristalino:** O cristalino é uma estrutura transparente e biconvexa que ajusta o foco da imagem na retina. Graças à sua flexibilidade, o cristalino altera sua espessura para permitir a visão nítida a diferentes distâncias, processo conhecido como **acomodação**. O **músculo ciliar** envolve o cristalino e, por meio de ligamentos ciliares, facilita essa acomodação ao contrair e relaxar.
4. **Retina:** A retina é a camada interna do globo ocular e é composta por células fotorreceptores, como os **cones** e **bastonetes**, que convertem a luz em impulsos elétricos. Estes impulsos são enviados ao cérebro, onde são interpretados como imagens visuais. A **fóvea**, uma pequena área central da retina, é responsável pela maior acuidade visual, permitindo a visão detalhada.

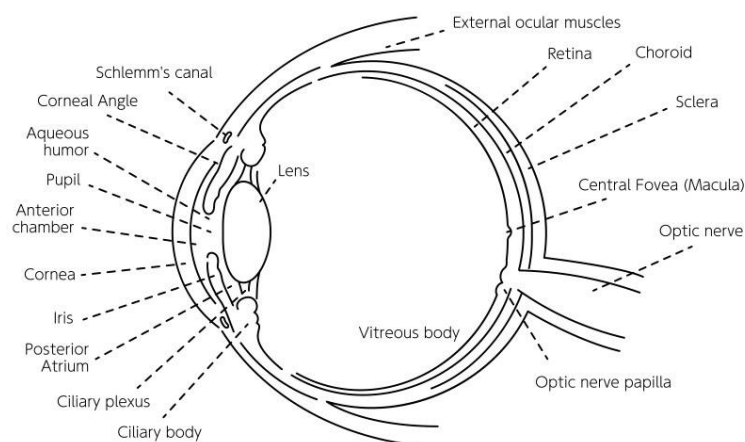


Figura 7 - Representação sumária do Olho humano
[32]

5. **Ponto Cego (Disco Ótico):** Localizado na retina, o ponto cego é a área onde os vasos sanguíneos entram no olho. Não contém células fotorreceptores, o que resulta na ausência de percepção de luz nesse ponto específico da retina.
6. **Nervo Ótico:** O nervo ótico é composto por um conjunto de fibras nervosas que conduzem os impulsos elétricos gerados pelos fotorreceptores da retina até o cérebro, permitindo a interpretação da imagem [27].

2.6.2 Estrutura e Função da Retina

A retina é uma fina camada de tecido nervoso que reveste a parte interna do olho, responsável pela transformação da luz em impulsos elétricos, os quais são analisados pelo cérebro. Essa estrutura complexa desempenha um papel essencial no processo visual, permitindo a percepção de luz, cor e detalhes. A retina é composta por várias camadas, incluindo células fotossensíveis (cones e bastonetes) (Figura 8), que captam a luz e a convertem em sinais nervosos. Os cones são responsáveis pela visão de cores e detalhes finos e concentram-se na fóvea, uma região central da retina, enquanto os bastonetes são mais sensíveis à luz fraca e predominam nas áreas periféricas, contribuindo para a visão noturna e periférica [27].

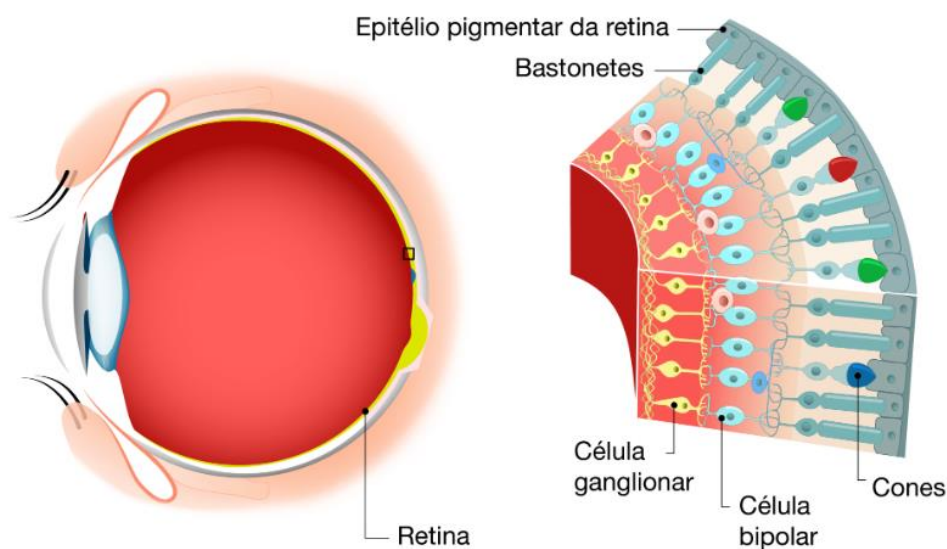


Figura 8 - Esquema celular da retina: epitélio pigmentado, fotorreceptores (cones e bastonetes), células bipolares e ganglionares

[33]

A retina é composta por várias camadas celulares organizadas de forma complexa, cada uma desempenhando um papel específico na captação, processamento e transmissão de estímulos visuais (Figura 9). Estas camadas trabalham em conjunto para transformar a luz que entra no olho em impulsos elétricos, os quais são então enviados ao cérebro, onde são interpretados como imagens. Além das camadas neuronais, existem células de suporte como o epitélio pigmentado e as células de Müller, que mantêm a integridade estrutural e metabólica da retina [34].

Para este estudo, as camadas mais importantes são apresentadas na Figura 9:

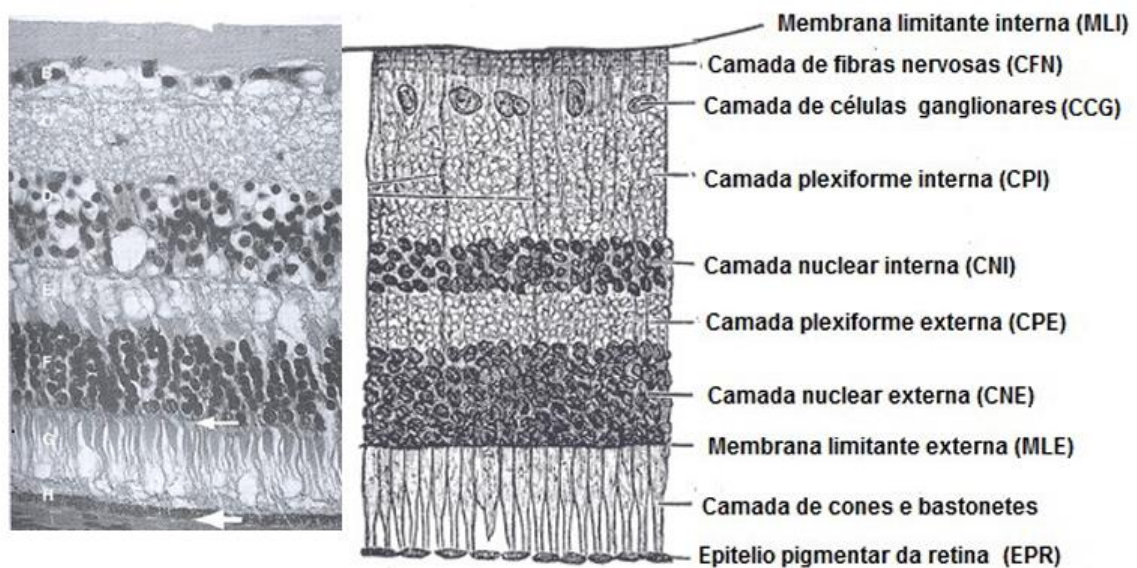


Figura 9 - Camadas da retina, apresentadas num corte histológico (esquerda) e numa representação gráfica (direita)

[34]

- **Camada das Células Ganglionares:** Esta camada contém as células ganglionares, cujos axónios se juntam para formar o nervo ótico. O nervo ótico é importante porque leva os sinais visuais captados pela retina até ao cérebro. Portanto, essa camada é essencial para a transmissão das informações visuais, permitindo que o cérebro interprete o que estamos a ver.
- **Camada Plexiforme Interna:** Na camada plexiforme interna, ocorre a comunicação entre as células bipolares (que recebem sinais dos fotorreceptores) e as células ganglionares. Esta camada desempenha um papel importante na transmissão das informações visuais, garantindo que os sinais sejam processados e integrados corretamente antes de serem enviados ao cérebro.

- **Camada Plexiforme Externa:** A camada plexiforme externa é onde se realizam sinapses entre os fotorreceptores (cones e bastonetes) e as células bipolares. Aqui, a luz captada pelos fotorreceptores é transformada em sinais elétricos, que são transmitidos para as células bipolares. Esta camada é fundamental para a captação inicial da luz e das cores, permitindo que percebamos os detalhes visuais.
- **Camada de Fotorreceptores:** Esta camada é composta por dois tipos principais de células: os cones e os bastonetes. Os cones são responsáveis pela visão em condições de luz diurna e pela percepção de cores, enquanto os bastonetes são mais sensíveis a baixa luminosidade, sendo os responsáveis pela visão noturna. Juntos, esses fotorreceptores convertem a luz em sinais elétricos que serão enviados para o cérebro.

2.6.3 Efeitos da Altitude na Fisiologia Ocular

2.6.3.1 Efeitos da Altitude na Pressão Intraocular

A pressão intraocular é um indicador importante da saúde ocular e pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo a altitude. À medida que os indivíduos ascendem a altitudes elevadas, as mudanças na pressão atmosférica e na oxigenação podem afetar a PIO de maneiras distintas. Estudos realizados em diferentes regiões e altitudes têm mostrado tanto aumentos quanto diminuições significativas na PIO, dependendo das condições específicas e do tempo de exposição. Esta variação é importante para entender os riscos e as adaptações necessárias para manter a saúde ocular em ambientes de alta altitude.

1. Aumento da PIO em Altitudes Elevadas

- Nalguns estudos, como o realizado entre Beijing e Lhasa, observou-se um aumento significativo da PIO quando os participantes foram expostos à altitude elevada de Lhasa (3 658 *m*) durante 7 dias em comparação com Beijing (43 *m*). Esse aumento pode ser explicado pelas alterações na pressão atmosférica e na oxigenação que ocorrem em altitudes mais altas [3].
- De forma semelhante, um estudo realizado durante a expedição médica Apex 2, na Bolívia, observou um aumento estatisticamente significativo da PIO após exposição aguda à altitude de 5 200 metros, com os valores a regressarem ao nível basal após alguns dias de aclimatização [8].

2. Diminuição da PIO em Altitudes Elevadas

- Alguns estudos revelaram uma diminuição significativa da pressão intraocular ao ascender do nível do mar para altitudes mais elevadas. Um exemplo notável é o estudo realizado em Itália, onde foram analisados os efeitos da altitude em locais como Pavia, Courmayeur e Pointe Helbronner, situados, respetivamente, a *77m, 1300m e 3466m* de altitude. Este estudo mostrou uma diminuição significativa da PIO imediatamente após a subida para altitudes superiores [5].
- Além disso, um estudo que analisou várias regiões encontrou uma diminuição da pressão intraocular em altitudes entre 3000 e 5500 metros, evidenciando que as adaptações fisiológicas do organismo em resposta à altitude podem levar a uma redução na pressão intraocular [7].

3. Influência da Aclimação

- A aclimação parece desempenhar um papel importante nas alterações da PIO. Num estudo realizado em La Paz e Chacaltaya, observou-se um aumento inicial da PIO após a exposição aguda à alta altitude, mas a pressão voltou aos níveis basais com a aclimação prolongada. Isso sugere que o corpo humano pode adaptar-se ao ambiente de alta altitude ao longo do tempo, beneficiando a saúde ocular [8].

2.6.3.2 Efeitos da Altitude na Retina

Hemorragias Retinianas e Vítreas

A exposição a ambientes de alta altitude, caracterizados por baixa pressão e oxigenação, está associada a casos de hemorragia intraocular, tanto na retina como no vítreo. Em particular:

- Um estudo documentou um caso em que um homem desenvolveu hemorragia vítrea após subir a uma altitude de *4760m*, experienciando uma diminuição temporária da acuidade visual que se normalizou sem intervenção. Este caso sugere uma resposta transitória da retina à altitude elevada [13].
- Outro estudo descreveu um caso de hemorragia pré-macular numa pessoa a *3524m* de altitude. Esta hemorragia, confirmada por tomografia de coerência ótica (OCT), resolveu-se completamente em seis semanas, com recuperação total da visão,

demonstrando que altitudes superiores a 2500 podem induzir hemorragias maculares [14].

Em casos mais extremos, foi relatado um caso de uma condição retiniana aguda caracterizada por hemorragias, manchas algodinosas e isquemia, geralmente associada a trauma ou hipóxia severa, num homem após uma viagem a 4 600 metros, sugerindo que altitudes muito elevadas podem provocar vasoespasmos retinianos e oclusões arteriolas, resultando em hemorragias [15].

Estes casos evidenciam que a retinopatia de alta altitude pode manifestar-se em hemorragias retinianas e vítreas sem causas traumáticas, possivelmente devido a mudanças na pressão barométrica e hipóxia.

Espessura da Camada de Fibras Nervosas da Retina (RNFL)

A exposição crónica a grandes altitudes parece estar associada a um adelgaçamento da espessura da camada de fibras nervosas da retina (RNFL), especialmente em pessoas que vivem permanentemente a altitudes elevadas, com uma tendência mais pronunciada em indivíduos de idade avançada.

- Um estudo em residentes de altitudes superiores a 2 000 metros revelou uma espessura média da RNFL inferior à dos residentes em altitudes mais baixas. A idade avançada também foi associada a uma RNFL mais fina, independentemente do género [35].
- Outro estudo focado na camada de fibras nervosas e na camada de células ganglionares (GCL) identificou alterações na espessura da RNFL em participantes expostos a 4 600 metros durante um mês. Em alguns quadrantes da retina, a espessura da RNFL aumentou temporariamente, mas voltou ao normal após o regresso a altitudes mais baixas, exceto no quadrante inferior da mácula, onde o espessamento permaneceu [36].

Estas evidências sugerem que a RNFL é sensível às condições de baixa pressão e hipóxia nas altas altitudes, mostrando uma correlação com a altitude e o envelhecimento que pode ter implicações a longo prazo na saúde ocular.

Adaptações Permanentes

Algumas alterações provocadas pela alta altitude parecem manter-se mesmo após o regresso a altitudes normais, sugerindo que certos aspetos estruturais da retina podem adaptar-se de forma permanente a ambientes de baixa pressão.

- Como mencionado, num dos estudos a espessura da RNFL permaneceu aumentada na zona inferior da mácula mesmo após três meses de retorno à baixa altitude, sugerindo que a retina pode sofrer adaptações estruturais duradouras em resposta às condições extremas de baixa oxigenação [36].

Essas adaptações sugerem que a retina pode responder ao stress de alta altitude com alterações estruturais que persistem após a exposição de um mês à hipóxia.

Espessura Coroidal

A camada coroidal subfoveal também apresentou um aumento de espessura durante a exposição a altitudes elevadas, possivelmente como resposta à hipóxia, através de uma maior vascularização que compensa a baixa disponibilidade de oxigénio.

- Num dos estudos, observou-se um aumento significativo da espessura da coróide subfoveal em ambos os olhos de um participante exposto a 4 600 metros, acompanhado de hemorragias intraretinianas, indicando que o aumento da espessura coroidal pode ser um fator contribuinte para a ocorrência de hemorragias em ambientes de alta altitude [37].

Esses resultados mostram que a espessura da camada coroidal aumenta para compensar o défice de oxigénio, mas essa adaptação pode também tornar a retina mais vulnerável a eventos hemorrágicos, sobretudo em exposições prolongadas. Embora no nosso estudo não tenhamos medido diretamente a coróide, esta informação é relevante para compreender casos em que os valores de densidade e volume são discordantes.

2.7 Conclusão

A revisão da literatura apresentada neste capítulo permitiu consolidar os conceitos fundamentais para compreender os efeitos da altitude na fisiologia ocular, com especial enfoque na retina. Foram abordadas as características da atmosfera terrestre e as implicações da redução da pressão parcial de oxigénio em altitudes elevadas, destacando-se a relevância da hipóxia como fator determinante para alterações fisiológicas.

Foram também analisadas as condições de cabine em aeronaves comerciais, que, embora pressurizadas, expõem os passageiros a níveis equivalentes a altitudes entre 1 800 e 2 400 metros, criando um ambiente hipobárico moderado. Esta constatação é particularmente relevante, pois aproxima as condições de voo às registradas em locais como a Serra da Estrela, cenário experimental deste estudo.

No que respeita à saúde ocular, a literatura evidencia que a retina é altamente sensível à hipóxia, podendo ocorrer alterações estruturais e funcionais, como hemorragias retinianas, variações na espessura das camadas e modificações na pressão intraocular. Contudo, a análise bibliográfica revelou lacunas significativas: a maioria dos estudos existentes foi realizada em contexto de montanha ou em câmaras hipobáricas, com pouca representatividade das condições reais da aviação comercial. Além disso, observam-se resultados contraditórios relativamente à evolução da pressão intraocular e às alterações retinianas, o que reforça a necessidade de investigações adicionais.

Assim, este capítulo estabelece a base teórica para o presente trabalho, justificando a pertinência de avaliar, em condições controladas e comparáveis às da aviação, as alterações na retina e na pressão intraocular induzidas pela exposição à altitude.

3 Caso de Estudo

3.1 Introdução

Este capítulo descreve a metodologia adotada para avaliar os efeitos da exposição à altitude na retina e na pressão intraocular. São apresentados os critérios de seleção dos participantes, os equipamentos utilizados para recolha de dados, o protocolo experimental realizado em diferentes condições de altitude e os métodos de análise. O objetivo é garantir a reprodutibilidade do estudo e a validade dos resultados obtidos.

3.2 Participantes

Para este estudo, foi recrutado um grupo de 30 pessoas saudáveis, estudantes da Universidade da Beira Interior. A seleção dos participantes foi realizada por meio de contatos diretos com colegas via telemóvel, além de parcerias estabelecidas com a Associação de Estudantes e o Núcleo de Aeronáutica da Universidade.

3.2.1 Caracterização da Amostra

A amostra foi composta por 30 participantes, dos quais 16 eram do sexo feminino e 14 do sexo masculino, procurando uma representação equilibrada de ambos os géneros. A faixa etária variou entre 18 e 25 anos, escolhida para assegurar um grupo relativamente homogéneo em termos de desenvolvimento ocular e saúde geral. Todos os participantes estavam aclimatizados a um ambiente de pressão atmosférica correspondente a uma altitude entre 600 e 800 metros (altitude base do estudo).

3.2.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram incluídos apenas participantes sem histórico de cirurgias ao olho, traumatismos oculares ou qualquer outra condição que pudesse influenciar a função visual. Adicionalmente, foram excluídos indivíduos com hipersensibilidade à luz e aqueles que estavam a tomar medicação que causasse fotossensibilidade, devido às restrições associadas ao uso do equipamento de *Optical Coherence Tomography* (OCT).

3.2.3 Considerações Éticas

Antes do início do estudo, todos os participantes receberam informações detalhadas sobre os procedimentos envolvidos, garantindo-lhes que nenhum teste invasivo seria realizado nos olhos. Embora tenham sido recolhidos dados biométricos, a privacidade dos participantes foi assegurada através da anonimização dessas informações. Todos

assinaram um documento de consentimento informado (Apêndice A) após compreenderem plenamente os termos do estudo. A confidencialidade dos dados foi garantida através de armazenamento seguro e anonimização das informações recolhidas.

3.3 Equipamentos Utilizados

3.3.1 Medição da Pressão Intraocular

Para a medição da pressão intraocular, foi utilizado o tonómetro de sopro *Keeler Pulsair IntelliPuff* (Figura 10). Este equipamento funciona através da emissão automática de um sopro de ar suave sobre a córnea, um evento que permite determinar a pressão intraocular sem necessidade de contacto direto com o olho.



Figura 10 - Tonómetro de sopro Keeler Pulsair IntelliPuff [38]

A PIO pode variar devido a fatores como pulsação, flutuações respiratórias e ritmo circadiano, além de influências externas como piscar dos olhos, espirrar, atividade física, posição corporal e direção do olhar. Para minimizar essas variações e obter um valor mais consistente, é recomendada a realização de múltiplas medições. O software do *Pulsair IntelliPuff* reconhece automaticamente as leituras e emite um sinal audível quando obtém duas medições consecutivas que não diferem mais do que ± 1 mmHg, indicando que valores adicionais podem não ser necessários [38].

Para garantir maior precisão, no presente estudo foram realizadas três medições em cada olho, em três horários distintos ao longo do dia: 8h, 10h e 12h. Este procedimento foi repetido durante as três semanas do estudo.

3.3.1.1 Preparação do Participante

Para garantir medições precisas e minimizar interferências externas, os participantes foram preparados seguindo um protocolo padronizado [38] antes da medição da pressão intraocular:

1. Posição e Conforto

- O participante foi colocado numa posição confortável e relaxada, com a cabeça apoiada para evitar movimentos involuntários.
- Foi solicitado que não houvesse tensão ou nervosismo, pois a apreensão pode afetar os valores da PIO.

2. Remoção de Acessórios e Ajustes Visuais

- O participante foi instruído a remover lentes de contacto ou óculos antes da medição.
- Para garantir uma película lacrimal uniforme, foi solicitado que piscasse naturalmente antes da leitura.

3. Ambiente de Medição

- O exame foi realizado numa sala com iluminação difusa, moderada e indireta.

4. Durante a Medição

- O participante foi instruído a manter os olhos bem abertos para evitar encerramento involuntário das pálpebras, o que poderia alterar os valores da PIO.
- Foi permitido piscar entre as medições para manter a superfície ocular hidratada e confortável.

3.3.1.2 Execução da Leitura

Após a preparação do equipamento *Pulsair IntelliPuff* e do participante, procedeu-se à medição da pressão intraocular, seguindo o protocolo recomendado pelo fabricante [38] para garantir leituras fiáveis e reproduzíveis.

Passos para a Medição da PIO

1. O *Pulsair IntelliPuff* está programado para iniciar automaticamente a medição no olho direito. Caso fosse necessário começar pelo olho esquerdo, pressionava-se o

botão OD/OS (referente, respectivamente a Olho Direito e Olho Sinistro/Esquerdo, no dispositivo manual).

2. O examinador retirava o dispositivo manual do suporte, ativando automaticamente a bomba de ar e acendendo os dois LEDs verdes.
3. A partir de uma distância de aproximadamente 30 cm, localizava-se o olho do participante através da ocular do aparelho (Figura 11).
4. Lentamente, o examinador aproximava o dispositivo do olho do participante, mantendo o alinhamento (Figura 11). Para maior estabilidade, utilizava-se o apoio da mão livre.
5. Durante a aproximação, apareciam dois pontos verdes, indicando o alinhamento correto (Figura 11).
6. Com a continuação da aproximação, surgia um reflexo vermelho no olho do participante (Figura 11).
7. A cerca de 15 mm de distância, a imagem do reflexo tornava-se uma cruz preta sobre fundo vermelho (semelhante a um laço ou gravata borboleta, Figura 11).
8. Assim que a imagem estava centralizada, o *Pulsair IntelliPuff* disparava automaticamente um sopro de ar, realizando a medição da PIO.

9. Após cada leitura, o examinador indicava o valor à pessoa responsável pelo registo e permitia que o paciente piscasse os olhos e relaxasse brevemente antes de realizar a próxima medição.



Figura 11 - Passos do alinhamento e medição da PIO com o Pulsair IntelliPuff [38]

3.3.2 Tomografia de Coerência Ótica (OCT)

A Tomografia de Coerência Ótica (OCT) é um exame de imagem não invasivo do fundo ocular, que permite obter, in vivo, imagens de cortes transversais histológicos das diferentes camadas da retina, da fóvea e do nervo ótico. Baseia-se no princípio da interferometria de baixa coerência ótica, proporcionando uma resolução entre 3 e 7 μm nos equipamentos mais recentes do tipo *Spectral Domain OCT* (SD-OCT).

O OCT possibilita a análise da interface vítreo-retiniana, a identificação de alterações estruturais na retina e no tecido sub-retiniano, bem como a medição da espessura retiniana. Esta tecnologia permite ainda a análise, caracterização e monitorização de lesões oftalmológicas, sendo uma ferramenta essencial no diagnóstico e seguimento de diversas patologias oculares [34].

Os exames de OCT utilizam técnicas avançadas de varrimento para gerar imagens detalhadas das estruturas oculares, baseando-se nos princípios do **A-Scan** e **B-Scan**, métodos originalmente desenvolvidos para ultrassonografia oftalmológica:

- **A-Scan (*Amplitude Scan*):**
 - Produz um perfil unidimensional das estruturas oculares, analisando a refletividade dos tecidos ao longo de um único eixo.
 - É tradicionalmente utilizado para medir o comprimento axial do olho, sendo importante em cálculos para cirurgia de catarata.
 - No contexto do OCT, contribui para a medição da espessura retiniana e a análise da morfologia das camadas oculares.
- **B-Scan (*Brightness Scan*):**
 - Forma uma imagem transversal ao combinar múltiplos A-Scans sequenciais.
 - Permite a visualização transversal das camadas da retina e da sua estrutura interna.
 - No OCT, o B-Scan é o principal método de varrimento, fornecendo cortes detalhados da retina e permitindo a segmentação das suas camadas.

O uso do B-Scan no OCT é particularmente relevante na avaliação do segmento posterior do olho, permitindo a identificação de alterações retinianas [39].

Neste estudo, foi utilizado o HOCT-1/1F da Huvitz, um OCT de domínio espectral (SD-OCT), que permite a obtenção de imagens de alta resolução da retina e do nervo ótico, sendo adequado para a avaliação detalhada das estruturas oculares (Figura 12).



Figura 12 - Tomógrafo de Coerência Ótica (OCT) HOCT-1/1F da Huvitz [40]

3.3.2.1 Preparação do Ambiente e do Paciente

Para garantir a precisão das medições realizadas com o HOCT-1/1F, foi seguida uma preparação padronizada do ambiente e do paciente antes de cada exame.

O exame foi realizado num ambiente escuro e com baixa humidade, evitando reflexos indesejados e minimizando interferências óticas que poderiam comprometer a qualidade das imagens obtidas. Além disso, o local foi mantido a uma temperatura estável, garantindo conforto ao paciente e prevenindo variações na película lacrimal que poderiam afetar a aquisição dos dados.

Antes do exame, os participantes foram instruídos a:

- Permanecer relaxados e confortáveis para evitar movimentos involuntários.
- Manter os olhos bem abertos e fixar o olhar no ponto indicado pelo equipamento.
- Evitar piscar excessivamente durante a aquisição das imagens, assegurando uma captação sem artefactos.
- Permanecer imóveis durante a varredura do OCT, garantindo a nitidez e a qualidade das imagens.

3.3.2.2 Especificações dos Dados Recolhidos

Para cada olho e em cada semana do estudo, foram recolhidos diversos dados utilizando a Tomografia de Coerência Ótica (OCT). Abaixo estão descritos os tipos de dados recolhidos e as suas especificações:

- **Mapas ETDRS** ($9\text{ mm} \times 9\text{ mm} / A1024 \times B24$):

Estes mapas dividem a retina em nove regiões, permitindo avaliar as alterações morfológicas na retina externa e na coroide na mácula. A área de $9 \times 9\text{ mm}^2$ foi adquirida utilizando 1024 A-scans por linha e 24 B-scans (Figura 13).

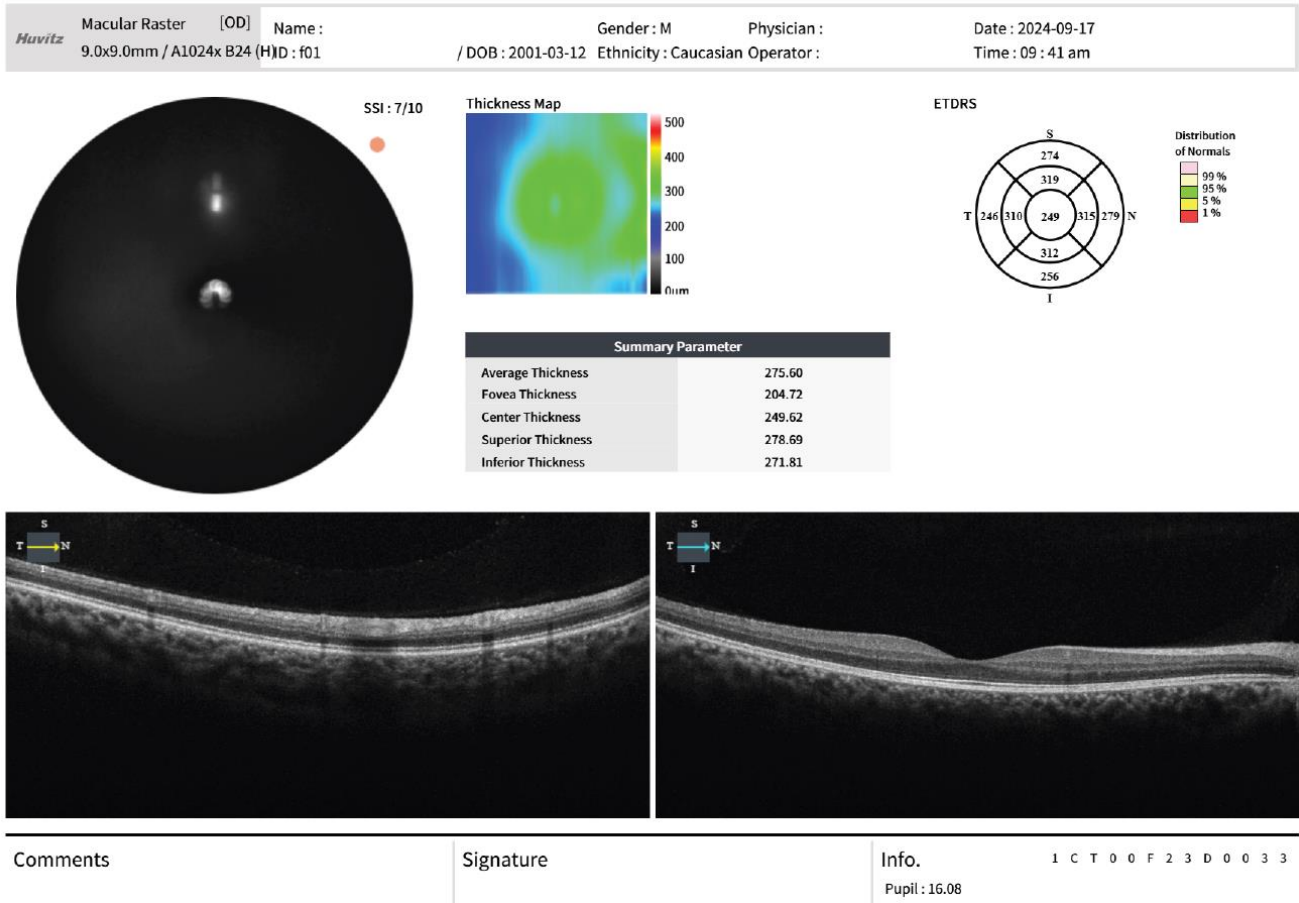


Figura 13 - Mapa ETDRS da Retina obtida através da Tomografia de Coerência Ótica (OCT)

- Mapas GCC (9 mm × 9 mm / A1024 × B24):

Os mapas do Complexo de Células Ganglionares (GCC) fornecem informações sobre alterações estruturais precoces na neuropatia ótica glaucomatosa (GON), utilizando a mesma área e o mesmo número de A-scans e B-scans que os mapas ETDRS (Figura 14).

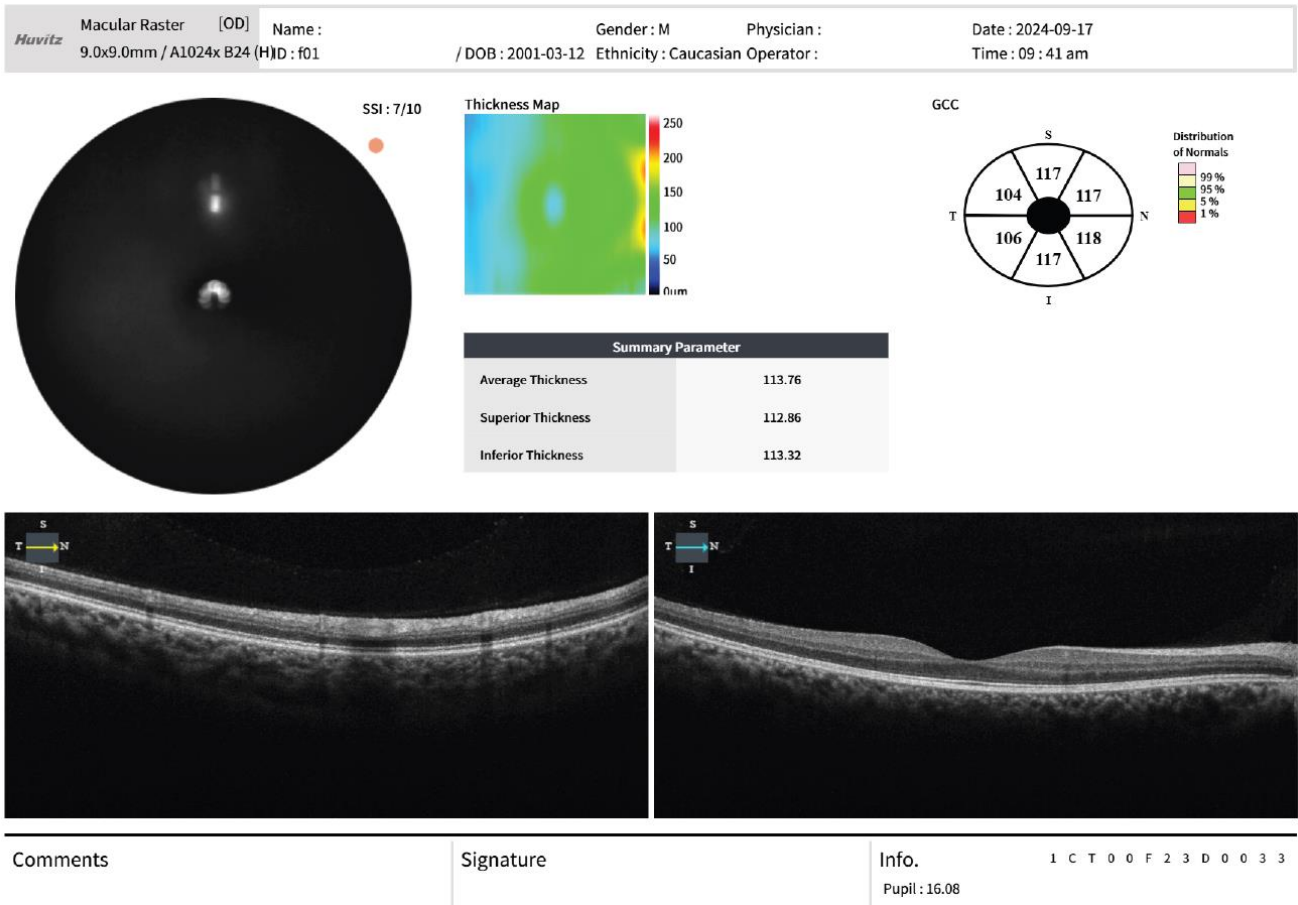


Figura 14 - Mapa GCC da Retina obtida através da Tomografia de Coerência Ótica (OCT)

- Macular Angio ($3\text{ mm} \times 3\text{ mm} / A304 \times B304\text{ H e V}$):

A angiografia macular (OCTA) foi realizada em modos horizontal (H) e vertical (V), tanto em profundidade (*Deep*) quanto na superfície (*Sup*). O exame foi realizado com 304 A-scans por linha e 304 B-scans, permitindo a visualização detalhada da microvasculatura retiniana e a identificação de possíveis alterações na circulação sanguínea (Figura 15).

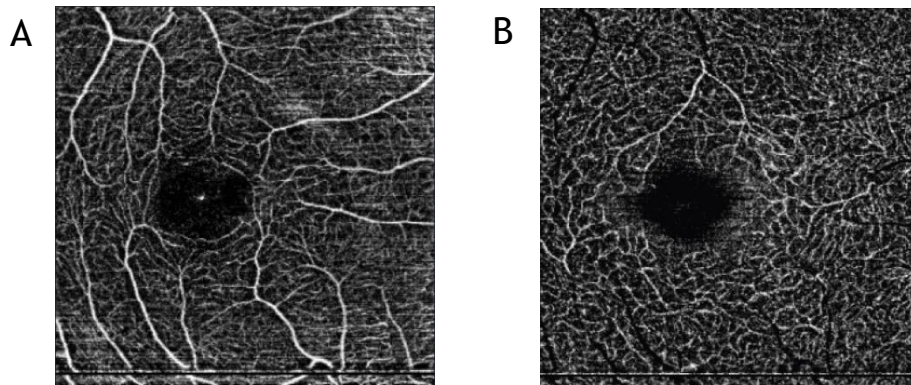


Figura 15 - (A) Angiografia Macular Superficial (*Sup*); (B) Angiografia Macular Profunda (*Deep*)

- Macular Raster ($9\text{ mm} \times 9\text{ mm} / A1024 \times B24$):

As varreduras *raster* maculares consistem em 24 cortes transversais da retina, adquiridos sobre uma área de $9\text{ mm} \times 9\text{ mm}$, utilizando 1024 A-scans por linha e 24 B-scans (Figura 16). Este protocolo permitiu uma reconstrução detalhada da morfologia e espessura retiniana, sendo essencial para a análise estrutural ao longo do estudo.

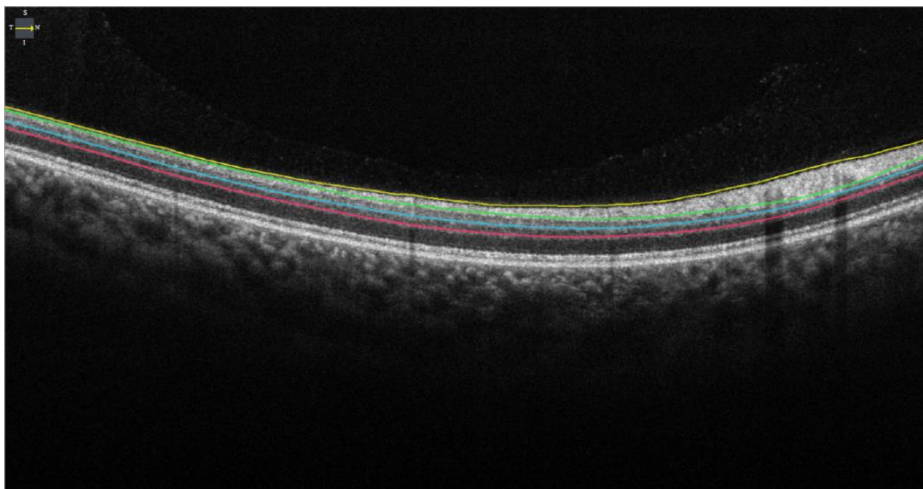


Figura 16 - Corte Macular Raster - Imagem de um corte detalhado da estrutura macular, obtida através da Tomografia de Coerência Ótica (OCT)

3.3.3 Oxímetro de Dedo

Para medir a saturação de oxigênio no sangue e a frequência cardíaca, foi utilizado um oxímetro de dedo (Figura 17). Este dispositivo não invasivo é colocado na ponta do dedo e utiliza um sensor de luz para determinar a quantidade de oxigênio presente no sangue e a frequência dos batimentos cardíacos.



Figura 17 - Oxímetro de Dedo - Dispositivo utilizado para medir a saturação de oxigênio no sangue (SpO2) e a frequência cardíaca (bpm) dos participantes durante o estudo.

O oxímetro de dedo funciona emitindo uma luz que é absorvida pela hemoglobina no sangue. A quantidade de luz absorvida é então medida por um fotodetector, permitindo calcular a saturação de oxigênio. A frequência cardíaca é medida simultaneamente, contando os pulsos de sangue que passam pelo sensor. Este método é particularmente útil para monitorizar a oxigenação do sangue e a frequência cardíaca em diferentes altitudes, ajudando a identificar possíveis estados de hipóxia e variações na função cardíaca.

Para garantir a precisão das medições, os participantes foram instruídos a manter a mão relaxada e abaixo do nível do coração durante a leitura. Foi realizada apenas uma medição após a primeira avaliação da pressão intraocular, e os participantes foram solicitados a permanecer sentados durante o procedimento.

3.4 Protocolo Experimental

O estudo foi realizado ao longo de três semanas consecutivas, seguindo um protocolo padronizado para garantir a reprodutibilidade dos resultados. As medições foram efetuadas durante três dias por semana (terça, quarta e quinta-feira), e os participantes foram distribuídos de forma uniforme entre esses dias. Cada indivíduo compareceu sempre no mesmo dia da semana ao longo das três fases do estudo, assegurando a consistência das medições.

Para preservar o anonimato dos participantes, foi atribuído um código de identificação único, onde os participantes do sexo masculino foram identificados com a letra "M" seguida de um número (M01, M02, etc.), e os participantes do sexo feminino receberam a letra "F" seguida de um número (F01, F02, etc.).

3.4.1 Semana 1: Testes na Faculdade (Baixa Altitude)

Os exames da Semana 1 foram realizados no Laboratório de Ótica da Universidade da Beira Interior (UBI), situado a uma altitude entre os 600 e 800 metros. O objetivo desta fase foi estabelecer os valores de referência para comparação com as medições subsequentes, garantindo que os dados recolhidos representassem o estado basal dos participantes em condições normais de baixa altitude.

3.4.1.1 Procedimentos Experimentais

- Medição da Pressão Intraocular
A PIO foi medida utilizando o *Keeler Pulsair IntelliPuff*, um tonómetro de sopro que permite uma avaliação rápida e não invasiva. Foram realizadas três medições por participante, sempre nos mesmos horários: 8h, 10h e 12h. Para garantir a consistência das medições, os participantes foram chamados por uma ordem fixa, assegurando que cada indivíduo fosse avaliado sempre à mesma hora ao longo do estudo.
- Medição da Oximetria
A oximetria foi realizada logo após a primeira medição da PIO, permitindo avaliar os níveis basais de saturação de oxigénio dos participantes. Estes valores foram utilizados como referência para futuras comparações, nomeadamente com os resultados obtidos na exposição à altitude.

- Testes de Acuidade Visual (AV) e Fotofocometria

Após a primeira medição da PIO e da oximetria, foram realizados testes para avaliar a acuidade visual dos participantes. O teste de Acuidade Visual (AV) foi realizado a uma única distância (aproximadamente de 5 metros) e permitiu verificar a capacidade de cada indivíduo em distinguir detalhes sob alto contraste. Apenas foram incluídos no estudo participantes com acuidade visual igual ou superior a 0.8, garantindo um nível mínimo de função visual para a validade das medições oftalmológicas.

Adicionalmente, utilizou-se um lensômetro, equipamento essencial para medir a as dioptrias das lentes oftálmicas ou lentes de contacto (miopia, hipermetropia, astigmatismo) dos pacientes que utilizam óculos.

Estes testes foram determinantes para verificar se os participantes poderiam ser incluídos no estudo.

- Exames de Tomografia de Coerência Ótica (OCT)

Os exames de tomografia foram realizados utilizando o HOCT-1F da Huvitz, um tomógrafo de coerência ótica de domínio espectral (SD-OCT). Cada participante foi examinado individualmente entre os intervalos das medições da PIO para evitar interferências entre os diferentes testes. Os protocolos de aquisição incluíram:

- Mapas ETDRS e GCC
- Angiografia macular (OCTA)
- Varredura *macular raster*

3.4.2 Semana 2: Testes na Torre, Serra da Estrela (Alta Altitude)

Na segunda semana do estudo, os testes foram realizados numa das torres de radar da Serra da Estrela, a uma altitude aproximada de 1 993 metros (Figura 18).



Figura 18 - Torre de radar da Serra da Estrela onde foram realizados os testes para este estudo.

O objetivo desta fase foi avaliar os efeitos da exposição à altitude elevada na pressão intraocular, oximetria e características estruturais e vasculares da retina.

3.4.2.1 Transporte e Logística

Nos três dias da semana experimental (terça, quarta e quinta-feira), todos os participantes foram reunidos em frente ao Polo Principal da Universidade da Beira Interior e transportados até à Torre da Serra da Estrela num autocarro fornecido pela Câmara da Covilhã. A viagem teve uma duração média de 25 minutos em cada trajeto.

3.4.2.2 Procedimentos Experimentais

Os testes realizados nesta semana foram idênticos aos da Semana 1, com exceção dos testes de Acuidade Visual (AV) e Frontofocometria, que não foram incluídos nesta fase.

- Medição da Pressão Intraocular

A PIO foi medida utilizando o *Keeler Pulsair IntelliPuff*, seguindo o mesmo protocolo da semana anterior. Cada participante realizou três medições, nos horários 8h, 10h e 12h, sendo chamado na mesma ordem estabelecida na Semana 1 para garantir a consistência dos dados.

- Medição da Oximetria

Depois da primeira medição da PIO, foi realizada a medição da saturação de oxigênio e pulsação cardíaca para avaliar as possíveis alterações resultantes da exposição à altitude.

- Exames de Tomografia de Coerência Ótica (OCT)

Os exames de tomografia foram novamente realizados com o HOCT-1F da Huvitz, seguindo os mesmos protocolos de aquisição da Semana 1:

- Mapas ETDRS e GCC.
- Angiografia macular (OCTA).
- Varredura *macular raster*.

3.4.3 Semana 3: Testes na Faculdade (Baixa Altitude)

Na terceira e última semana do estudo, os testes foram novamente realizados na Universidade da Beira Interior (UBI), nas mesmas condições da Semana 1. O objetivo desta fase foi avaliar se os parâmetros analisados na pressão intraocular, oximetria e estrutura vascular e retiniana haviam regressado aos valores basais após a exposição à altitude elevada na Semana 2, ou se persistiam alterações.

3.4.3.1 Procedimentos Experimentais

Os testes seguiram o mesmo protocolo da Semana 2, com exceção dos testes de Acuidade Visual (AV) e Frontofocometria, que não foram realizados nesta fase.

- Medição da Pressão Intraocular

A PIO foi novamente medida utilizando o *Keeler Pulsair IntelliPuff*, seguindo os horários padronizados das semanas anteriores: 8h, 10h e 12h. Cada participante foi chamado na mesma ordem das semanas anteriores, garantindo a consistência dos dados recolhidos.

- Medição da Oximetria

A oximetria foi realizada antes da primeira medição da PIO, permitindo avaliar se os níveis de saturação de oxigênio haviam retornado aos valores iniciais da Semana 1.

- Exames de Tomografia de Coerência Ótica (OCT)

Os exames de tomografia foram novamente realizados com o HOCT-1F da Huvitz, seguindo os mesmos protocolos das semanas anteriores:

- Mapas ETDRS e GCC.
- Angiografia macular (OCTA).
- Varredura *macular raster*.

3.4.4 Condições ambientais (Semana 1 e 3 a baixa altitude)

Os dados das condições meteorológicas apresentados na Tabela 2 foram fornecidos pela Meteoestrela, que disponibilizou os registos da estação meteorológica da Covilhã para os dias abrangidos pelo estudo. A tabela inclui informações sobre a temperatura máxima e mínima (°C), humidade relativa (%) e pressão atmosférica (hPa), permitindo uma análise detalhada das variações climáticas ao longo do período considerado.

Tabela 2 - Registo das condições meteorológicas na Covilhã, fornecido pela Meteoestrela, para os dias incluídos no estudo (elaboração própria)

Data	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	Hum. Rel. (%)	Pressão (hPa)
17/09/2025	28.2	14.6	34	1010.1
18/09/2025	26.2	12.4	53	1009.5
19/09/2025	25.5	15.3	65	1010.3
01/10/2025	27.9	13.9	64	1016.1
02/10/2025	22.7	15.8	86	1013
03/10/2025	24.1	14.8	77	1013.7

3.4.5 Condições ambientais (Semana 2, Serra da Estrela)

Como não existem dados meteorológicos disponíveis para o topo da Serra da Estrela (Torre, a 1993 metros de altitude), os registos utilizados foram obtidos através da plataforma Ogimet [41] (Tabela 3), referentes à estação das Penhas Douradas, situada a 1380 metros de altitude. Apesar de não corresponder ao ponto mais elevado da serra, esta estação permite uma aproximação válida às condições atmosféricas em altitude. Importa referir que, devido à diferença de altitude, a pressão atmosférica na Torre seria inferior à registada nas Penhas Douradas, uma vez que a pressão diminui com o aumento da altitude. Ainda assim, os dados obtidos são considerados adequados e representativos para os objetivos deste estudo, permitindo uma análise comparativa entre as condições meteorológicas em altitude e em zonas de menor elevação.

Tabela 3 - Condições meteorológicas registadas nas Penhas Douradas (1380 metros), obtidas através da plataforma Ogimet (elaboração própria)

Data	Temp. Max (°C)	Temp. Min (°C)	Hum. Rel. (%)	Pressão (hPa)
24/09/2025	16.9	7.4	50.6	863.2
25/09/2025	15.7	8.8	95.9	862.3
26/09/2025	16.0	11.0	95.7	860.9

3.5 Processamento de Dados

Com o objetivo de garantir a precisão e a fiabilidade dos resultados obtidos, foram desenvolvidos códigos personalizados em MATLAB para o processamento das imagens recolhidas. Embora o equipamento HOCT-1/1F da Huvitz forneça automaticamente valores relativos à densidade vascular e a parâmetros estruturais da retina, a análise preliminar revelou discrepâncias significativas, sobretudo nos valores de densidade vascular. Essas divergências são agravadas pela falta de transparência quanto aos métodos utilizados pelo sistema para a sua determinação.

Adicionalmente, verificou-se que o sistema do equipamento apresentava limitações na deteção precisa dos limites entre as diferentes camadas retinianas. Essa falha compromete a precisão da medição e comparação longitudinal das medições estruturais, nomeadamente no que diz respeito à espessura e ao volume da retina. Por estas razões, optou-se por um processo independente e controlado, assegurando maior rigor na análise dos dados imagiológicos.

Perante esta incerteza metodológica, foram desenvolvidos **dois códigos principais**:

- Um primeiro código, dedicado ao **cálculo da densidade vascular** com base nas imagens angiográficas (Apêndice B);
- Um segundo código, destinado à **delimitação das camadas retinianas** e ao **cálculo do volume entre essas camadas** (Apêndice C).

Ambos os códigos foram concebidos para garantir:

- **Controlo total** sobre o processo de segmentação e análise;
- **Uniformidade** no tratamento das imagens de todos os participantes;
- **Reprodutibilidade** dos resultados.

De seguida, apresenta-se a explicação do primeiro código, dedicado à análise da densidade vascular retiniana. Este código encontra-se dividido em três partes principais.

3.5.1 Parte 1 - Criação da Máscara de Análise Retiniana

Antes de passarmos à explicação da primeira parte do código desenvolvido, é importante compreender o objetivo clínico e metodológico por detrás da criação da máscara de análise. Esta etapa foi essencial para garantir a correta aquisição das imagens, bem como a sua comparação e análise longitudinal de forma padronizada entre todos os pacientes.

Foi, por isso, definida uma máscara de análise retiniana comum, aplicada uniformemente a todas as imagens. Esta máscara delimita uma região anatômica específica da retina, assegurando que a medição ocorra sempre na mesma área, independentemente da posição em que uma imagem em particular foi adquirida ou do olho examinado.

A máscara é composta por:

- Um círculo externo com 9 mm de diâmetro, que define a área total de interesse.
- Um círculo interno com 3 mm de diâmetro, correspondente à fóvea – uma zona central naturalmente avascular – que é excluída da análise.
- Divisão em quatro quadrantes anatômicos:
 - Superior (S)
 - Inferior (I)
 - Temporal (T)
 - Nasal (N)

Nota: A orientação dos quadrantes depende do olho examinado. No olho direito (OD), o quadrante temporal está à esquerda da imagem; no olho esquerdo (OE), está à direita. Esta inversão foi considerada no processamento para garantir a correta correspondência anatômica.

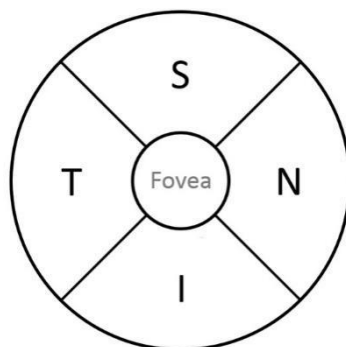


Figura 19 - Exemplo da máscara de análise retiniana utilizada no estudo para o olho direito

A Figura 19 representa um exemplo da máscara de análise pretendida, evidenciando a segmentação circular e a divisão em quadrantes anatômicos.

3.5.1.1 Explicação da Parte 1 do código das densidades vasculares

Esta primeira fase do código é responsável por construir, para cada imagem, uma máscara que define a área da retina a ser analisada. A construção da máscara baseia-se na seleção manual do centro da mácula (fóvea), feita pelo utilizador.

Etapas principais:

1. Seleção do centro da retina (fóvea):

O utilizador visualiza cada imagem e seleciona manualmente o ponto central da mácula, sempre na imagem que se encontra mais à esquerda. Este ponto serve como referência para a construção da máscara (Figura 20).

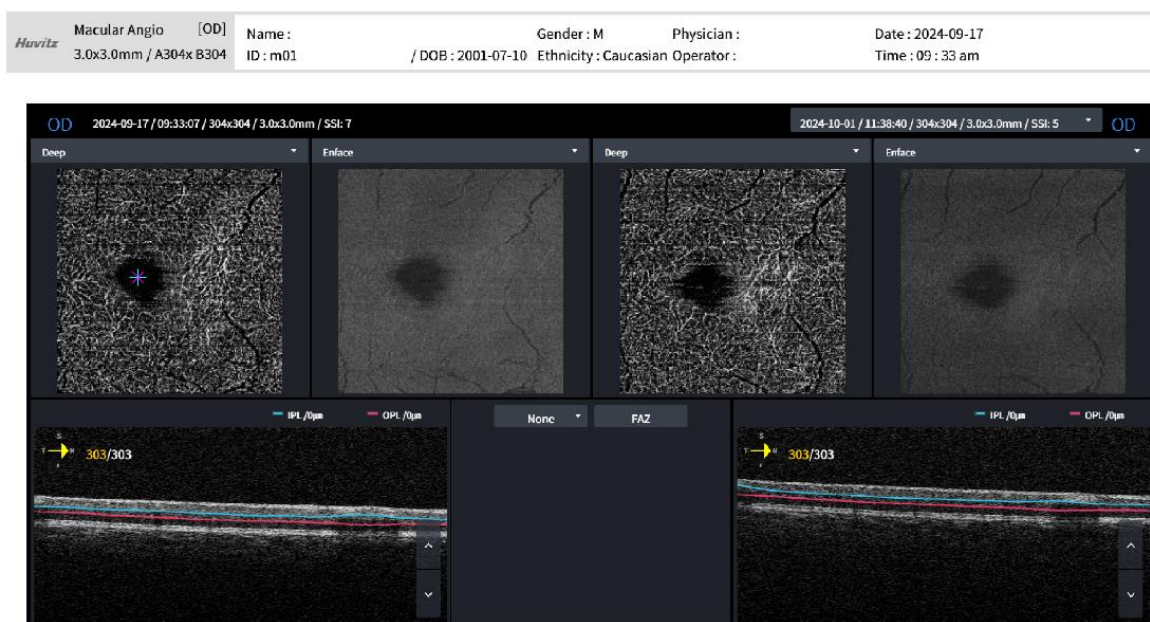


Figura 20 - Exemplo da seleção manual do centro da mácula (imagem retiniana mais à esquerda)

2. Criação de regiões circulares concêntricas:

A partir do ponto selecionado, são desenhados dois círculos:

- Um círculo maior com 9 mm de diâmetro, que define o limite externo da área de interesse.
- Um círculo interno com 3 mm de diâmetro (um terço do círculo maior), que representa a zona central da retina.

Ambas as regiões são incluídas na análise, permitindo avaliar a densidade vascular em diferentes zonas concêntricas.

3. Divisão da área em quadrantes diagonais:

São desenhadas duas linhas diagonais cruzadas, centradas na fóvea, que dividem a área circular em quatro zonas anatómicas: superior, inferior, nasal e temporal. Esta segmentação permite uma análise regional da densidade vascular.

4. Definição de uma área quadrada central:

Para assegurar a uniformidade e a comparabilidade da análise entre diferentes imagens e pacientes, foi definida uma área de estudo com dimensões fixas, correspondente a um quadrado de 9 mm de lado (637x637 píxeis). Esta área encontra-se sempre na mesma posição da imagem, funcionando como uma janela de análise constante ao longo de todo o estudo.

A máscara de análise é construída com base no ponto central da mácula (fóvea), selecionado manualmente pelo utilizador. No entanto, a análise da densidade vascular é restrita à interseção entre essa máscara e o quadrado fixo, ou seja, apenas os píxeis da máscara que se encontram dentro da área quadrada são considerados.

Este método permite que, mesmo que o centro da mácula varie ligeiramente entre imagens, a zona efetivamente analisada seja sempre a mesma em termos de localização e dimensão. Assim, garante-se uma análise padronizada e comparável entre todos os casos, respeitando simultaneamente a anatomia individual de cada imagem.

5. Construção da máscara final:

A máscara final resulta da combinação das regiões circulares, da área quadrada e das divisões diagonais. Esta máscara define exatamente quais os píxeis da imagem que serão considerados na análise da densidade vascular.

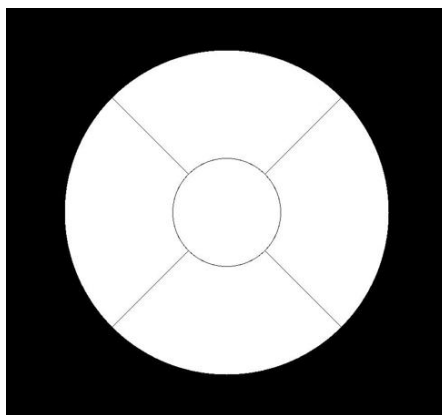


Figura 21 - Exemplo de máscara completa gerada a partir do ponto central da mácula

A máscara (Figura 21) inclui as regiões circulares concêntricas e as divisões diagonais em quatro quadrantes anatómicos. Esta máscara é criada individualmente para cada momento e paciente, com base na localização da fóvea.

De forma a garantir que a análise seja realizada numa área comum e fiável ao longo dos três momentos de aquisição, é efetuado um alinhamento e uma interseção entre as três máscaras geradas para cada paciente (cada uma correspondente a um momento). Esta operação permite identificar a região da retina que está presente e válida nas três imagens, resultando numa máscara final de interseção, que será utilizada nas fases seguintes do processo.

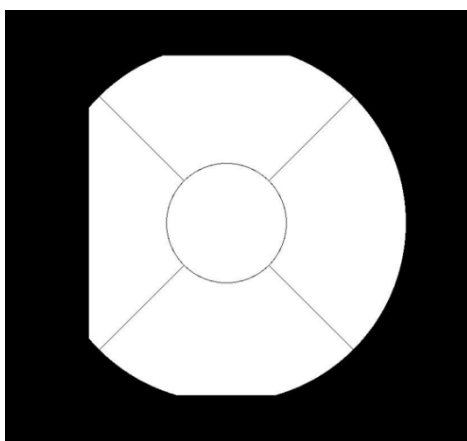


Figura 22 - Exemplo prático da máscara final, resultante da interseção entre as máscaras alinhadas e a janela de análise (quadrado), aplicada a uma imagem real de um paciente

A Figura 22 apresenta um exemplo, para um determinado paciente, da região comum entre as três máscaras geradas em diferentes momentos de aquisição. Esta interseção define a área da retina a ser analisada para esse paciente, assegurando consistência temporal e anatómica na avaliação da densidade vascular.

6. Armazenamento de dados

As máscaras geradas e os pontos selecionados são guardados automaticamente para serem utilizados nas fases seguintes do processamento, nomeadamente no alinhamento entre imagens e na extração de medidas.

Embora algumas imagens sejam apresentadas nesta dissertação apenas para fins ilustrativos, todas as imagens foram processadas e armazenadas em formato .mat (MATLAB). Esta escolha teve como objetivo preservar a resolução original e evitar qualquer tipo de compressão ou perda de qualidade associada a formatos como .jpg ou .png. O armazenamento em .mat garante a integridade dos dados e permite um manuseamento mais eficiente e preciso durante as etapas de análise.

3.5.2 Parte 2 - Recentragem e Segmentação das Máscaras

Após a criação e alinhamento das máscaras individuais (descritos na Parte 1), esta fase tem como objetivo recentrar a **máscara final de interseção** em torno da fóvea de cada imagem e, em seguida, segmentá-la nas diferentes zonas anatómicas. Estes passos garantem que a análise da densidade vascular seja feita de forma consistente e regionalizada, respeitando a estrutura anatómica da retina em cada momento.

Etapas principais:

1. **Preparação dos Dados:**

O código carrega a máscara final de interseção (obtida da sobreposição das máscaras alinhadas) e os pontos centrais (fóvea) previamente selecionados pelo utilizador para cada imagem.

2. **Recentragem da máscara final:**

Utilizando as translações calculadas na Parte 1, a máscara final é deslocada individualmente para o ponto correspondente a cada imagem (momento). Este processo assegura que a zona de análise fique centrada na mesma estrutura anatómica da retina, independentemente de pequenas variações entre imagens.

3. **Aplicação da máscara às imagens originais:**

A máscara recentrada é aplicada diretamente sobre as imagens originais, permitindo visualizar apenas a região da retina que será analisada. Esta etapa resulta em imagens combinadas, nas quais apenas a zona útil está visível.

A máscara recentrada (Figura 23) permite isolar a zona da retina relevante para análise, ocultando as áreas periféricas não comuns entre os momentos.

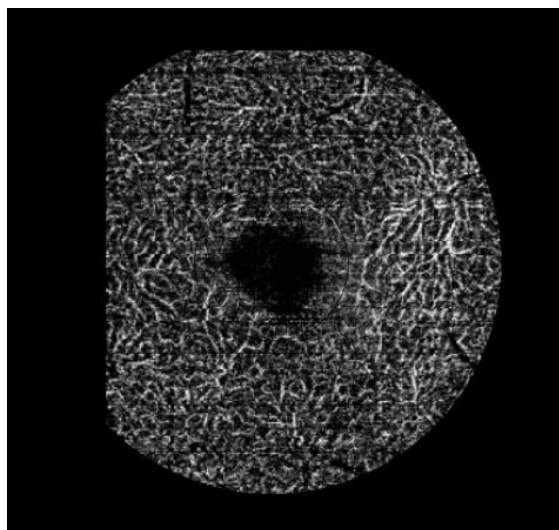


Figura 23 - Exemplo de aplicação da máscara recentrada à imagem original para um momento

4. Divisão da máscara em zonas anatómicas:

A máscara é segmentada automaticamente em cinco zonas distintas:

- Centro
- Direita (temporal ou nasal, dependendo do olho)
- Esquerda (temporal ou nasal)
- Superior
- Inferior

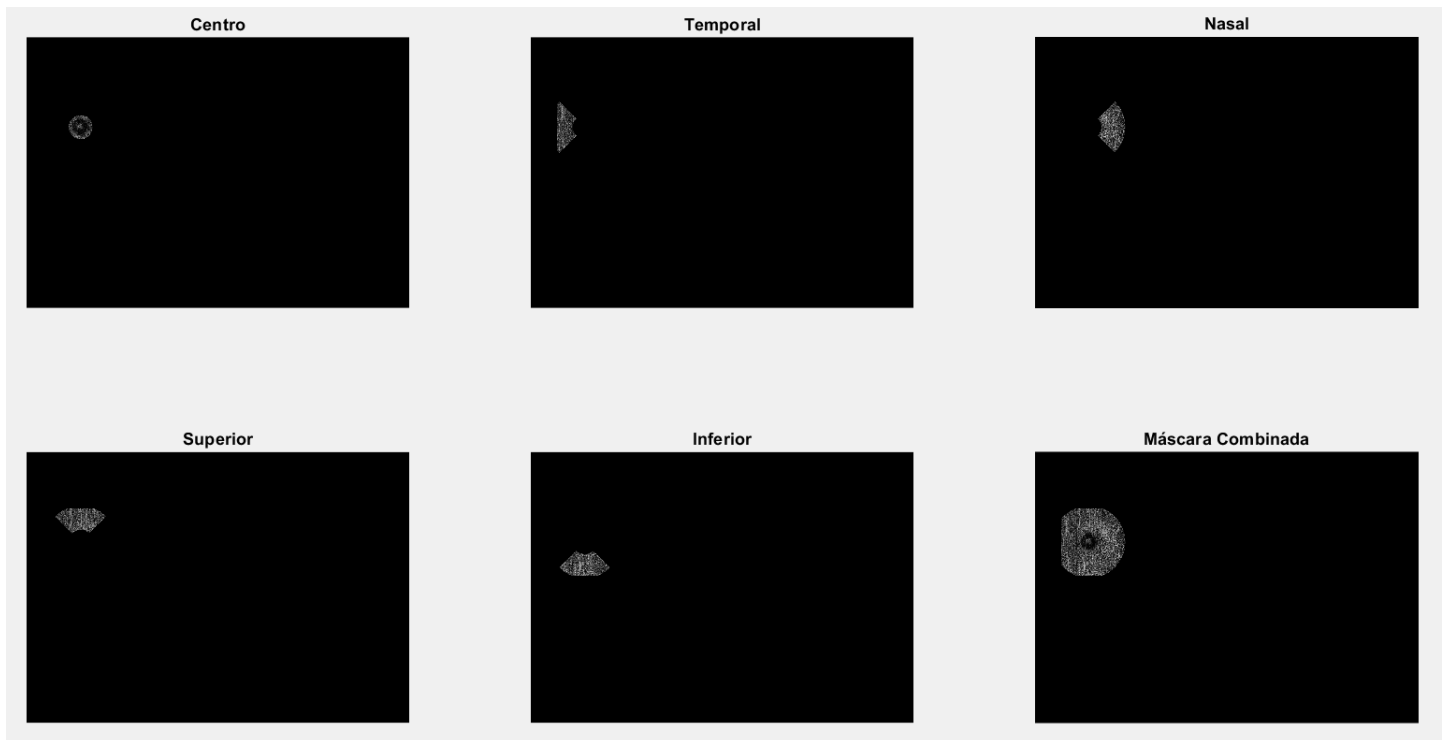


Figura 24 - Exemplo de divisão anatômica da máscara recentrada (olho direito)

Esta divisão (Figura 24) é feita com base na posição relativa de cada região em relação ao centro da imagem (fóvea), permitindo uma análise regional detalhada da densidade vascular.

5. Visualização e armazenamento das zonas:

Cada uma das cinco zonas é isolada e guardada individualmente, tanto em formato de imagem como em ficheiros .mat, para posterior análise e utilização na Parte 3. São também geradas versões binárias das zonas (Figura 25), que serão utilizadas na fase seguinte do processo.

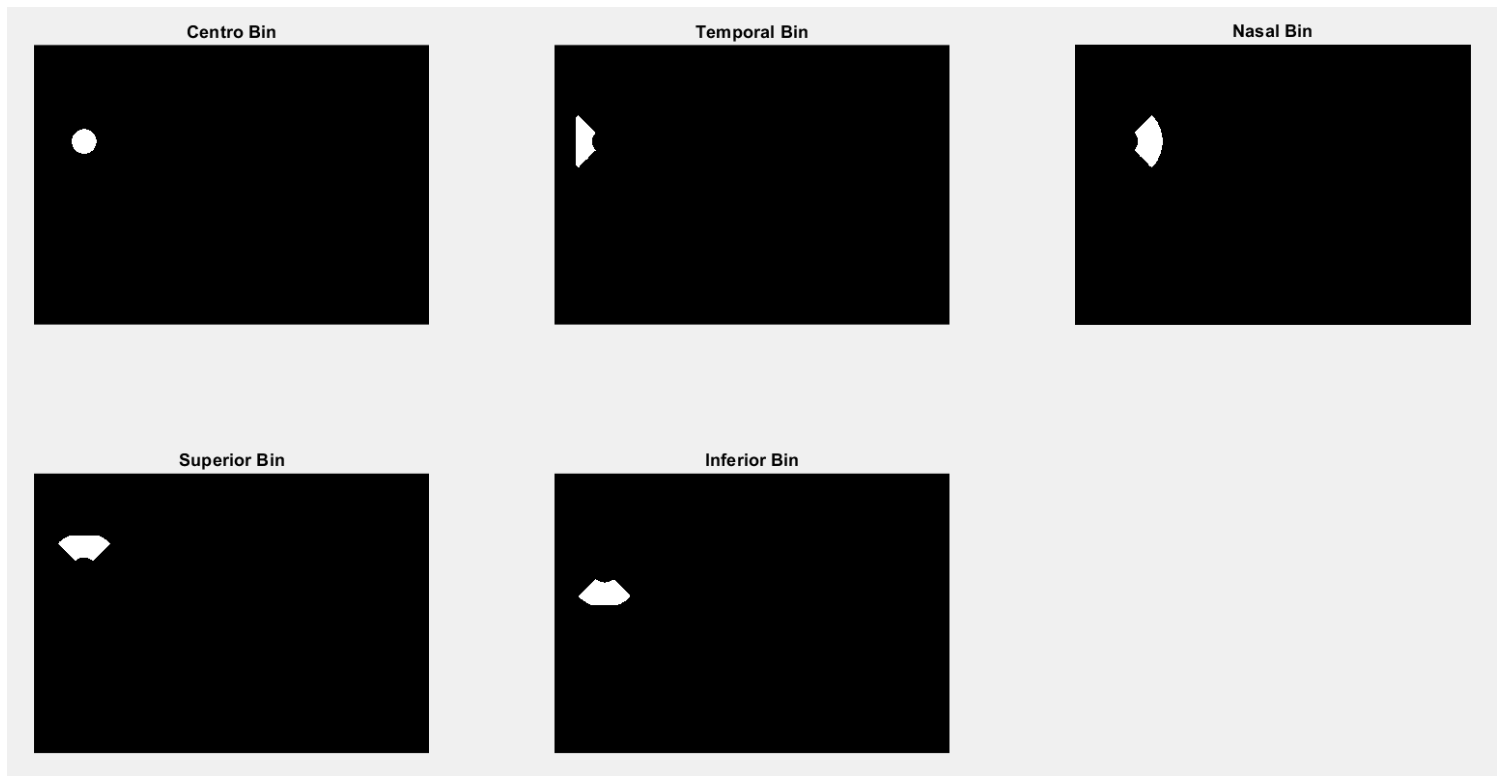


Figura 25 - Segmentação binária da máscara final (olho direito)

3.5.3 Parte 3 - Cálculo da Densidade Vascular e Exportação dos Resultados

Nesta fase final, o objetivo é calcular a densidade vascular em cada uma das zonas anatômicas da retina, previamente segmentadas, e organizar os resultados de forma estruturada para análise estatística.

Etapas principais:

1. Leitura das Zonas Binárias e Combinadas:

O código começa por carregar as zonas binárias (máscaras de cada região anatômica) e as imagens combinadas (imagens originais com a máscara aplicada) geradas na Parte 2.

2. Contagem de Píxeis Brancos nas Zonas Binárias:

Para cada zona binária, é contado o número de píxeis brancos, que representa a área útil da retina disponível para análise em cada região.

3. Cálculo da Densidade Vascular:

Para cada zona combinada, é aplicado um limiar (*threshold*) adaptado, e calcula-se a densidade vascular como a percentagem de píxeis acima desse limiar em relação ao total de píxeis brancos da zona correspondente.

A fórmula utilizada foi:

$$Densidade (\%) = \frac{N_{vasos}}{N_{zona}} * 100$$

Onde:

- N_{vasos} representa o número de píxeis com intensidade superior ao limiar definido (indicando presença de vasos);
- N_{zona} é o número total de píxeis brancos na máscara binária da zona respetiva;
- O valor da densidade é expresso em percentagem e representa a densidade de vasos visíveis na imagem.

Para determinar os valores de limiar adequados a cada zona anatómica, foi desenvolvido um código auxiliar que realizou uma interpolação entre os valores de densidade fornecidos automaticamente pelo equipamento OCT e os valores obtidos manualmente a partir de imagens de referência. Esta calibração foi realizada com uma amostra de 10 pacientes, cujas densidades vasculares estavam previamente disponíveis. Através deste processo, foi possível estimar, para cada zona, um valor de intensidade (em tons de cinzento) que melhor representa a presença de vasos, permitindo assim obter um limiar específico e fiável para a binarização das imagens em cada região anatómica (Figura 26).

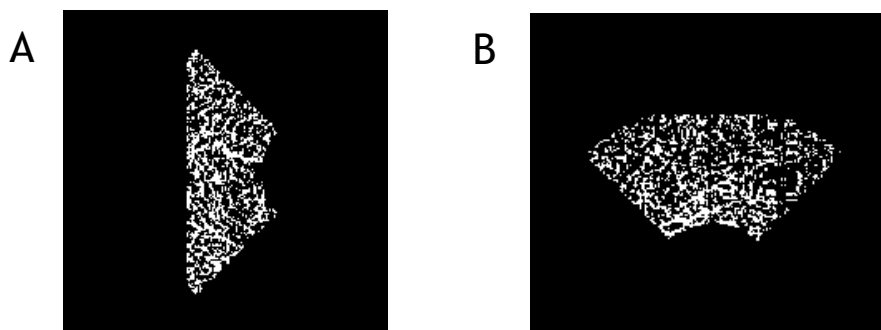


Figura 26 - Aplicação do *threshold* em zonas anatómicas distintas

- (A) Exemplo de uma zona temporal após aplicação do limiar de intensidade, evidenciando os píxeis considerados como vasos.
- (B) Exemplo de uma zona superior com o *threshold* aplicado, mostrando a segmentação da área vascular relevante.

4. Armazenamento dos Resultados:

Os valores de densidade são guardados num ficheiro .txt para cada paciente, e todas as imagens binarizadas com base no limiar são também guardadas num ficheiro .mat.

5. Criação de Ficheiro Excel com os Resultados:

Os valores de densidade de todos os pacientes são organizados num ficheiro Excel, com colunas correspondentes a cada zona e momento de aquisição. Este ficheiro é formatado automaticamente (Apêndice D).

3.6 Processamento das Camadas Retinianas

3.6.1 Parte 1: Extração e Ajuste dos Contornos

Para garantir medições estruturais mais fiáveis da retina, foi desenvolvido um segundo algoritmo em MATLAB, focado na análise das camadas retinianas. Este código está dividido em três partes, cada uma responsável por uma fase do processamento das imagens.

A primeira parte trata da identificação automática da delimitação dos contornos das principais camadas da retina, a partir de imagens obtidas por Tomografia de Coerência Ótica (OCT). Estas imagens foram previamente anotadas com **linhas coloridas desenhadas no próprio software da Huvitz**, representando os limites de diferentes camadas. O algoritmo reconhece essas linhas com base na cor, ajusta os seus contornos e guarda os dados para análises posteriores.

Etapas principais:

1. Organização e Preparação dos Dados

O processo inicia-se com a seleção da pasta correspondente a um paciente. O sistema identifica automaticamente os diferentes momentos de aquisição (exames) e prepara o ambiente de trabalho, eliminando resultados anteriores para evitar sobreposição de dados.

2. Leitura das Imagens

Para cada momento, são analisadas duas versões das imagens:

- Numa imagem foram obtidas linhas coloridas, desenhadas manualmente no software do equipamento Huvitz, para marcar os limites das diferentes camadas, que depois serviram de referência no cálculo dos volumes. (Figura 27).

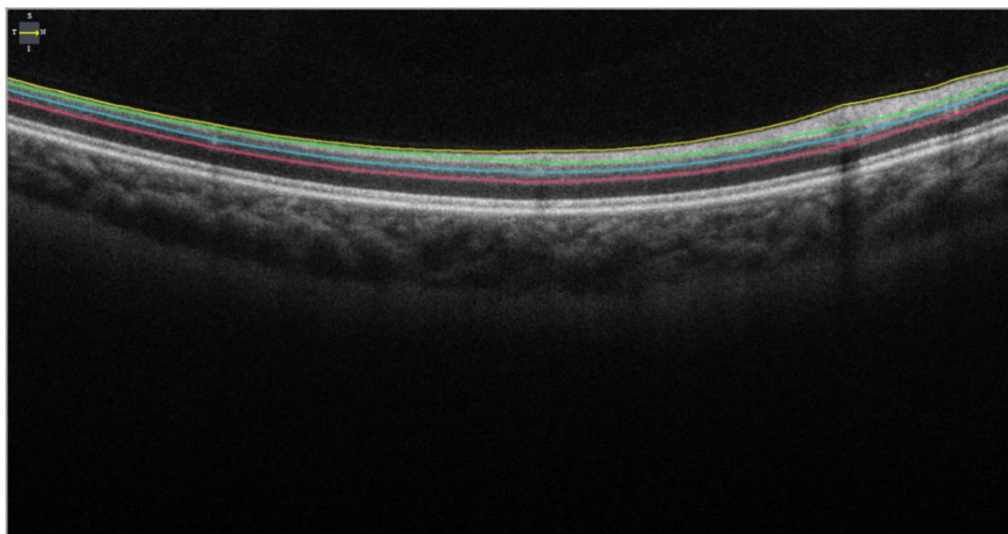


Figura 27 - Imagem OCT com linhas coloridas desenhadas no software da Huvitz, representando os limites das camadas retinianas

- Outra sem essas linhas (utilizada para visualização final dos resultados, Figura 28).

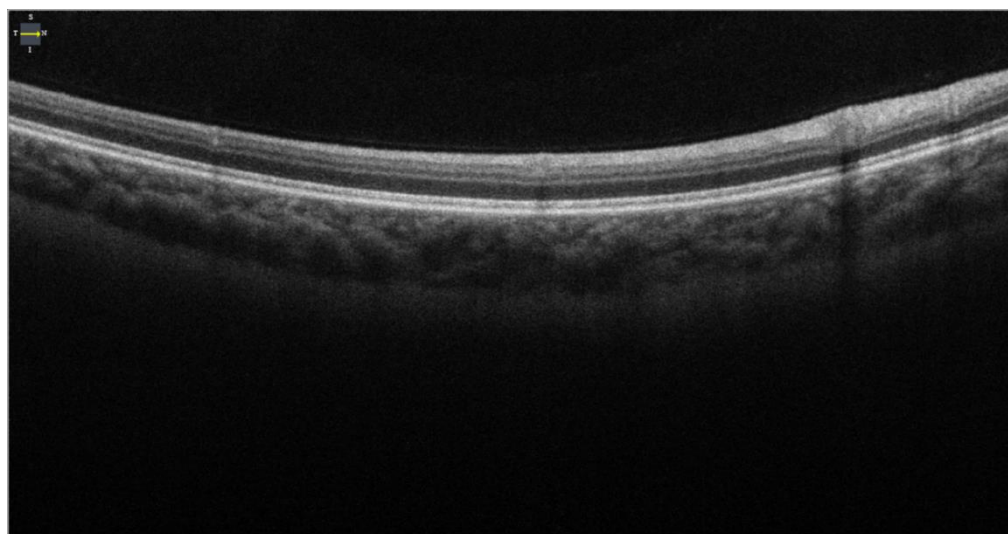


Figura 28 - Imagem OCT correspondente, sem anotações, utilizada para sobreposição dos contornos ajustados

3. Identificação das Camadas por Cor

Cada limite de camada retiniana é representado por uma cor distinta:

- **Amarelo:** Limite superior da camada ILM (Membrana Limitante Interna)
- **Verde:** Limite superior da camada NFL (Fibras Nervosas)
- **Azul:** Limite superior da camada IPL (Plexiforme Interna)
- **Rosa:** Limite superior da camada OPL (Plexiforme Externa)

O algoritmo converte as imagens para um formato que facilita a distinção das cores e cria máscaras para isolar cada linha, Figura 29.

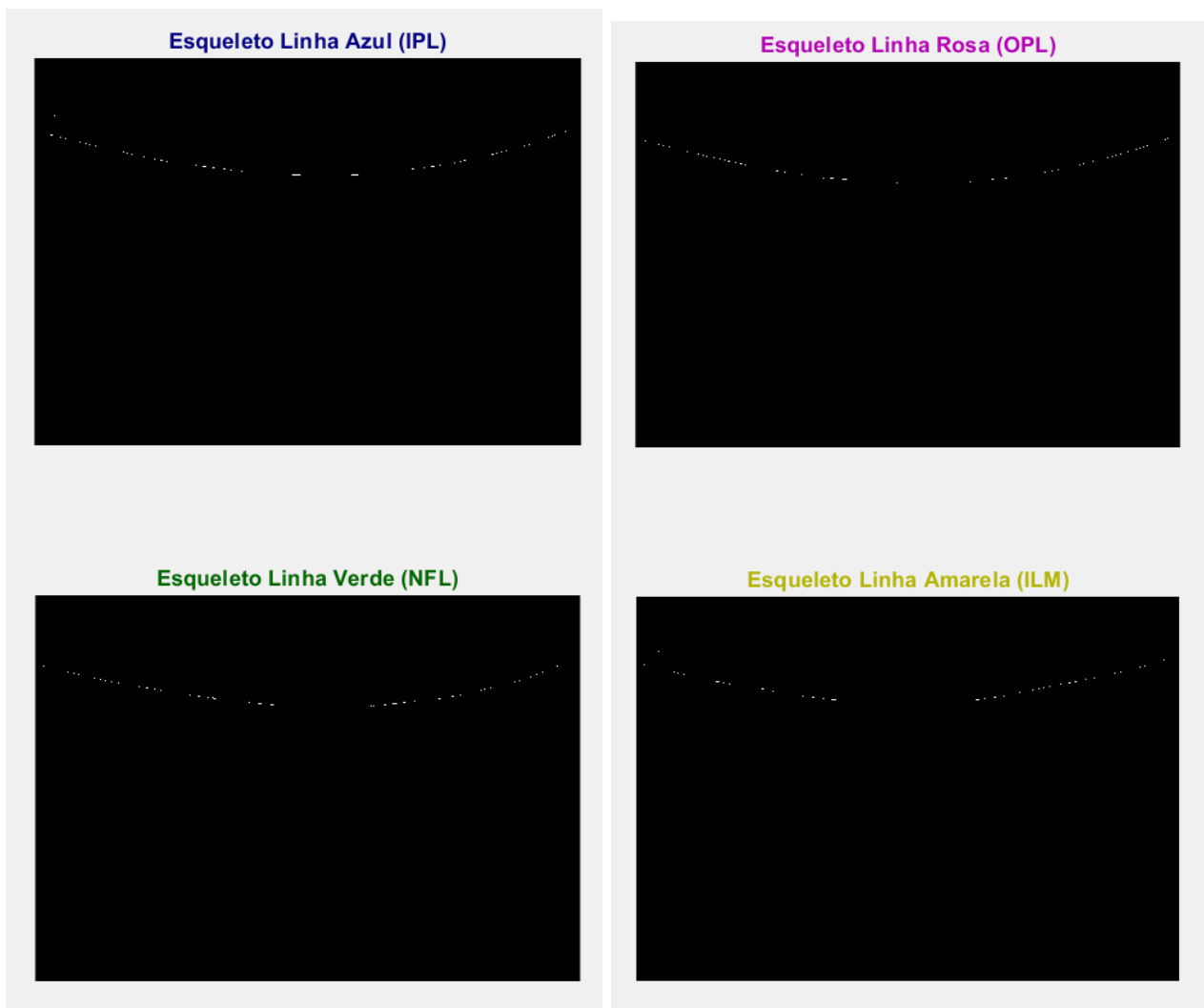


Figura 29 - Separação das linhas coloridas por camada, com base na sua tonalidade no espaço de cor HSV

4. Extração e Suavização dos Contornos

A partir das máscaras, o sistema identifica os contornos das linhas e aplica técnicas de suavização para garantir que cada linha seja contínua e representativa da camada que delimita. Caso existam múltiplos segmentos, estes são unidos e suavizados automaticamente.

5. Ajuste e Extensão das Linhas

As linhas são ajustadas para cobrir toda a largura da imagem, mesmo que os traçados originais estejam incompletos. Este passo é essencial para garantir medições consistentes ao longo de toda a retina.

6. Armazenamento e Visualização

As linhas ajustadas são sobrepostas às imagens originais (sem linhas) para validação visual. Em seguida, os dados são guardados em ficheiros no formato .mat, de forma a preservar a qualidade e evitar qualquer tipo de compressão ou perda de informação (Figura 30).

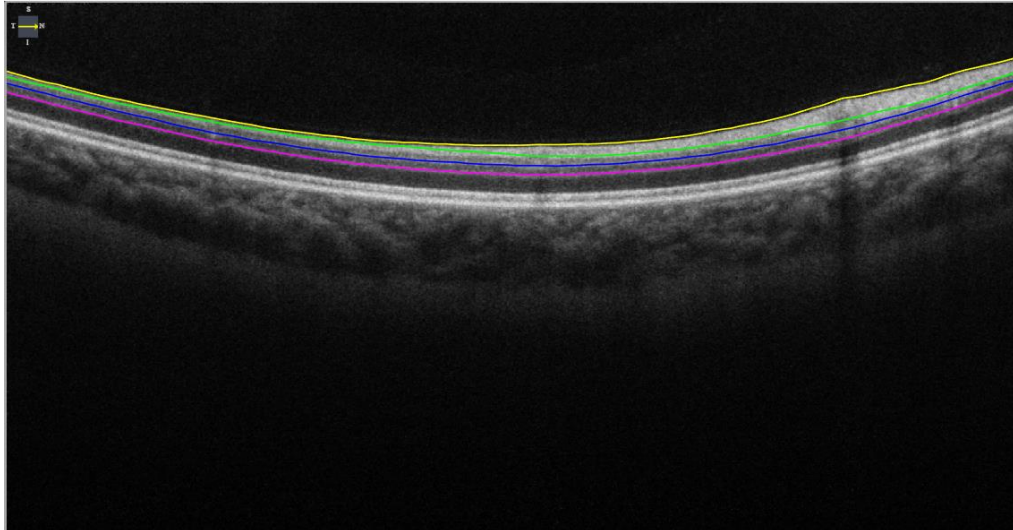


Figura 30 - Contornos das camadas retinianas extraídos a partir das linhas coloridas e suavizados automaticamente, com as linhas ajustadas e estendidas até aos limites laterais da imagem para garantir uma análise completa.

7. Tratamento de Falhas na Detecção

O código está preparado para lidar com situações em que, por falhas na imagem ou na aquisição, não são detetadas linhas válidas. Nestes casos, o sistema gera automaticamente linhas horizontais padrão, que permitem manter a estrutura do ficheiro e identificar facilmente esses casos (Figura 31). Mais tarde, essas imagens são excluídas da análise volumétrica, garantindo que apenas dados fiáveis são considerados.

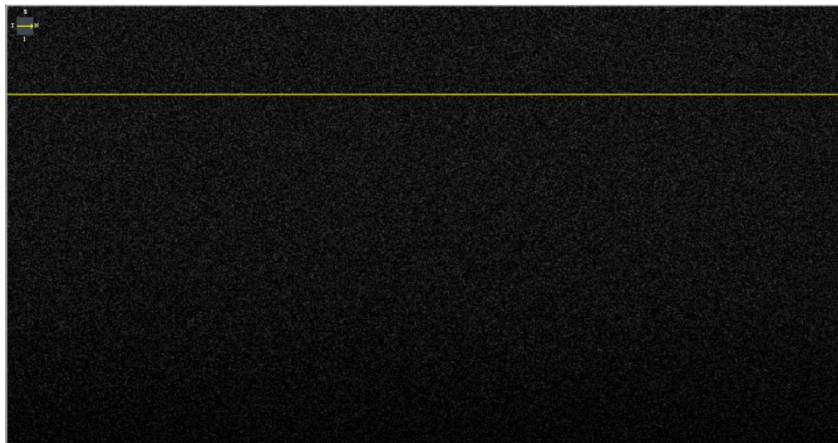


Figura 31 - Exemplo de imagem em que não foi possível detetar automaticamente os contornos das camadas retinianas

3.6.2 Parte 2: Reconstrução Volumétrica e Análise Temporal

A segunda parte do algoritmo desenvolvido em MATLAB tem como objetivo a **reconstrução tridimensional da espessura das camadas retinianas e o cálculo dos volumes entre estas**, com base nos contornos extraídos na etapa anterior. Esta fase permite não só visualizar a estrutura da retina em 3D, como também **quantificar alterações volumétricas ao longo do tempo**, comparando diferentes momentos de aquisição.

Etapas principais:

1. Carregamento dos Contornos e Verificação de Qualidade

São carregados os contornos das camadas retinianas (ILM, NFL, IPL, OPL) obtidos na Parte 1. O sistema verifica se os contornos são válidos (isto é, não são linhas horizontais artificiais) e ignora automaticamente os *scans* inválidos.

2. Reconstrução 3D das Camadas

Com base nos contornos válidos, o sistema reconstrói superfícies tridimensionais para cada camada e para todos os momentos. Estas superfícies são interpoladas ao longo do eixo Y (profundidade), criando uma representação contínua da retina (exemplo na Figura 32).

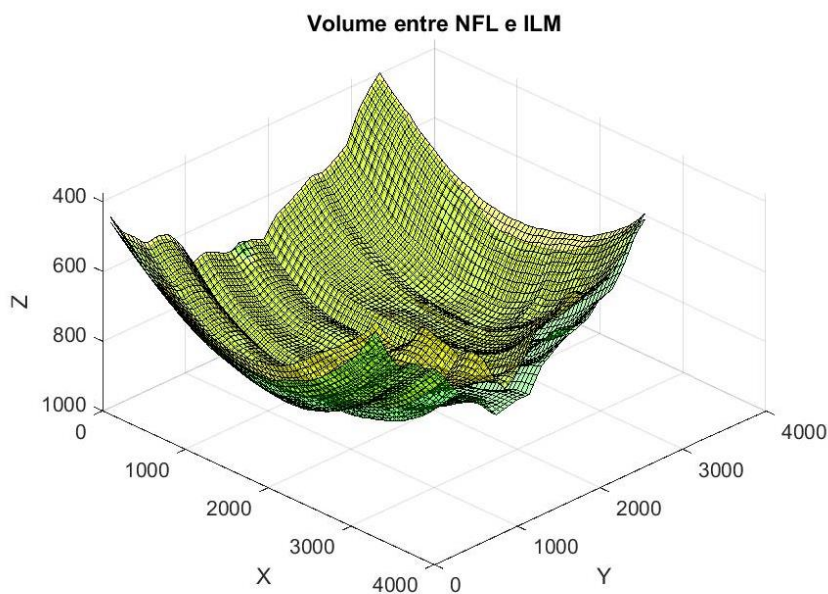


Figura 32 - Reconstrução tridimensional das superfícies das camadas NFL e ILM no momento 1, a partir dos contornos extraídos. A unidade de medida apresentada no gráfico é o pixel.

3. Cálculo dos Volumes entre os Limites de Camadas

Os volumes são calculados entre cada par de superfícies das camadas.

- OPL-IPL (rosa-azul)
- IPL-NFL (azul-verde)
- NFL-ILM (verde-amarelo)
- OPL-ILM (volume total)

Os volumes são expressos em milímetros cúbicos (mm^3), considerando a escala real das imagens.

4. Visualização em Escala de Cinza

Além da visualização 3D, são geradas imagens 2D em escala de cinza que representam o volume local entre camadas (Figura 33), facilitando a identificação de regiões com maior ou menor espessura.

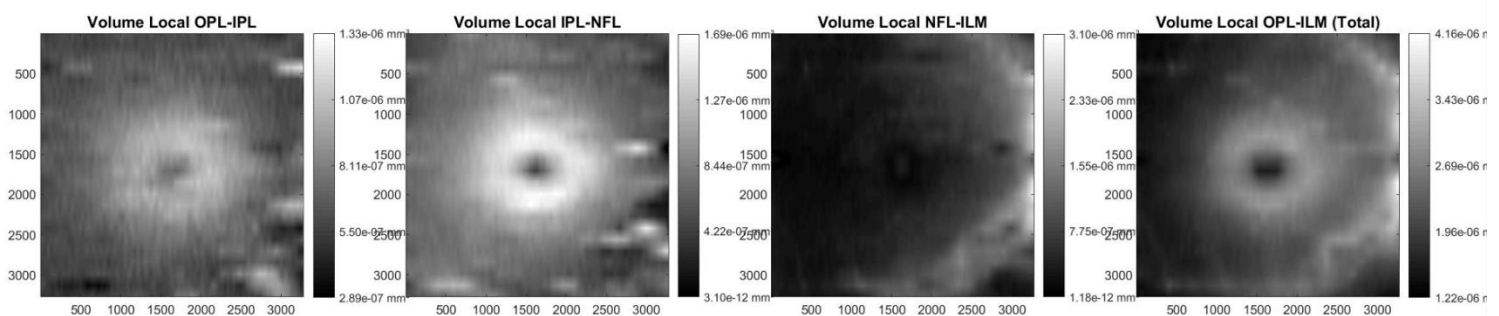


Figura 33 - Mapas 2D em escala de cinza representando o volume local entre camadas retinianas

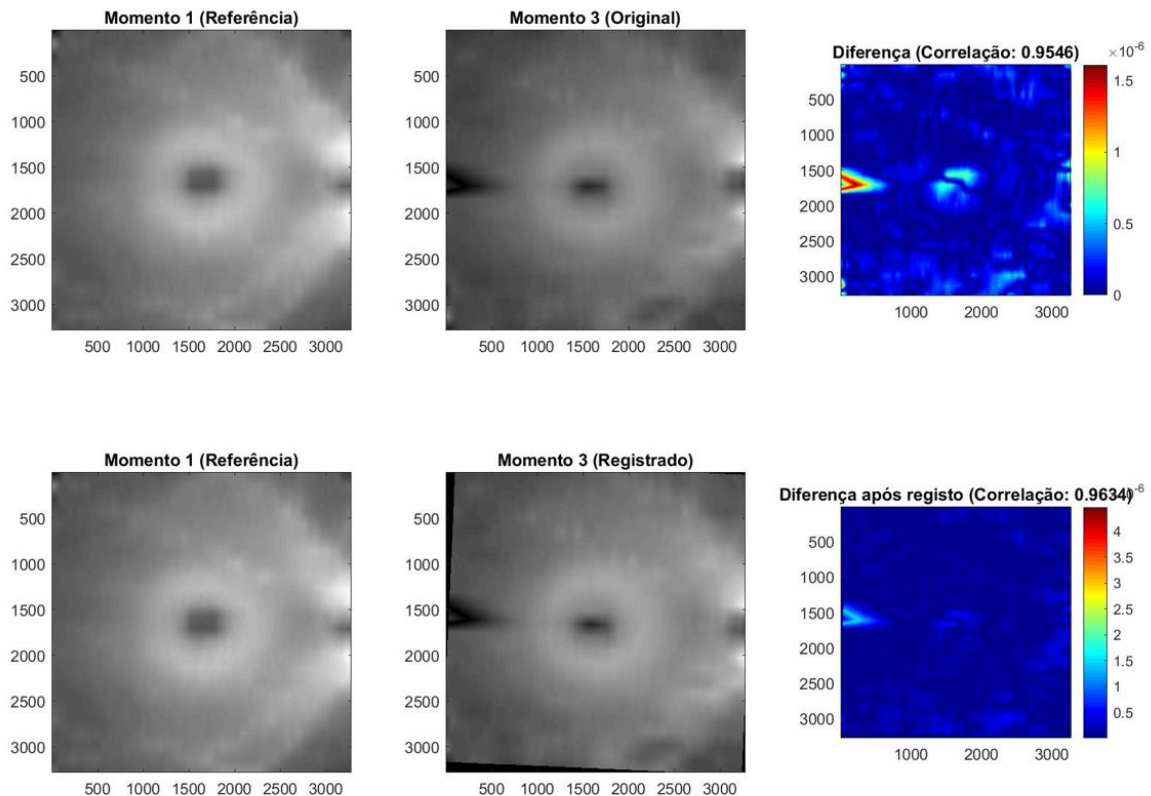
5. Registo Temporal e Comparação entre Momentos

Como cada paciente tem três momentos de aquisição diferentes, é essencial garantir que os volumes analisados correspondam exatamente à mesma região da retina em todos os momentos. No entanto, devido a pequenas variações na aquisição das imagens (como deslocamentos ou rotações), os volumes podem não estar perfeitamente alinhados.

Para resolver este problema, o algoritmo realiza um processo que consiste em ajustar as imagens dos momentos 2 e 3 para que fiquem alinhadas com a imagem do momento 1, considerada como referência (exemplo na Figura 34). Este alinhamento é feito com base na correlação entre as imagens, ou seja, o sistema mede o quanto as imagens se parecem

antes e depois do ajuste, e aplica transformações (como rotação e translação) para maximizar essa semelhança.

Após o registo, é calculada a interseção entre as três imagens, ou seja, a área que está presente e válida em todos os momentos. Esta área comum é então utilizada para comparar os volumes entre os diferentes momentos, garantindo que a análise seja feita exatamente na mesma região anatômica da retina, compensando eventuais erros de aquisição.



Parâmetros da Transformação: Rotação = -2.53°, Translação X = 106.13, Translação Y = -113.09

Figura 34 - Exemplo de correlação entre os momentos 1 e 3 de um paciente

6. Análise da Área Comum e Alterações Percentuais

Após o registo, é identificada a área comum entre os três momentos. Os volumes são recalculados apenas nessa área, permitindo uma comparação justa (Figura 35). O sistema calcula ainda as alterações percentuais entre os momentos, indicando possíveis progressões ou regressões estruturais.

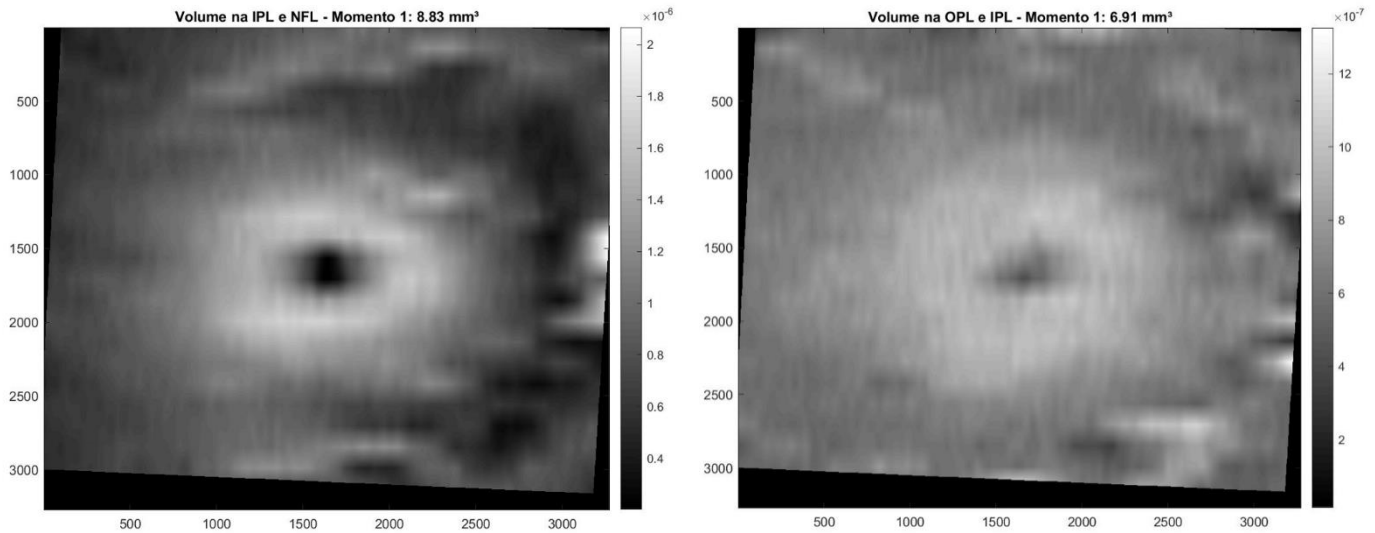


Figura 35 - Exemplo de comparação dos volumes na área comum (momento 1), para as camadas ILM-NFL e OPL-IPL, respetivamente

7. Exportação dos Resultados

Todos as imagens e gráficos são guardados em ficheiros .mat e exportados para tabelas em Excel, incluindo:

- Volumes por camada e momento
- Alterações percentuais
- Parâmetros de registo (rotação, translação, correlação)

3.6.3 Etapas do Processamento - Parte 3: Análise Regional da Espessura Retiniana

A terceira e última parte do algoritmo desenvolvido em MATLAB tem como objetivo a análise regional da espessura retiniana, permitindo avaliar o volume entre camadas em diferentes zonas anatómicas da retina. Este processo foi realizado tanto para o olho direito como para o olho esquerdo, tendo em conta que as zonas temporal e nasal se encontram invertidas entre os dois olhos.

Nesta fase, os volumes previamente calculados (na área comum entre momentos) são segmentados em zonas anatómicas – como centro, nasal, temporal, superior e inferior – com base na posição da fóvea e na orientação da retina. Esta abordagem permite uma análise mais detalhada e localizada das alterações estruturais.

Etapas principais:

1. Seleção da Pasta e Preparação dos Dados

O utilizador seleciona a pasta do paciente, e o sistema carrega os ficheiros de volume e as máscaras correspondentes às zonas anatómicas. São também carregadas as transformações aplicadas nos momentos anteriores (rotação e translação).

2. Cálculo do Centro e Ângulo de Orientação

Para garantir que as zonas anatómicas (como nasal, temporal, superior e inferior) sejam corretamente posicionadas sobre a retina, é necessário saber onde está o centro da fóvea e qual a orientação da imagem.

Para isso, em cada momento de aquisição, o utilizador seleciona três pares de pontos diretamente sobre a imagem (exemplo na Figura 36):

- O primeiro ponto de cada par marca o centro da fóvea (ponto de referência).
- O segundo ponto marca o centro do nervo ótico e indica uma direção, permitindo ao sistema calcular o ângulo de inclinação da retina em relação à horizontal.

Com base nestes pares de pontos, o algoritmo calcula um ângulo médio de orientação e um centro médio da fóvea para cada momento. Estes valores são depois usados para alinhar corretamente as máscaras das zonas anatómicas com a imagem da retina, garantindo que a segmentação regional seja precisa e consistente.

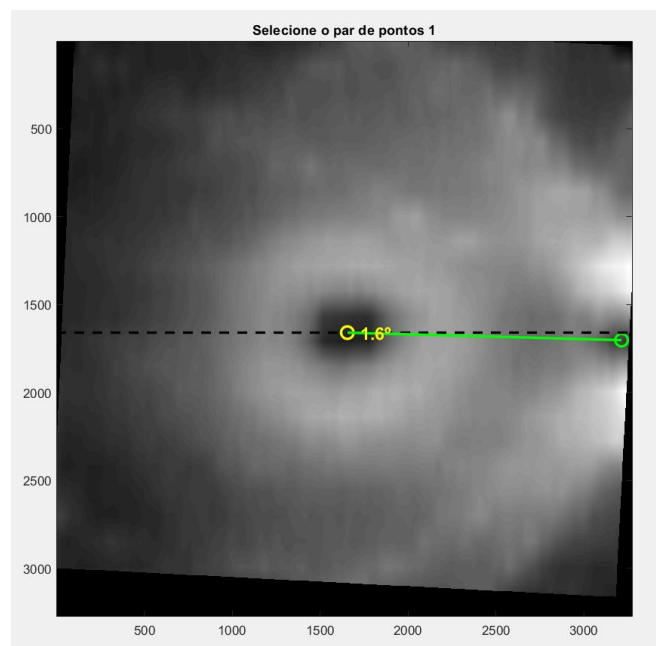


Figura 36 - Seleção manual de pontos para determinar o centro da fóvea e o ângulo de orientação da retina

3. Alinhamento das Máscaras Anatômicas

As máscaras das zonas (centro, nasal, temporal, superior e inferior) são redimensionadas e rotacionadas de acordo com a escala e orientação da imagem do paciente. Este passo garante que as zonas sejam corretamente sobrepostas à retina real.

4. Cálculo do Volume por Zona

Para cada zona, o sistema aplica a respectiva máscara à imagem de volume e calcula o volume correspondente. Também é calculado o volume total da união de todas as zonas, permitindo verificar a consistência dos dados (Figura 37).

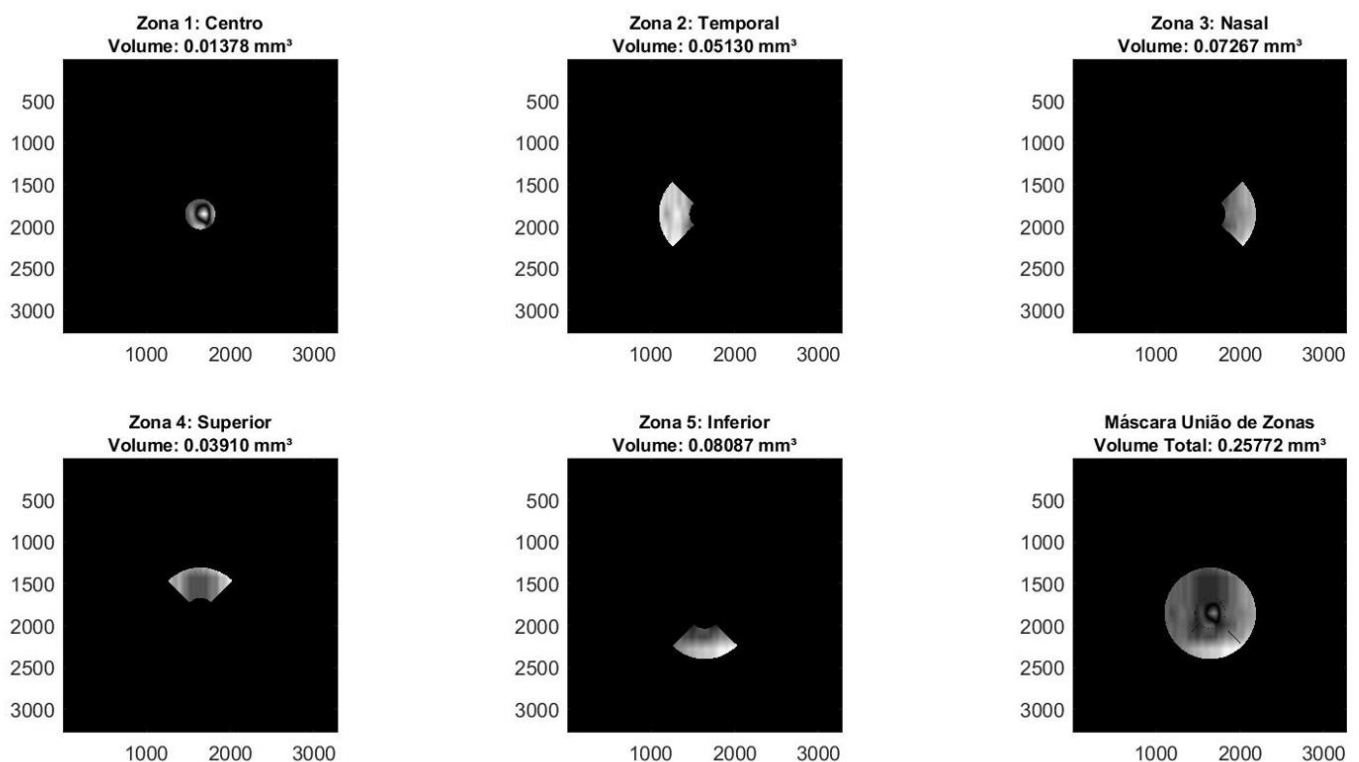


Figura 37 - Exemplo de segmentação da retina em cinco zonas anatômicas, com os respectivos volumes calculados em mm³

5. Exportação dos Resultados

Os volumes de cada zona e o volume total são guardados num ficheiro Excel específico para o olho direito (e outro para o olho esquerdo), permitindo uma análise comparativa entre regiões e entre olhos (Apêndice D).

3.7 Métodos Estatísticos

Na análise estatística, o objetivo é extrair significado dos dados, identificar padrões e testar hipóteses. Para garantir a validade das conclusões, é essencial escolher métodos apropriados ao tipo de dados e às suas distribuições. O processo geralmente começa com a verificação de pressupostos fundamentais, como a **normalidade dos dados**, que influencia diretamente a escolha entre testes paramétricos e não paramétricos.

3.7.1 Teste de Normalidade

3.7.1.1 Shapiro-Wilk

O teste de Shapiro-Wilk é amplamente utilizado para avaliar a normalidade de uma distribuição de dados, sendo particularmente recomendado para amostras de pequena a média dimensão. A verificação da normalidade é um passo fundamental na análise estatística, uma vez que muitos testes paramétricos, como o teste t ou a ANOVA, assumem que os dados seguem uma distribuição normal.

Contudo, quando os dados não satisfazem este pressuposto, torna-se necessário recorrer a **testes não paramétricos**, que não exigem a normalidade da distribuição e são mais robustos em relação a desvios dos pressupostos clássicos.

Fundamentação e Funcionamento

Este teste compara a distribuição dos dados observados com uma distribuição normal teórica, através do cálculo de um estatístico designado por **W**. Este valor quantifica o grau de aderência dos dados à normalidade: quanto mais próximo de 1 for o valor de **W**, maior é a conformidade com a distribuição normal.

Formulação das Hipóteses

- **Hipótese nula (H_0):** os dados seguem uma distribuição normal.
- **Hipótese alternativa (H_1):** os dados não seguem uma distribuição normal.

A decisão estatística baseia-se no **valor-p** obtido:

- Se $\text{valor-p} < 0,05$, rejeita-se H_0 , concluindo-se que os dados **não** seguem uma distribuição normal.
- Se $\text{valor-p} \geq 0,05$, não se rejeita H_0 , admitindo-se que os dados podem ser considerados **normalmente distribuídos**.

Aplicabilidade

O teste de Shapiro-Wilk é especialmente eficaz em amostras com menos de 50 observações, embora possa ser aplicado a conjuntos de dados com até cerca de 2000 elementos. É considerado um dos testes mais sensíveis para detetar desvios da normalidade, o que o torna particularmente útil em contextos onde a robustez dos pressupostos estatísticos é crítica.

Neste estudo, o teste de Shapiro-Wilk foi aplicado previamente a todas as análises estatísticas realizadas (PIO, densidades, volumes, etc). O objetivo foi garantir uma fundamentação rigorosa na escolha dos testes estatísticos mais adequados a cada situação.

Para cada conjunto de análises efetuadas sobre uma determinada variável (por exemplo, densidades), caso algum dos dados analisados não apresentasse uma distribuição normal, optou-se por utilizar exclusivamente **métodos não paramétricos** em todas as análises associadas a essa variável. Por conseguinte, caso todos os dados associados a uma determinada variável apresentassem distribuição normal, foram então aplicados **métodos paramétricos** nas respetivas análises. Esta abordagem assegura a consistência metodológica e a validade dos resultados obtidos.

Deste modo, apresentam-se de seguida os dois caminhos alternativos de análise estatística adotados: métodos paramétricos e métodos não paramétricos, respetivamente.

3.7.2 Métodos paramétricos

Os métodos estatísticos paramétricos assumem que os dados seguem determinadas distribuições, geralmente a normal, e que cumprem outros pressupostos como a homogeneidade de variâncias. Quando esses pressupostos são verificados, estes métodos permitem análises mais robustas e sensíveis, sendo preferidos sempre que aplicáveis.

Neste estudo, dado que se tratam de medições repetidas sobre os mesmos participantes ao longo de diferentes condições ou momentos, foi selecionado o teste de ANOVA de medições repetidas como método paramétrico principal.

3.7.2.1 Análise de Variância para Medições Repetidas (*Repeated Measures ANOVA*)

A Análise de Variância para Medições Repetidas (*Repeated Measures ANOVA*) é um teste estatístico paramétrico utilizado para comparar médias de três ou mais condições ou momentos distintos, quando as mesmas unidades experimentais (por exemplo,

participantes) são avaliadas repetidamente ao longo do tempo ou em diferentes condições experimentais.

Este método é particularmente útil em contextos onde se pretende analisar **variações intra-individuais**, ou seja, mudanças dentro do mesmo sujeito ao longo de diferentes momentos ou condições, controlando a variabilidade interindividual.

Pressupostos

Para que a ANOVA de medições repetidas seja válida, devem ser cumpridos os seguintes pressupostos:

- **Normalidade:** os dados de cada condição devem seguir uma distribuição aproximadamente normal (avaliada, neste estudo, através do teste de Shapiro-Wilk).
- **Esfericidade:** as variâncias das diferenças entre todas as combinações possíveis de condições devem ser aproximadamente iguais. Este pressuposto é geralmente testado com o teste de Mauchly.

O teste de esfericidade de Mauchly verifica se as variâncias das diferenças entre as condições são iguais.

- Se $p > 0,05$ → não há evidência para rejeitar a hipótese nula de esfericidade → o pressuposto é considerado cumprido.
- Se $p \leq 0,05$ → rejeita-se a hipótese nula → o pressuposto de esfericidade foi violado, sendo necessário aplicar correções (por exemplo, Greenhouse-Geisser ou Huynh-Feldt).
- **Independência das observações:** embora as medições sejam repetidas, assume-se que os erros de medição são independentes.

Formulação das Hipóteses

- **Hipótese nula (H_0):** não existem diferenças significativas entre as médias das diferentes condições ou momentos. Sempre que valor- $p < 0,05$.
- **Hipótese alternativa (H_1):** existe pelo menos uma diferença significativa entre as médias. Sempre que valor- $p \geq 0,05$.

Aplicabilidade no Estudo

Neste estudo, a ANOVA de medições repetidas foi aplicada sempre que os dados associados a uma determinada variável apresentaram distribuição normal e cumpriam os pressupostos necessários. Este método permitiu avaliar diferenças estatisticamente significativas entre condições ou momentos distintos, mantendo o controlo sobre a variabilidade individual dos participantes.

3.7.2.2 Procedimento Post-Hoc: Teste t para amostras emparelhadas Com Correção de Holm

3.7.2.2.1 Teste t para amostras emparelhadas

Quando a ANOVA de medições repetidas revelou diferenças estatisticamente significativas entre condições ou momentos, foi necessário proceder a comparações par a par para identificar em que situações específicas essas diferenças ocorriam.

Para tal, foram realizados **testes t para amostras emparelhadas** entre cada par de condições ou momentos. O teste t emparelhado é um teste estatístico paramétrico que compara as médias de duas condições relacionadas, considerando a correlação entre as medições realizadas no mesmo participante.

Pressupostos

- **Normalidade das diferenças:** a distribuição das diferenças entre as duas condições deve ser aproximadamente normal (avaliada através do teste de Shapiro-Wilk).
- **Independência das observações:** assume-se que os erros de medição entre pares são independentes.

Aplicabilidade no Estudo

Sempre que a ANOVA de medições repetidas revelou significância, foram realizados testes t emparelhados entre os pares de condições ou momentos para identificar onde se encontravam as diferenças. Os valores-p obtidos nestas comparações foram posteriormente ajustados pela correção de Holm.

3.7.2.2.2 Procedimento Post-Hoc: Correção de Holm

Como a realização de múltiplas comparações através de testes t emparelhados aumenta o risco de ocorrência de erros do tipo I (falsos positivos), os valores-p obtidos foram ajustados pelo método de Holm. Esta correção sequencial controla eficazmente o erro do tipo I, preservando simultaneamente uma boa sensibilidade estatística.

Formulação das Hipóteses

Tal como em qualquer procedimento estatístico inferencial, o teste post-hoc com correção de Holm baseia-se na formulação de hipóteses:

- **Hipótese nula (H₀):** não existem diferenças significativas entre as médias das diferentes condições ou momentos. Sempre que valor-p < α_i .
- **Hipótese alternativa (H₁):** existe pelo menos uma diferença significativa entre as médias. Sempre que valor-p $\geq \alpha_i$.

O objetivo é verificar se as diferenças observadas entre pares de condições são suficientemente grandes para rejeitar H₀, após o ajuste necessário para múltiplas comparações

Como funciona

A correção de Holm atua da seguinte forma:

1. Os valores-p resultantes de todas as comparações múltiplas são inicialmente **ordenados do menor para o maior**.
2. Cada valor-p ordenado é então comparado com um **nível de significância ajustado**, que varia consoante a sua posição na ordenação. A fórmula utilizada é:

$$\alpha_i = \frac{\alpha}{(m - i + 1)}$$

onde:

- α é o nível de significância global (neste estudo usado com valor 0,05),
 - m é o número total de comparações,
 - i é a posição do valor-p na ordenação (1 para o menor, 2 para o segundo menor, etc.).
3. A verificação começa pelo menor valor-p: se este for inferior ao seu α_i correspondente, a hipótese nula é rejeitada, e passa-se para o próximo valor-p.
 4. Este processo continua até encontrar o primeiro valor-p que não seja inferior ao seu limiar ajustado, momento a partir do qual todas as hipóteses seguintes são mantidas (não rejeitadas), mesmo que os respetivos valores-p sejam pequenos.

Vantagens e Aplicabilidade

A aplicação da correção de Holm adota um método sequencial que ajusta o limiar de significância de forma progressiva, reduzindo a probabilidade de erros tipo II (falsos negativos) e aumentando a eficiência na detecção de diferenças reais, sem comprometer o controlo do erro do tipo I. Este procedimento post-hoc (Teste t com correção de Holm) permitiu assim uma identificação rigorosa e estatisticamente válida das comparações específicas que apresentavam diferenças entre si, assegurando ao mesmo tempo a fiabilidade das conclusões extraídas.

3.7.3 Métodos não paramétricos

Os métodos não paramétricos são utilizados quando os dados não seguem uma distribuição normal ou quando os pressupostos dos testes paramétricos não são cumpridos. Estes métodos são mais robustos face a *outliers* e distribuições assimétricas, sendo particularmente úteis em contextos com amostras pequenas ou dados ordinais.

No presente estudo, sempre que os dados de uma variável não apresentaram distribuição normal, recorreu-se exclusivamente a métodos não paramétricos. Para a análise de medições repetidas, foi utilizado o teste de Friedman, uma alternativa não paramétrica à ANOVA de medidas repetidas, adequada para comparar três ou mais condições relacionadas.

3.7.3.1 Teste de Friedman

O teste de Friedman é o equivalente não paramétrico da ANOVA de medições repetidas. É utilizado para comparar três ou mais condições ou momentos distintos, quando as mesmas unidades experimentais são avaliadas repetidamente, mas sem assumir a normalidade dos dados.

Este teste é particularmente útil para analisar **diferenças intraindividuais** em contextos onde os dados são ordinais ou não seguem uma distribuição normal, mantendo o controlo sobre a variabilidade entre participantes.

Formulação das Hipóteses

- **Hipótese nula (H_0):** não existem diferenças significativas entre as condições ou momentos avaliados. Sempre que $\text{valor-p} < 0,05$.
- **Hipótese alternativa (H_1):** existe pelo menos uma diferença significativa entre as condições ou momentos. Sempre que $\text{valor-p} \geq 0,05$.

Como funciona

O teste de Friedman baseia-se na **classificação (ranking)** dos valores dentro de cada participante, comparando depois as somas dos postos entre as diferentes condições. Ao não depender da distribuição dos dados, é uma alternativa robusta à ANOVA de medições repetidas em contextos não paramétricos.

Aplicabilidade no Estudo

Neste estudo, o teste de Friedman foi aplicado sempre que pelo menos um dos dados de uma variável não apresentaram distribuição normal, impossibilitando o uso da ANOVA de medições repetidas. Este teste permitiu avaliar diferenças estatisticamente significativas entre condições ou momentos, respeitando as características dos dados e assegurando a validade das conclusões.

3.7.3.2 Procedimentos Post-Hoc Não Paramétricos

Quando o teste de Friedman revelou diferenças estatisticamente significativas entre condições ou momentos, foi necessário realizar análises post-hoc para identificar quais comparações específicas apresentavam essas diferenças. No entanto, como se trata de um teste não paramétrico, os procedimentos post-hoc também devem respeitar as características dos dados.

Verificação da Simetria

Antes da escolha do teste post-hoc, foi avaliada a simetria das distribuições das diferenças emparelhadas entre condições. Esta verificação é essencial, uma vez que a escolha do teste adequado depende da forma da distribuição dessas diferenças:

- Se todas as distribuições das diferenças entre pares de condições apresentavam simetria, foi utilizado o teste de Wilcoxon para amostras emparelhadas.
- Se alguma das distribuições apresentava assimetria, foi utilizado o teste dos sinais (*Sign Test*), que não assume simetria e é mais conservador.

3.7.3.2.1 Teste de Wilcoxon para Amostras Emparelhadas

O teste de Wilcoxon é um teste não paramétrico utilizado para comparar duas condições relacionadas, assumindo que a distribuição das diferenças entre pares é simétrica em torno da mediana.

Hipóteses

- **Hipótese nula (H_0):** não existe diferença entre as duas condições. Sempre que $\text{valor-p} < 0,05$.
- **Hipótese alternativa (H_1):** existe uma diferença significativa entre as duas condições. Sempre que $\text{valor-p} \geq 0,05$.

Este teste ordena os valores absolutos das diferenças, atribui-lhes sinais e avalia se há uma tendência sistemática numa direção. É mais poderoso do que o teste dos sinais quando a simetria está presente.

3.7.3.2.2 Teste dos Sinais (*Sign Test*)

O teste dos sinais é uma alternativa mais simples e conservadora ao teste de Wilcoxon, utilizado quando não se pode assumir simetria na distribuição das diferenças entre pares.

Hipóteses

- **Hipótese nula (H_0):** as duas condições são equivalentes. Sempre que $\text{valor-p} < 0,05$.
- **Hipótese alternativa (H_1):** existe uma diferença entre as condições. Sempre que $\text{valor-p} \geq 0,05$.

Este teste apenas considera a direção das diferenças (positiva ou negativa), ignorando a sua magnitude. Por isso, é menos sensível, mas mais robusto em situações de assimetria ou presença de *outliers*.

3.7.4 Software e Ferramentas Utilizadas

A análise estatística e o tratamento de dados foram realizados com recurso à linguagem de programação Python, pela sua flexibilidade e vasto leque de bibliotecas dedicadas ao processamento de dados e à estatística. Para a análise descritiva e inferencial foram utilizadas bibliotecas como o **Pandas** e **NumPy** (manipulação de dados), **SciPy** e **Pingouin** (testes estatísticos), **Matplotlib** e **Seaborn** (visualização gráfica). Esta abordagem programática assegurou reprodutibilidade, precisão e automação nas diferentes fases da análise.

3.8 Conclusão

O Capítulo 3 apresentou a metodologia detalhada utilizada para avaliar os efeitos da altitude na retina e na pressão intraocular. A amostra inicial foi composta por 30 participantes saudáveis, estudantes da Universidade da Beira Interior, com idades entre 18 e 25 anos, dos quais 17 foram incluídos na análise final após aplicação dos critérios de exclusão. Todos os procedimentos foram conduzidos em conformidade com as normas éticas, garantindo consentimento informado e anonimato dos dados.

Foram utilizados três instrumentos principais:

- **Tonómetro de sopro Keeler Pulsair IntelliPuff**, para medições não invasivas da pressão intraocular (PIO);
- **Tomógrafo de Coerência Ótica (HOCT-1/1F da Huvitz)**, para aquisição de imagens estruturais e angiográficas da retina, incluindo mapas ETDRS, GCC, angiografia macular (OCTA) e varreduras raster;
- **Oxímetro de dedo**, para monitorização da saturação periférica de oxigénio (SpO₂) e frequência cardíaca.

O protocolo experimental decorreu em três momentos:

1. **Semana 1 (UBI, 600-800 metros)** - medições basais em baixa altitude;
2. **Semana 2 (Serra da Estrela, 1 993 metros)** - exposição a altitude elevada, equivalente à pressão em cabines de aeronaves comerciais;
3. **Semana 3 (UBI)** - retorno à baixa altitude para avaliar recuperação.

Em cada fase, foram realizadas medições da PIO em três horários (8h, 10h e 12h), registo da SpO₂ e frequência cardíaca, e exames de tomografia completos. Para garantir rigor analítico, foram desenvolvidos algoritmos próprios em MATLAB para cálculo da densidade vascular (com máscaras anatómicas padronizadas) e para reconstrução volumétrica das camadas retinianas, superando limitações do software nativo do equipamento.

Por fim, foram definidos métodos estatísticos robustos: verificação da normalidade com o teste de Shapiro-Wilk, aplicação de ANOVA de medidas repetidas para dados paramétricos e teste de Friedman para dados não paramétricos, complementados por testes post hoc (t emparelhado com correção de Holm, Wilcoxon ou teste dos sinais, conforme aplicável).

Esta abordagem metodológica assegura a fiabilidade e reprodutibilidade dos resultados, permitindo avaliar de forma precisa as alterações fisiológicas induzidas pela altitude, que serão apresentadas e discutidas no capítulo seguinte.

4 Análise de resultados

4.1 Introdução

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos ao longo das três semanas experimentais. Inicialmente, descrevem-se os critérios de exclusão aplicados e a caracterização da amostra considerada no estudo. Em seguida, apresentam-se os resultados referentes a cada variável analisada – pressão intraocular, densidade e volume da retina, frequência cardíaca e saturação periférica de oxigénio (SpO₂) – com recurso a testes estatísticos apropriados a cada conjunto de dados, de forma a avaliar diferenças entre condições de altitude.

4.1.1 Critérios de exclusão

Para além dos critérios de exclusão previamente definidos, foi necessário eliminar alguns dados numa fase posterior da análise. Esta exclusão deveu-se principalmente a dois fatores: (1) problemas na aquisição dos dados, como ficheiros corrompidos ou com qualidade insuficiente para permitir uma análise fiável; e (2) ausência de informação essencial, ou seja, casos em que não foram recolhidos todos os dados necessários relativos a determinados pacientes (Tabela 4).

Tabela 4 - Casos excluídos na fase de análise devido a erros na aquisição dos dados ou à ausência de informação essencial

Causa	Nº olhos excluídos	
	OD	OE
(1) Erros na aquisição dos dados	17	0
(2) Ausência de dados	20	1

Dos 30 participantes inicialmente recrutados (correspondendo a 60 olhos), apenas **22 olhos** cumpriram todos os critérios de inclusão e passaram na avaliação da validade e suficiência dos dados realizada pelos especialistas. Como alguns participantes tinham os dois olhos válidos, decidiu-se considerar apenas um olho por participante. Assim, foram considerados **17 olhos** para análise.

4.1.2 Caracterização da amostra

Tal como mencionado anteriormente neste documento, embora o estudo tenha começado com um total de 30 participantes, apenas **17** foram incluídos na análise final, por

reunirem todas as condições necessárias para o processamento dos dados. A distribuição por gênero entre os participantes incluídos é equilibrada; contudo, para efeitos desta análise, os dados foram tratados como pertencentes a um único grupo. A Tabela 5 apresenta a distribuição dos participantes por gênero, a média das idades, a média da acuidade visual (AV), bem como os valores médios da saturação periférica de oxigênio (SpO₂) e da frequência cardíaca (FC) nos três momentos distintos de recolha de dados.

Tabela 5 - Caracterização dos participantes incluídos na análise final

	Momento 1 (700m)	Momento 2 (1992m)	Momento 3 (700m)
Sexo (F, % / M, %)	F: 7, 41% / M: 10, 59%	-	-
Idade (Anos)	21.8 ± 1.7	-	-
AV (Acuidade visual)	1.00 ± 0.00	-	-
SpO ₂ (%)	97.8 ± 1.3	97.7 ± 1.1	96.2 ± 2.1
FC (Frequência cardíaca, bpm)	78.9 ± 10.7	82.5 ± 9.8	70.5 ± 10.9

4.2 Análise de PIO

Iniciou-se a análise dos dados relativos à pressão intraocular com uma avaliação da normalidade, utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Para cada um dos três momentos de recolha (8h, 10h e 12h), foram obtidos vários valores de p , tendo-se considerado o menor valor em cada caso como referência. Os menores valores de p foram:

- 8h: $p = 0.0484$
- 10h: $p = 0.0015$
- 12h: $p = 0.0035$

Como todos os valores são inferiores a $p \leq 0.05$, conclui-se que os dados não seguem uma distribuição normal. Por esse motivo, foi aplicada uma abordagem estatística não paramétrica, recorrendo ao teste de Friedman.

Para realizar comparações entre pares de momentos, foram conduzidos testes Post Hoc, sendo necessário selecionar o método mais adequado. Para tal, avaliou-se a assimetria da distribuição das diferenças entre os pares. Verificou-se a presença de assimetria no par momento 1 vs momento 3, com um valor de $skewness = -1.4427$. Como o valor absoluto

da assimetria excede 1, considera-se que a distribuição é assimétrica. Assim, foi utilizado o teste de Post Hoc de Sinal.

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados da análise não paramétrica da PIO, incluindo as comparações entre pares de momentos realizadas através do teste de Post Hoc de Sinal.

Tabela 6 - Resultados da análise não paramétrica da PIO e comparações entre pares de momentos com o teste de Post Hoc de Sinal

Hora	Média Semana 1 (mmHg)	Média Semana 2 (mmHg)	Média Semana 3 (mmHg)	χ^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Sinal		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
8h	14.88 ± 2.41	14.57 ± 2.24	14.33 ± 2.51	0.93	2	0.63	-	-	-
10h	14.83 ± 2.12	14.21 ± 2.66	14.18 ± 2.60	4.39	2	0.11	-	-	-
12h	14.33 ± 1.91	13.44 ± 2.14	14.26 ± 2.48	0.82	2	0.0035	0.0042	0.45	0.14

Às 8h e às 10h, não foi identificada diferença estatisticamente significativa entre os momentos avaliados, uma vez que, de acordo com o teste de Friedman, os valores de p foram superiores a 0,05 (8h: $p = 0,630$; 10h: $p = 0,111$). Estes resultados indicam que as variações observadas não são suficientemente robustas para rejeitar a hipótese nula, sugerindo que os valores de PIO se mantiveram relativamente estáveis entre os momentos nesses horários.

Já às 12h, o teste de Friedman revelou uma diferença estatisticamente significativa entre os momentos ($p = 0,0035$), valor inferior ao nível de significância de 0,05. Este resultado permite rejeitar a hipótese nula, indicando que as variações nos valores de PIO ao longo dos momentos avaliados foram consistentes e não aleatórias, sugerindo a ocorrência de uma mudança real neste horário.

Os resultados do teste de sinal aplicado à PIO no horário das 12h revelaram que houve uma diferença estatisticamente significativa entre o momento 1 e o momento 2 ($p = 0,0042$), permitindo rejeitar a hipótese nula e indicando uma alteração real da PIO nesse intervalo.

Por outro lado, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre o momento 1 e o momento 3 ($p = 0,4545$), nem entre o momento 2 e o momento 3 ($p =$

0,1435). Estes resultados sugerem que a PIO retornou a valores semelhantes aos iniciais no terceiro momento.

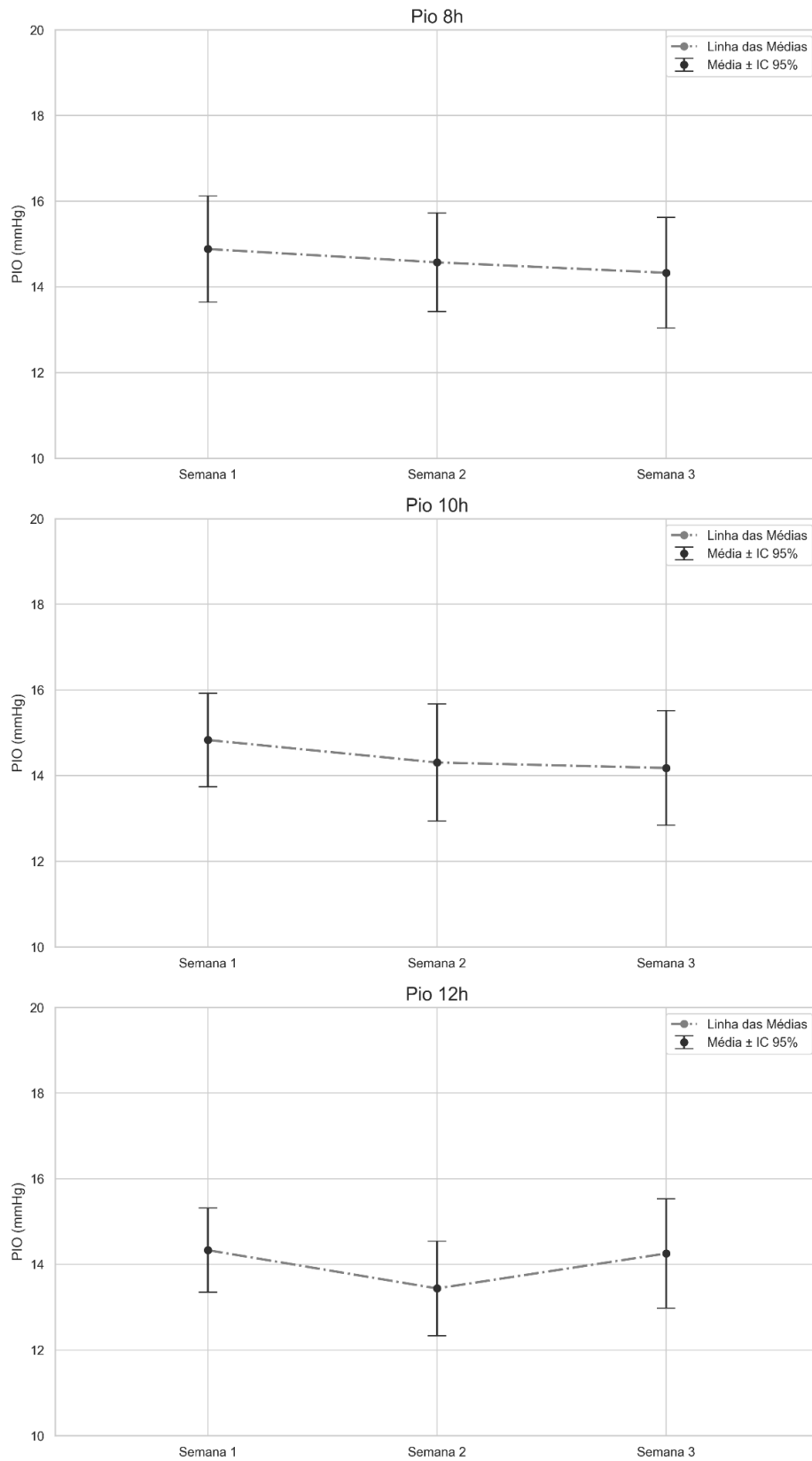


Figura 38 - Evolução dos valores médios de PIO com intervalo de confiança de 95% ao longo dos três momentos de recolha, para cada horário (8h, 10h e 12h)

Foram elaborados gráficos de evolução dos valores médios de PIO (Figura 38), com intervalo de confiança de 95%, ao longo dos três momentos de recolha, para cada horário (8h, 10h e 12h).

Nos horários das 8h e 10h, a análise gráfica não evidenciou variações marcantes entre os momentos avaliados, o que está em concordância com os resultados estatísticos, que não identificaram diferenças significativas.

Já no horário das 12h, como é possível observar pelo gráfico e tal como confirmado pelo teste de sinal, verificou-se uma diminuição estatisticamente significativa nos valores entre a Semana 1 e a Semana 2 ($p = 0,0042$). A análise gráfica sugere, adicionalmente, uma recuperação dos valores na Semana 3 para níveis semelhantes aos registados na Semana 1, embora o teste de sinal não tenha confirmado uma diferença significativa entre as Semanas 2 e 3.

4.3 Análise de SpO₂

A análise dos dados relativos à saturação periférica de oxigénio (SpO₂) iniciou-se com a avaliação da normalidade, utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Para cada um dos três momentos de recolha, foi obtido um valor de p , sendo que o menor valor registado foi $p \leq 0.001$. Estes resultados indicam que os dados não seguem uma distribuição normal, o que justifica a utilização de métodos estatísticos não paramétricos (teste de Friedman) na análise subsequente.

Para as comparações Post Hoc relativas ao SpO₂, verificou-se assimetria na distribuição das diferenças, com valor de skewness = 1,5815 entre a Semana 2 e a Semana 3. Como o valor absoluto de skewness foi superior a 1, considerou-se a distribuição assimétrica. Assim, optou-se por aplicar o teste de sinal em todas as comparações entre pares de momentos.

Na Tabela 7 apresentam-se os resultados da análise não paramétrica da SpO₂, incluindo as comparações entre pares de momentos realizadas através do teste Post Hoc de sinal.

Tabela 7 - Resultados da análise não paramétrica da saturação periférica de oxigênio (SpO₂) com comparações entre pares de momentos pelo teste Post Hoc de sinal

Hora	Média	Média	Média	X^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Sinal		
	Semana 1 (%)	Semana 2 (%)	Semana 3 (%)				p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
SpO ₂	97.81 ± 1.28	96.24 ± 2.11	97.71 ± 1.10	7.70	2	0.021	0.057	0.34	0.057

O teste de Friedman para o caso do SpO₂ revelou uma diferença estatisticamente significativa entre os momentos ($p = 0,021$). Este resultado permite rejeitar a hipótese nula, indicando que as variações observadas na SpO₂ não foram aleatórias.

O teste de sinal aplicado nas comparações Post Hoc não evidenciou diferenças significativas entre as semanas, uma vez que todos os valores de p foram superiores a 0,05. Estes resultados sugerem que a significância encontrada no teste global poderá não corresponder a diferenças reais entre momentos específicos, mas sim refletir o risco de erro de tipo I inerente à realização de múltiplos testes.

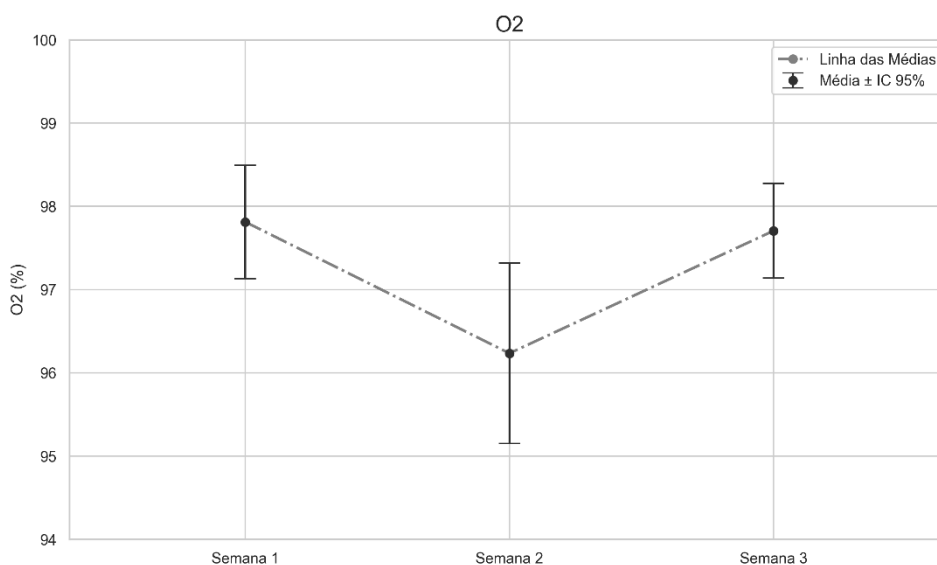


Figura 39 - Médias dos níveis de SpO₂ com IC 95% ao longo de três semanas

A partir do gráfico (Figura 39), que apresenta as médias dos níveis de SpO₂ com os respectivos intervalos de confiança de 95% ao longo de três semanas, observa-se uma diminuição dos valores médios na Semana 2, seguida de uma recuperação na Semana 3, aproximando-se novamente dos níveis iniciais. Esta variação ao longo do tempo está de acordo com a diferença global identificada pelo teste de Friedman, mas, conforme

confirmado pelas comparações Post Hoc, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas entre semanas específicas.

4.4 Análise da frequência cardíaca

Para a variável frequência cardíaca, procedeu-se igualmente à verificação da distribuição dos dados, recorrendo ao teste de Shapiro-Wilk. Os valores de p obtidos para os três momentos de recolha foram superiores ao nível de significância habitual, sendo o menor valor registado $p = 0.156$. Este resultado sugere que os dados apresentam uma distribuição aproximadamente normal. Deste modo, optou-se pela aplicação de métodos estatísticos paramétricos, nomeadamente o teste de ANOVA de medidas repetidas.

Adicionalmente, foi avaliada a suposição de esfericidade através do teste de Mauchly, tendo sido obtido um valor de $p = 0.930$. Como este valor é superior a 0.05, considera-se que a condição de esfericidade foi satisfeita, permitindo a aplicação do teste de ANOVA de medidas repetidas sem necessidade de correções.

Para a análise post hoc, foram realizados testes t para amostras emparelhadas com o objetivo de comparar os pares de momentos. De forma a controlar o erro tipo I associado a múltiplas comparações, foi aplicada a correção de Holm.

Na Tabela 8 apresentam-se os valores médios da frequência cardíaca para cada momento de recolha, bem como os resultados da ANOVA de medidas repetidas e das comparações post hoc realizadas através do teste t para amostras emparelhadas.

Tabela 8 - Médias da frequência cardíaca nos três momentos de recolha, resultados da ANOVA de medidas repetidas e das comparações post hoc com teste t para amostras emparelhadas

	Média Semana 1 (bpm)	Média Semana 2 (bpm)	Média Semana 3 (bpm)	F	gl	p-valor Anova	Post Hoc Teste t		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
<i>FC</i>	78.88 ± 10.65	70.53 ± 10.85	82.53 ± 9.81	6.78	2	0.0037	0.015	0.53	0.0024

O teste ANOVA de medidas repetidas revelou diferenças estatisticamente significativas na frequência cardíaca entre os três momentos avaliados ($p = 0,0037$). Nas comparações post hoc, aplicou-se o teste t emparelhado com correção de Holm, procedendo-se da seguinte forma:

1. Os valores de p obtidos no teste t foram ordenados em ordem crescente:

- Semana 2 vs 3 → $p = 0,0024$
- Semana 1 vs 2 → $p = 0,015$
- Semana 1 vs 3 → $p = 0,53$

2. Cada valor foi comparado com o nível de significância ajustado ($\alpha = 0,05$):

- Para o menor p (0,0024), o limiar era $\alpha/3 = 0,0167$. Como $0,0024 < 0,0167$, a diferença foi significativa.
- Para o segundo menor p (0,015), o limiar era $\alpha/2 = 0,025$. Como $0,015 < 0,025$, a diferença foi significativa.
- Para o maior p (0,53), o limiar era $\alpha/1 = 0,05$. Como $0,53 > 0,05$, a diferença foi não significativa.

Assim, após a correção de Holm, verificou-se uma diminuição significativa da frequência cardíaca da Semana 1 para a Semana 2, bem como um aumento significativo da Semana 2 para a Semana 3. A comparação entre a Semana 1 e a Semana 3 não foi significativa, sugerindo que os valores de frequência cardíaca na Semana 3 retornaram a níveis semelhantes aos da Semana 1.

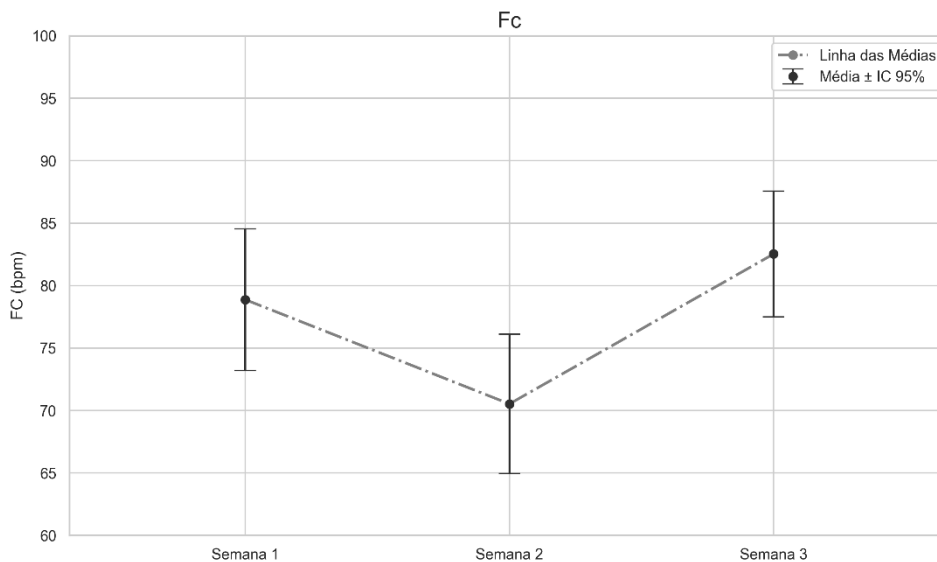


Figura 40 - Médias dos níveis da frequência cardíaca com IC 95% ao longo de três semanas

O gráfico (Figura 40) apresenta as médias da frequência cardíaca e os respectivos intervalos de confiança de 95% ao longo das três semanas. Verifica-se uma redução dos valores da Semana 1 para a Semana 2, seguida de um aumento acentuado na Semana 3. A descida inicial e a subida posterior são consistentes com os resultados estatísticos, que confirmaram diferenças significativas entre a Semana 1 e a Semana 2, bem como entre a

Semana 2 e a Semana 3. Em contraste, a proximidade das médias e a sobreposição dos intervalos de confiança entre a Semana 1 e a Semana 3 sustentam a ausência de diferenças significativas entre estes momentos.

4.5 Análise da densidade vascular superficial e profunda da mácula

Na análise da variável densidade, foram consideradas três camadas: superficial (entre a membrana limitante interna - ILM - e a camada plexiforme interna - IPL), profunda (entre a camada plexiforme interna - IPL - e a camada plexiforme externa - OPL) e total (soma das camadas superficial e profunda). Para cada uma destas camadas, analisaram-se seis zonas anatómicas: centro, temporal, nasal, superior, inferior e total (soma das cinco zonas anteriores). A verificação da distribuição dos dados foi efetuada através do teste de Shapiro-Wilk, tendo-se registado, entre todas as análises realizadas, um valor mínimo de $p < 0.0083$, inferior ao nível de significância convencional ($\alpha = 0,05$). Este resultado indica que os dados não seguem uma distribuição normal, optando-se, assim, por métodos não paramétricos, com recurso ao teste de Friedman.

Como veremos a seguir, nas comparações *post hoc*, a única diferença estatisticamente significativa foi observada na zona nasal da camada profunda (*deep*). Para esta zona, analisaram-se os valores de skewness das diferenças entre os momentos, sendo o maior em absoluto -0,1766. Como este valor é inferior a 1, considerou-se que a distribuição das diferenças não apresenta assimetria relevante. Assim, foi aplicado o teste de Wilcoxon para as comparações entre pares de momentos nesta zona.

As Tabelas seguintes (Tabela 9, Tabela 10 e Tabela 11) apresentam as médias das densidades nos três momentos, os resultados do teste de Friedman e das comparações *post hoc* com o teste de Wilcoxon, para as camadas profunda (*deep*), superficial e total, respetivamente.

Tabela 9 - Médias das densidades nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada profunda (deep)

Zona (Deep)	Média Semana 1 (%)	Média Semana 2 (%)	Média Semana 3 (%)	χ^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Wilcoxon		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
Centro	35.58 ± 9.04	33.12 ± 8.15	39.83 ± 12.31	3.65	2	0.16	-	-	-
Nasal	52.11 ± 9.80	45.31 ± 7.90	41.91 ± 11.10	6.71	2	0.035	0.0267	0.0267	0.098
Temporal	33.84 ± 6.70	31.62 ± 3.56	33.37 ± 4.66	2.24	2	0.33	-	-	-
Superior	35.13 ± 6.14	32.10 ± 6.30	32.17 ± 4.12	5.06	2	0.08	-	-	-
Inferior	34.79 ± 3.92	32.04 ± 4.45	33.77 ± 5.94	0.82	2	0.66	-	-	-
Total	38.90 ± 4.60	35.29 ± 3.88	36.10 ± 4.39	2.24	2	0.33	-	-	-

Tabela 10 - Médias das densidades nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada superficial

Zona (Sup)	Média Semana 1 (%)	Média Semana 2 (%)	Média Semana 3 (%)	χ^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Wilcoxon		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
Centro	33.16 ± 10.81	29.93 ± 9.70	32.48 ± 9.36	1.53	2	0.47	-	-	-
Nasal	41.54 ± 12.62	34.17 ± 5.17	36.45 ± 6.88	2.94	2	0.23	-	-	-
Temporal	28.68 ± 10.32	24.79 ± 4.32	27.87 ± 6.71	2.24	2	0.33	-	-	-
Superior	30.74 ± 8.84	27.32 ± 5.14	28.61 ± 7.63	3.29	2	0.19	-	-	-
Inferior	32.76 ± 10.12	29.87 ± 5.32	31.61 ± 6.39	0.82	2	0.66	-	-	-
Total	32.66 ± 9.42	28.69 ± 4.06	30.82 ± 6.28	2.24	2	0.33	-	-	-

Tabela 11 - Médias das densidades nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada total

Zona (Total)	Média Semana 1 (%)	Média Semana 2 (%)	Média Semana 3 (%)	χ^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Wilcoxon		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
Centro	34.37 ± 9.07	31.52 ± 8.51	36.16 ± 9.52	5.76	2	0.056	-	-	-
Nasal	48.59 ± 12.00	41.11 ± 7.27	40.40 ± 6.87	5.76	2	0.056	-	-	-
Temporal	28.58 ± 9.62	25.91 ± 5.98	28.16 ± 6.91	3.65	2	0.16	-	-	-
Superior	32.93 ± 6.80	29.70 ± 5.21	30.39 ± 5.00	3.18	2	0.20	-	-	-
Inferior	33.77 ± 6.43	30.94 ± 4.24	32.69 ± 5.21	2.24	2	0.33	-	-	-
Total	35.86 ± 6.56	31.97 ± 3.68	33.44 ± 4.55	1.53	2	0.47	-	-	-

Conforme apresentado na Tabela 9, o teste de Friedman aplicado às cinco zonas da camada profunda (*deep*) revelou uma diferença estatisticamente significativa apenas na zona nasal ($p = 0,035$), indicando variações entre os três momentos de recolha. Nas restantes zonas (centro, temporal, superior e inferior), não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$).

Nas análises *post hoc* para a zona nasal, o teste de Wilcoxon revelou diferenças significativas entre a Semana 1 e a Semana 2 ($p = 0,0267$), bem como entre a Semana 1 e a Semana 3 ($p = 0,0267$). Por outro lado, não se observaram diferenças entre a Semana 2 e a Semana 3 ($p = 0,098$). Estes resultados indicam que a densidade na zona nasal da camada profunda diminuiu de forma significativa após a primeira semana, mantendo-se estável entre as duas últimas medições.

Relativamente à camada superficial (Tabela 10), o teste de Friedman aplicado às cinco zonas da camada superficial não revelou diferenças estatisticamente significativas entre os três momentos de recolha em nenhuma das zonas analisadas ($p > 0,05$). Assim, não foram realizadas comparações *post hoc*, uma vez que não se verificaram resultados significativos no teste global.

No que respeita à camada total (Tabela 11), a aplicação do teste de Friedman às diferentes zonas anatómicas e à média global não evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre os três momentos de recolha ($p > 0,05$ em todas as comparações). Dado que o teste global não revelou significância, não foram efetuadas análises *post hoc* com o teste de Wilcoxon.

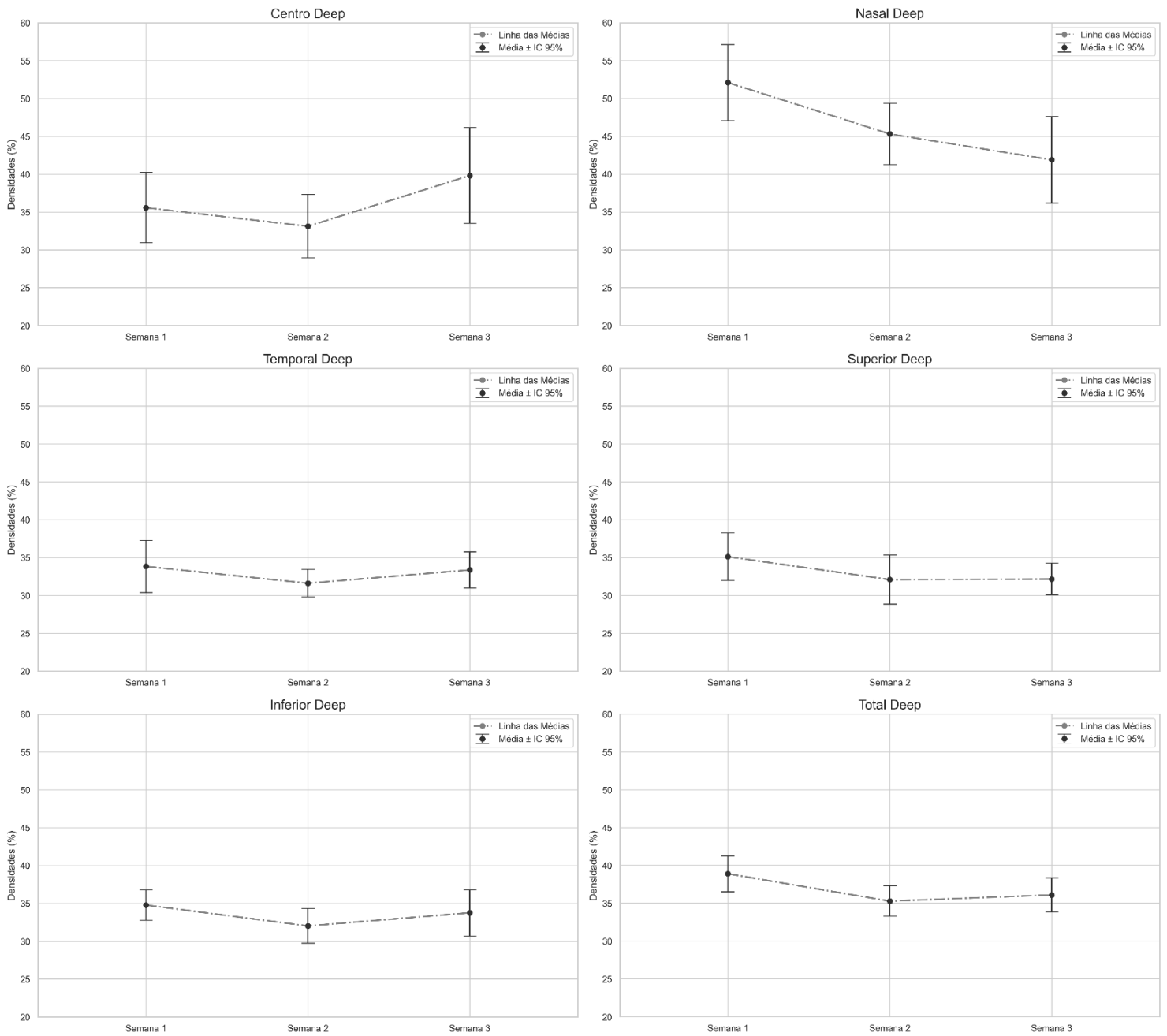


Figura 41 - Evolução das médias das densidades (\pm IC 95%) nas seis zonas da camada profunda (centro, nasal, temporal, superior, inferior e total) ao longo das três semanas

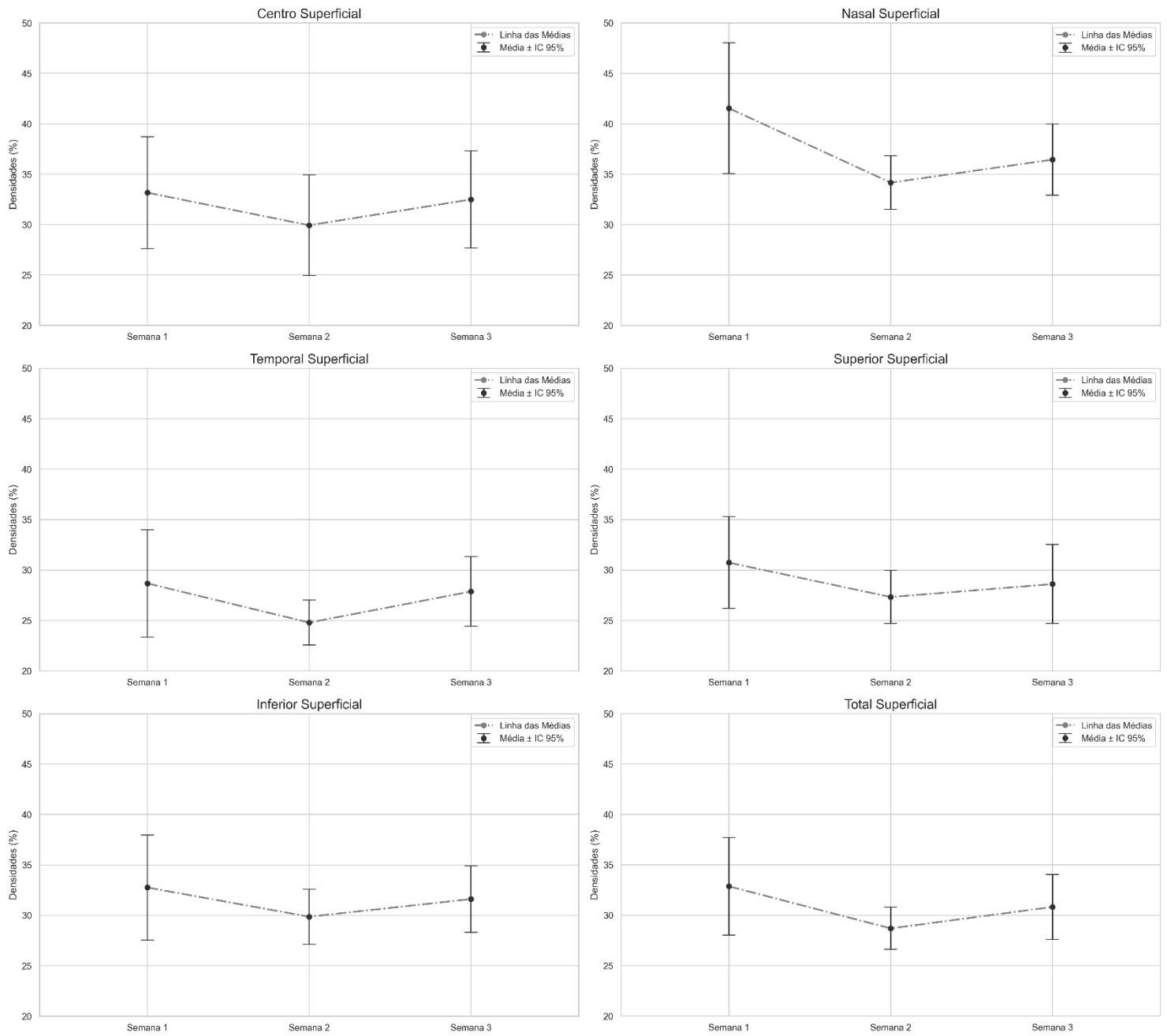


Figura 42 - Evolução das médias das densidades (\pm IC 95%) nas seis zonas da camada superficial (centro, nasal, temporal, superior, inferior e total) ao longo das três semanas

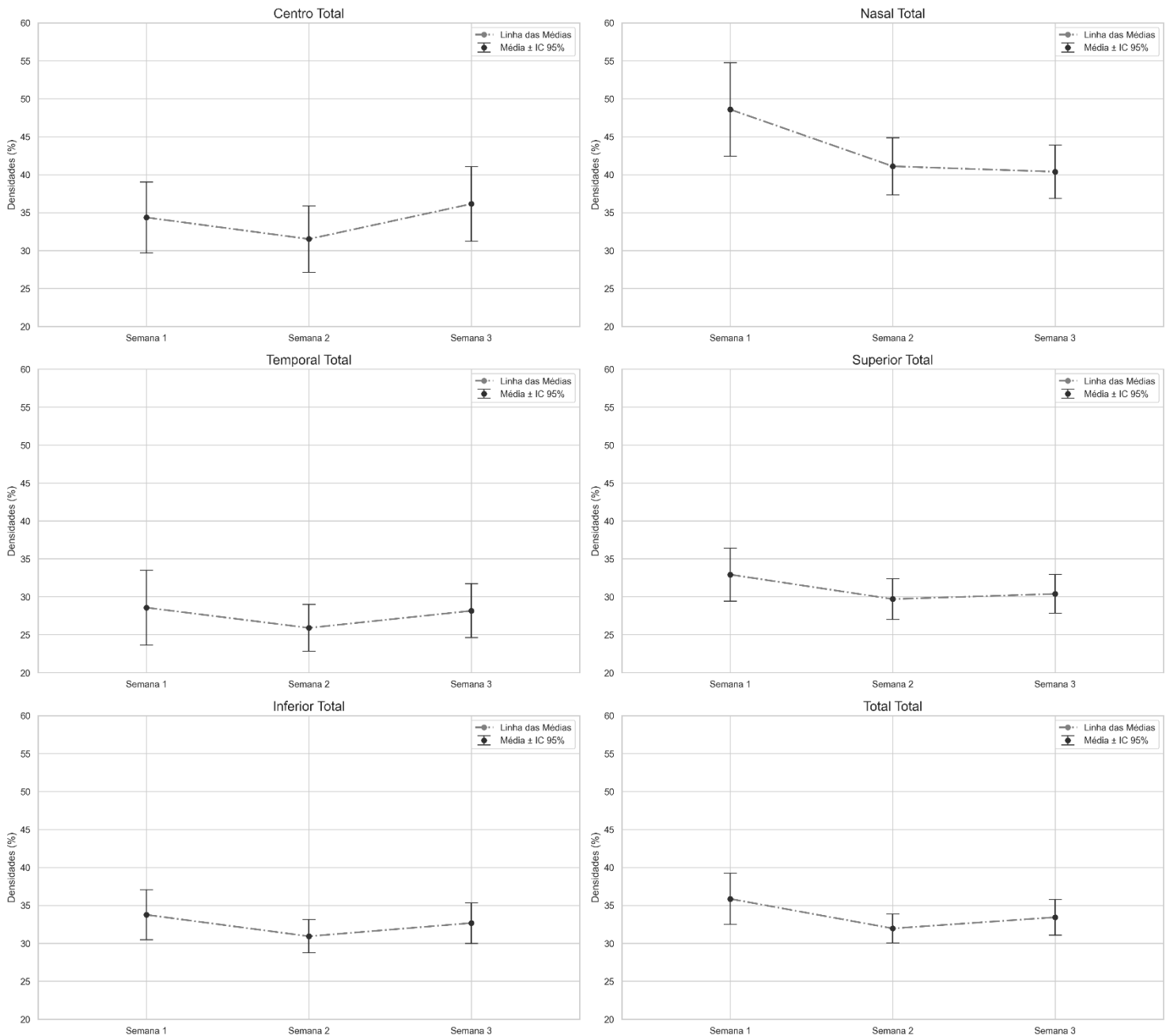


Figura 43 - Evolução das médias das densidades (\pm IC 95%) nas seis zonas da camada total (centro, nasal, temporal, superior, inferior e total) ao longo das três semanas

A Figura 41 apresenta as médias das densidades e os respetivos intervalos de confiança de 95% para as cinco zonas da camada profunda (*deep*) ao longo das três semanas. De forma geral, observa-se uma redução dos valores da Semana 1 para a Semana 2, seguida de uma estabilização ou ligeiro aumento na Semana 3, exceto na zona nasal, onde a diminuição se mantém acentuada até à última medição. Esta evolução é consistente com os resultados estatísticos, que indicaram diferenças significativas na zona nasal entre a Semana 1 e as semanas seguintes. Nas restantes zonas (centro, temporal, superior e

inferior), as médias mantêm-se próximas e os intervalos de confiança sobrepõem-se amplamente, corroborando a ausência de diferenças estatisticamente significativas.

Na Figura 42 observa-se a evolução das médias das densidades, acompanhadas pelos respectivos intervalos de confiança de 95%, nas cinco zonas da camada superficial ao longo das três semanas. Em todas as zonas, a variação entre momentos é discreta: verifica-se uma descida da Semana 1 para a Semana 2, seguida de uma tendência de estabilização ou pequeno aumento na Semana 3. A sobreposição consistente dos intervalos de confiança reforça a ausência de diferenças estatisticamente significativas, em concordância com os resultados do teste de Friedman.

A Figura 43 representa graficamente a evolução das densidades médias nas seis zonas da camada total ao longo das três semanas, acompanhadas pelos respectivos intervalos de confiança a 95%. De forma geral, os valores registam pequenas flutuações entre os momentos de recolha, com uma ligeira redução entre a primeira e a segunda semana, seguida por uma tendência de manutenção ou recuperação na terceira. A persistente sobreposição dos intervalos de confiança entre os três momentos sugere estabilidade nas medições, o que corrobora a ausência de diferenças estatisticamente significativas identificada pelo teste de Friedman.

4.6 Análise do volume superficial e profundo da mácula

Relativamente ao volume, manteve-se a abordagem metodológica, com a avaliação das camadas superficial (entre a membrana limitante interna - ILM - e a camada plexiforme interna - IPL) e profunda (entre a camada plexiforme interna - IPL - e a camada plexiforme externa - OPL), em cinco zonas anatómicas: centro, temporal, nasal, superior e inferior. Adicionalmente, foi considerada a camada total, que abrange a região entre a ILM e a OPL, englobando as camadas superficial e profunda, também analisada nas mesmas cinco zonas anatómicas. A análise da distribuição dos dados foi novamente realizada com o teste de Shapiro-Wilk, tendo-se registado, entre todas as zonas e camadas, um valor mínimo de $p < 0,01$. Este resultado reforça a decisão de aplicar métodos estatísticos não paramétricos, recorrendo-se ao teste de Friedman para a comparação intra-camada entre zonas.

Nas comparações post hoc, apenas a zona central da camada profunda (*deep*) apresentou diferenças estatisticamente significativas entre momentos. Para esta zona, foi avaliada a

simetria da distribuição das diferenças através do coeficiente de skewness, tendo-se obtido um valor máximo absoluto de -1,5679. Por exceder o limite de 1, considerou-se que a distribuição apresentava assimetria relevante, pelo que se optou pela aplicação do teste de sinal nas comparações entre pares de momentos.

Nas Tabelas 12, 13 e 14 estão reunidas as médias de volume por momento, os resultados do teste de Friedman e, quando aplicável, as comparações *post hoc* realizadas com o teste de sinal. A Tabela 12 apresenta os dados da camada profunda, a Tabela 13 da camada superficial e a Tabela 14 da camada total (ILM-OPL).

Tabela 12 - Médias dos volumes nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada profunda (deep)

Zona (Deep)	Média Semana 1 (mm ³)	Média Semana 2 (mm ³)	Média Semana 3 (mm ³)	χ^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Sinal		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
Centro	0.067 ± 0.01	0.069 ± 0.008	0.065 ± 0.009	7.88	2	0.019	0.049	0.33	0.049
Nasal	0.21 ± 0.017	0.21 ± 0.017	0.21 ± 0.011	0	2	1	-	-	-
Temporal	0.20 ± 0.012	0.20 ± 0.011	0.20 ± 0.001	1.53	2	0.47	-	-	-
Superior	0.22 ± 0.016	0.22 ± 0.026	0.22 ± 0.024	0.82	2	0.66	-	-	-
Inferior	0.21 ± 0.016	0.21 ± 0.012	0.21 ± 0.012	0.82	2	0.66	-	-	-

Tabela 13 - Médias dos volumes nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações post hoc com o teste de Wilcoxon para a camada superficial

Zona (Sup)	Média Semana 1 (mm ³)	Média Semana 2 (mm ³)	Média Semana 3 (mm ³)	χ^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Sinal		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
Centro	0.081 ± 0.013	0.081 ± 0.013	0.080 ± 0.015	0.12	2	0.94	-	-	-
Nasal	0.36 ± 0.022	0.36 ± 0.021	0.36 ± 0.022	3.65	2	0.16	-	-	-
Temporal	0.34 ± 0.021	0.34 ± 0.019	0.33 ± 0.017	0	2	1	-	-	-
Superior	0.37 ± 0.020	0.37 ± 0.019	0.37 ± 0.017	0.12	2	0.94	-	-	-
Inferior	0.38 ± 0.020	0.38 ± 0.017	0.37 ± 0.020	5.06	2	0.08	-	-	-

Tabela 14 - Médias dos volumes nos três momentos de recolha, resultados do teste de Friedman e comparações *post hoc* com o teste de Wilcoxon para a camada total (ILM-OPL)

Zona (Total)	Média Semana 1 (mm^3)	Média Semana 2 (mm^3)	Média Semana 3 (mm^3)	X^2	gl	p-valor Friedman	Post Hoc de Sinal		
							p 1 vs 2	p 1 vs 3	p 2 vs 3
Centro	0.15 ± 0.022	0.15 ± 0.020	0.15 ± 0.023	3.65	2	0.16	-	-	-
Nasal	0.57 ± 0.030	0.58 ± 0.027	0.57 ± 0.026	5.65	2	0.059	-	-	-
Temporal	0.53 ± 0.029	0.54 ± 0.027	0.53 ± 0.023	1.06	2	0.59	-	-	-
Superior	0.59 ± 0.023	0.60 ± 0.033	0.59 ± 0.036	3.18	2	0.2	-	-	-
Inferior	0.59 ± 0.026	0.59 ± 0.020	0.59 ± 0.026	2.47	2	0.29	-	-	-

A aplicação do teste de Friedman aos volumes da camada profunda (Tabela 12) revelou diferenças estatisticamente significativas apenas na zona central ($p = 0,019$), enquanto nas restantes zonas (nasal, temporal, superior e inferior) não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$).

A aplicação do teste de Friedman aos volumes da camada profunda (Tabela 12) revelou diferenças estatisticamente significativas apenas na zona central ($p = 0,019$), enquanto nas restantes zonas (nasal, temporal, superior e inferior) não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$). A análise *post hoc* com o teste de sinal, aplicada à camada profunda (*deep*), confirmou diferenças estatisticamente significativas na zona central entre Semana 1 e Semana 2 ($p = 0,049$) e entre Semana 1 e Semana 3 ($p = 0,049$), não se verificando diferenças entre Semana 2 e Semana 3 ($p = 0,33$).

Por outro lado, a aplicação do teste de Friedman aos volumes das camadas superficial (Tabela 13) e total (Tabela 14) não revelou diferenças estatisticamente significativas entre os três momentos de recolha em nenhuma das zonas analisadas (centro, nasal, temporal, superior e inferior), uma vez que todos os valores de p foram superiores a 0,05.

Nos gráficos que se seguem para a camada profunda (Figura 44), as variações entre momentos são mínimas em todas as zonas, exceto no centro, onde se verifica uma tendência discreta de redução. Apesar de não ser evidente visualmente, esta diferença foi confirmada pelo teste estatístico.

Por fim, nos gráficos apresentados para as camadas superficial e total (Figura 45 e Figura 46, respetivamente), observa-se uma manutenção dos volumes entre a Semana 1, Semana

2 e Semana 3 em todas as zonas anatômicas (centro, nasal, temporal, superior e inferior). As oscilações aparentes são pequenas e sem padrão consistente, não sugerindo tendência de aumento ou diminuição ao longo do tempo. Este padrão visual é coerente com os resultados estatísticos, que não indicaram diferenças significativas pelo teste de Friedman ($p > 0,05$ em todas as zonas).

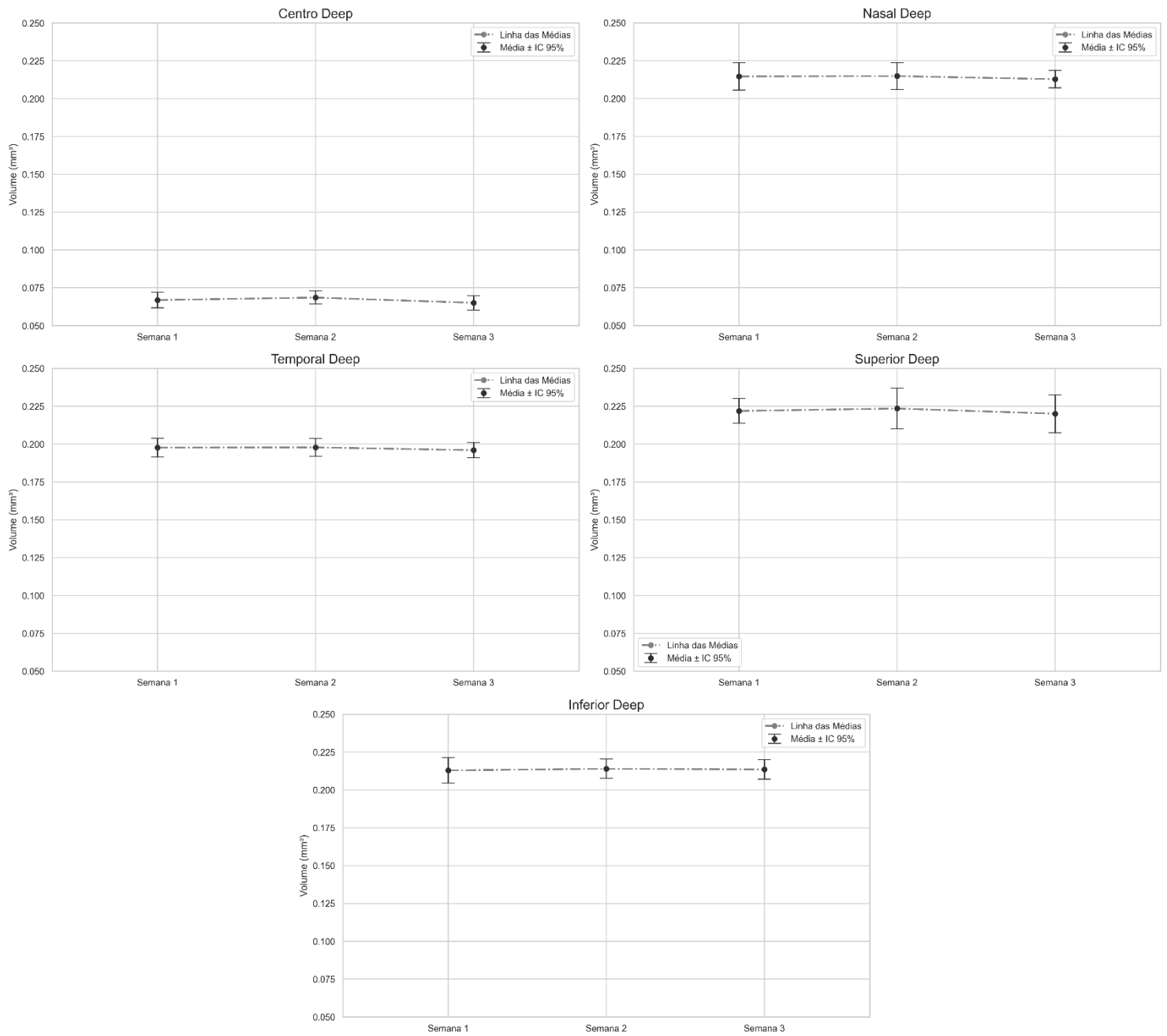


Figura 44 - Evolução das médias dos volumes (\pm IC 95%) nas cinco zonas da camada profunda (centro, nasal, temporal, superior e inferior) ao longo das três semanas

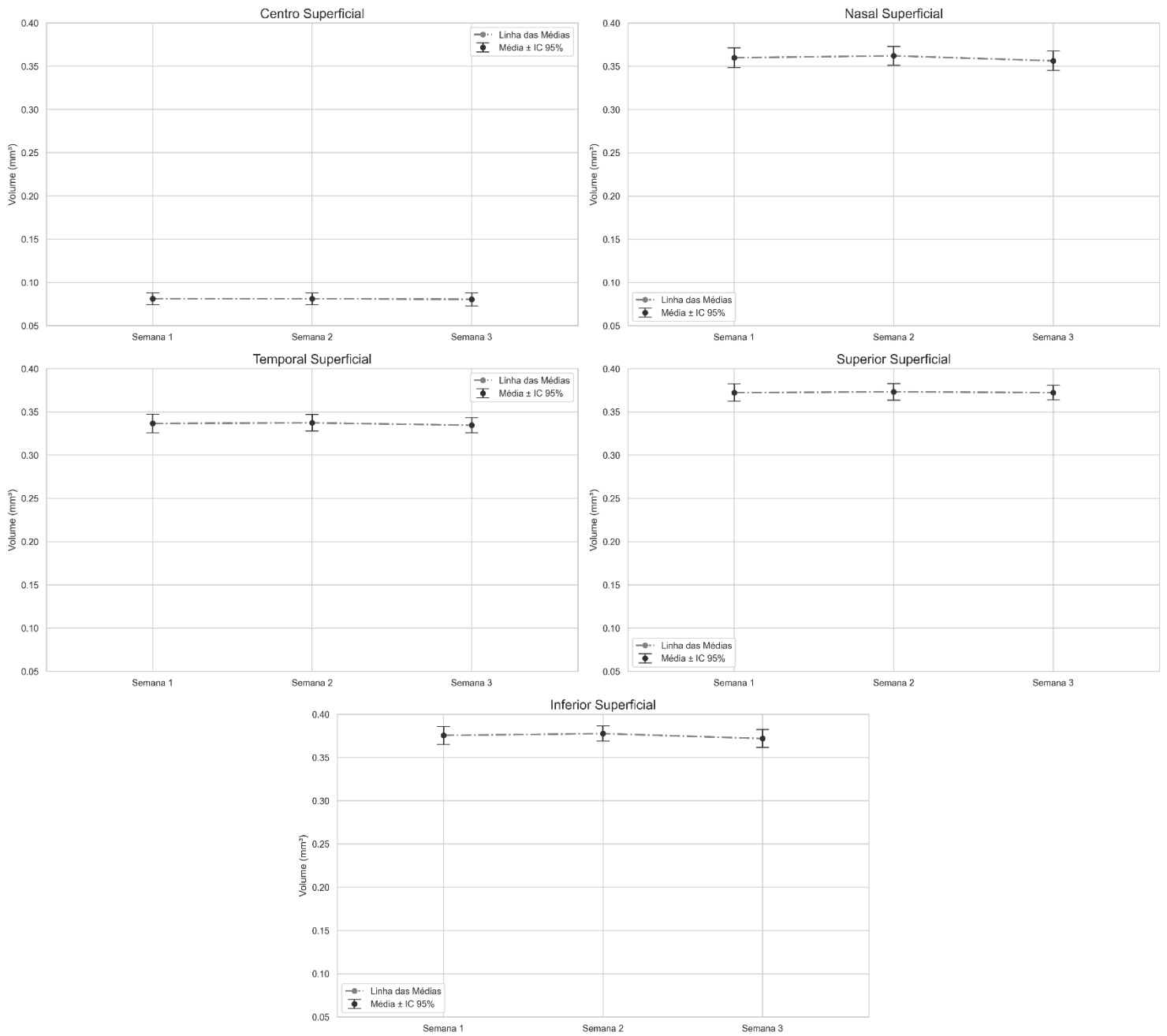


Figura 45 - Evolução das médias dos volumes (\pm IC 95%) nas cinco zonas da camada superficial (centro, nasal, temporal, superior e inferior) ao longo das três semanas

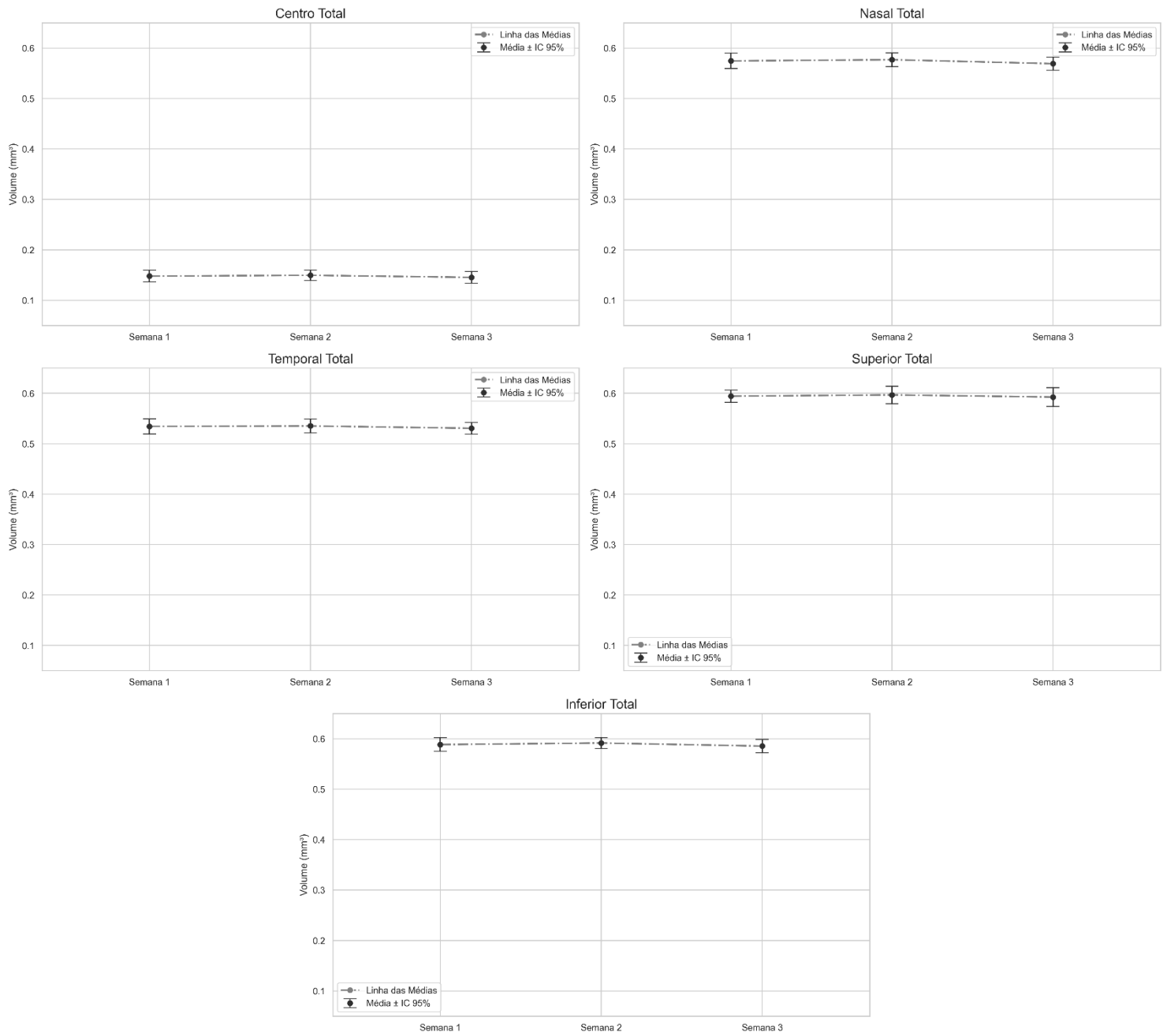


Figura 46 - Evolução das médias dos volumes totais (\pm IC 95%) nas cinco zonas anatômicas (centro, nasal, temporal, superior e inferior), considerando ambas as camadas

4.7 Conclusão

Neste capítulo foram apresentados os resultados obtidos ao longo das três fases experimentais do estudo, organizados em diferentes secções para uma análise sistemática. Inicialmente, aplicaram-se os critérios de exclusão e procedeu-se à caracterização da amostra final. Em seguida, foram analisadas as variáveis fisiológicas e oftalmológicas, com recurso a métodos estatísticos adequados à distribuição dos dados:

- **Pressão intraocular (PIO):** Avaliada em três horários (8h, 10h e 12h) nos três momentos experimentais, utilizando testes não paramétricos.
- **Saturação periférica de oxigénio (SpO₂) e frequência cardíaca:** Analisadas para identificar alterações sistémicas associadas à exposição à altitude, recorrendo a testes não paramétricos e paramétricos, respetivamente.
- **Densidade vascular da mácula:** Estudada nas camadas superficial, profunda e total, segmentadas em zonas anatómicas (centro, nasal, temporal, superior e inferior), com recurso a algoritmos desenvolvidos para garantir padronização e rigor.
- **Volume retiniano:** Avaliado nas mesmas camadas e zonas anatómicas, através de reconstrução volumétrica e análise regional.

De forma geral, os resultados evidenciaram uma redução significativa da PIO no horário das 12h entre baixa e alta altitude, uma diminuição da densidade vascular na zona nasal da camada profunda e uma variação no volume retiniano na zona central da mesma camada, enquanto as restantes variáveis apresentaram alterações discretas ou não significativas. Estes resultados fornecem a base para a discussão e conclusões apresentadas nos capítulos seguintes.

5 Conclusão

5.1 Síntese da dissertação

Esta dissertação teve como objetivo avaliar os efeitos da exposição à altitude na retina e na pressão intraocular (PIO), em condições comparáveis às encontradas em cabines de aeronaves comerciais. A revisão da literatura evidenciou que a hipóxia hipobárica pode induzir alterações fisiológicas no olho, incluindo variações na PIO e na estrutura retiniana, mas os estudos existentes apresentam resultados contraditórios e escassez de dados em contextos equivalentes à aviação comercial.

Para colmatar esta lacuna, foi desenvolvido um estudo experimental com 30 participantes saudáveis, dos quais 17 foram incluídos na análise final. O protocolo decorreu em três momentos: Semana 1 (baixa altitude, UBI, 700 metros), Semana 2 (alta altitude, Serra da Estrela, 1993 metros) e Semana 3 (retorno à baixa altitude). Em cada fase, foram recolhidos dados de PIO, saturação periférica de oxigénio (SpO_2), frequência cardíaca e imagens da retina obtidas por Tomografia de Coerência Ótica (OCT), incluindo angiografia macular (OCTA).

Para análise, foram desenvolvidos algoritmos próprios em MATLAB que permitiram calcular a densidade vascular da mácula (camadas superficial e profunda) e reconstruir volumes retinianos em 3D. A análise estatística iniciou-se com o teste de Shapiro-Wilk para avaliar a normalidade, aplicando-se ANOVA de medidas repetidas para dados paramétricos e teste de Friedman para dados não paramétricos, complementados por testes post hoc (Wilcoxon ou teste dos sinais).

Os resultados revelaram uma redução significativa da PIO no horário das 12h entre baixa e alta altitude, uma diminuição da densidade vascular na zona nasal da camada profunda e alterações discretas no volume retiniano na zona central da mesma camada. As restantes variáveis apresentaram variações não significativas ou transitórias, incluindo uma ligeira redução da SpO_2 e oscilações na frequência cardíaca.

Em síntese, este estudo confirma que mesmo altitudes moderadas podem induzir alterações fisiológicas subtis na retina e na PIO, reforçando a importância de compreender estas respostas em contextos aeronáuticos. Apesar das limitações (amostra reduzida e curta duração), os resultados contribuem para a literatura existente e abrem caminho para investigações futuras com maior representatividade, altitudes mais elevadas e variáveis adicionais.

5.2 Comparação com a Literatura

Segue-se a interpretação dos resultados obtidos, relacionando-os com a evidência disponível na literatura.

Relativamente à pressão intraocular, verificou-se uma diferença estatisticamente significativa no horário das 12h, com uma redução da PIO entre a Semana 1 (baixa altitude) e a Semana 2 (alta altitude), seguida de uma recuperação na Semana 3. Este padrão sugere uma resposta transitória da PIO à exposição aguda à altitude. Estudos anteriores apresentam resultados contraditórios: alguns autores reportam aumentos da PIO em altitude [3,8] e enquanto outros observam reduções [5,8]. Os resultados deste estudo alinham-se com os trabalhos que apontam para uma diminuição da PIO em altitude, possivelmente associada à redução da pressão atmosférica e à adaptação fisiológica ao ambiente hipóxico.

No que respeita à saturação periférica de oxigénio (SpO_2), observou-se uma diminuição dos valores médios na Semana 2, compatível com a menor disponibilidade de oxigénio em altitude. Embora o teste global tenha revelado significância, as comparações entre pares não foram estatisticamente significativas. Este comportamento pode refletir uma resposta compensatória do organismo, como descrito por Hall & Hall [27], em que a aclimação parcial permite manter níveis funcionais de oxigenação mesmo em ambientes hipobáricos moderados.

A frequência cardíaca apresentou alterações significativas entre os três momentos, com uma diminuição da Semana 1 para a Semana 2 e um aumento subsequente na Semana 3. Este padrão contraria a expectativa de aumento da frequência cardíaca em resposta à hipóxia, como sugerido por Yin et al. [19], que observaram um aumento marcado da frequência cardíaca após subida rápida a 3.700 metros, associado à redução da saturação de oxigénio como mecanismo compensatório à hipóxia. Os resultados obtidos podem indicar uma adaptação autonómica rápida ou influência de fatores como o repouso relativo durante os testes em altitude.

A análise da densidade vascular retiniana revelou uma diferença estatisticamente significativa apenas na zona nasal da camada profunda, com uma redução entre a Semana 1 e as semanas seguintes. Este resultado pode indicar uma maior sensibilidade desta região anatómica às variações de pressão e oxigenação. Sousa et al. [2] demonstraram, através de OCT-A, que a hipóxia normobárica simulada provoca um aumento significativo da densidade vascular, evidenciando a capacidade da retina para responder rapidamente

a variações na disponibilidade de oxigênio. Estudos sobre retinopatia de altitude [10,11] descrevem alterações como dilatação vascular, edema e hemorragias, sobretudo em altitudes superiores a 2500 metros. Embora a altitude estudada neste trabalho seja inferior, os resultados sugerem que mesmo exposições moderadas podem induzir alterações vasculares subtis, especialmente em zonas específicas da retina.

Na análise do volume retiniano, verificou-se uma diferença significativa apenas na zona central da camada profunda, com uma ligeira redução entre a Semana 1 e as semanas seguintes. A literatura aponta para alterações na espessura da camada de fibras nervosas (RNFL) em altitude [35,36], ambos com tendência para adelgaçamento em exposições prolongadas. Os resultados significativos deste estudo, embora limitados à zona central e à camada profunda, corroboram a possibilidade de alterações estruturais localizadas, ainda que reversíveis.

5.3 Implicações dos Resultados

A variação observada na **pressão intraocular (PIO)**, especialmente no horário das 12h, poderá indicar que a altitude influencia temporariamente a regulação da pressão ocular. Esta possibilidade poderá ter interesse em contextos como a aviação ou o montanhismo, onde indivíduos com predisposição para alterações da PIO possam estar sujeitos a variações fisiológicas que merecem acompanhamento.

As variações na **frequência cardíaca e na saturação de oxigênio** sugerem que a resposta sistêmica à altitude pode interagir com a função ocular. Esta interdependência poderá justificar abordagens integradas na avaliação da saúde visual em altitude, considerando não apenas os parâmetros oftalmológicos, mas também os indicadores fisiológicos gerais.

No caso da **densidade vascular retiniana**, a redução significativa na zona nasal da camada profunda poderá apontar para uma maior sensibilidade regional da retina às condições hipobáricas. Embora não se possa afirmar que esta alteração tenha implicações clínicas, levanta a hipótese de que certas zonas anatómicas possam ser mais vulneráveis em ambientes de menor oxigenação.

Por fim, a **alteração do volume retiniano** na zona central da camada profunda, ainda que discreta, poderá refletir adaptações morfológicas transitórias da retina. Esta hipótese poderá ser explorada em estudos que investiguem a estabilidade estrutural da retina em ambientes de baixa pressão atmosférica, especialmente em profissionais expostos regularmente a tais condições.

Em conjunto, estes resultados abrem caminho para novas perguntas e hipóteses que poderão ser aprofundadas em estudos com maior representatividade, maior duração e em altitudes mais elevadas.

5.4 Contribuições Metodológicas e Relevância Científica

Este estudo apresenta diversos pontos fortes que reforçam a sua validade e relevância científica. A recolha de dados em três momentos distintos, incluindo uma fase de exposição aguda à altitude moderada (Serra da Estrela, 1993 metros), permitiu avaliar alterações fisiológicas e estruturais de forma sequencial e controlada. A utilização de tecnologia avançada, como a Tomografia de Coerência Ótica (OCT) e a Angiografia por tomografia (OCTA), aliada ao desenvolvimento de algoritmos personalizados em MATLAB, garantiu uma análise mais precisa e reproduzível da densidade vascular e do volume retiniano. A criação de máscaras anatómicas padronizadas e o alinhamento temporal das imagens permitiram uma comparação rigorosa entre os diferentes momentos, superando limitações dos softwares nativos dos equipamentos.

A metodologia adotada neste trabalho pode ser aplicada em estudos futuros que pretendam investigar os efeitos da altitude em diferentes populações (como idosos, profissionais da aviação ou indivíduos com patologias oculares), ou em contextos de exposição prolongada. A abordagem multidimensional, que integra parâmetros estruturais (densidade e volume retiniano) e fisiológicos (PIO, SpO₂, frequência cardíaca), constitui uma base sólida para investigações mais abrangentes sobre os mecanismos de adaptação ocular à altitude. A inclusão de novas variáveis, como a espessura da coroide ou a perfusão vascular dinâmica, poderá enriquecer ainda mais esta linha de investigação.

5.5 Limitações

Este estudo apresenta várias limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados e na sua eventual aplicação em contextos clínicos ou operacionais.

Em primeiro lugar, a dimensão reduzida da amostra (n = 17) limita o poder estatístico das análises realizadas, aumentando o risco de ocorrência de erros tipo I (falsos positivos) e tipo II (falsos negativos). Esta limitação compromete a robustez dos testes inferenciais e dificulta a generalização dos resultados para populações mais amplas.

A caracterização da amostra também representa uma limitação. Embora os participantes tenham sido selecionados com base em critérios de inclusão, não foi possível controlar

variáveis como hábitos de vida, condição física ou estado de aclimatação individual. A ausência de estratificação por subgrupos impede a análise de possíveis padrões diferenciados entre perfis fisiológicos distintos.

Fatores como o sono e os ritmos circadianos podem ter influenciado variáveis como a PIO, a frequência cardíaca e a saturação de oxigênio. Apesar de se terem padronizado os horários das medições, não foi possível controlar o estado de vigília ou o padrão de sono dos participantes nos dias anteriores às sessões.

A qualidade das imagens obtidas por Tomografia de Coerência Ótica (OCT) constitui outra limitação relevante. A presença de artefactos, movimentos oculares involuntários e alinhamentos imperfeitos durante a aquisição podem ter afetado a precisão das medições, especialmente nas análises de densidade vascular e volume retiniano. Adicionalmente, a variabilidade na correção das linhas de segmentação pode introduzir inconsistências nos dados estruturais.

As condições ambientais durante as medições (incluindo variações de luz, temperatura e humidade) podem ter influenciado tanto os exames oftalmológicos como a fisiologia dos participantes. Embora se tenham seguido protocolos padronizados, estas variáveis não foram monitorizadas de forma sistemática.

A variabilidade interindividual na resposta à altitude é um fator relevante, dado que a tolerância à hipóxia, a reatividade cardiovascular e a sensibilidade ocular variam significativamente entre indivíduos. No entanto, apesar do número limitado de participantes, a abordagem estatística utilizada cumpriu os critérios necessários para lidar com essa variabilidade, permitindo uma análise robusta e fiável dos dados. Assim, embora a diversidade de respostas individuais possa ter influenciado os resultados, o desenho metodológico e a análise estatística adotada garantem a validade das conclusões obtidas.

Por fim, diversos fatores não controlados (como o estado de hidratação, a ingestão de cafeína, o uso de medicação, o esforço físico prévio ou o consumo de álcool) podem ter interferido com variáveis fisiológicas como a PIO, a frequência cardíaca e a perfusão retiniana. A ausência de controlo rigoroso sobre estes elementos representa uma fonte potencial de viés.

5.6 Sugestões para investigações futuras

Investigações futuras poderão beneficiar de amostras mais amplas e diversificadas, bem como de protocolos com maior duração e exposição a altitudes mais elevadas. Seria também pertinente realizar estudos em ambientes simulados ou reais de cabine de aeronave, onde as condições de pressão, oxigenação e temperatura são controladas, aproximando-se mais da realidade operacional da aviação comercial. A inclusão de subgrupos com diferentes perfis fisiológicos, o controlo rigoroso de fatores externos (como sono, hidratação e medicação), e o uso de equipamentos de imagem com maior precisão poderão contribuir para uma caracterização mais robusta dos efeitos da altitude na fisiologia ocular.

5.7 Considerações finais

Este estudo teve como objetivo explorar os efeitos da exposição à altitude na fisiologia ocular, com especial enfoque na retina macular e na pressão intraocular (PIO). Através de um protocolo experimental realizado em três momentos distintos (dois em baixa altitude e um em altitude elevada) foram recolhidos dados estruturais e vasculares da retina, bem como parâmetros sistémicos como a frequência cardíaca e a saturação de oxigénio.

Os resultados obtidos revelaram alterações discretas em algumas variáveis, nomeadamente uma redução significativa da PIO em determinados horários, uma diminuição da densidade vascular na zona nasal da retina profunda e uma variação no volume retiniano na zona central da mesma camada. Estas alterações levantam hipóteses sobre a sensibilidade da retina e da PIO a ambientes hipobáricos moderados, sugerindo possíveis adaptações fisiológicas transitórias.

Contudo, as limitações do estudo (incluindo a dimensão reduzida da amostra, a curta duração do protocolo, a ausência de exposição a altitudes extremas e a variabilidade interindividual) impedem a formulação de conclusões definitivas. Os resultados devem, por isso, ser interpretados como exploratórios, servindo de base para futuras investigações.

Este trabalho contribui para o aprofundamento da compreensão dos efeitos da altitude na fisiologia ocular, ao aplicar uma abordagem integrada e em condições de pressão atmosférica semelhantes às encontradas em cabines de aeronaves comerciais. Esta ligação à aviação é particularmente relevante para a medicina aeronáutica e a segurança

operacional, uma vez que fornece dados que podem apoiar estratégias preventivas para profissionais e passageiros expostos a ambientes hipobáricos. Embora não represente um primeiro estudo na área, oferece uma perspectiva complementar e metodologicamente rigorosa, que poderá apoiar o desenvolvimento de investigações futuras em contextos aeronáuticos, com maior representatividade e controlo experimental.

Bibliografia

- [1] Sousa, D. C., Leal, I., Moreira, S., Dionísio, P., Abegão Pinto, L., and Marques-Neves, C., “Hypoxia Challenge Test and Retinal Circulation Changes - a Study Using Ocular Coherence Tomography Angiography,” *Acta Ophthalmologica*, Vol. 96, No. 3, 2018, pp. e315-e319. <https://doi.org/10.1111/aos.13622>
- [2] Sousa, D. C., Leal, I., Moreira, S., Do Vale, S., Silva-Herdade, A. S., Aguiar, P., Dionísio, P., Pinto, L. A., Castanho, M. A. R. B., and Marques-Neves, C., “A Protocol to Evaluate Retinal Vascular Response Using Optical Coherence Tomography Angiography,” *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 13, 2019. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.00566>
- [3] Wu, Y., Da, C. R. Q., Liu, J., and Yan, X., “Intraocular Pressure and Axial Length Changes during Altitude Acclimatization from Beijing to Lhasa,” *PLOS ONE*, Vol. 15, No. 1, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228267>
- [4] Amit, A., Gaurav, K., Vikas, A., Ashok, K., Harpreet, A. S., and Shivani, A., “Evaluation of Intraocular Pressure and Corneal Thickness in Individuals at High Altitude Area (10000 Ft above Sea Level),” *romanian journal of ophthalmology*, Vol. 63, No. 3, 2019, pp. 217-221. <https://doi.org/10.22336/rjo.2019.33>
- [5] Vercellin, A. V., Harris, A., Belamkar, A., Zukerman, R., Carichino, L., Szopos, M., Siesky, B., Quaranta, L., Bruttini, C., Oddone, F., Riva, I., and Guidoboni, G., “Physiology-Enhanced Data Analytics to Evaluate the Effect of Altitude on Intraocular Pressure and Ocular Hemodynamics,” *Photonics*, Vol. 9, No. 3, 2022. <https://doi.org/10.3390/photonics9030158>
- [6] Xie, Y., Sun, Y.-X., Han, Y., Yang, D.-Y., Yang, Y.-Q., Cao, K., Li, S.-N., Li, X., Lu, X.-X., Wu, S.-Z., and Wang, N.-L., “Longitudinal Observation of Intraocular Pressure Variations with Acute Altitude Changes,” *WJCC*, Vol. 7, No. 20, 2019. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v7.i20.3226>
- [7] Yang, Y., Xie, Y., Sun, Y., Cao, K., Li, S., Fan, S., Huang, L., Wu, S., and Wang, N., “Intraocular Pressure Changes of Healthy Lowlanders at Different Altitude Levels: A Systematic Review and Meta-Analysis,” *Frontiers in Physiology*. Volume 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01366>
- [8] Somner, J. E. A., Morris, D. S., Scott, K. M., MacCormick, I. J. C., Aspinall, P., and Dhillon, B., “What Happens to Intraocular Pressure at High Altitude?,” *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, Vol. 48, No. 4, 2007, pp. 1622-1626. <https://doi.org/10.1167/iovs.06-1238>

- [9] Bayer, A., and Yumusak, E., "Intraocular Pressure Measured at Ground Level and 10,000 Feet," *Aviation Space and Environmental Medicine*, Vol. 75, 2004.
- [10] Han, C., Zheng, X. X., and Zhang, W. F., "High Altitude Retinopathy: An Overview and New Insights," *Travel Medicine and Infectious Disease*, Vol. 58, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2024.102689>
- [11] Dangi, M., Sadhukhan, A., Kumar, P., Bandopadhyay, S., Sharma, V. K., Patra, V. K., Chaudhary, M., and Rana, V., "Retinal Manifestations in High Altitude," *High Altitude Medicine and Biology*, Vol. 24, No. 4, 2023, pp. 296-301. <https://doi.org/10.1089/ham.2023.0051>
- [12] Liu, D., Wang, Y., and Fu, R., "High-Altitude Retinopathy and Retinal Hemorrhage: A Case Report," 2023. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000040780>
- [13] Shrestha, A., Suwal, R., and Shrestha, B., "Vitreous Hemorrhage Following High-Altitude Retinopathy," Hindawi Limited, August 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/7076190>
- [14] Mohan, A., and Kaur, N., "Macular Hemorrhage in High Altitudes Traveler," *Kerala Journal of Ophthalmology*, Vol. 30, No. 2, 2018, pp. 136-137. https://doi.org/10.4103/kjo.kjo_42_18
- [15] Chang, L. Y., Mi, C. W., Im, L., and Patronas, M., "Purtscher-like Retinopathy Associated with High Altitude Travel," *Ophthalmology @ Point of Care*, Vol. 1, No. 1, 2017. <https://doi.org/10.5301/oapoc.0000022>
- [16] Jha, K. N., "High Altitude and the Eye," *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, Vol. 1, No. 3, 2012, pp. 166-169. <https://doi.org/10.1097/apo.0b013e318253004e>
- [17] Liu, Y. A., Mesentier-Louro, L. A., Shariati, M. A., Moss, H. E., Beres, S. J., and Liao, Y. J., "High Altitude as a Risk Factor for the Development of Nonarteritic Anterior Ischemic Optic Neuropathy," *Journal of Neuro-Ophthalmology*, Vol. 43, No. 1, 2023, pp. 69-75. <https://doi.org/10.1097/WNO.0000000000001629>
- [18] Wang, T. W., Huang, M. K., Hsu, C. C., Jo, S. Y., Lin, Y. K., How, C. K., Tseng, S. F., Chung, K., Chien, D. K., Chang, W. H., and Chiu, Y. H., "High Myopia at High Altitudes," *Frontiers in Physiology*, Vol. 15, 2024. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1350051>
- [19] Yin, X., Li, Y., Ma, Y., Xie, Y., Wang, K., Sun, D., Liu, X., Hao, M., Liang, M., Zhang, S., Guo, Y., Jin, L., Wang, N., and Wang, J., "Thickened Retinal Nerve Fiber Layers Associated With High-Altitude Headache," *Frontiers in Physiology*, Vol. 13, 2022. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.864222>
- [20] Willmann, G., Schatz, A., Zhou, A., Schommer, K., Zrenner, E., Bartz-Schmidt, K. U., Gekeler, F., and Dominik Fischer, M., "Impact of Acute Exposure to High

- Altitude on Anterior Chamber Geometry,” *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, Vol. 54, No. 6, 2013, pp. 4241-4248. <https://doi.org/10.1167/iovs.13-12158>
- [21] Alalam, P., “Aerosol Study Using Laboratory and IASI Measurements : Application to East Asian Deserts,” March 2023. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs14143422>
- [22] Saha, K., “The Earth’s Atmosphere,” *The Earth’s Atmosphere Its Physics and Dynamics*, edited by Springer, Berlin, 2008, pp. 1-374.
- [23] “Serra Da Estrela | Wwww.Visitportugal.Com.” Retrieved 12 September 2025. <https://www.visitportugal.com/pt-pt/content/serra-da-estrela>
- [24] “Sergio Koch - PRESSÃO ATMOSFÉRICA NA AERONAVE.” Retrieved 17 October 2024. <https://sites.google.com/site/invacivil/seguranca-de-voo-1/press%C3%A3o-atmosf%C3%A9rica-na-aeronave>
- [25] Bruce A. Banks, Kim K. de Groh, and Sharon K. Miller, “Low Earth Orbital Atomic Oxygen Interactions With Spacecraft Materials,” Cleveland, Ohio, November 2004. <https://doi.org/10.1557/PROC-851-NN8.1>
- [26] Hall, J. E., and Hall, M. E., “Guyton and Hall Textbook of Medical of Physiology,” edited by Elsevier, Philadelphia, 2021, pp. 1-1028.
- [27] Ministério da Defesa Nacional Força Aérea Portuguesa Centro de Medicina Aeronáutica, “Manual de Fisiologia de Voo,” 2015, pp. 1-310.
- [28] Mahesh, S. P., and Mathura, J. R., “Retinal Hemorrhages Associated with High Altitude,” *New England Journal of Medicine*, Vol. 362, No. 16, 2010, pp. 1521-1521. <https://doi.org/10.1056/NEJMicm0909506>
- [29] “How Airplane Cabin Pressurization Works | Boldmethod.” Retrieved 4 August 2025. <https://www.boldmethod.com/learn-to-fly/systems/aircraft-cabin-pressurization-how-it-works/>
- [30] “Travel Industry Is Ready To Welcome Back Guests With Commitment to Cleanliness and Hygiene - SUPERTRAVELME.Com.” Retrieved 23 December 2024. <https://supertravelme.com/hotels/travel-industry-commitment-cleanliness-hygiene-covid-19/>
- [31] “Outflow Valve System Test | Aeronautical Maintenance Solutions.” Retrieved 1 October 2025. <https://www.ateq-aviation.com/outflow-valve-system-test/>
- [32] “Diagrammatic of the Eye Line Drawing Royalty Free Vector.” Retrieved 22 December 2024. <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/diagrammatic-of-the-eye-line-drawing-vector-46081307>

- [33] “Do You See Red like I See Red?” Retrieved 25 September 2025. <https://theconversation.com/do-you-see-red-like-i-see-red-151650>
- [34] Ramalho, A., “PARTE 1-Fundamentos Básicos Da Tomografia de Coerência Óptica OCT-PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS,” pp. 1-39.
- [35] Seema, Kaundal, R., Panwar, P., Kumar, vender, and Parmar, V., “Interocular Variation in Retinal Nerve Fibre Layer Thickness of the Natives of High Altitude Versus Low Altitude,” *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*, Vol. 19, 2020, pp. 14-17. <https://doi.org/10.9790/0853-1908101417>
- [36] Tian, X., Zhang, B., Jia, Y., Wang, C., and Li, Q., “Retinal Changes Following Rapid Ascent to a High-Altitude Environment,” *Eye (Basingstoke)*, Vol. 32, No. 2, 2018, pp. 370-374. <https://doi.org/10.1038/eye.2017.195>
- [37] Hirukawa-Nakayama, K., Hirakarta, A., Tomita, K., Hiraoka, T., and Inoue, M., “Increased Choroidal Thickness in Patient with High-Altitude Retinopathy,” 2012. <https://doi.org/10.4103/0301-4738.116483>
- [38] Keeler, “Pulsair IntelliPuff - Instruções de Utilização,” 2007, pp. 1-32.
- [39] “What Is the Difference Between A-Scan and B-Scan?” Retrieved 10 February 2025. https://www.medicinenet.com/what_is_the_difference_between_ascan_and_bscan/article.htm
- [40] Huvitz, “HOCT-1F All-in-One Optical Coherence Tomography with Fundus Camera, Angiography, Biometry and Topography,” Republic of Korea. Retrieved 20 May 2024. <https://www.huvitz.com/>
- [41] “Ogimet Home Page.” Retrieved 9 October 2024. <https://www.ogimet.com/home.phtml.en>

Apêndice A

Consentimento Informado

CONSENTIMENTO INFORMADO, ESCLARECIDO E LIVRE PARA PARTICIPAÇÃO EM ESTUDOS DE INVESTIGAÇÃO (de acordo com a Declaração de Helsínquia e a Convenção de Oviedo¹)

Este documento é chamado consentimento informado e descreve a finalidade do estudo, os procedimentos, os possíveis benefícios e riscos.

O Investigador ou outro membro da equipa irá esclarecer qualquer dúvida que tenha sobre o termo de consentimento e também alguma informação que possa não entender.

Depois de compreender o estudo e de não ter qualquer dúvida acerca do mesmo, deverá tomar a decisão de participar ou não. Caso queira participar, ser-lhe-á solicitado que assine e date este formulário. Após a sua assinatura e a do Investigador, ser-lhe-á entregue uma cópia.

Título do estudo: Efeitos da altitude/hipobarismo em diferentes estruturas do globo ocular.

Enquadramento: O presente projeto de investigação enquadra-se no trabalho de campo, conducente à elaboração das respetivas dissertações de mestrado, a desenvolver por dois alunos, abaixo identificados, do mestrado em Engenharia Aeronáutica do Departamento de Ciências Aeroespaciais da Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior. (Calçada Fonte do Lameiro, 6201-001 Covilhã)

Prof. Jorge Miguel dos Reis Silva	Orientador do Mestrado	jmrs@ubi.pt +351275329743
Inês Cabral de Medeiros Rebelo	Discente	ines.rebelo@ubi.pt
Miguel Santiago Marques	Discente	miguel.s.marques@ubi.pt

¹ Convenção sobre os Direitos do Homem e da Biomedicina (Convenção de Oviedo), aberta à assinatura dos Estados Membros em Oviedo, em 4 de abril de 1997, aprovada para ratificação por Resolução da Assembleia da República, em 19 de outubro e ratificada pelo Decreto do Presidente da República n.º 1/2001, de 3 de janeiro.

Outros investigadores principais:

O estudo terá ainda como investigadores principais, especialistas de diferentes Faculdades da Universidade da Beira Interior, Av. Marquês d'Ávila e Bolama, 6201-001 Covilhã – Portugal, identificados no quadro seguinte:

Prof. Jorge Miguel dos Reis Silva	Faculdade de Engenharia Departamento de Ciências Aeroespaciais	jmrs@ubi.pt +351275329743
Profª. Sandra Isabel Pinto Mogo	Faculdade de Ciências Departamento de Física Centro de Óptica	smogo@ubi.pt +351275241510
Prof. Vasco Miguel Nina de Almeida	Faculdade de Ciências Departamento de Física Centro de Óptica	vasco@ubi.pt +351275319776
Prof. Ivo Miguel da Fonseca Gravito Soares	Faculdade de Ciências Departamento de Física Centro Clínico e Experimental em Ciências da Visão	isoares@ubi.p
Dr. João Manuel da Costa Ribeiro	Médico de Medicina Aeroespacial Faculdade de Engenharia Departamento de Ciências Aeroespaciais	ribeiro900@gmail.com +351275329743

Explicação do estudo: A pesquisa a efetuar irá procurar avaliar se ocorrem alterações no globo ocular quando se sobe em altitude. O nível médio da água do mar é considerado como 0 (zero) metros/pés de altitude e em condições padrão, corresponde a uma pressão atmosférica de 760 mm Hg e a uma pressão parcial de oxigénio (PO₂) de 159,1 mm Hg. Consequentemente, no alvéolo pulmonar a pressão parcial de oxigénio é de 103 mm Hg, o que permite uma saturação do sangue arterial (PaO₂) de cerca de 98%.

Quando se sobe para uma altitude de 1 524 metros (5 000 pés) a pressão atmosférica é de 632 mm Hg, registando-se então uma PO₂ alveolar de 79 mm Hg. Quando a altitude for de 2 438 metros (8 000 pés), a pressão atmosférica baixa para valores de 565 mm Hg, verificando-se a PO₂ alveolar de cerca de 70 mm Hg, o que determina a saturação do sangue arterial (PaO₂), cair para um valor de 55 mm Hg. Estes valores já podem ser considerados como de hipóxia relativa, uma vez que o organismo dispõe de mecanismos que lhe permite compensar estes valores.

As aeronaves da aviação comercial, quando sobem em altitude, pressurizam as suas cabines através de um sistema conhecido por *controlo isobárico* que se trata de um processo em que a altitude da cabina é mantida a uma pressão ou a uma altitude constante, quando pressão barométrica do ambiente diminui. A altitude cabine situa-se em valores entre os 1 524 e 2 480 metros (5 000 e 8 000 pés) pelo que os valores da pressão atmosférica e da pressão parcial do oxigénio coloca os tripulantes e passageiros numa conjuntura da referida hipóxia relativa.

Por esta coincidência de altitudes entre as cabines das aeronaves quando em voo e o acidente geográfico da Serra da Estrela, é que foi possível o desenho do estudo em apreço.

Os investigadores irão procurar verificar se ocorrem alterações em algumas estruturas do globo ocular quando as pessoas sobem para tal altitude. Neste sentido, será proposto aos voluntários deste estudo, estudantes da Universidade da Beira Interior, supostamente saudáveis, que não tenham doenças oftalmológicas conhecidas e que não tenham sido sujeitos a traumatismos oculares ou cirurgias oftalmológicas prévias, que façam uma primeira avaliação a cerca de 450 metros (1476 pés), que corresponde à altitude da cidade da Covilhã², e teoricamente com uma pressão atmosférica de cerca de 720 mm Hg; uma segunda avaliação na Torre, no topo da Serra da Estrela, a 1993 metros (6 538 pés) e com uma pressão atmosférica teórica de cerca de 600 mm Hg (carece de ajuste da temperatura). Finalmente, e num terceiro tempo, a mesma avaliação, novamente na altitude da cidade da Covilhã.

O exame ocular consiste na visualização de ambos globos oculares de cada voluntário, desde a córnea até à retina, através de um equipamento que permite a chamada tomografia de coerência ótica (OCT), que usa interferometria de baixa coerência para obter imagens de estruturas oculares in vivo e de não contacto. A utilização de *softwares*

² O núcleo urbano da cidade estende-se entre os 450 (1 476 pés) e os 800 m (2624.7 pés) de altitude, o que corresponde a uma diferença da pressão atmosférica teórica, que se situa entre os 720 mm Hg e os 690 mm Hg.

de processamento de imagem associados à possibilidade de múltiplos *scans* permite reconstruções de imagens em 3D e medições mais exatas das estruturas oculares.

Este exame ocular, tal como já referido, **não é invasivo**, pelo que não implica qualquer contacto com os olhos dos voluntários, nem pelo equipamento, nem pelo especialista que recolhe as imagens. **Não requer o uso de medicação** por qualquer via de administração, nomeadamente, instilação de gotas para os olhos. Pode ser comparável ao ato de tirar uma fotografia.

Estima-se que o tempo requerido para a aquisição de imagens a cada um dos participantes é de cerca de 15 a 20 minutos.

Será também avaliada a Pressão Intraocular (PIO). A PIO elevada é o principal fator de risco para o desenvolvimento de uma situação patológica denominada de glaucoma. Tal risco é cerca de 15 vezes quando os níveis de PIO são superiores a 30 mmHg. A espessura central da córnea demonstra correlação com o desenvolvimento de uma das formas de glaucoma em indivíduos hipertensos oculares e em outras formas da doença parece existir uma associação com comprimento axial reduzido, à córnea mais plana e ao cristalino mais espesso.

A avaliação da PIO será efetuada através da chamada Tonometria de não contacto/por jato de ar. Trata-se do método mais usado em situações de rastreio de glaucoma, devido à sua facilidade e rapidez de realização, sem contacto e sem necessidade de anestesia tópica. Trata-se um procedimento usual em ópticas e oculistas para efeitos de rastreio ou de controlo de doentes.

O tempo de exposição é muito curto pelo que constitui uma fonte significativa de variabilidade da medição, pelo que o exame deve ser repetido (mínimo 3 vezes) para se encontrar o valor médio. Alguns doentes sentem desconforto com a sensação de “sopro” no globo ocular.

Para além da caracterização ambiental (Temperatura; Pressão; Humidade; etc.) no local onde estas avaliações irão ser efetuadas, será solicitado aos participantes para efetuarem a chamada “oximetria digital”, através da colocação de pequeno

equipamento num dos dedos das mãos. Trata-se também de um método óptico para determinar a saturação de oxigênio no sangue, que é limitado apenas aos tecidos que podem ser transiluminados, como os lóbulos das orelhas e os dedos. Neste caso também serão efetuadas três avaliações em cada local de exames, também com o objetivo de obtenção de um valor médio.

Os procedimentos presentes neste estudo apresentam riscos mínimos, sobreponíveis aos da população em geral, nomeadamente, em deslocações entre dois pontos em ambiente urbano e deslocações rodoviárias providenciadas por transportador público, comercial ou não. Não serão feitas perguntas de ordem pessoal.

Condições e financiamento: Este estudo não trará qualquer tipo de benefícios diretos para os participantes, nem entregará qualquer compensação financeira pela sua participação. Contudo, o exame ocular poderá identificar alguma patologia oftalmológica antes do aparecimento de eventuais sintomas.

Será assegurado gratuitamente o transporte da cidade da Covilhã para a Torre e respetivo regresso. No dia dos exames na Torre, será assegurada uma refeição, também sem custos.

Ser-lhe-á dado conhecimento de qualquer nova informação que possa ser relevante para a sua condição ou que possa influenciar a sua vontade de continuar a participar no estudo.

O equipamento para fazer os exames oculares - **Huvitz HOCT-1/1F**, é cedido, sem contrapartidas financeiras, pela empresa **I30**, responsável pelo fornecimento de equipamentos e serviços aos profissionais e empresas da área da Oftalmologia, Ótica e Optometria e com sede na Travessa da Noz, 278, Urbanização Minas do Pintor, 3700-793 Nogueira do Cravo

O Tonómetro de sopro para efetuar a medição da Pressão Intraocular – **Pulsair intelliPuff (Keeler)**, será cedido pelo departamento de Física da UBI.

Confidencialidade e anonimato: Será considerada a **total anonimização** dos dados obtidos pelos equipamentos, nos termos e, para os efeitos do Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de abril de 2016 e a Lei 58/2019 (Regulamento Geral de Proteção de Dados designado de RGPD), relativo à proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados, declara-se que os dados pessoais ora facultados serão alvo de tratamento por parte dos investigadores nas condições abaixo expressas.

Ao dar o seu consentimento à participação no estudo, os investigadores e as outras pessoas envolvidas no estudo recolherão e utilizarão os dados apenas para as finalidades acima descritas. Todas as pessoas ou entidades com acesso aos seus dados pessoais estão sujeitas a sigilo profissional.

A sua identidade não será revelada em quaisquer circunstâncias, relatórios ou publicações resultantes deste estudo.

Os dados pessoais dos participantes no estudo serão apenas utilizados para fins de investigação científica. Os seus registos manter-se-ão confidenciais e anonimizados de acordo com os regulamentos e leis aplicáveis³. A sua identidade manter-se-á sempre confidencial. O seu nome será desde o início associado a um código alfa numérico.

Pode ainda, em qualquer momento exercer o seu direito de acesso à informação.

Abandono do estudo: É inteiramente livre de aceitar ou recusar participar neste estudo. Pode retirar o seu consentimento em qualquer altura sem qualquer consequência para si, sem precisar de explicar as razões, sem qualquer penalidade e sem comprometer a sua relação com o Investigador que lhe propõe a participação neste estudo.

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 documento⁴.

³ Também de acordo com a Norma nº 015/2013 de 03/10/2013, atualizada a 04/11/2015, da Direção-Geral da Saúde.

⁴ Este documento é composto de 7 páginas. É feito em duplicado, sendo uma das vias para o investigador(a) e a outra para a pessoa que consente.

Apêndice B

Algoritmos - Densidade

1º algoritmo - Criação da Máscara ETDRS Comum



codigo_final_1.ico

2º algoritmo - Aplicação da Máscara Comum e Divisão em Zonas

- Olho direito



codigo_final_2_OD.ico

- Olho esquerdo



codigo_final_2_OE.ico

3º algoritmo - Cálculo das Densidades Vasculares por Zonas

- Olho direito



codigo_final_3_OD.ico

- Olho esquerdo



codigo_final_3_OE.ico

Apêndice C

Algoritmos - Volumes

1º Algoritmo- Correção_das_linhas



Correcao_das_linhas_
auto_v4.ico

2º Algoritmo - Graficos3d_volumes



Graficos3d_volumes.i
co

3º Algoritmo - Volume_zonas

- Olho direito



Volume_zonas_OD.ic
o

- Olho esquerdo



Volume_zonas_OE.ico

Apêndice D

Base de dados

PIO - olho direito

Pacientes	PIO											
	OD											
	1ª semana				2ª semana				3ª semana			
	8H	10H	12H	Valor médio	8H	10H	12H	Valor médio	8H	10H	12H	Valor médio
f01	14.83333	13.1	13.9	13.94444444	14.93333	13.33333	13.43333	13.9	13.36667	13.06667	11.8	12.74444444
f02	15.73333	14.53333	12.86667	14.37777778	15.93333	13.8	11.8	13.84444444	14.78	13.46667	13.76667	14.00444444
f07	13.63333	11.6	12.7	12.64444444	12.3	11.13333	10.56667	11.33333333	11.72667	11.3	10.4	11.14222222
f08	17.7	17.46667	15.16667	16.77777778	15.86667	16.23333	14.86667	15.65555556	18.23333	16.83333	16.13333	17.06666667
f09	15	15.63333	13.4	14.67777778	13.66667	13.86667	11.6	13.04444444	16.33333	12.83333	14.53333	14.56666667
f10	13.2	13.33333	14.03333	13.52222222	12.26667	13.7	12.7	12.88888889	12.53333	13.76667	13.53333	13.27777778
f11	13.9	13.06667	11.73333	12.9	13.86667	11.7	12.1	12.55555556	12.4	12.16667	12.6	12.38888889
f12	13.63333	14.2	13.03333	13.62222222	16.83333	14.36667	14.16667	15.12222222	12.73333	12.83333	12.7	12.75555556
f13	13.16667	12.9	15.36667	13.81111111	13	13.93333	13.33333	13.42222222	12.9	14.73333	15.53333	14.38888889
f14	13.06667	12	12.76667	12.61111111	11.4	12.36667	14.16667	12.64444444	14.1	11.5	11	12.2
f15	16.86667	14.06667	16.2	15.71111111	14.4	14.93333	16.3	15.21111111	15.36667	15.2	14.73333	15.1
f16	15.36667	17.7	17.8	16.95555556	17.76667	15.6	13.56667	15.64444444	16	15	14.93333	15.31111111
f17	16.23333	14.56667	15.63333	15.47777778	15.83333	15.03333	13.06667	14.64444444	16.16667	13.7	15.23333	15.03333333
f18	16.36667	18	16.2	16.85555556	16.6	16.56667	17.1	16.75555556	17.3	18.5	17.9	17.9
f22	15.7	14.4	14.66667	14.92222222	12.66667	13.86667	12.7	13.07777778	13.4	13.63333	13	13.34444444
f23	15.3	15	15.3	15.2	15.1	14.2	14.8	14.7	12.9	13.93333	16.06667	14.3
m01	12.43333	15.2	13.96667	13.86666667	15.56667	12.06667	12.46667	13.36666667	11.86667	12.16667	13.26667	12.43333333
m03	19.66667	18	19.86667	19.17777778	21.46667	17.9	20.43333	19.93333333	19.96667	19.23333	19.83333	19.67777778
m04	16.76667	16.3	16.7	16.58888889	16.9	18.5	16.7	17.36666667	18.43333	18.8	17.4	18.21111111
m05	17.9	16.23333	14.53333	16.22222222	16.36667	12.33333	14.06667	14.25555556	14.76667	15.4	12.36667	14.17777778
m08	9.66667	12.13333	11.56667	11.12222222	10.33333	9.9	9.9	10.04444444	10.96667	12.76667	10.2	11.31111111
m09	12.43333	9.433333	13.5	11.78888889	12.1	9.133333	11.5	10.91111111	11.26667	13.23333	11	11.83333333
m10	16.23333	14.96667	14.6	15.26666667	14.06667	13.3	13.6	13.65555556	13.63333	14	13.03333	13.55555556
m11	16.46667	16.13333	14.86667	15.82222222	14.93333	14.1	12.7	13.91111111	13.26667	14.33333	14.6	14.06666667
m13	14.23333	12.5	13.43333	13.38888889	12.1	12.33333	13.4	12.61111111	14.33333	12.33333	13.93333	13.53333333
m14	10.83333	11.46667	12	11.43333333	11.5	11.13333	11.4	11.34444444	10.4	11.06667	10.03333	10.5
m15	14.23333	15.5	14.66667	14.8	12.23333	13.56667	12.53333	12.77777778	13.83333	13.36667	12.9	13.36666667
m16	14.5	15.7	12.73333	14.31111111	14.96667	14.03333	12.16667	13.72222222	12.53333	12.33333	16.63333	13.83333333
m19	12.76667	12.66667	13.56667	13	12.93333	13.13333	12.03333	12.7	14.8	13.46667	13	13.75555556
m20	17.4	15.06667	14.5	15.65555556	14.9	16.36667	14.23333	15.16666667	15.46667	16.16667	16.76667	16.13333333

PIO - olho esquerdo

Pacientes	PIO											
	OE											
	1ª semana				2ª semana				3ª semana			
	8H	10H	12H	Valor médio	8H	10H	12H	Valor médio	8H	10H	12H	Valor médio
f01	13.4	14.26667	13.56667	13.74444444	15	14.63333	14	14.54444444	13.96667	12.06667	12.33333	12.78888889
f02	14.8	14.2	13.26667	14.08888889	14.66667	13.9	12.1	13.55555556	13.96667	13.93333	13.96667	13.95555556
f07	12.6	10.86667	11.03333	11.5	10.7	11.56667	11.03333	11.1	11.36667	11.23333	10.6	11.06666667
f08	17.3	16.3	15.06667	16.22222222	15.16667	14.63333	14.3	14.7	15.56667	16.33333	16.13333	16.01111111
f09	14.96667	15	14.5	14.82222222	12.6	14.1	12.1	12.93333333	15	12.83333	14.5	14.11111111
f10	12.6	12.53333	14.2	13.11111111	12.23333	13.1	12.76667	12.7	12.46667	13.2	14.26667	13.31111111
f11	13.7	12.83333	12.1	12.87777778	12.56667	10.93333	12.13333	11.87777778	12.7	12.43333	14.23333	13.12222222
f12	13.93333	14.06667	13.73333	13.91111111	15.6	14.2	14.72667	14.84222222	12.53333	13.3	13.03333	12.95555556
f13	11.9	12.6	14.8	13.1	12.83333	13.66667	11.43333	12.64444444	13	14.3	14.7	14
f14	13.23333	12.4	12.3	12.64444444	12.16667	12.36667	10.43333	11.65555556	13.66667	12.16667	11.16667	12.33333333
f15	14.66667	13.36667	16.43333	14.82222222	14	14.3	14.96667	14.42222222	15.33333	15.33333	15.06667	15.24444444
f16	15.96667	17.8	17.36667	17.04444444	15.2	14.73333	14.33333	14.75555556	15.96667	14.16667	15.6	15.24444444
f17	15.53333	14.26667	14.5	14.76666667	14.93333	14.43333	13.5	14.28888889	15.16667	14.5	13.96667	14.54444444
f18	16	18.06667	17.33333	17.13333333	17.66667	17	18.26667	17.64444444	17.6	18.3	18.63333	18.17777778
f22	14.4	14.33333	14.3	14.34444444	12.56667	13.6	12.9	13.02222222	13.06667	13	13.46667	13.17777778
f23	15.73333	15.1	16.03333	15.62222222	15.26667	15.23333	16.03333	15.51111111	13.76667	15.46667	16.73333	15.32222222
m01	12.46667	14.76667	13.56667	13.6	14.56667	12.13333	12.63333	13.11111111	13.23333	12.86667	12.96667	13.02222222
m03	20.26667	19.93333	20.3	20.16666667	20.26667	22.33333	19.13333	20.57777778	20.2	20.8	20.76667	20.58888889
m04	17.43333	17.93333	17.56667	17.64444444	17.43333	18.76667	17.13333	17.77777778	18.03333	18.66667	18.2	18.3
m05	17.9	16.56667	14.83333	16.43333333	16.53333	13.36667	14.66667	14.85555556	15	16.16667	14.63333	15.26666667
m08	9.333333	11.66667	11.73333	10.91111111	10.93333	10.43333	9.833333	10.4	10.7	11.9	11.26667	11.28888889
m09	11.86667	9.5	12.06667	11.14444444	11.5	9.833333	11.73333	11.02222222	10.23333	12.66667	10.76667	11.22222222
m10	14.6	15.43333	14.9	14.97777778	14.86667	13.23333	13.7	13.93333333	14.43333	14.66667	14.46667	14.52222222
m11	17.2	16.83333	14.93333	16.32222222	15.1	14.4	13.83333	14.44444444	14.6	15.1	15.9	15.2
m13	13.56667	12.56667	14.73333	13.62222222	11.9	11.53333	12.53333	11.98888889	14.6	12.76667	14.03333	13.8
m14	10.93333	11.5	12.06667	11.5	11.73333	11.26667	11.33333	11.44444444	10.2	11.2	11.6	11
m15	14.93333	14.73333	14.46667	14.71111111	13.43333	13.13333	11.6	12.72222222	13.86667	12.63333	13.93333	13.47777778
m16	12.6	14.26667	13.16667	13.34444444	14.23333	13.83333	12.5	13.52222222	12.23333	13.03333	14.1	13.12222222
m19	12.16667	12.66667	13.66667	12.83333333	12.76667	12.93333	11.33333	12.34444444	14.03333	14.16667	13.4	13.86666667
m20	16.3	15.1	15.26667	15.55555556	14.76667	15.53333	14.36667	14.88888889	15.5	16.13333	16.4	16.01111111

Frequência cardíaca, saturação de oxigênio e acuidade visual

Pacientes	1ª semana		2ª semana		3ª semana		AV	
	FC	O2	FC	O2	FC	O2	OD	OE
f01	68	99	77	99	89	96	1	1
f02	82	98	75	98	67	96	1	1
f07	81	98	97	98	70	97	1	1
f08	96	98	83	99	68	99	1	1
f09	69	99	74	99	69	91	1	1
f10	80	99	97	99	77	98	1	1
f11	96	99	89	98	75	93	1	1
f12	88	98	84	97	75	96	1	1
f13	69	97	92	97	81	97	1	0.8
f14	64	98	87	97	70	97	0.63	1
f15	93	98	72	96	97	98	1	1
f16	101	99	103	98	86	98	1	1
f17	83	99	88	98	85	98	1	1
f18	136	97	107	99	130	95	1	0.5
f22	77	99	84	98	78	98	1	1
f23	90	99	85	99	71	98	1	1
m01	90	98	76	95	66	94	1	1
m03	79	98	78	98	68	96	1	1
m04	92	96	70	98	82	99	1	1
m05	61	98	80	98	49	95	1	1
m08	98	99	70	98	65	96	1	1
m09	50	98	70	96	63	96	1	1
m10	77	98	80	97	79	95	1	1
m11	70	98	81	97	58	98	1	0.0032
m13			109	98	75	96		
m14	87	97	95	96	88	94	1	1
m15	86	98	84	97	120	91	1	0.0063
m16	72	99	75	98	55	99	1	1
m19	87	94	82	98	64	97	1	1
m20	82	99	83	94	70	98	0.8	0.8

Densidades - Camada Profunda (olho direito)

Pacientes	Densidades																	
	OD																	
	Deep																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	176.6495	24.6276	30.7292	61.9938	31.1021	28.1968	153.7933	24.762	33.1018	38.1159	30.6339	27.1797	145.0966	23.9728	27.9567	39.4733	26.7321	26.9617
f02	201.895	31.4242	38.9474	54.2039	40.3754	36.9441	166.2561	36.1565	27.2897	42.2459	31.934	28.63	225.1753	44.7374	41.9841	55.5655	42.5398	40.3485
f07	140.4998	15.9809	26.7136	31.7702	29.4988	36.5363	159.0792	23.7555	35.9442	35.9649	30.7299	32.6847	159.4806	19.4693	30.3547	40.5361	32.0764	37.0441
f08	189.1236	46.7875	29.2954	45.2285	32.0578	35.7544	211.0832	52.3833	37.0205	47.8121	36.4379	37.4294	182.3821	45.7753	32.2136	41.4073	28.6013	34.3846
f09	173.8552	38.5783	27.5911	45.7802	30.2795	31.6261	206.3711	43.4221	40.9159	47.6728	37.4032	36.9571	167.795	37.9864	33.3201	38.8587	28.5533	29.0765
f10	168.0848	39.2474	28.646	44.38	26.198	29.6134	162.5988	40.191	26.2716	38.3321	25.9183	31.8858	173.8444	42.001	30.5459	41.6639	32.9671	26.6665
f11	160.1776	27.77	34.24	42.6763	24.9	30.5913	145.6733	31.7817	35.0376	25.7903	28.4342	24.6295	151.0879	31.7874	32.3439	27.4499	26.2346	33.2721
f12	183.9531	37.08	31.5902	43.5874	33.6957	37.9998	159.0098	30.0089	24.2793	49.0511	26.7642	28.9063	179.782	32.831	30.9295	56.2558	29.7924	29.9733
f13	164.2072	22.8576	45.1928	33.7725	34.0552	28.3291	168.0483	25.8142	37.3382	41.8314	32.9596	30.1049	167.366	19.7753	47.4685	36.0253	31.7772	32.3197
f14	171.3757	29.64	32.0665	37.6583	51.2658	20.7451	181.9822	30.3749	32.0437	53.6743	34.0415	31.8478	167.3232	27.7071	28.206	44.1742	42.157	25.0789
f15	203.7999	36.9628	38.6441	49.5017	32.4595	46.2318	209.3477	36.8198	46.3289	53.9942	26.5485	45.6563	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f16	156.1135	32.9397	24.4885	44.1675	25.9911	28.5267	143.3943	32.2649	23.8764	33.7302	24.3817	29.1411	237.5496	52.8436	44.0386	55.8924	38.791	45.984
f17	193.8078	33.4973	34.6806	54.0372	41.437	30.1557	168.0665	33.6116	31.9861	37.2111	37.777	27.4807	174.2283	33.5716	23.9743	55.714	32.1688	28.7996
f18	193.3056	30.8038	32.6696	64.6567	29.4524	35.7231	201.3724	41.8523	32.2871	46.8896	33.2835	47.0599	191.5772	32.0218	40.4387	45.5479	35.0888	38.48
f22	229.2886	46.9191	54.7081	46.2956	49.6739	31.6919	164.3168	35.7361	23.7997	48.8365	27.8118	28.1327	217.533	47.8083	41.3304	56.1598	34.8651	37.3694
f23	268.8867	58.8854	52.9075	60.6422	46.3065	50.1451	258.9817	58.4022	45.4403	61.6546	46.8188	46.6658	153.3572	31.896	27.8688	30.5985	29.9276	33.0663
m01	173.5044	29.7201	32.7629	47.1954	30.1954	33.6306	144.9991	25.88	28.7308	39.3304	24.0425	27.0154	175.1834	32.3678	31.643	47.2938	29.3234	34.5554
m03	199.1874	26.0058	34.0639	72.2012	33.6611	33.2554	142.9179	22.9834	27.0438	32.9079	25.2073	34.7755	198.4756	28.908	37.635	50.6267	42.6731	38.6328
m04	178.0295	33.2171	29.1511	48.1592	32.7679	34.7342	171.8857	23.9785	27.8945	61.8693	28.6091	29.5343	205.032	34.0634	31.7709	66.1401	33.1704	39.8872
m05	193.0003	28.1017	34.0382	59.3889	38.2096	33.2619	161.5509	26.978	32.5408	48.1351	26.3629	27.5341	154.8853	22.1056	26.1412	53.6344	25.8264	27.1777
m08	168.3386	32.5394	29.3318	53.9547	26.3484	26.1643	150.6185	26.266	27.2843	37.1733	28.2195	31.6754	186.1884	38.1008	38.4387	41.6535	37.2111	30.7843
m09	199.4803	32.9454	29.2361	67.1505	33.9489	36.1994	238.2344	65.9709	26.5587	64.427	36.5242	44.7536	197.6354	34.4895	35.5923	58.6909	38.011	30.8517
m10	170.0601	28.4219	28.0638	49.8004	35.2251	28.5489	177.6145	31.1526	32.1552	46.5808	32.5558	35.1701	144.1083	20.2842	31.3344	40.5296	29.7226	22.2375
m11	182.5085	33.7089	32.9632	42.4096	39.0722	34.3546	208.9112	40.2768	39.0361	49.2493	35.2377	45.1113	226.2062	41.6864	44.8578	53.8148	41.8568	43.9904
m13	167.1644	27.5184	36.3839	36.981	35.8253	30.4558	173.3755	26.6348	33.5583	47.666	33.1882	32.3282	160.167	26.1144	30.2655	40.0807	29.8025	33.9039
m14	179.269	33.8976	28.9948	46.305	33.0494	37.0222	165.0206	28.2046	31.1178	43.3436	31.483	30.8716	195.1672	27.281	31.0649	64.6881	35.5018	36.6314
m15	202.8541	25.6484	35.1764	72.084	32.7273	37.218	142.9591	30.8552	25.14	40.8004	30.9076	15.2559	107.443	15.0202	25.5097	21.6998	23.1725	22.0408
m16	173.6451	21.631	24.6846	66.0255	28.7018	32.6022	180.3372	23.4867	31.6008	56.0067	33.6133	35.6297	173.5845	26.0258	31.4202	50.0898	30.5497	35.499
m19	182.4619	39.4247	32.3672	49.2342	26.0924	35.3434	184.3843	37.6233	26.5038	46.8678	33.3023	40.0871	252.7638	51.0765	41.6485	67.0359	36.2932	56.7097
m20	279.9035	61.8077	51.0008	59.246	50.0733	57.7757	208.977	42.8559	35.365	50.1433	37.0106	43.6022	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Densidades - Camada Superficial (olho direito)

Pacientes	Densidades																	
	OD																	
	Sup																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	151.7178	27.2782	28.8895	35.4702	29.2053	30.8746	141.6095	20.8675	29.9664	28.5678	30.1145	32.0933	137.432	19.6294	27.2865	31.9484	27.5916	30.9761
f02	152.3508	22.4573	25.944	41.6291	28.8575	33.4629	115.6185	20.3385	18.4174	27.9543	27.4586	21.4497	229.2892	30.6608	53.1927	56.1737	46.7719	42.4901
f07	114.6451	13.8364	25.357	19.872	23.827	31.7527	144.9807	28.4076	26.3022	31.3015	29.545	29.4244	138.899	25.797	23.6857	34.5025	20.2174	34.6964
f08	165.9694	43.0932	26.138	34.0159	28.6328	34.0895	195.7933	51.9372	34.4456	41.3477	35.5548	32.508	160.8431	41.1889	25.9935	32.6385	25.4593	35.5629
f09	129.6712	25.6884	20.6453	33.8476	23.7647	25.7252	222.9442	41.3633	40.7685	53.2117	42.91	44.6907	161.9923	25.9829	28.5948	39.9651	38.6364	28.8131
f10	174.9283	32.3106	27.446	47.8291	31.6031	35.7395	120.2978	23.0692	17.5581	30.3143	23.1573	26.1989	191.4828	45.3607	32.2107	39.839	39.8263	34.2461
f11	142.3255	27.5412	28.0417	34.9763	21.9468	29.8195	113.7657	20.41	20.7193	18.966	33.4396	20.2308	123.2616	23.8384	23.9482	20.1979	27.1867	28.0904
f12	162.6348	33.1227	29.5156	30.4052	35.7407	33.8506	146.1127	24.5904	24.8652	42.8924	27.8213	25.9434	166.5618	34.3122	28.6534	44.9042	28.1713	30.5207
f13	145.5612	25.3338	29.1815	28.1361	34.8087	28.1011	148.5915	28.6335	28.2434	29.4165	32.2762	30.0219	163.1763	27.8472	36.9819	34.4997	27.3692	36.4783
f14	143.5931	25.045	27.6133	29.8253	38.3658	22.7437	134.796	24.8706	24.6788	34.7045	20.6546	29.8875	135.2122	29.8487	25.2503	26.7185	24.7841	28.6106
f15	169.1237	37.6605	31.3092	35.1564	31.0339	33.9637	190.9069	40.7114	37.5717	45.5873	28.2556	38.7809	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f16	134.4507	19.6294	20.9842	42.9113	21.8728	29.053	113.7117	23.3809	16.8284	29.8119	13.8249	29.8656	247.0605	47.8912	50.4394	56.7137	43.8993	48.1169
f17	147.7153	29.0367	27.3317	40.5678	27.007	23.7721	129.549	23.5639	25.2002	23.5014	32.6156	24.6679	118.0394	17.2676	17.6313	39.0678	18.7599	25.3128
f18	169.4186	32.9168	33.6477	40.3892	25.3405	37.1244	152.778	37.3831	27.1793	31.3624	30.8577	25.9955	180.2862	28.1446	35.3191	43.6658	36.9783	36.1784
f22	229.268	56.9211	62.4916	28.9558	44.7488	36.1507	132.2657	17.931	18.7837	45.3394	21.5953	28.6163	198.285	34.6925	43.4729	48.5021	33.6531	37.9644
f23	256.837	61.1615	62.1321	46.5366	44.9988	42.008	226.7193	48.0857	50.0964	53.2281	32.8633	42.4458	137.3939	32.7252	21.9278	25.0078	25.2743	32.4588
m01	125.204	20.2556	24.6476	31.3614	22.8186	26.1208	112.0285	16.5385	21.2553	29.1357	22.1922	22.9068	158.9181	33.1055	30.8245	32.0458	28.3566	34.5857
m03	178.5859	32.1133	33.9114	49.3696	30.3448	32.8468	111.964	21.9941	19.1888	21.8518	19.4282	29.5011	151.4045	24.5561	28.9706	31.299	29.1849	37.3939
m04	74.8979	13.5676	13.0782	19.4617	14.6034	14.187	131.2321	20.9161	22.6163	39.0975	22.4949	26.1073	138.4412	31.1383	25.4709	37.1869	16.7541	27.891
m05	149.2163	25.1308	30.0861	36.1883	25.6244	32.1867	126.2106	19.5436	25.446	35.0177	23.4002	22.8031	122.1241	17.2247	22.0691	40.4913	18.5676	23.7714
m08	143.7685	30.1032	22.5701	41.605	22.8152	26.675	135.6556	27.4383	21.9501	33.4246	25.4182	27.4244	162.359	36.2708	30.4721	34.4983	28.2	32.9178
m09	171.9755	38.544	33.6827	42.4248	26.2289	31.0951	102.4792	31.0239	10.3343	25.1761	19.7226	16.2223	163.7338	34.0377	32.3188	34.6732	31.018	31.6861
m10	127.889	24.0128	21.8934	31.5083	24.4194	26.0551	145.1632	29.0424	26.6279	33.4374	27.7074	28.3481	104.203	23.5782	18.6894	25.0292	19.4066	17.4996
m11	172.0062	39.1931	26.5765	35.3741	37.9728	32.8897	176.9611	39.7707	31.564	37.2975	26.1834	42.1455	214.9043	49.8785	43.2573	39.6359	39.3151	42.8175
m13	148.2832	24.7934	28.1863	30.648	35.4526	29.2029	153.967	25.5025	29.7452	37.5162	30.9782	30.2249	148.2429	24.0957	28.3703	31.6133	28.6634	35.5002
m14	127.4606	25.4282	20.3825	30.0863	26.5152	25.0484	111.8167	21.4051	18.4543	27.5768	20.3449	24.0356	117.6888	19.3464	20.5647	34.4108	19.6904	23.6765
m15	152.2683	40.3168	27.2955	39.2902	20.7346	24.6312	102.7134	23.9613	20.1884	24.5776	20.3431	13.643	70.0388	8.9383	16.2848	22.3377	8.5753	13.9027
m16	124.499	22.2429	16.0769	43.7692	17.4266	24.9834	138.6127	18.9546	23.6547	45.58	22.0937	28.3297	130.3092	17.0646	19.7282	44.6347	23.8925	24.9892
m19	180.9962	40.3368	28.5163	47.454	28.7546	35.9345	141.4894	32.7167	19.0464	37.5412	25.4485	26.7366	182.838	44.1626	27.0575	41.6973	33.3875	36.5331
m20	229.8368	58.1534	43.9505	44.441	46.4187	36.8732	121.7702	30.1604	19.8605	30.23	19.786	21.7333	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Densidades - Camada Profunda (olho esquerdo)

Pacientes	Densidades																	
	OE																	
	Deep																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	215.3079	36.6111	35.728	66.4621	37.6041	38.9026	136.1181	33.3286	28.3094	40.2385	34.2416	30.7469	161.8851	38.2434	33.2714	34.9202	26.35	29.1001
f02	260.1265	56.7466	54.5394	58.8838	45.0266	44.9301	155.1692	36.3252	35.0593	42.0351	41.7496	28.5401	182.3948	41.2124	38.3782	33.1051	36.9019	32.7972
f07	163.6101	24.2187	30.6572	46.4037	26.603	35.7275	116.4224	15.1831	35.4357	41.457	24.3466	32.2218	162.6916	41.3985	18.9746	41.1979	28.306	32.8146
f08	173.4133	39.6563	25.9863	35.7789	30.0573	41.9345	183.2625	51.7971	46.4841	48.6551	36.3262	40.4509	197.5649	37.9276	50.0386	32.9949	43.8836	32.7202
f09	193.6003	41.0517	35.3841	53.5557	28.2018	35.407	135.8732	30.921	28.9127	51.3383	24.7012	27.4009	175.1069	48.6997	36.5539	33.9226	28.5476	27.3831
f10	181.495	39.6334	27.9727	58.2742	26.5084	29.1063	149.2494	44.1055	32.7691	46.5807	25.7941	37.1043	172.1273	47.4823	39.6649	30.3132	27.7123	26.9546
f11	139.943	26.469	26.7869	30.4299	29.585	26.6722	134.6575	36.9514	29.8187	33.3957	34.4917	30.6135	175.2893	49.3478	33.1856	28.4408	27.7607	36.5544
f12	186.495	35.9306	31.0219	53.679	30.9713	34.8922	121.2311	36.4224	30.8166	33.5205	20.4716	27.5945	195.9486	57.3774	38.5011	32.6703	30.5031	36.8967
f13	129.8647	22.8977	33.9474	26.07	24.1359	22.8137	114.6816	17.5335	42.9185	25.8433	28.3863	29.1139	259.5783	65.1949	47.0878	53.1098	43.5395	50.6463
f14	221.1313	30.1804	36.0919	73.1013	47.8776	33.8801	164.4719	34.2092	30.1489	57.273	42.8408	29.8999	175.6131	50.4153	27.81	31.2402	34.8824	31.2652
f15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f16	156.3855	33.6202	27.6696	34.5394	28.4808	32.0755	111.4258	32.8024	24.5849	34.0468	19.9917	31.4116	188.85	48.5136	32.6595	38.0991	36.0506	33.5272
f17	209.0157	37.366	36.5382	65.6515	38.7484	30.7116	161.6904	38.6241	35.6442	43.214	44.2081	31.2029	201.5286	60.953	34.8154	34.1	35.5825	36.0777
f18	150.2425	28.4019	34.5231	31.0281	30.2085	26.0809	136.1742	35.4616	30.521	37.9582	32.2334	32.4461	178.8756	50.6933	25.6627	35.9956	32.831	33.693
f22	209.9429	46.0041	38.8763	43.1011	40.389	41.5724	138.469	28.3876	29.0995	49.4582	31.5237	32.3552	222.69	49.9259	45.1262	39.7284	42.1849	45.7246
f23	234.5512	51.0823	39.6408	68.8019	35.9084	39.1178	213.2329	52.6463	50.0861	62.8598	47.6407	51.2425	162.9395	48.6618	32.811	28.947	24.2572	28.2625
m01	187.2814	39.6534	31.4094	49.93	34.3159	31.9727	123.7379	31.1926	28.5993	35.3249	28.6211	28.0472	163.2662	52.2357	28.2532	28.9088	27.9247	25.9438
m03	182.4698	24.3302	34.1553	56.809	31.7523	35.423	116.6757	20.6559	27.9936	38.7115	29.3147	30.3818	218.058	68.0249	28.8537	37.3008	38.3766	45.502
m04	193.6535	31.5472	30.6519	61.602	32.5388	37.3136	162.9143	35.3816	32.0558	57.9406	37.5363	33.6353	214.2216	71.3492	32.6023	35.534	33.949	40.7871
m05	203.7924	37.1515	37.4189	55.0539	42.1696	31.9985	140.892	35.8934	35.1404	39.2135	30.6447	32.0159	165.4714	44.8033	28.8165	30.1394	30.8027	30.9095
m08	191.2298	32.1963	32.1006	62.3139	31.3984	33.2206	148.7236	31.8674	32.0055	51.4927	33.358	33.9157	205.0281	61.83	36.8313	33.5641	32.5269	40.2758
m09	178.0703	30.9553	31.9527	52.2511	30.1649	32.7463	155.1226	34.3522	34.9517	51.2746	34.5441	29.6625	212.7108	66.8658	37.1086	36.0063	33.4742	39.2559
m10	162.6195	23.5925	29.0468	43.0001	27.7465	39.2336	135.382	29.234	33.0111	43.8934	29.2435	33.635	152.9495	38.948	26.5891	30.8182	25.9833	30.6109
m11	184.5238	38.6722	34.9453	42.798	33.701	34.4073	160.0062	36.4689	49.635	43.3146	30.5877	33.0628	249.8567	57.3173	43.2728	69.1606	34.1014	46.0046
m13	132.3149	23.0235	21.7489	28.9882	26.2139	32.3404	116.32	23.6182	28.604	34.2182	29.8796	31.3014	168.1221	33.6434	29.1711	36.27	29.7245	39.3131
m14	165.2624	32.8139	33.7918	42.5131	26.4316	29.712	137.0757	34.0434	31.1593	37.2148	34.6582	33.3297	200.9495	47.1311	42.7959	38.5285	33.793	38.701
m15	159.6372	24.5218	33.0535	48.8994	27.6387	25.5238	74.1353	10.1564	15.7666	28.6438	19.5685	10.5278	152.382	50.1865	22.7576	28.0525	24.1579	27.2275
m16	163.7317	22.9892	31.4122	43.6425	26.3086	39.3792	164.8157	28.116	41.9581	58.3636	36.378	41.2759	222.3889	56.8064	38.1351	43.5749	36.3397	47.5328
m19	210.2633	48.7376	40.0464	41.7608	40.5049	39.2136	155.3597	43.1476	33.7308	37.827	40.6543	33.0807	167.6478	32.6573	40.0252	33.4302	29.0809	32.4542
m20	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Densidades - Camada Superficial (olho esquerdo)

Pacientes	Densidades																	
	OE																	
	Sup																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	198.4452	38.6441	36.2134	45.9747	34.596	43.017	144.3501	29.6743	24.5506	28.3487	28.6637	33.1128	151.6701	25.6569	29.0022	31.8678	27.763	37.3802
f02	292.3063	56.1004	59.945	65.2017	51.7091	59.3501	157.0129	34.0806	26.6198	32.9363	38.7324	24.6438	160.9897	38.3639	27.6326	32.4117	31.462	31.1195
f07	160.4282	29.6915	27.8121	38.5673	20.7444	43.6129	130.6149	19.0919	23.3885	27.7442	26.6855	33.7048	143.0677	28.8165	28.4401	33.8148	19.1125	32.8838
f08	152.1243	35.8848	20.4698	37.2606	21.6409	36.8682	203.3974	46.4444	41.8699	40.2679	35.0288	39.7864	158.1839	35.7276	26.1667	27.4741	35.7874	33.0281
f09	195.6856	31.1354	31.5614	55.9374	30.8579	46.1935	158.1591	39.4847	22.7814	37.573	26.4311	31.8889	176.3125	32.8739	30.5835	46.1221	33.6938	33.0392
f10	169.1256	39.0673	22.815	51.2359	23.4243	32.5831	176.3409	45.4779	26.3685	39.2644	27.5906	37.6395	161.2256	36.4224	24.9164	42.1888	28.3617	29.3363
f11	113.4343	26.6177	16.2946	25.3359	22.0839	23.1022	125.0342	38.9186	18.8362	19.2528	28.7855	19.2411	132.5796	24.6905	23.9551	30.6715	25.4987	27.7638
f12	147.5396	28.462	23.8266	39.8372	27.4493	27.9645	150.2382	39.5048	23.5211	33.1618	22.772	31.2785	154.9032	35.9763	27.4203	39.8357	24.9918	26.6791
f13	110.2676	24.6962	21.2704	21.7872	25.4083	17.1055	129.0212	25.2795	26.885	24.0997	24.5758	28.1812	230.2389	53.3354	53.3116	39.5911	45.1375	38.8633
f14	212.3847	40.6571	34.9897	61.9933	38.0877	36.6569	166.2612	35.6303	27.1556	37.8838	28.8019	36.7896	162.6449	36.1708	26.0044	39.2216	26.7351	34.513
f15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f16	136.0832	29.1167	21.6855	27.9807	26.9167	30.3836	136.4994	24.8849	21.8067	35.3313	25.2661	29.2104	182.1964	34.4523	32.0894	42.3628	30.7815	42.5104
f17	195.282	33.8747	33.5553	60.976	33.902	32.974	147.53	31.1555	26.0423	31.7943	32.7936	25.7443	175.9556	32.8225	27.059	51.8712	26.8043	37.3986
f18	154.3597	34.0177	31.993	29.0181	26.091	33.2399	157.9717	29.0681	26.6057	30.7985	37.0534	34.446	183.8283	28.828	31.6607	48.2102	34.004	41.1254
f22	158.7887	25.9943	29.2733	39.3502	23.9853	40.1856	166.8491	37.2945	26.835	42.3897	28.9705	31.3594	176.5647	31.9046	32.1543	44.2374	31.6175	36.6509
f23	250.226	59.6203	43.4128	67.6359	37.7833	41.7737	248.6002	54.9224	49.9599	56.224	42.0664	45.4275	159.4923	33.7632	27.1165	43.1637	22.3316	33.1173
m01	153.3746	34.2836	26.0207	31.1226	34.6909	27.2568	141.8896	28.013	26.0626	27.7195	31.2747	28.8198	151.3136	18.4342	27.2341	45.2311	26.9865	33.4277
m03	194.9576	39.3446	32.7704	56.7504	31.0494	35.0428	135.9078	18.2312	24.0238	29.9837	30.1358	33.5333	217.2375	38.6784	41.5739	52.3486	44.3463	40.2903
m04	160.9777	33.3429	24.7326	38.8804	31.0223	32.9995	173.9403	36.3566	29.8778	39.4666	35.2644	32.9749	217.2124	41.9695	37.101	57.0801	36.5679	44.4939
m05	165.9045	39.9251	29.0135	40.2765	29.0681	27.6213	142.497	29.3598	24.169	29.847	25.4927	33.6285	125.5547	21.6024	22.878	30.6318	22.7976	27.6449
m08	168.0292	39.3675	29.2413	41.0417	30.1827	28.196	165.8741	40.2882	28.4872	36.5161	34.0135	26.5691	180.8185	45.5723	30.0592	37.9096	28.5576	38.7198
m09	153.0499	32.8368	26.8521	41.1665	25.4105	26.784	183.7738	37.6205	32.8594	46.9006	34.1604	32.2329	192.7625	45.9726	32.8977	43.1453	31.2281	39.5188
m10	157.0023	34.7611	24.0518	33.9703	28.0977	36.1214	172.9028	40.9459	28.6809	32.4714	27.6025	43.2021	149.7348	29.7487	23.9644	32.3163	29.419	34.2864
m11	157.4219	37.0429	22.5216	38.9109	25.5762	33.3703	183.3041	44.2112	36.3147	38.7369	29.8001	34.2412	215.7179	52.4061	50.5388	42.9492	30.5753	39.2485
m13	103.8575	13.1559	16.1667	22.6216	31.8766	20.0367	145.0068	24.3788	25.5734	26.7263	28.9152	39.4131	153.1616	35.7647	30.561	25.1752	26.3722	35.2885
m14	143.9645	31.4586	25.1339	33.3182	27.5373	26.5165	132.7263	27.1838	24.0881	29.4594	29.7772	22.2178	171.663	31.3956	29.3006	38.6334	35.3	37.0334
m15	159.4231	38.361	25.3301	44.3793	24.8154	26.5373	126.3087	24.6647	22.089	38.915	22.7363	17.9037	132.423	25.7256	21.4045	41.6494	24.6389	19.0046
m16	156.6061	29.7001	25.8935	41.642	24.1345	35.236	179.5583	32.1248	33.6282	48.5948	28.1741	37.0364	219.757	43.505	40.7492	52.5128	39.9364	43.0536
m19	188.4531	44.4829	34.7416	36.2216	40.2325	32.7745	143.0219	35.6532	22.6947	29.8751	32.7413	22.0576	155.1712	38.158	23.6123	30.2145	33.1796	30.0068
m20	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Volume - Camada Profunda (olho direito)

Pacientes	Volumes																	
	OD																	
	IPL-OPL (Deep)																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	0.931865	0.073174	0.201536	0.233395	0.212138	0.211623	0.95271	0.076199	0.202795	0.240796	0.221871	0.211049	0.902941	0.063979	0.201517	0.220265	0.204733	0.212445
f02	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f07	0.922505	0.117505	0.188987	0.194496	0.206501	0.215016	0.908862	0.057365	0.198298	0.223122	0.222595	0.207483	0.914502	0.052426	0.198054	0.216425	0.230977	0.21662
f08	0.905246	0.085347	0.19745	0.211783	0.211188	0.199477	0.860257	0.080496	0.188399	0.200351	0.192515	0.198496	0.884298	0.080603	0.196851	0.204038	0.201427	0.201378
f09	0.744085	0.084847	0.148569	0.176612	0.146735	0.187321	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.832457	0.066621	0.185226	0.19122	0.199036	0.190354
f10	0.925951	0.075063	0.200156	0.209204	0.217948	0.22358	0.885437	0.076884	0.190314	0.201751	0.211427	0.205061	0.93611	0.075636	0.196129	0.214823	0.220836	0.228686
f11	0.873103	0.054806	0.185991	0.199579	0.199739	0.232987	0.876087	0.056108	0.201015	0.191867	0.213642	0.213456	0.891557	0.068412	0.186247	0.206985	0.205032	0.224882
f12	0.917647	0.070986	0.21399	0.206125	0.210585	0.21596	0.91818	0.07134	0.197176	0.224974	0.222365	0.202326	0.828975	0.053228	0.188009	0.208658	0.189988	0.189092
f13	0.970218	0.064372	0.276298	0.189476	0.226594	0.213478	0.869315	0.056176	0.205447	0.200103	0.222307	0.185282	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f14	1.013831	0.069193	0.258232	0.202173	0.253866	0.230367	0.956541	0.067006	0.201753	0.212362	0.258558	0.216863	1.069757	0.075238	0.181057	0.293706	0.269527	0.25023
f15	0.921896	0.090089	0.203869	0.22099	0.184773	0.222175	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.966731	0.106809	0.216225	0.228571	0.19548	0.219646
f16	0.859723	0.067683	0.189177	0.200142	0.203256	0.199464	0.852434	0.058379	0.18631	0.206396	0.212261	0.189087	0.878103	0.070546	0.192308	0.204739	0.213126	0.197385
f17	0.9576	0.070031	0.210021	0.206989	0.273739	0.19682	1.014343	0.081868	0.194122	0.251835	0.288466	0.198052	0.893228	0.071711	0.192835	0.199791	0.225474	0.203416
f18	0.88188	0.058504	0.174804	0.229801	0.197654	0.221118	0.869257	0.059369	0.170694	0.20607	0.188818	0.244307	0.93249	0.092593	0.161937	0.235985	0.186573	0.255402
f22	0.862852	0.061246	0.189665	0.202336	0.202387	0.207218	0.846642	0.055666	0.189924	0.183876	0.208483	0.208693	0.855542	0.058525	0.195025	0.187731	0.208971	0.205291
f23	0.953333	0.071974	0.199128	0.225016	0.223667	0.233547	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.948234	0.06686	0.197963	0.222551	0.225334	0.235526
m01	0.9197	0.062761	0.200848	0.214189	0.217715	0.224187	0.921104	0.06338	0.195991	0.214287	0.225684	0.22176	0.89386	0.058297	0.194103	0.210933	0.213984	0.216543
m03	1.066944	0.082553	0.199032	0.311694	0.23404	0.239625	0.923803	0.060377	0.198143	0.212299	0.23334	0.219643	0.931383	0.076874	0.196099	0.218617	0.227109	0.212684
m04	0.998194	0.078225	0.203702	0.241211	0.252022	0.223033	1.024249	0.078507	0.200981	0.261103	0.256424	0.227234	0.958739	0.073108	0.200444	0.234413	0.223341	0.227433
m05	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m08	0.972881	0.074389	0.213777	0.224139	0.23107	0.229506	1.003472	0.083479	0.21408	0.236895	0.237453	0.231564	1.065984	0.078494	0.230839	0.231114	0.306838	0.218699
m09	0.976618	0.066616	0.183631	0.281942	0.216855	0.227574	0.864792	0.054877	0.183335	0.211887	0.207155	0.207538	0.898832	0.061293	0.186877	0.217495	0.238627	0.19454
m10	0.865334	0.072749	0.187628	0.193027	0.212712	0.199218	0.853257	0.068528	0.177917	0.195731	0.200841	0.21024	0.836689	0.059405	0.180312	0.205904	0.189362	0.201706
m11	0.87213	0.05709	0.187126	0.202732	0.218759	0.206423	0.843957	0.053513	0.17889	0.197417	0.208556	0.205581	0.874005	0.057702	0.183565	0.209257	0.209514	0.213966
m13	0.886535	0.054845	0.196662	0.211614	0.208881	0.214532	0.901677	0.060514	0.195846	0.219323	0.210019	0.215975	0.872125	0.051057	0.197401	0.203371	0.209651	0.210647
m14	0.953383	0.067929	0.193884	0.255875	0.218942	0.216752	0.945609	0.067502	0.195739	0.234977	0.233796	0.213595	0.913671	0.060395	0.191856	0.220419	0.213422	0.22758
m15	0.985894	0.090732	0.204379	0.229301	0.239475	0.222007	0.992954	0.094237	0.195679	0.25879	0.224699	0.219548	0.903107	0.069935	0.181045	0.225277	0.205744	0.221107
m16	0.936588	0.056743	0.20651	0.217886	0.236427	0.219022	0.971119	0.059822	0.210392	0.227609	0.232432	0.240865	0.94805	0.057573	0.210273	0.217049	0.235223	0.227932
m19	0.994502	0.083761	0.197089	0.237835	0.214209	0.261608	0.95844	0.080647	0.203703	0.222622	0.22117	0.230298	1.056932	0.087978	0.251695	0.22061	0.209504	0.287144
m20	0.990674	0.073971	0.188012	0.250567	0.195291	0.282832	0.931116	0.090173	0.18588	0.226345	0.188621	0.240097	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Volume - Camada Superficial (olho direito)

Pacientes	Volumes																	
	OD																	
	ILM-IPL (Sup)																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	1.558868	0.071973	0.372594	0.370599	0.364245	0.379456	1.587834	0.075808	0.372996	0.386185	0.374373	0.378472	1.544043	0.070519	0.37272	0.36955	0.362562	0.368693
f02	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f07	1.651863	0.195244	0.291579	0.373201	0.394494	0.397344	1.414406	0.066178	0.306898	0.355708	0.380138	0.305484	1.469459	0.063338	0.311932	0.357013	0.381025	0.356151
f08	1.564386	0.10515	0.349845	0.357654	0.373082	0.378655	1.480711	0.099777	0.336993	0.337702	0.347824	0.358416	1.55946	0.107113	0.353453	0.351159	0.369251	0.378484
f09	1.28437	0.134819	0.229726	0.345924	0.252311	0.321591	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1.549118	0.091486	0.344695	0.364134	0.369694	0.379109
f10	1.635822	0.102551	0.347432	0.386955	0.386753	0.412132	1.601243	0.10206	0.341935	0.375078	0.367713	0.414457	1.662274	0.107458	0.345973	0.399449	0.395389	0.414005
f11	1.386894	0.077272	0.309381	0.313147	0.345434	0.34166	1.413321	0.078824	0.311431	0.324283	0.341214	0.357568	1.420215	0.077562	0.313497	0.325076	0.358518	0.345561
f12	1.575205	0.085026	0.349124	0.381151	0.370832	0.389073	1.569161	0.086033	0.343119	0.383549	0.3721	0.38436	1.359834	0.055312	0.31959	0.345049	0.319635	0.320248
f13	1.590554	0.075755	0.347379	0.387602	0.386239	0.39358	1.528768	0.079116	0.358138	0.364821	0.374908	0.351785	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f14	1.45284	0.079003	0.317498	0.335661	0.353345	0.367332	1.474615	0.076934	0.307565	0.353551	0.366678	0.369887	1.468701	0.090207	0.324852	0.334949	0.362752	0.355942
f15	1.326779	0.107273	0.292044	0.320216	0.327938	0.279307	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1.356771	0.093798	0.30451	0.324365	0.318902	0.315196
f16	1.498223	0.090316	0.319414	0.365913	0.367233	0.355348	1.433762	0.075822	0.308051	0.346849	0.350082	0.352957	1.438236	0.087444	0.323239	0.343589	0.343445	0.34052
f17	1.609363	0.082363	0.353959	0.382012	0.397734	0.393294	1.601994	0.07676	0.362425	0.375743	0.39497	0.392096	1.637275	0.081397	0.360496	0.387933	0.406421	0.401028
f18	1.488205	0.075706	0.338198	0.342452	0.379615	0.352235	1.513431	0.08327	0.336073	0.349871	0.386249	0.357967	1.42324	0.082478	0.321291	0.355716	0.376791	0.286965
f22	1.332599	0.069362	0.295831	0.294498	0.328223	0.344686	1.364947	0.066209	0.298991	0.312929	0.351124	0.335694	1.373498	0.068291	0.29542	0.309778	0.356012	0.343998
f23	1.47431	0.086446	0.328969	0.341497	0.348565	0.368832	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1.496119	0.084144	0.31626	0.361617	0.366485	0.367613
m01	1.581675	0.078715	0.354182	0.370361	0.385945	0.392472	1.547628	0.07459	0.347165	0.368968	0.386428	0.370477	1.520759	0.073537	0.345188	0.362831	0.369683	0.369519
m03	1.521434	0.100874	0.363155	0.336433	0.347911	0.373062	1.507844	0.07285	0.35009	0.333849	0.382552	0.368503	1.480199	0.071893	0.338717	0.33428	0.375397	0.359911
m04	1.524588	0.085216	0.334473	0.353757	0.367129	0.384013	1.502737	0.090367	0.332789	0.347381	0.353823	0.378377	1.569256	0.093545	0.343634	0.358947	0.377931	0.395198
m05	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m08	1.560421	0.082466	0.34264	0.377619	0.385037	0.372661	1.552121	0.080252	0.338704	0.381253	0.38119	0.370722	1.528107	0.0814	0.323543	0.381931	0.375155	0.366079
m09	1.517445	0.086093	0.341104	0.344466	0.382317	0.363466	1.492576	0.078972	0.340272	0.344689	0.39136	0.337284	1.48966	0.073856	0.331312	0.343287	0.375808	0.365398
m10	1.418248	0.082029	0.306699	0.336765	0.343277	0.349478	1.42016	0.071716	0.301885	0.346016	0.347592	0.352951	1.403028	0.076392	0.311009	0.321511	0.349886	0.344229
m11	1.44639	0.073808	0.313729	0.340946	0.359768	0.358138	1.455703	0.083852	0.31236	0.34079	0.352441	0.366259	1.434096	0.07481	0.316173	0.333825	0.360797	0.348491
m13	1.492557	0.061508	0.359004	0.329311	0.37127	0.371464	1.473037	0.060909	0.346514	0.333053	0.367955	0.364607	1.471832	0.05973	0.354544	0.329329	0.366966	0.361262
m14	1.580476	0.087149	0.362602	0.358072	0.379902	0.392752	1.604164	0.084185	0.359858	0.381485	0.388797	0.389839	1.592163	0.08439	0.357634	0.375779	0.388914	0.385446
m15	1.550372	0.091249	0.341222	0.362028	0.367094	0.38878	1.41129	0.090315	0.333477	0.334834	0.377679	0.274986	1.361094	0.084789	0.302169	0.313509	0.334439	0.326188
m16	1.536652	0.0681	0.323198	0.378087	0.388724	0.378543	1.505494	0.064177	0.323321	0.367324	0.382487	0.368184	1.495773	0.066051	0.326337	0.35951	0.376997	0.366878
m19	1.47502	0.102523	0.332338	0.332228	0.346593	0.361339	1.491749	0.099602	0.326677	0.344962	0.347767	0.372741	1.456254	0.104295	0.321077	0.330999	0.332939	0.366944
m20	1.488792	0.088686	0.327869	0.341576	0.380789	0.349871	1.437167	0.095216	0.321859	0.322876	0.365504	0.331712	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Volume - Camada Total (olho direito)

Pacientes	Volumes																	
	OD																	
	ILM- OPL (Total)																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	2.490734	0.145147	0.57413	0.603994	0.576383	0.591079	2.540544	0.152006	0.575791	0.626981	0.596244	0.589521	2.446984	0.134499	0.574237	0.589815	0.567295	0.581138
f02	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f07	2.574368	0.31275	0.480566	0.567698	0.600995	0.61236	2.323268	0.123543	0.505196	0.57883	0.602733	0.512967	2.38396	0.115763	0.509986	0.573438	0.612002	0.572771
f08	2.469632	0.190497	0.547295	0.569437	0.58427	0.578133	2.340968	0.180273	0.525392	0.538053	0.540338	0.556911	2.443758	0.187716	0.550304	0.555197	0.570678	0.579862
f09	2.028455	0.219666	0.378295	0.522535	0.399046	0.508912	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	2.381576	0.158107	0.529922	0.555354	0.56873	0.569464
f10	2.561773	0.177614	0.547588	0.596159	0.6047	0.635712	2.48668	0.178944	0.532249	0.576829	0.579139	0.619519	2.598384	0.183094	0.542102	0.614271	0.616225	0.642691
f11	2.259997	0.132079	0.495372	0.512726	0.545173	0.574647	2.289409	0.134933	0.512446	0.51615	0.554856	0.571023	2.311772	0.145974	0.499744	0.532061	0.56355	0.570442
f12	2.492852	0.156012	0.563114	0.587276	0.581417	0.605033	2.487342	0.157373	0.540295	0.608523	0.594465	0.586686	2.188809	0.10854	0.507599	0.553707	0.509623	0.509339
f13	2.560772	0.140126	0.623676	0.577078	0.612833	0.607058	2.398083	0.135292	0.563585	0.564925	0.597215	0.537066	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f14	2.466671	0.148196	0.575731	0.537835	0.607211	0.597699	2.431157	0.143939	0.509318	0.565914	0.625236	0.58675	2.538459	0.165445	0.505908	0.628655	0.632279	0.606171
f15	2.248675	0.197363	0.495913	0.541206	0.512711	0.501482	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	2.323502	0.200607	0.520735	0.552936	0.514382	0.534842
f16	2.357946	0.157999	0.508591	0.566055	0.570489	0.554812	2.286196	0.134201	0.494361	0.553245	0.562344	0.542044	2.316339	0.15799	0.515547	0.548328	0.55657	0.537905
f17	2.566962	0.152394	0.563979	0.589002	0.671474	0.590114	2.616337	0.158628	0.556548	0.627578	0.683436	0.590148	2.530502	0.153108	0.553331	0.587724	0.631895	0.604444
f18	2.370085	0.134209	0.513002	0.572253	0.577269	0.573353	2.382688	0.142639	0.506767	0.555941	0.575068	0.602273	2.35573	0.17507	0.483228	0.5917	0.563363	0.542367
f22	2.19545	0.130608	0.485494	0.496834	0.53061	0.551904	2.211589	0.121874	0.488915	0.496805	0.559607	0.544388	2.22904	0.126816	0.490445	0.497509	0.564982	0.549288
f23	2.427643	0.15842	0.528098	0.566514	0.572232	0.602379	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	2.444353	0.151003	0.514223	0.584168	0.591819	0.60314
m01	2.501375	0.141476	0.55503	0.58455	0.60366	0.616659	2.468732	0.13797	0.543156	0.583255	0.612112	0.592238	2.414619	0.131835	0.539291	0.573764	0.583667	0.586062
m03	2.588378	0.183427	0.562187	0.648126	0.581951	0.612687	2.431647	0.133227	0.548233	0.546148	0.615892	0.588146	2.411582	0.148767	0.534816	0.552897	0.602506	0.572595
m04	2.522781	0.163441	0.538175	0.594967	0.619151	0.607046	2.526986	0.168874	0.533771	0.608484	0.610247	0.605611	2.527994	0.166653	0.544079	0.59336	0.601272	0.62263
m05	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m08	2.533302	0.156855	0.556416	0.601758	0.616106	0.602167	2.555593	0.16373	0.552784	0.618149	0.618643	0.602286	2.594091	0.159894	0.554382	0.613045	0.681993	0.584777
m09	2.494063	0.152709	0.524735	0.626408	0.599172	0.59104	2.357368	0.133849	0.523607	0.556577	0.598514	0.544822	2.388492	0.135149	0.518189	0.560782	0.614435	0.559937
m10	2.283582	0.154778	0.494327	0.529793	0.555989	0.548696	2.273417	0.140244	0.479803	0.541747	0.548432	0.563191	2.239717	0.135797	0.491321	0.527415	0.539248	0.545935
m11	2.31852	0.130898	0.500855	0.543678	0.578527	0.564561	2.29966	0.137364	0.49125	0.538207	0.560998	0.57184	2.308101	0.132513	0.499738	0.543082	0.57031	0.562458
m13	2.379092	0.116353	0.555666	0.540926	0.580151	0.585997	2.374715	0.121423	0.54236	0.552376	0.577974	0.580582	2.343957	0.110787	0.551945	0.5327	0.576617	0.571909
m14	2.533859	0.155077	0.556487	0.613947	0.598844	0.609504	2.549773	0.151686	0.555597	0.616462	0.622593	0.603434	2.505834	0.144785	0.54949	0.596197	0.602335	0.613026
m15	2.536266	0.181981	0.5456	0.591328	0.606569	0.610787	2.404244	0.184552	0.529156	0.593624	0.602378	0.494534	2.264202	0.154725	0.483213	0.538786	0.540183	0.547295
m16	2.473239	0.124843	0.529708	0.595973	0.62515	0.597565	2.476613	0.123999	0.533713	0.594933	0.614919	0.609049	2.443823	0.123624	0.536609	0.576559	0.612221	0.59481
m19	2.469522	0.186285	0.529427	0.570062	0.560801	0.622948	2.450189	0.180249	0.53038	0.567584	0.568936	0.60304	2.513186	0.192273	0.572772	0.551609	0.542443	0.654088
m20	2.479465	0.162657	0.515882	0.592143	0.57608	0.632703	2.368283	0.185389	0.50774	0.54922	0.554125	0.57181	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Volume - Camada Profunda (olho esquerdo)

Pacientes	Volumes																	
	OE																	
	IPL-OPL (Deep)																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	0.901581	0.065367	0.192432	0.22812	0.216906	0.198757	0.905004	0.067158	0.20424	0.206877	0.2195	0.207228	0.872066	0.061596	0.197594	0.200796	0.218034	0.194046
f02	0.967594	0.068381	0.22961	0.212791	0.241734	0.215078	0.960555	0.071216	0.219145	0.213635	0.240809	0.21575	0.957445	0.062038	0.220056	0.215794	0.239887	0.21967
f07	0.838485	0.052149	0.194718	0.205975	0.212565	0.173078	0.936763	0.062679	0.21019	0.215284	0.225068	0.223541	0.844185	0.041798	0.196656	0.194512	0.200031	0.211188
f08	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f09	0.833047	0.062	0.181798	0.194629	0.203851	0.190769	0.845118	0.064027	0.187986	0.197357	0.20146	0.194288	0.861525	0.069665	0.186605	0.2004	0.215797	0.189057
f10	0.942579	0.083544	0.199691	0.219543	0.231362	0.208439	0.948679	0.076068	0.209784	0.218912	0.23388	0.210035	0.931491	0.071065	0.215433	0.206969	0.225283	0.212742
f11	0.855836	0.057953	0.199753	0.18202	0.204203	0.211908	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	0.872002	0.062881	0.192357	0.19697	0.209513	0.21028
f12	0.91535	0.070825	0.206383	0.207885	0.209629	0.220628	0.911049	0.070897	0.199335	0.217128	0.207814	0.215875	0.871682	0.061974	0.200437	0.195276	0.195305	0.218688
f13	0.845596	0.048421	0.189812	0.205472	0.201412	0.200479	0.894889	0.059688	0.212988	0.202669	0.215689	0.203855	0.850493	0.051712	0.227275	0.200303	0.208265	0.162938
f14	0.86615	0.048664	0.179472	0.192681	0.258434	0.186898	0.99298	0.063964	0.199065	0.225506	0.303799	0.200646	0.988932	0.069395	0.186751	0.230824	0.300048	0.201913
f15	0.828549	0.04838	0.184683	0.197653	0.195477	0.202356	0.851321	0.073579	0.19535	0.187708	0.196267	0.198417	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f16	0.875533	0.064604	0.20474	0.201694	0.205014	0.199481	0.865149	0.075964	0.190214	0.19317	0.201598	0.204202	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f17	0.817655	0.065132	0.183932	0.181168	0.191658	0.195764	0.897284	0.087775	0.191551	0.188997	0.234491	0.19447	0.92632	0.103306	0.195978	0.200607	0.235418	0.191011
f18	0.815842	0.056126	0.182624	0.185515	0.191966	0.199611	0.727028	0.049449	0.178527	0.175641	0.186935	0.136476	0.752645	0.041849	0.160019	0.187612	0.200531	0.162635
f22	0.77573	0.046479	0.175917	0.162044	0.194135	0.197155	0.866899	0.061925	0.190455	0.17957	0.228662	0.206286	0.929917	0.064116	0.210983	0.200459	0.200262	0.254097
f23	0.912656	0.060664	0.204041	0.218113	0.233003	0.196836	0.96771	0.064322	0.211845	0.214837	0.227279	0.249427	0.978758	0.073095	0.216877	0.217998	0.236694	0.234093
m01	0.930866	0.066393	0.212368	0.216597	0.218791	0.216717	0.930142	0.068827	0.205909	0.214431	0.222198	0.218777	0.875126	0.061881	0.194901	0.203451	0.201838	0.213055
m03	0.886198	0.061525	0.190342	0.211108	0.205223	0.218	0.907966	0.065261	0.197701	0.207281	0.211959	0.225763	0.905079	0.057897	0.190591	0.218086	0.216557	0.221948
m04	0.951586	0.076322	0.198465	0.234904	0.212678	0.229216	0.948402	0.073411	0.21558	0.223332	0.223918	0.21216	0.920156	0.064371	0.202174	0.222159	0.207325	0.224127
m05	0.889792	0.066404	0.195982	0.205139	0.215968	0.206299	0.899671	0.066507	0.204252	0.202411	0.218812	0.207689	0.882908	0.064753	0.192318	0.207505	0.212296	0.206038
m08	1.0061	0.079998	0.232248	0.220349	0.237982	0.235523	1.005336	0.072475	0.217125	0.23451	0.233195	0.24803	1.030289	0.09244	0.233035	0.233019	0.228352	0.243442
m09	0.828505	0.086315	0.21143	0.16541	0.148445	0.216904	0.852659	0.053854	0.183037	0.201583	0.201999	0.212186	0.852538	0.054227	0.179088	0.208639	0.203998	0.206586
m10	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m11	0.875002	0.055819	0.196846	0.198193	0.199368	0.224776	0.856163	0.056065	0.188606	0.196438	0.2076	0.207454	0.854253	0.056259	0.187739	0.200882	0.20638	0.202992
m13	0.863469	0.046854	0.201895	0.199078	0.205758	0.209884	0.868928	0.049754	0.191033	0.208052	0.209605	0.210484	0.873357	0.049695	0.195666	0.205721	0.21696	0.205314
m14	0.880164	0.057411	0.194286	0.20931	0.209248	0.209909	0.89909	0.059881	0.188665	0.217685	0.218908	0.213951	0.892922	0.059197	0.196882	0.209215	0.214703	0.212926
m15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m16	0.962042	0.055026	0.218359	0.21879	0.242523	0.227344	0.900494	0.049461	0.203322	0.210659	0.217458	0.219594	0.957132	0.055323	0.209715	0.228273	0.233915	0.229906
m19	1.016706	0.083255	0.211539	0.238751	0.226127	0.257035	0.988588	0.086797	0.217174	0.229285	0.224158	0.231174	0.969098	0.084442	0.206848	0.228143	0.22685	0.222816
m20	0.850543	0.050712	0.186855	0.1998	0.186369	0.226807	0.892926	0.054169	0.181544	0.221061	0.194819	0.241333	0.819587	0.055845	0.184544	0.185241	0.190128	0.20383

Volume - Camada Superficial (olho esquerdo)

Pacientes	Volumes																	
	OE																	
	ILM-IPL (Sup)																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	1.530265	0.068067	0.351418	0.3619	0.370611	0.378269	1.590265	0.069505	0.356194	0.379577	0.3896	0.395389	1.468122	0.063803	0.333805	0.347229	0.353132	0.370152
f02	1.683035	0.087419	0.365214	0.411574	0.413002	0.405826	1.691939	0.081988	0.373142	0.409071	0.419821	0.407917	1.629851	0.07782	0.353269	0.396443	0.405978	0.396342
f07	1.270458	0.061384	0.305053	0.327982	0.344746	0.231293	1.471973	0.068632	0.323236	0.345432	0.351204	0.383468	1.269271	0.046181	0.293921	0.30211	0.292212	0.334846
f08	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f09	1.540245	0.075149	0.330844	0.375253	0.385029	0.37397	1.554402	0.083305	0.34133	0.375595	0.375175	0.378997	1.533144	0.081709	0.331732	0.371711	0.372437	0.375555
f10	1.643367	0.106231	0.35134	0.385955	0.394852	0.404989	1.6345	0.103976	0.348067	0.385828	0.391679	0.40495	1.609155	0.104801	0.341974	0.380972	0.386824	0.394585
f11	1.401413	0.082472	0.324414	0.311622	0.334577	0.348329	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	1.439066	0.08199	0.301759	0.344718	0.354301	0.356298
f12	1.578217	0.086939	0.354846	0.374939	0.380039	0.381454	1.566633	0.083679	0.340626	0.38315	0.376945	0.382233	1.461322	0.075482	0.323039	0.353271	0.347695	0.361834
f13	1.560087	0.068441	0.337371	0.372466	0.39892	0.38289	1.55899	0.07445	0.33368	0.374118	0.393032	0.383711	1.405366	0.068809	0.342693	0.345143	0.395793	0.252928
f14	1.370415	0.074321	0.297047	0.320649	0.326052	0.352346	1.435619	0.072235	0.309282	0.3325	0.355635	0.365966	1.491369	0.076192	0.316738	0.342756	0.38967	0.366014
f15	1.354253	0.06357	0.296242	0.331445	0.331941	0.331054	1.381186	0.072781	0.301289	0.335775	0.340612	0.33073	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f16	1.469614	0.082404	0.323102	0.351975	0.354555	0.357578	1.511468	0.087962	0.33762	0.365202	0.369459	0.351224	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f17	1.543729	0.085457	0.361588	0.334443	0.392118	0.370124	1.534945	0.116405	0.352893	0.287948	0.389732	0.387968	1.582898	0.156665	0.356691	0.29112	0.412252	0.36617
f18	1.598363	0.095001	0.345723	0.371374	0.393026	0.393239	1.345873	0.07673	0.314749	0.360288	0.373857	0.220249	1.313602	0.049912	0.28898	0.322028	0.329553	0.323129
f22	1.258917	0.064053	0.272736	0.291032	0.320599	0.310498	1.413389	0.076485	0.298241	0.330225	0.34223	0.366208	1.324977	0.078558	0.286472	0.28828	0.324324	0.347343
f23	1.446482	0.091142	0.321837	0.349153	0.369309	0.315041	1.518459	0.087561	0.331662	0.350464	0.370546	0.378226	1.529712	0.092317	0.329841	0.358176	0.367152	0.382225
m01	1.558241	0.075758	0.354117	0.365642	0.383783	0.378941	1.550707	0.076138	0.352165	0.369741	0.376999	0.375664	1.474153	0.07363	0.337201	0.348019	0.368972	0.34633
m03	1.43199	0.059387	0.314783	0.348791	0.359781	0.349247	1.470641	0.064847	0.323048	0.353203	0.369989	0.359553	1.387514	0.06312	0.301792	0.335835	0.354637	0.332131
m04	1.487972	0.085189	0.316746	0.352371	0.368453	0.365212	1.48623	0.081376	0.313064	0.359641	0.36135	0.370799	1.507302	0.078655	0.320815	0.362346	0.366635	0.378851
m05	1.550471	0.083287	0.337299	0.366054	0.38004	0.383791	1.561497	0.084827	0.34669	0.366113	0.381179	0.382688	1.569697	0.085503	0.342046	0.372238	0.384581	0.385328
m08	1.526196	0.080419	0.327761	0.376086	0.377497	0.364432	1.533057	0.076215	0.335149	0.369116	0.381454	0.371124	1.537556	0.094867	0.333714	0.359717	0.377512	0.371747
m09	1.726901	0.197582	0.39364	0.37435	0.37209	0.389239	1.514369	0.074864	0.327864	0.360719	0.364844	0.386078	1.486388	0.069118	0.326875	0.344996	0.367093	0.378305
m10	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m11	1.466009	0.075175	0.323305	0.345736	0.356032	0.365761	1.465575	0.079131	0.316567	0.344942	0.361363	0.363573	1.449517	0.077754	0.312075	0.343348	0.367059	0.349282
m13	1.462351	0.060464	0.327648	0.342416	0.369317	0.362506	1.459718	0.060362	0.334442	0.3474	0.383928	0.333586	1.480994	0.059036	0.33312	0.349276	0.372665	0.366897
m14	1.572538	0.078719	0.345678	0.380871	0.388792	0.378479	1.526329	0.075798	0.34444	0.365271	0.369784	0.371037	1.56359	0.085104	0.340447	0.372849	0.383932	0.381258
m15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m16	1.508075	0.06076	0.338621	0.356697	0.375678	0.376319	1.436021	0.052794	0.324405	0.33968	0.36024	0.358903	1.527575	0.062983	0.331487	0.36833	0.378206	0.386569
m19	1.465737	0.099034	0.320041	0.347039	0.357639	0.341984	1.570101	0.105619	0.341284	0.358822	0.381179	0.383197	1.515109	0.10096	0.331458	0.345825	0.365641	0.371226
m20	1.41586	0.074761	0.313743	0.321983	0.348925	0.356449	1.359361	0.069601	0.298794	0.312073	0.34333	0.335562	1.470629	0.079307	0.324126	0.341083	0.36283	0.363282

Volume - Camada Total (olho esquerdo)

Pacientes	Volumes																	
	OE																	
	ILM- OPL (Total)																	
	1						2						3					
Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	Total	Centro	Temporal	Nasal	Superior	Inferior	
f01	2.431846	0.133434	0.543849	0.59002	0.587517	0.577026	2.495269	0.136663	0.560434	0.586455	0.609101	0.602617	2.340188	0.125399	0.531399	0.548026	0.571166	0.564198
f02	2.650629	0.1558	0.594825	0.624365	0.654736	0.620903	2.652494	0.153204	0.592287	0.622706	0.66063	0.623667	2.587297	0.139858	0.573325	0.612237	0.645865	0.616011
f07	2.108943	0.113533	0.499771	0.533957	0.557311	0.40437	2.408736	0.131312	0.533426	0.560716	0.576272	0.607009	2.113456	0.087979	0.490577	0.496622	0.492243	0.546035
f08	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f09	2.373292	0.137149	0.512642	0.569881	0.588881	0.564738	2.39952	0.147332	0.529316	0.572951	0.576635	0.573285	2.394668	0.151374	0.518338	0.57211	0.588234	0.564612
f10	2.585946	0.189775	0.551031	0.605498	0.626215	0.613427	2.583179	0.180043	0.557851	0.60474	0.625559	0.614986	2.540646	0.175865	0.557407	0.587941	0.612106	0.607327
f11	2.257249	0.140424	0.524167	0.493642	0.53878	0.560236	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	2.311068	0.144871	0.494117	0.541688	0.563814	0.566578
f12	2.493568	0.157764	0.561228	0.582825	0.589668	0.602082	2.477682	0.154576	0.539961	0.600278	0.584759	0.598108	2.333003	0.137457	0.523476	0.548547	0.543	0.580523
f13	2.405683	0.116862	0.527183	0.577937	0.600332	0.583369	2.453879	0.134138	0.546668	0.576787	0.608721	0.587566	2.25586	0.120522	0.569968	0.545446	0.604058	0.415866
f14	2.236564	0.122985	0.476519	0.513329	0.584487	0.539244	2.428599	0.136199	0.508347	0.558007	0.659434	0.566612	2.480302	0.145587	0.503489	0.57358	0.689719	0.567927
f15	2.182802	0.111195	0.480926	0.529097	0.527419	0.53341	2.232507	0.14636	0.496638	0.523482	0.536879	0.529147	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f16	2.345147	0.147008	0.527842	0.553669	0.559569	0.557059	2.376616	0.163926	0.527834	0.558373	0.571056	0.555427	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
f17	2.361384	0.150589	0.54552	0.515611	0.583776	0.565887	2.43223	0.20418	0.544444	0.476945	0.624223	0.582438	2.509218	0.259972	0.552669	0.491727	0.647669	0.557181
f18	2.414205	0.151127	0.528347	0.556889	0.584993	0.59285	2.072901	0.126179	0.493277	0.535929	0.560792	0.356725	2.066247	0.091761	0.448999	0.50964	0.530084	0.485764
f22	2.034647	0.110532	0.448652	0.453076	0.514734	0.507652	2.280288	0.138411	0.488697	0.509795	0.570892	0.572493	2.254894	0.142675	0.497455	0.488739	0.524586	0.60144
f23	2.359138	0.151806	0.525878	0.567266	0.602312	0.511876	2.486169	0.151883	0.543507	0.565301	0.597825	0.627653	2.50847	0.165412	0.546718	0.576175	0.603847	0.616318
m01	2.489106	0.142151	0.566485	0.582239	0.602574	0.595658	2.480849	0.144966	0.558074	0.584172	0.599197	0.594441	2.349279	0.135511	0.532102	0.55147	0.57081	0.559385
m03	2.318187	0.120912	0.505125	0.559899	0.565004	0.567247	2.378607	0.130108	0.520749	0.560484	0.581948	0.585317	2.292593	0.121017	0.492382	0.55392	0.571195	0.554079
m04	2.439558	0.161512	0.515211	0.587275	0.581132	0.594429	2.434632	0.154787	0.528644	0.582973	0.585268	0.582959	2.427458	0.143026	0.522989	0.584505	0.57396	0.602978
m05	2.440262	0.149691	0.533281	0.571193	0.596008	0.59009	2.461169	0.151335	0.550942	0.568524	0.599991	0.590376	2.452605	0.150255	0.534364	0.579743	0.596877	0.591366
m08	2.532296	0.160417	0.560009	0.596436	0.615479	0.599955	2.538393	0.14869	0.552274	0.603627	0.614649	0.619154	2.567845	0.187307	0.56675	0.592736	0.605864	0.615189
m09	2.555405	0.283897	0.60507	0.539759	0.520535	0.606143	2.367028	0.128718	0.510901	0.562301	0.566843	0.598264	2.338926	0.123345	0.505963	0.553636	0.571091	0.584891
m10	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m11	2.341011	0.130993	0.520151	0.54393	0.555399	0.590538	2.321738	0.135196	0.505173	0.541379	0.568963	0.571027	2.30377	0.134013	0.499814	0.54423	0.573439	0.552274
m13	2.32582	0.107318	0.529543	0.541494	0.575075	0.57239	2.328646	0.110116	0.525474	0.555452	0.593533	0.54407	2.35435	0.108731	0.528786	0.554997	0.589625	0.572211
m14	2.452702	0.13613	0.539964	0.590181	0.59804	0.588388	2.425419	0.135679	0.533105	0.582955	0.588691	0.584988	2.456512	0.144301	0.537329	0.582064	0.598635	0.594184
m15	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
m16	2.470118	0.115786	0.556981	0.575487	0.618201	0.603663	2.336515	0.102254	0.527726	0.55034	0.577698	0.578497	2.484707	0.118305	0.541202	0.596603	0.612121	0.616475
m19	2.482444	0.182289	0.53158	0.58579	0.583766	0.599018	2.558689	0.192416	0.558459	0.588107	0.605337	0.614371	2.484208	0.185401	0.538306	0.573968	0.59249	0.594042
m20	2.266403	0.125472	0.500598	0.521783	0.535294	0.583255	2.252286	0.12377	0.480338	0.533134	0.538148	0.576895	2.290217	0.135152	0.50867	0.526324	0.552959	0.567112

Anexo A

Parecer da Comissão de Ética



Comissão de Ética
Universidade da Beira Interior

comissaodeetica@ubi.pt
Convento de Santo António
6201-001 Covilhã | Portugal

Parecer relativo ao processo n.º CE-UBI-Pj-2024-055-ID2454

Na sua reunião de 16 de julho de 2024, a Comissão de Ética apreciou a documentação submetida referente ao pedido de parecer do projeto “**Efeitos da Altitude em Diferentes Estruturas do Globo Ocular**”, do proponente **Jorge Miguel dos Reis Silva**, a que atribuiu o código n.º CE-UBI-Pj-2024-055.

Na sua análise não identificou matéria que ofenda os princípios éticos e morais, pelo que esta Comissão de Ética emite um parecer **favorável** à realização do projeto, nos moldes descritos naquela documentação.

Covilhã e UBI

A Presidente da Comissão de Ética

Assinado por: **AMÉLIA MARIA MONTEIRO
FERNANDES NUNES**
Num. de Identificação: BI102417849
Data: 2024.09.15 18:46:11+01'00'



(Professora Doutora Amélia Maria Monteiro Fernandes Nunes)

(Professora Associada)

A CE-UBI e a UBI não se responsabilizam por danos ou outros atos ilícitos que possam vir a ser praticados no âmbito do estudo. As opiniões e conclusões contidas nos documentos resultantes desta investigação são da exclusiva responsabilidade dos autores do projeto.