

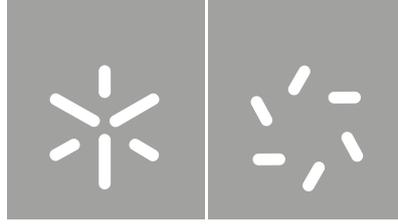


**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Cristiana Micaela Rodrigues Marques

## **Efeito da radiação UVC em Materiais Óticos**





**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Cristiana Micaela Rodrigues Marques

## **Efeito da radiação UVC em Materiais Óticos**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Optometria Avançada

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

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

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

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

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

### **Licença concedida aos utilizadores deste trabalho**



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

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

## **AGRADECIMENTOS**

---

Durante a realização da dissertação de mestrado houve momentos marcados por desafios, incertezas, tristezas, alegrias e alguns percalços pelo caminho. No qual só foi conseguido com responsabilidade, dedicação, persistência e apoio das pessoas certas ao nosso lado.

Aos meus orientadores, Professor Doutor João linhares e Professora Doutora Sandra Franco, pela disponibilidade, dedicação, empenho e partilha de conhecimentos. Muito obrigada!

Ao Senhor Américo, colaborador da Universidade do Minho, pela dedicação, disponibilidade e empenho na elaboração de equipamentos e acessórios que foram importantes para realização deste trabalho. Obrigada!

Aos meus pais, Maria e Arménio e irmão, Edgar, pela paciência, compreensão e pelo apoio incondicional dado ao longo do meu percurso académico. Obrigada!

Às minhas amigas Andreia Gomes e Magna Neiva pelo apoio e motivação ao longo desta fase. Obrigada!

À Ana Filipa Rodrigues, pelo apoio e entreaajuda. Obrigada!

Um agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para concretização desta dissertação de mestrado. Obrigada por tudo!

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

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

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

### RESUMO

---

**Objetivo:** Analisar o efeito da exposição radiação ultravioleta tipo C em lentes oftálmicas.

**Métodos:** 9 pares de lentes oftálmicas foram utilizadas neste trabalho, de diferentes materiais (constituídas por acrílico e policarbonato), com revestimentos de anti-risco, anti-reflexo e filtro azul. De cada par, uma das lentes foi mantida no escuro, protegida da radiação eletromagnética, enquanto a outra lente foi exposta sistematicamente à radiação UVC durante 3 semanas. A transmitância de cada lente, o índice de branqueamento, índice de amarelecimento e o índice de similaridade foram calculados ao longo do período de 3 semanas, estimados a partir das medições da transmitância. Para a realização das medições, foram considerados 4 momentos: no início do procedimento experimental e no final de cada semana passada.

**Resultados:** É transversal à totalidade das lentes mantidas no escuro a estabilidade ao longo do tempo na transmitância, índices de branqueamento, amarelecimento e similaridade. Quanto às lentes expostas ao UVC, verificaram-se alterações em algumas das lentes, em particular na transmissibilidade e no índice de amarelecimento das lentes de acrílico e policarbonato com tratamento anti-risco. Nas restantes lentes não se verificaram alterações mesuráveis.

**Conclusões:** As alterações nas lentes oftálmicas expostas ao UVC dependem do seu material e dos tratamentos que possam existir na lente, sendo que as que parecem apresentar mais alterações são as lentes com tratamento anti-risco, de acrílico e de policarbonato.

**Palavras-chave:** Covid-19; lâmpadas germicidas; lentes oftálmicas; radiação ultravioleta C; transmitância.

### ABSTRACT

---

**Objective:** Analysis the effect of exposure to ultraviolet C radiation in ophthalmic lenses.

**Methods:** 9 pairs of ophthalmic lenses were used in this work, made of different materials (consisting of acrylic and polycarbonate), with anti-scratch, anti-reflection and blue filter coatings. Of each pair, one lens was kept in the dark protected from electromagnetic radiation, while the other lens was systematically exposed to UVC radiation for 3 weeks. The transmittance of each lens, the whitening index, the yellowing index and the similarity index were calculated over a 3-week period, estimated from transmittance measurements. To conduct measurements, 4 moments were considered: at the beginning of the experimental procedure and the end of each last week.

**Results:** The stability over time in transmittance, whitening, yellowing, and similarity index is transversal to all lenses kept in the dark. As for lenses exposed to UVC, there are changes in some of the lenses, particularly in the transmissibility and yellowing index of acrylic and polycarbonate lenses with anti-scratch treatment. In the remaining lenses there were no measurable changes.

**Conclusions:** Changes in ophthalmic lenses exposed to UVC depend on their materials and on the treatments that may exist on the lens, and the ones that seems to present more changes are the scratch resistant acrylic and polycarbonate lenses.

**Keywords:** Covid-19; germicidal lamps; ophthalmic lenses; transmittance; ultraviolet C.

# ÍNDICE

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>iii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>xviii</b>
<b>1. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>1</b>
1.1 A Radiação Ultravioleta .....	1
1.1.1 O espectro eletromagnético .....	1
1.1.2 Unidades e quantidades usadas para medição de radiação .....	2
1.1.3 Variações da Radiação Ultravioleta .....	2
1.2 A Radiação UVC.....	3
1.2.1 O uso da radiação UVC em tempos de COVID-19 .....	3
1.2.2 Comparação entre lâmpadas de vapor de mercúrio e lâmpadas LED.....	4
1.2.3 Desvantagens da UVC.....	5
1.3 Lentes Oftálmicas .....	6
<b>2. HIPÓTESE E OBJETIVO DE ESTUDO</b> .....	<b>10</b>
2.1. Formulação do Problema .....	10
2.2. Hipóteses .....	10
2.3. Objetivo .....	10
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>11</b>
3.1. Tipo de estudo .....	11
3.2. Amostra.....	11
3.3. Teste da variabilidade na repetibilidade da medição .....	13
3.4. Procedimento experimental.....	15
3.4.1 Espectrofotômetro portátil .....	15
3.4.2 Caixa com lâmpadas UVC incorporadas .....	17
3.4.3 Espectrofotômetro UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR.....	19
3.5. Análise de resultados .....	20

<b>4. Resultados .....</b>	<b>23</b>
4.1. Lente de acrílico nº1 .....	23
4.2. Lente de acrílico nº2 .....	28
4.3. Lente de acrílico nº3 .....	32
4.4. Lente de acrílico nº4 .....	37
4.5. Lente de acrílico nº5 .....	41
4.6. Lente de acrílico nº8 .....	44
4.7. Lente de policarbonato nº6 .....	48
4.8. Lente de policarbonato nº7 .....	53
4.9. Lente de policarbonato nº9 .....	57
<b>5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
5.1. Comparação entre a lente de acrílico e a lente de policarbonato com anti-risco .....	61
5.2. Comparação entre a lente de acrílico e a lente de policarbonato com anti-reflexo .....	62
5.3. Comparação entre a lente de acrílico e a lente de policarbonato com filtro azul.....	62
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>68</b>
Anexo I – Protocolo Laboratorial: Espectrofotômetro .....	68

## ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

---

**A:** ampere

**A3AL:** Lente de acrílico nº3 com anti-reflexo exposta ao UVC

**A3AE:** Lente de acrílico nº3 com anti-reflexo mantida no escuro

**A4BL:** Lente de acrílico nº4 com filtro azul exposta ao UVC

**A4BE:** Lente de acrílico nº4 com filtro azul mantida no escuro

**A5BL:** Lente de acrílico nº5 com filtro azul exposta ao UVC

**A5BE:** Lente de acrílico nº5 com filtro azul mantida no escuro

**A8BL:** Lente de acrílico nº8 com anti-reflexo exposta ao UVC

**A8BE:** Lente de acrílico nº8 com anti-reflexo mantida no escuro

**ASTM:** American Society for testing and materials

**C.D.O:** comprimento de onda

**CIELAB:** Diagrama de cores em espaço

**COVID-19:** coronavírus

**CR-39:** dietileno-glicol-bis(alilo-carbonato)

**DMRI:** Degeneração macular associada à idade

**E-SPF:** eye-sun protection factor (índice de proteção solar ocular)

**Fig.:** Figura

**km:** quilómetros

**LA1L:** Lente de acrílico nº1 com anti-risco exposta ao UVC

**LA1E:** Lente de acrílico nº1 com anti-risco mantida no escuro

**LA2L:** Lente de acrílico nº2 com anti-risco exposta ao UVC

**LA2E:** Lente de acrílico nº2 com anti-risco mantida no escuro

**LED:** Emissores de luz constituídos por díodos

**LP6L:** Lente de policarbonato n°6 com anti-risco exposta ao UVC

**LP6E:** Lente de policarbonato n°6 com anti-risco mantida no escuro

**mmHg:** milímetro de mercúrio

**nm:** nanômetros

**P7AL:** Lente de policarbonato n°7 com anti-reflexo exposta ao UVC

**P7AE:** Lente de policarbonato n°7 com anti-reflexo mantida no escuro

**P9BL:** Lente de policarbonato n°9 com filtro azul exposta ao UVC

**P9BE:** Lente de policarbonato n°9 com filtro azul mantida no escuro

**SI:** índice da Similaridade

**T (%):** transmitância em percentagem

**T0:** tempo 0

**T1:** tempo 1

**T2:** tempo 2

**T3:** tempo 3

**UV:** radiação ultravioleta

**UVA:** radiação ultravioleta tipo A

**UVB:** radiação ultravioleta tipo B

**UVC:** radiação ultravioleta tipo C

**UV's:** radiação ultravioletas

**V:** volt

**W:** watts

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.1</b> Representação das diferentes radiações presentes no espectro eletromagnético, onde podemos ver com mais detalhe a banda correspondente à luz visível. (Adaptado de Hunt et al. sem data) .....	1
<b>Figura 1.2</b> Anatomia do olho humano (adaptado Vecchia et. al 2007).....	5
<b>Figura 3.1</b> Transmitâncias obtidas para as lentes nº2 (%) das três medidas consecutivas da lente que irá ser exposta e a sua respetiva média, assim como a medida da lente que irá para o escuro. A linha azul-escuro corresponde à primeira medida, a linha verde corresponde à segunda medida e a linha a vermelho corresponde à terceira medida da lente que irá ser exposta. A linha laranja corresponde à única medida realizada da lente que irá para escuro. A linha a azul-claro a tracejado corresponde à média das três medições da lente que irá ser exposta .....	14
<b>Figura 3.2</b> Transmitâncias obtidas para as lentes nº4 (%) das três medidas consecutivas da lente que irá ser exposta e a sua respetiva média, assim como a medida da lente que irá para o escuro. A linha azul-escuro corresponde à primeira medida, a linha verde corresponde à segunda medida e a linha a vermelho corresponde à terceira medida da lente que irá ser exposta. A linha laranja corresponde à única medida realizada da lente que irá para escuro. A linha a azul-claro a tracejado corresponde à média das três medições da lente que irá ser exposta.....	14
<b>Figura 3.3</b> Transmitâncias obtidas para a lente nº6 (%) das três medidas consecutivas da lente irá ser exposta e a sua respetiva média, assim como a medida da lente que irá para o escuro. A linha azul-escuro corresponde à primeira medida, a linha verde corresponde à segunda medida e a linha a vermelho corresponde à terceira medida da lente que irá ser exposta. A linha laranja corresponde à única medida realizada da lente que irá para escuro. A linha a azul-claro a tracejado corresponde à média das três medições da lente que irá ser exposta.....	15
<b>Figura 3.4</b> Espectrofotómetro utilizado no estudo, AvaSpec-UJS2048CL-EVO, Avantes, Louisville, CO, USA. (imagem adaptada do fornecedor Avantes®) .....	16
<b>Figura 3.5</b> Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas no estudo, em unidades de número de fótons por unidade de área entre os 175nm e os 400nm. Observa-se situado na zona do UVC e dois picos menores na zona do UVB e UVA. ....	17

<b>Figura 3.6</b> Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas no estudo, em unidades de número de fótons por unidade de área entre os 175nm e 1175nm. Observa-se picos na zona do visível (entre os 410-430nm) que nos indica que as lâmpadas emitem luz quando ligadas.....	17
<b>Figura 3.7</b> Exterior da caixa UVC concebida para este estudo. ....	18
<b>Figura 3.8</b> Interior da caixa UVC concebida para este estudo.....	19
<b>Figura 3.9</b> Espectrofotómetro de bancada utilizado no estudo, UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR, da Shimadzu, Kyoto, Japão. ....	20
<b>Figura 3.10</b> Representação temporal esquemática do estudo realizado. ....	22
<b>Figura 4.1</b> Transmitância referente às lentes de acrílico nº1 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. ....	24
<b>Figura 4.2</b> Índice de amarelecimento referente às lentes nº1 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	25
<b>Figura 4.3</b> Índice de branqueamento referente às lentes nº1 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	25
<b>Figura 4.4</b> Referente às lentes nº1 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se uma pequena alteração na lente exposta, onde esta apresenta uma tonalidade mais ténue amarelo em comparação com a lente não exposta que se mantém transparente. ....	26
<b>Figura 4.5</b> Índice de similaridade (%) referente às lentes nº1; representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. ....	26
<b>Figura 4.6</b> Transmitância referente às lentes de acrílico nº2 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3	

semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. ....	28
<b>Figura 4.7</b> Índice de amarelecimento referente às lentes nº2 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	29
<b>Figura 4.8</b> Índice de branqueamento referente às lentes nº2 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	30
<b>Figura 4.9</b> Referente às lentes nº2 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se uma pequena alteração na lente exposta, onde esta apresenta uma tonalidade mais ténue amarelo em comparação com a lente não exposta que se mantém transparente. ....	30
<b>Figura 4.10</b> Índice de similaridade referente às lentes nº2 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. ....	31
<b>Figura 4.11</b> Transmitância referente às lentes de acrílico nº3 (%); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. ....	33
<b>Figura 4.12</b> Índice de amarelecimento referente às lentes nº3 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	34
<b>Figura 4.13</b> Índice de branqueamento referente às lentes nº3 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	34
<b>Figura 4.14</b> Referente às lentes nº3 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se um reflexo verde correspondente ao anti-reflexo em ambas as lentes e pequena alteração na lente exposta, onde esta apresenta uma tonalidade mais ténue amarelo. ....	35
<b>Figura 4.15</b> Índice de similaridade referente às lentes nº3 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à	

medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. .... 36

**Figura 4.16** Transmitância referente às lentes n°4 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. .... 37

**Figura 4.17** Índice de amarelecimento referente às lentes n°4 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 38

**Figura 4.18** Índice de branqueamento referente às lentes n°4 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 38

**Figura 4.19** Referente às lentes n°4 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes, mas na lente exposta podemos ver uma mancha central em comparação com a lente não exposta que se mantém intacta com o tempo. .... 39

**Figura 4.20** Índice de similaridade referente às lentes n°4 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. .... 39

**Figura 4.21** Transmitância referente às lentes n°5 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. .... 41

**Figura 4.22** Índice de amarelecimento referente às lentes n°5 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 42

**Figura 4.23** Índice de branqueamento referente às lentes n°5 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 42

**Figura 4.24** Referente às lentes n°5 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Estas têm um reflexo azul correspondente ao

filtro azul em ambas as lentes, mas na lente exposta podemos ver uma mancha central em comparação com a lente não exposta que se mantém intacta com o tempo. ....	43
<b>Figura 4.25</b> Índice de similaridade referente às lentes nº5 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. ....	43
<b>Figura 4.26</b> Transmitância referente às lentes nº8 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. ....	45
<b>Figura 4.27</b> Índice de amarelecimento referente às lentes nº8 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	45
<b>Figura 4.28</b> Índice de branqueamento referente às lentes nº8 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	46
<b>Figura 4.29</b> Referente às lentes nº8 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta, onde se mantêm intactas com o decorrer da exposição. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes. ....	46
<b>Figura 4.30</b> Índice de similaridade referente às lentes nº8 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. ....	47
<b>Figura 4.31</b> Transmitância referente às lentes nº6 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. ....	49
<b>Figura 4.32</b> Índice de amarelecimento referente às lentes nº6 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ...	50

**Figura 4.33** Índice de branqueamento referente às lentes nº6 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 50

**Figura 4.34** Referente às lentes nº6 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se uma alteração na lente exposta, onde apresenta uma tonalidade amarela em comparação com a lente não exposta que se mantém transparente..... 51

**Figura 4.35** Índice de similaridade referente às lentes nº6 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. .... 52

**Figura 4.36** Transmitância referente às lente nº7 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. .... 53

**Figura 4.37** Índice de amarelecimento referente às lentes nº7 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 54

**Figura 4.38** Índice de branqueamento referente às lentes nº7 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 54

**Figura 4.39** Referente às lentes nº7 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta, onde se mantêm intactas com o decorrer da exposição. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes. Na lente exposta podemos ver uma zona mais escura em redor da extremidade da lente me comparação com a lente não exposta que se mantêm intacta com o decorrer do estudo. .... 55

**Figura 4.40** Índice de similaridade referente às lentes nº7 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. .... 56

**Figura 4.41** Transmitância referente às lentes nº9 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à

medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro. .... 57

**Figura 4.42** Índice de amarelecimento referente às lentes nº9 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 58

**Figura 4.43** Índice de branqueamento referente às lentes nº9 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro. ... 58

**Figura 4.44** Referente à lente nº9 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes, mas, na lente exposta podemos ver uma mancha central em comparação com a lente não exposta que se mantém intacta com o tempo..... 59

**Figura 4.45** Índice de similaridade referente às lentes nº9 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração. .... 60

## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 3.1</b> Caracterização das lentes monofocais selecionadas para a exposição ao UVC e escuro com o respetivo tratamento, graduação e sua designação. ....	13
<b>Tabela 4.1</b> Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº1 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. ....	27
<b>Tabela 4.2</b> Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº2 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. ....	31
<b>Tabela 4.3</b> Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº3 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. ....	36
<b>Tabela 4.4</b> Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº4 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. ....	40
<b>Tabela 4.5</b> Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº5 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. ....	44

**Tabela 4.6** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº8 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. .... 47

**Tabela 4.7** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº6 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. .... 52

**Tabela 4.8** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente à lente nº6 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. .... 56

**Tabela 4.9** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº6 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada. .... 60

*“The definition of success is going from failure to failure without losing enthusiasm.”*

Winston Churchill

# 1. REVISÃO DA LITERATURA

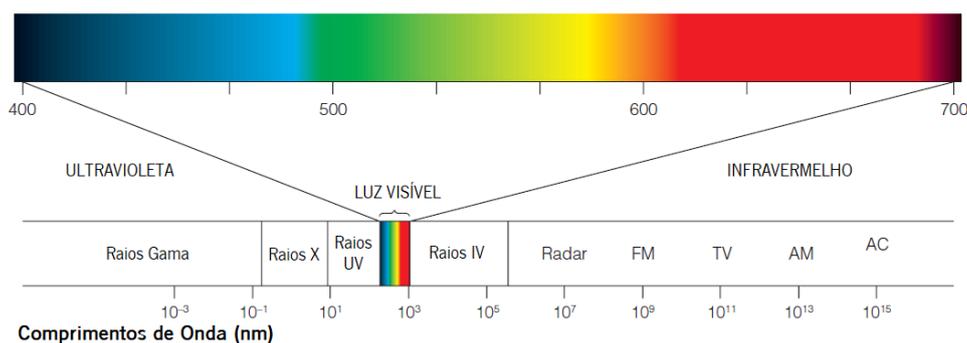
---

## 1.1 A Radiação Ultravioleta

### 1.1.1 O espectro eletromagnético

A radiação ultravioleta pode ser produzida através de um corpo incandescente do Sistema Solar ou artificialmente através de um gás que produz corrente elétrica (Diffey 2002). Esta localiza-se no espectro eletromagnético entre os raios X e a luz visível, que é subdividida em três tipos de radiação: a UVC (situada entre os 100-280nm) que é absorvida por completo pela camada de ozono, a UVB (situada os 280nm-315nm) que cerca de 95% é absorvida pela camada de ozono e apenas 5% desta atinge a superfície terrestre e por último a UVA (situada entre os 315-400nm) é responsável pela totalidade da superfície terrestre, sendo uma pequena parte filtrada pela camada de ozono. (Diffey 1991)

A camada de ozono resulta de reações fotoquímicas resultantes da radiação ultravioleta, em que o oxigênio ( $O_2$ ) se decompõe em moléculas simples ( $O$ ) para depois formar o ozono ( $O_3$ ). Esta camada situa-se na estratosfera (entre os 20 e 25 km de altitude) sendo responsável pela absorção de radiação ultravioleta provinda do sistema solar e, pela radiação que é refletida pela superfície terrestre. (Petrescu et al. 2018)



**Figura 1.1** Representação das diferentes radiações presentes no espectro eletromagnético, onde podemos ver com mais detalhe a banda correspondente à luz visível. (Adaptado de Hunt et al. sem data)

### **1.1.2 Unidades e quantidades usadas para medição de radiação**

A radiometria é a ciência que mede a energia vinda de campos eletromagnéticos e determina como essa energia é transferida de uma fonte para um detector. A potência de uma energia radiante consiste na taxa de energia que sai de uma fonte ótica, normalmente é expressa em watts (W). (Bass e Optical Society of America 1995; Vecchia, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, e Internationale Arbeitsorganisation 2007)

A Energia radiante consiste na energia que é emitida, transferida e recebida através desses campos eletromagnéticos, normalmente é expressa em joule (J). (Vecchia et al. 2007)

Na exposição humana à radiação podemos referir dois termos: a irradiância que consiste na taxa de exposição de superfície em  $Wm^2$  e a exposição radiante que consiste na energia radiante acumulada durante um intervalo de tempo por unidade de área  $Jm^2$ . (Vecchia et al. 2007)

### **1.1.3 Variações da Radiação Ultravioleta**

A qualidade e quantidade da radiação ultravioleta depende da energia solar e de propriedades de transmissão da atmosfera tais como (Diffey 1991, 2002):

- a hora do dia, em que 75% da radiação UV é mais intensa entre as 9h e as 15h;
- as nuvens que permitem uma redução da intensidade solar e atenuam a radiação infravermelha devido a uma maior absorção desta radiação pelo vapor de água que as constitui do que a radiação UV e, desta forma faz com que a sensação de calor seja diminuída aumentando o risco de sobre-exposição;
- a refletividade da superfície terrestre em (%), por exemplo, numa superfície normal pode refletir cerca de 10% de UV, em areia reflete de 15 a 30%, na neve reflete 90% da mesma radiação e, em rios reflete 5%. No caso de o céu estiver nublado, superfície terrestre pode chegar aos 20% de reflexão, em céu “limpo” e, em mares reflete 20%. No geral, a radiação UV consegue alcançar a água muito facilmente quer em mar ou rio e, oferecer pouca proteção contra queimaduras solares;
- a altitude em que lugares abaixo do nível do mar têm uma diminuição de radiação UVB em relação aos lugares mais próximos deste;

- a órbita elíptica da terra pois, no inverno está mais afastada do sol no hemisfério norte e mais perto no verão;
- a poluição e as alterações climáticas.

A poluição, referida acima, tem tido um papel muito importante, principalmente com o aumento de gases de estufa, pois é o principal fator para a diminuição da camada de ozono e conseqüentemente a passagem de radiação UVB com maior intensidade que chega à superfície terrestre. A radiação UVC é absorvida na sua totalidade pelo ozono.

## **1.2 A Radiação UVC**

### **1.2.1 O uso da radiação UVC em tempos de COVID-19**

A radiação UVC tem sido usada para a esterilização da água em unidades de tratamento de água, de forma a reduzir a utilização de químicos, na higienização de superfícies e instrumentos utilizados pela indústria alimentar, em hospitais de vários países na esterilização de materiais cirúrgicos, bem como, as salas de cirurgia e em unidades de tratamentos de ar. (Buonanno et al. 2017; Kim e Kang 2020; Lindblad et al. 2020). Devido à disseminação de COVID-19 a nível global houve uma maior procura sistemas que contêm UVC. Devido a essa situação, houve um aumento da produção aparelhos que possuem este tipo de radiação para esterilização de grandes superfícies e ar, bem como, para uso doméstico, como por exemplo na higienização telemóveis, chaves ou outros objetos pessoais de pequeno porte. (Raeiszadeh e Adeli 2020)

A COVID-19 trata-se de uma doença de alto contágio que afeta principalmente as vias respiratórias e, pode ser transmitida de pessoa para pessoa através das gotículas que são expelidas para o ambiente, que podem percorrer vários metros e afetar as várias pessoas em redor, ou através do toque no nariz, olhos e boca ou, em superfícies contaminadas pelo vírus, pois este pode alojar-se em vários tipos de superfícies por um longo período de tempo que pode durar horas a vários dias. Os pacientes afetados com o vírus (SARS-COV-2) podem ser assintomáticos ou até ter sintomas mais graves que leva a uma insuficiência respiratória e falência de outros órgãos. (Raeiszadeh e Adeli 2020, 2020)

A UVC tem desempenhado um papel de maior importância na disseminação desta doença pois, como possui um alto poder germicida entre os 200 e 280nm (sendo mais utilizada a radiação nos 254nm),

é utilizada através do uso de aparelhos incorporados com LED de pequenas a maiores dimensões para a desinfestação do ar, superfícies ou objetos. A UVC tem uma eficácia de superior a 90% em vários tipos de bactérias, vírus e fungos, que atuam sobre o seu DNA do microrganismo, impedindo a sua transcrição e replicação conduzindo à sua morte celular, dependendo do tipo de agente e o ambiente que o envolve. (Buonanno et al. 2017)

### **1.2.2 Comparação entre lâmpadas de vapor de mercúrio e lâmpadas LED**

Inicialmente utilizavam-se as lâmpadas de vapor de mercúrio, mas rapidamente foram substituídas pelas lâmpadas LED, devido ao acordo realizado em 2013 pela Convenção de Minamata onde se propuseram várias medidas, de forma a reduzir e controlar as fontes de poluição por mercúrio, e por consequência reduzir os impactos ambientais e a nível de saúde pública. Estas medidas começaram a ser implementadas a partir de 16 agosto de 2017. (Back et al. 2020)

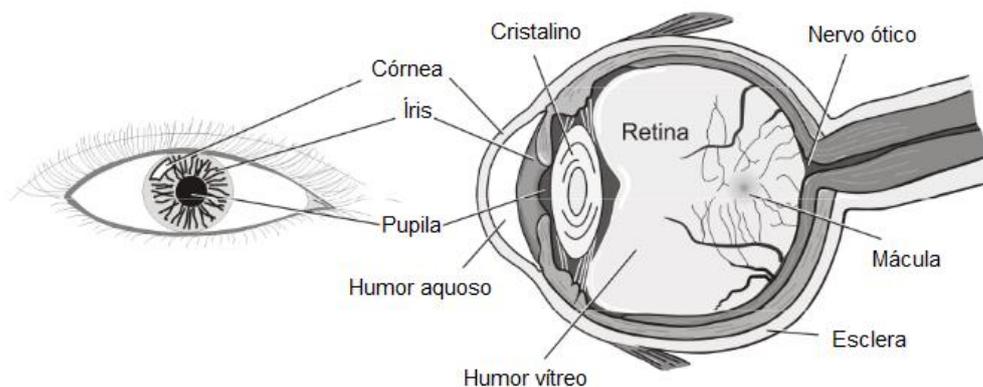
As lâmpadas de vapor de mercúrio emitem radiação, aproximadamente nos 253,7 nm, são compostas por quartzo que são uma grande fonte de libertação de mercúrio tóxico, consomem uma grande quantidade de energia elétrica, têm uma vida útil curta e uma maior tensão quando está em movimento. Isto deve-se aos eletrões térmicos que são produzidos por um campo elétrico que são aplicados a um eletrodo. Os eletrões de mercúrio são excitados para produzir eletrões de térmicos que colidem com outros eletrões de mercúrio. Os eletrões de mercúrio excitados libertam energia sobre a forma de radiação ultravioleta durante o processo de estabilização, posteriormente o pó de fosforo absorve a radiação ultravioleta libertada e os eletrões constituídos no pó ficam excitados, produzindo vários comprimentos de onda de radiação ultravioleta, originando uma luz fluorescente. (Back et al. 2020)

O sistema de irradiação de UVC com LED consiste numa lâmpada de diodo que utiliza materiais semicondutores, de forma a criar uma junção designada P-N, constituída por dois tipos de materiais semicondutores em cada lado (P e N). Com a corrente elétrica há uma difusão de eletrões do lado N que migram para a o lado P e, as lacunas do lado P migram para o lado N havendo uma difusão dos dois que por consequência surge uma acumulação de carga negativa no lado P e carga positiva no lado N.

Os materiais mais usados para este tipo de sistema são o nitreto tipo III, o nitreto de gálio (GaN) com ação entre os 365 nm, o nitreto de alumínio (AlN) com uma ação entre os 210nm e o nitreto de gálio com alumínio (AlGaN) com uma ação mais vasta entre os 210 e os 365 nm. (Song, Mohseni, e Taghipour 2016) Em comparação com as lâmpadas de mercúrio, este tipo de sistema tem diversas vantagens tais como, um tamanho compacto, fácil de transportar, robusto de baixo consumo energético, maior vida útil, não necessita de um tempo prévio de aquecimento e mantém a sua temperatura constante, ou seja, não é sensível a variações de temperatura. (Kim e Kang 2020; Song et al. 2016)

### 1.2.3 Desvantagens da UVC

Como foi referido acima, a UVC é produzida essencialmente por fontes artificiais tais como, máquinas de soldar, as lâmpadas de vapor de mercúrio e o sistema irradiação com LED. Neste tipo de fontes temos de ter o máximo de cuidado, de forma, a proteger os nossos olhos e pele da sua exposição prolongada. Quando essa situação acontece, a nível da pele, a UVC atinge as camadas mais externas da pele, sem atingir as camadas mais profundas, e nesta podem surgir eritemas que são semelhantes a queimaduras solar, no entanto pode ser mal diagnosticada e ser confundida com uma dermatite. (Buonanno et al. 2017; Internationale Beleuchtungskommission 2010)



**Figura 1.2** Anatomia do olho humano (adaptado Vecchia et. al 2007)

A nível do olho humano a radiação UV pode atingir com mais incidência as pálpebras, córnea, cristalino e retina, sendo que as pálpebras desempenham um papel de proteção ao olho. (Vecchia et al.

2007) A radiação UVC pode afetar a córnea, o sintoma mais comum é uma sensação de areia dolorosa que corresponde a uma fotoqueratite de exposição, cujo sintoma apenas surge 24 horas estendendo -se até 48 horas depois da exposição e a sua recuperação pode demorar com um acréscimo de mais 24 horas. A nível da conjuntiva há uma irritação designada de fotoqueratite, que causa um dano desta camada e posteriormente, a morte celular das células epiteliais que são eliminadas e substituídas por células subjacentes. (Buonanno et al. 2017; Internationale Beleuchtungskommission 2010; Vecchia et al. 2007)

Em relação às lâmpadas de mercúrio, além de serem tóxicas como foi já referido, também poderão emitir ozono em pequenas quantidades, principalmente as de alto espectro (cerca dos 308nm), tem a capacidade de produzir ozono suficiente para se ser sentido e provocar danos nos pulmões de forma prolongada a crónica. (Nardell et al. sem data)

Em certos materiais como o plástico, a sua exposição prolongada poderá o descolar, tornando-o mais quebradiço e em condições mais extremas incendiar tornando-se perigoso, em fibras de plásticas elas irão se degradar e desintegrarem-se em pó. No vidro este é dos únicos materiais resistentes à radiação ultravioleta. (Nardell et al. sem data)

Em algumas superfícies e materiais também poderá haver uma descoloração devido à exposição continuada de UV, por exemplo as tintas poderão ficar mais castanhas e tecidos usados em cortinas por exemplo podem perder a sua tonalidade. (Nardell et al. sem data)

### **1.3 Lentes Oftálmicas**

As lentes oftálmicas são componentes óticos que ajudam a colocar uma imagem nítida na retina de forma a corrigir erros refrativos, tais como, a miopia, a hipermetropia, astigmatismo e presbiopia. Existem lentes oftálmicas compostas por diversos materiais, tais como, o acrílico (o mais conhecido como CR-39), o policarbonato e o vidro, sendo que este último, cada vez mais está em desuso devido ao falta de segurança para o utilizador. Para cada um destes materiais há um determinado índice de refração que indica a velocidade da luz num meio transparente comparativamente à luz no vácuo. Associado a este, está o número de Abbe que determina a dispersão cromática da luz na lente, ou seja, indica-nos a qualidade ótica da lente. Assim quanto maior o índice de refração, menor o número de Abbe, diminuído a qualidade ótica da lente. (Essilor europe academy 2010)

As lentes orgânicas organizam-se em 4 grupos:

**Cr-39** (ou dietilenoglicol bis): foi obtido na 39<sup>o</sup> resina descoberta pela *Columbia Corporation* é um material polimerizado que endurece com o auxílio do calor e um catalisador. É altamente resistente à quebra em comparação com o vidro, pois consegue ser 20 vezes mais resistente, contém uma leveza maior, consegue ser resistente a agentes de limpeza abrasivos (como álcool e acetona) e possui um índice de refração de 1.498 e um número de Abbe de 58-59, ou seja, possui uma boa qualidade ótica. No entanto possui uma dureza baixa sendo facilmente riscável. (Büyükyıldız 2012; Ozdemir et al. 2016)

**Plásticos de alto índice:** são produzidos por um monômero de vinil com vários aditivos e substâncias como por exemplo o bromo, o cloro, que fazem com que aumente o seu poder refrativo. Estes têm um índice refração de 1.6 e um número de Abbe de 41. Além destes existem lentes com um índice de refração 1.67 e número de Abbe de 31, com qualidade ótica mais baixa, compostos por um material designado MR7 e MR10. (Büyükyıldız 2012)

As lentes com índice 1.74 têm um número de Abbe de 32 e são compostas por um material designado de MR174. (Büyükyıldız 2012)

Os materiais MR que foi abordado acima são materiais à base de tioretano A da série M são monômeros de polimerização que são utilizados em lentes de alto índice. (Büyükyıldız 2012)

**Policarbonato:** pertence ao grupo dos termoplásticos, tem um peso relativamente leve e apresenta uma resistência superior ao impacto em comparação com o CR-39. No entanto é vulnerável a produtos de limpeza, sendo facilmente danificada (Büyükyıldız 2012). Apresenta um índice de refração de 1.59 e um número de Abbe 31, ou seja, com baixa qualidade ótica. (Büyükyıldız 2012)

**Trivex:** combina os benefícios do CR39 e do policarbonato, sendo bastante resistente à quebra e impacto e resistente aos produtos de limpeza. Este material apresenta um índice de refração de 1.53 e um número de Abbe de 45. (Büyükyıldız 2012).

Existem vários tipos de lentes oftálmicas, mas as mais utilizadas são as lentes monofocais e lentes progressivas.

As **lentes monofocais** contêm em todos os seus meridianos a mesma potência. (Essilor Academy, 2010)

As **lentes progressivas** são constituídas por um campo de visão em que na parte superior da lente corresponde à visão de longe e a parte inferior à visão de perto, ou seja, é um corredor em que a potência aumenta ao longo do corredor. Nas laterais deste tipo de lente oftálmica existem aberrações induzidas, com alto astigmatismo que aumenta perpendicularmente à medida que a potência de perto aumenta. (Essilor Academy, 2006)

Em lentes oftálmicas são incorporados diversos tratamentos nas faces externas e internas das lentes para uma melhor utilização por parte do utilizador, de entre os vários existentes, os mais utilizados são:

- **Anti-risco:** é um endurecimento que se coloca nas interfaces lente de forma que esta não seja facilmente riscada por fatores externos e também ajuda na conservação do anti-reflexo. (Essilor Academy, 2010) A espessura deste revestimento vai até 2 micron, tornando o mesmo até 6 vezes mais resistente (Büyükyıldız 2012) A sua principal desvantagem é criar muitas imagens “fantasma” produzidas pelas reflexões de luzes artificiais e outras imagens em redor, podendo criar algum desconforto ao utilizador (Büyükyıldız 2012);
- **Anti-reflexo:** tem a principal função de eliminar tudo o que é luz artificial ou outro tipo de imagens “fantasma” que refletem na lente, tornando a lente mais transparente e confortável ao usuário. Também têm a capacidade de aumentar o contraste das imagens e diminuir o encadeamento na visão noturna. (Essilor Academy, 2010) Este revestimento está situado entre os 550nm no espectro eletromagnético, e por isso possui uma cor residual verde-amarelo (Büyükyıldız 2012);
- **Filtro de bloqueio de luz azul:** comercialmente sua principal função é proteger os olhos da luz azul emitida essencialmente por aparelhos digitais, tais como computador, tablets ou telemóveis que emitem uma luz branca devido à tecnologia LED. (Alzahrani, Khoo, e Roy 2020)

A luz azul tem um pico mais nocivo entre os 400-460nm, mas quando a exposição é excessiva existe uma constrição pupilar, há uma alteração nas proteínas do cristalino que pode evoluir para catarata e uma acumulação de lipofuscina estimulada pela luz

azul na retina, tornando-a mais vulnerável e, como consequência desse processo há uma morte das células epiteliais. Com o tempo pode causar a degeneração macular associada à idade. (Carlson 2019)

Na mácula existe um pigmento macular com um pico de absorção de 460nm, constituído por luteína, zeaxantina e xantofila, que desempenha o papel de filtro ótico, onde filtra a luz azul e, dessa forma restringe que haja uma lesão retiniana. (Beatty et al. 1999)

A nível do ciclo circadiano também poderá ser afetado quando a sua exposição é excessiva devido à há supressão de melatonina que pode afetar a nossa condição mental e física.

Num estudo mais recente foi descoberto um terceiro fotorreceptor nas células ganglionares, além dos cones e bastonetes já existentes, que é mais sensível à luz azul designado de ipRGCC. Este fotorreceptor tem a função de diferenciar o dia da noite, ajuda na sincronização do ciclo circadiano, ajuda na regulação de melanopsina, no reflexo pupilar *performance* cognitiva, humor, memória e temperatura corporal. (Leung, Li, e Kee 2017)

No entanto, a luz azul também é benéfica entre os 470-500nm para um normal funcionamento do ciclo circadiano, e para nos mantermos despertos durante o dia devido à inibição de melatonina durante o dia.

Segundo o estudo de *Leung et al. 2017*, as lentes oftálmicas com filtro azul não têm impacto no sono em comparação com as lentes oftálmicas com anti-reflexo, dão uma proteção da luz azul entre os 430nm, reduzem cerca de 10.6%-23.6% da fototoxicidade a nível dos fotorreceptores, atuam de forma leve a sensibilidade escotópica (visão noturna) e supressão de melatonina. (Leung et al. 2017)

No artigo de *Baldasso et al. 2020*, conclui-se que as lentes oftálmicas com este filtro não têm interferência a nível da visão da cor, pois nos três testes realizados, o Cambridge colour test, o CAD e o teste das 100 tonalidades de Farnsworth-Munsell, não houve diferenças significativas. (Baldasso et al. 2021)

## **2. HIPÓTESE E OBJETIVO DE ESTUDO**

---

### **2.1. Formulação do Problema**

A radiação UVC é usada como sistema desinfestação, no entanto não se conhece o seu efeito quando usada durante um longo de um período de tempo, ou seja, qual a sua ação e impacto em determinados materiais. Este estudo surge para compreendermos qual o efeito da radiação UVC quando usada de forma constante em materiais óticos, de forma a avaliar a sua integridade física.

Durante o estudo ir-se-á avaliar o efeito radiação UVC através da medição da transmitância de lentes oftálmicas com diferentes tratamentos tais como, anti-risco, anti-reflexo e lentes com filtro de luz azul, divididas em dois grupos, em que um grupo irá ser exposto à radiação UVC e o outro grupo não será exposto, durante um período de tempo. O objetivo é avaliar a transparência das lentes expostas e das lentes mantidas no escuro, ao longo do tempo, para percebermos qual o efeito da UVC sobre as lentes oftálmicas utilizadas.

A duração do estudo será de quatro semanas.

### **2.2. Hipóteses**

Durante este estudo pretende-se responder às seguintes hipóteses:

- Há diferenças na análise de transmissibilidade entre as lentes oftálmicas expostas e não expostas, havendo uma diminuição da mesma devido à absorção da radiação UVC no grupo exposto com o passar do tempo?
- As lentes oftálmicas perdem transparência com o tempo de exposição, tornando o material menos transparente e mais amarelo?

### **2.3. Objetivo**

O objetivo deste estudo será avaliar o impacto da radiação UVC, quando utilizada de forma constante, em lentes de oftálmicas e perceber se estas oferecem alguma proteção aquando da sua exposição.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

---

O estudo será realizado entre o Laboratório de Ciências da Cor e o Laboratório de Investigação em Ótica da Visão e Instrumentação Oftálmica, no Centro de Física da Universidade do Minho, onde todos os equipamentos utilizados encontravam-se disponíveis nos respetivos locais, sob a supervisão do orientador, o Professor Doutor João Manuel Maciel Linhares.

#### **3.1. Tipo de estudo**

Será um estudo experimental e prospetivo, em que teremos dois grupos: um de controlo não exposto e um de estudo exposto, onde serão analisadas transmitâncias por parte do investigador. Este terá intervenção durante o estudo na colocação das lentes oftálmicas no equipamento utilizado. Neste estudo não serão usados participantes humanos.

#### **3.2. Amostra**

Antes da realização da experiência foram selecionadas lentes oftálmicas monofocais de dois tipos de materiais tais como, o CR-39 e policarbonato, compostas por anti-risco, anti-reflexo e filtro de bloqueio luz azul, cujas especificações se encontram abaixo representadas na tabela 3.1. Posteriormente, as lentes foram numeradas, de 1 a 9, para facilitar aquando da medição da transmitância. Foram utilizadas designações, onde o primeiro caractere é uma letra que significa o tipo de material, o segundo corresponde à numeração, de forma ordenada, da lente, o terceiro o tipo de revestimento que é composta a lente e o quarto se a lente é que irá ser exposta ao UVC ou a lente mantida no escuro. Como por exemplo, A1L que significa lente de acrílico nº1 que será exposta à luz (UVC) ou A1E que significa lente de acrílico nº1 que será mantida no escuro. As designações como A3AL significa lente de acrílico nº3 composta por anti-reflexo exposta à luz ou A4BL significa lente de acrílico nº4 *blue* (uma designação utilizada para identificar o filtro azul) exposta à luz. Neste estudo o critério de exclusão foram as lentes progressivas devido à sua composição, ou seja, por ser uma lente constituída por um corredor com graduações crescente e aberrações nas laterais, o que implicava diversos erros nas medições. Também não foram utilizadas lentes monofocais em vidro, pois trata-se de lentes que estão cada vez mais em desuso, devido à pouca segurança que trazem ao utilizador. (Jez et al. 2018)

As lentes monofocais foram selecionadas com base nos recursos que havia e, por esse motivo a maior parte das lentes utilizadas, o experimentador não sabe qual é a marca e índice de refração das mesmas. Sabe-se que cada lente possui tratamentos cumulativos, ou seja, a lente composta por anti-reflexo, não é somente constituída por este tratamento também possui anti-risco devido ao seu processo de fabricação. Assim como, a lente com filtro azul é constituída por anti-risco e anti-reflexo. Não sabemos se estas características irão ter impacto no resultado obtido.

Em resumo para este estudo temos,

- Seis pares de lentes oftálmicas monofocais em CR-39:
  - ✓ Dois pares com tratamento anti-risco (lentes nº 1 e 2);
  - ✓ Um par com tratamento anti-reflexo (lente nº 3);
  - ✓ Três pares com filtro de bloqueio luz azul (lentes nº 4, 5 e 8).
  
- Três pares de lentes oftálmicas monofocais em policarbonato:
  - ✓ Um par com tratamento anti-risco (lente nº 6);
  - ✓ um par com tratamento anti-reflexo (lente nº 7);
  - ✓ Um par como filtro de bloqueio de luz azul (lente nº 9).

Neste estudo havia sempre um par de cada lente oftálmica pois, uma lente teria de ser exposta ao UVC e outra seria mantida no escuro, no mesmo intervalo de tempo, para posteriormente ser feita a comparação entre as duas lentes. Antes da exposição ao UVC foram realizadas medidas de cada lente designado de T0, bem como após 7, 14 e 21 dias após exposição, designado de T1, T2 e T3.

No decorrer do estudo foram realizados registos fotográficos das lentes expostas e mantidas no escuro, de forma a analisar as diferenças entre duas lentes, ao longo do tempo, no tempo T0, T1, T2 e T3.

**Tabela 3.1** Caracterização das lentes monofocais selecionadas para a exposição ao UVC e escuro com o respetivo tratamento, graduação e sua designação.

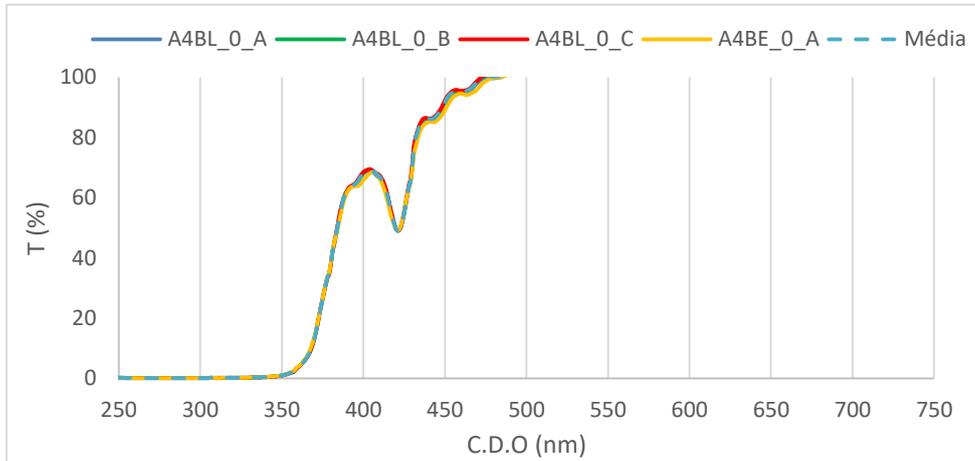
Material	Tratamento	Graduação		Designação de lente	
		Luz	Escuro	Luz	Escuro
CR-39	Anti-risco	-2.00	-2.00	LA1L	LA1E
CR-39	Anti-risco	Neutro	Neutro	LA2L	LA2E
CR-39	Anti-reflexo	Neutro	Neutro	A3AL	A3AE
CR-39	Filtro Azul	+1.00 -0.25	+1.00 -0.50	A4BL	A4BE
CR-39	Filtro Azul	+0.25 -0.25	+0.25 -0.25	A5BL	A5BE
Policarbonato	Anti-risco	Neutro	Neutro	LP6L	LP6E
Policarbonato	Anti-reflexo	+1.00 -0.50	+0.75 -0.75	P7AL	P7AE
CR-39	Filtro Azul	Neutro	Neutro	A8BL	A8BE
Policarbonato	Filtro Azul	+1.00 -0.50	+1.25 -0.50	P9BL	P9BE

### 3.3. Teste da variabilidade na repetibilidade da medição

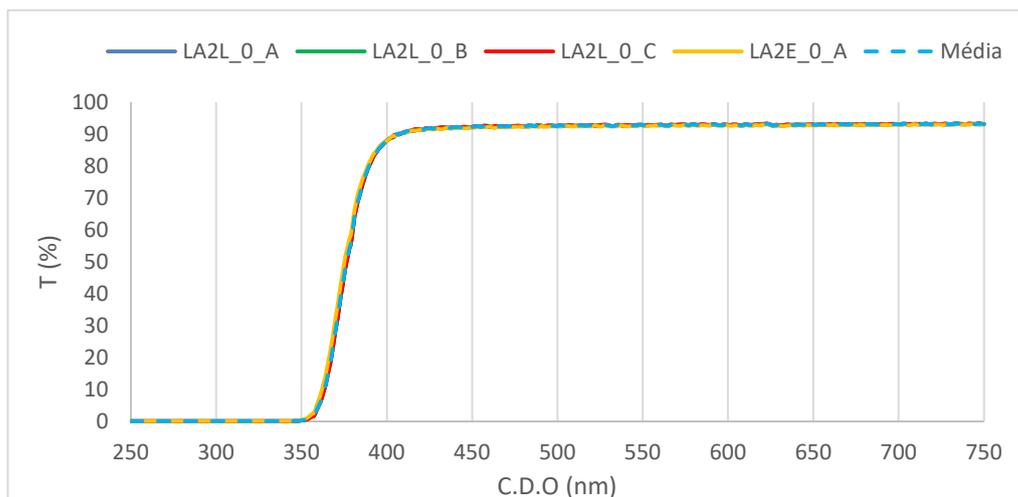
Antes de iniciar o estudo realizaram-se um conjunto de três medições na amostra que iria ser exposta à UVC e realizou-se uma medição no escuro, pois assumiu-se que esta seria igual à exposta e apenas se realizou uma medição. Analisando a tabela 3.1 podemos ver que algumas lentes diferem ligeiramente na sua graduação entre a lente exposta e a que irá ser mantida no escuro. Como essa diferença é ligeira, não é de esperar que haja diferenças associadas às diferentes graduações.

Esta escolha foi realizada de forma aleatória com três amostras diferentes. Foi medida a transmissibilidade dessas amostras, de forma a compreender se ao efetuar diferentes medidas das várias amostras se influenciava no resultado obtido. Durante estas medições a amostra era colocada e retirada do suporte sempre na mesma direção, e era segurada pelo examinador pelas extremidades das lentes, de forma a não colocar impressões digitais na lente mantendo-a o mais limpa possível. Analisando os gráficos 3.1, 3.2 e 3.3 verificam-se que as três medidas realizadas são muito semelhantes e, ao calcular a média ou realizar só uma medida obtemos um resultado muito semelhante sem haver uma diferença muito díspar entre elas. Assim, por se tratar de uma medida estática, a realização das medidas seguintes, apenas se utilizou uma medida para a lente exposta e

mantida no escuro. A transmitância superior a 100% registada na Figura 3.2, à qual não foi atribuída significância física, será avaliada e descrita em trabalhos futuros.

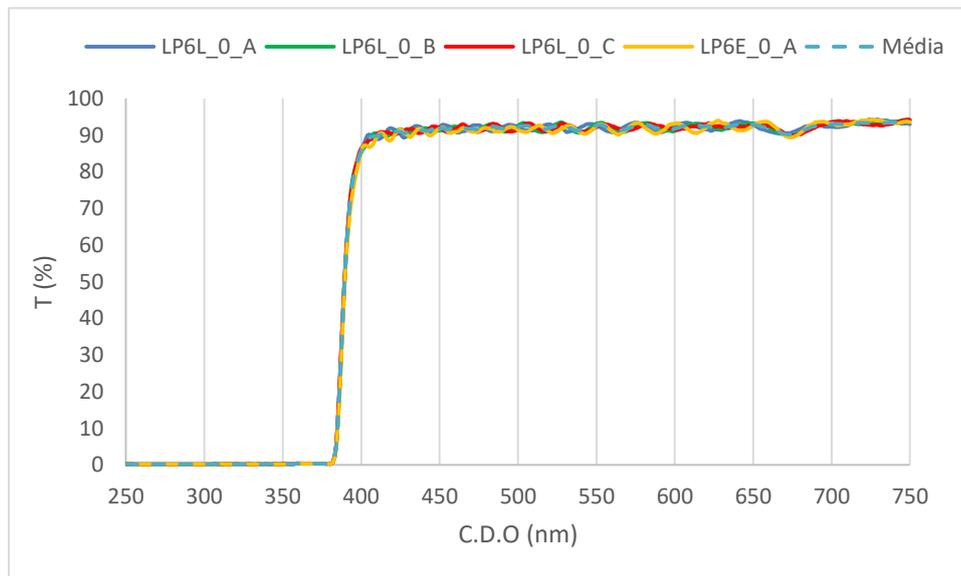


**Figura 3.1** Transmitâncias obtidas para as lentes n°2 (%) das três medidas consecutivas da lente que irá ser exposta e a sua respetiva média, assim como a medida da lente que irá para o escuro. A linha azul-escuro corresponde à primeira medida, a linha verde corresponde à segunda medida e a linha a vermelho corresponde à terceira medida da lente que irá ser exposta. A linha laranja corresponde à única medida realizada da lente que irá para escuro. A linha a azul-claro a tracejado corresponde à média das três medições da lente que irá ser exposta



**Figura 3.2** Transmitâncias obtidas para as lentes n°4 (%) das três medidas consecutivas da lente que irá ser exposta e a sua respetiva média, assim como a medida da lente que irá para o escuro. A linha azul-escuro corresponde à primeira medida, a linha verde corresponde à segunda medida e a linha a

vermelho corresponde à terceira medida da lente que irá ser exposta. A linha laranja corresponde à única medida realizada da lente que irá para escuro. A linha azul-claro a tracejado corresponde à média das três medições da lente que irá ser exposta.



**Figura 3.3** Transmitâncias obtidas para a lente nº6 (%) das três medidas consecutivas da lente irá ser exposta e a sua respetiva média, assim como a medida da lente que irá para o escuro. A linha azul-escuro corresponde à primeira medida, a linha verde corresponde à segunda medida e a linha a vermelho corresponde à terceira medida da lente que irá ser exposta. A linha laranja corresponde à única medida realizada da lente que irá para escuro. A linha azul-claro a tracejado corresponde à média das três medições da lente que irá ser exposta.

### 3.4. Procedimento experimental

#### 3.4.1 Espectrofotómetro portátil

Antes de colocarmos as lentes oftálmicas na caixa foi medida a quantidade de fótons emitidas pelas lâmpadas contidas na caixa, com esta vazia, através do uso do espectrofotómetro portátil, o AvaSpec-ULS2048CL-EVO, Avantes, Louisville, CO, USA.

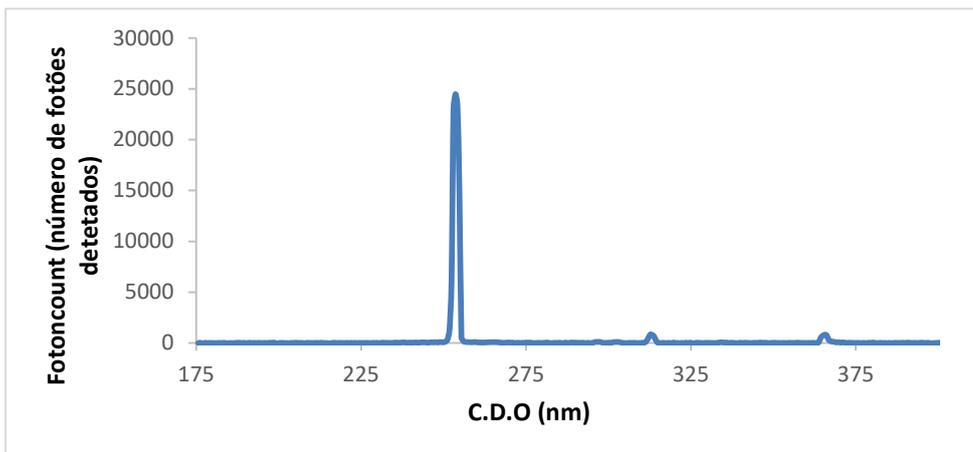


**Figura 3.4** Espectrofotómetro utilizado no estudo, AvaSpec-Uls2048CL-EVO, Avantes, Lousville, CO, USA. (imagem adaptada do fornecedor Avantes®)

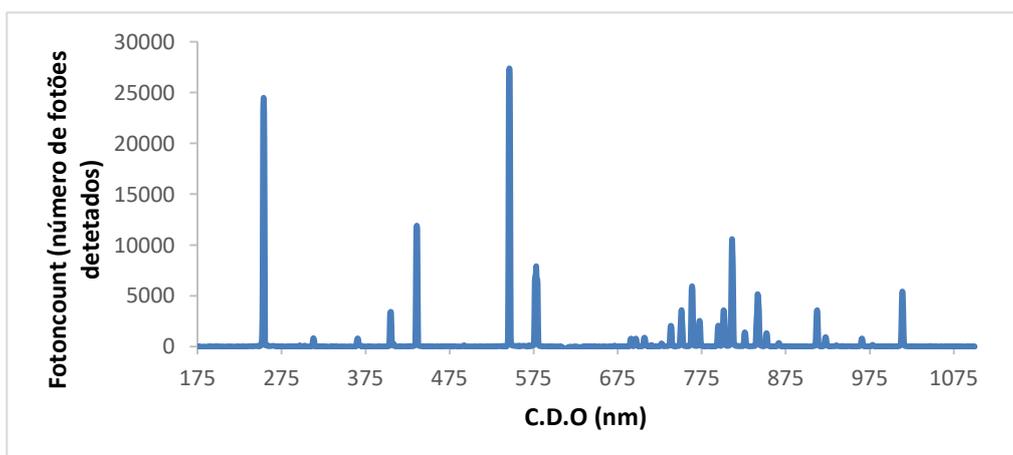
O espectrofotómetro portátil consiste num aparelho que mede a quantidade de fotões emitidos pelas lâmpadas UVC contidas na caixa. Este tipo de aparelho tem a funcionalidade de contar o número fotões que são emitidos nas zonas do ultravioleta, neste caso pelas duas lâmpadas utilizadas. Este possui um detetor que produz um sinal analógico proporcional ao número de fotões, ou seja, emite um único sinal cada vez que é detetado um fotão. (Eisaman et al. 2011; Shaw et al. 2009) .

Através do espectrofotómetro portátil (AvaSpec-Uls2048CL-EVO), Avantes, obtivemos o gráfico abaixo (fig.3.6.), que nos indica que se trata de uma energia monocromática com picos uniformes, onde temos um deles com um pico máximo nos 253,6nm que significa que as lâmpadas emitem UVC, posteriormente temos dois picos entre os 410-430nm que emitem na zona do visível (situada no azul) onde nos indica que as lâmpadas são visíveis quando ligadas, mais dois picos entre os 550-560nm na zona do visível do verde, e por último temos vários picos na zona dos infravermelhos (cerca de 800-1000nm) que nos indica que estas emitem calor.

No gráfico da figura 3.5 vemos o espectro das lâmpadas UVC utilizadas no estudo mais focalizado na zona do UV, onde se observa um espectro monocromático com um pico, como referido acima, que emite UVC e nele também podemos ver que emite algum UVB (aproximadamente 312nm) e UVA (aproximadamente 366nm), mas em pequenas quantidades de energia.



**Figura 3.5** Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas no estudo, em unidades de número de fótons por unidade de área entre os 175nm e os 400nm. Observa-se situado na zona do UVC e dois picos menores na zona do UVB e UVA.



**Figura 3.6** Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas no estudo, em unidades de número de fótons por unidade de área entre os 175nm e 1175nm. Observa-se picos na zona do visível (entre os 410-430nm) que nos indica que as lâmpadas emitem luz quando ligadas.

### 3.4.2 Caixa com lâmpadas UVC incorporadas

A caixa foi concebida para este estudo, sendo constituída por madeira no seu exterior e interior, tem incorporada duas lâmpadas, na parte superior, UVC da PHILIPS® do modelo TUV 15W SLV/25 de

15 W de potência, com uma corrente de 0.335A e uma tensão de 55V de potência. Estas lâmpadas utilizadas no seu interior são constituídas por mercúrio de 2mmHg e possuem uma potência de 4.9 W para a radiação UVC. Estas lâmpadas contêm extremidades duplas que emitem de forma constante até 9000h de vida útil, segundo informações do fabricante e são utilizadas para a desinfecção e esterilização de superfícies, objetos, ar e água. (Philips, 2022)

A caixa possui um sistema elétrico onde se pode encontrar um botão na parte exterior que faz parte de um mecanismo de segurança, onde podemos ligar e desligar as lâmpadas, quando esta está fechada, assim quando as mesmas estão em funcionamento o botão emite luz. A porta de abertura da caixa também funciona por um mecanismo de segurança, em que no momento em que se abre a porta, a caixa desliga-se automaticamente, além disso também é constituída por umas lâmpadas de uso doméstico para termos luz na caixa e sabermos onde estamos a colocar as lentes, pois esta é escura por dentro.

Por segurança a caixa esteve ligada a um temporizador para esta funcionar entre as 8 horas da manhã até as 19 horas, ou seja, 11 horas diárias de funcionamento todos os dias durante o período de estudo que foi um mês.



**Figura 3.7** Exterior da caixa UVC concebida para este estudo.



**Figura 3.8** Interior da caixa UVC concebida para este estudo.

Posteriormente, as lentes oftálmicas serão expostas ao UVC e as lentes não expostas estarão num local seguro num período de quatro semanas. Será medida a transmitância da lente exposta e da lente mantida no escuro, uma vez por semana através do uso do espectrofotómetro do modelo UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR, da Shimadzu, Kyoto, Japão, em que serão analisadas as medidas de transmitância correspondentes de cada amostra. A espectrofotometria será medida entre os comprimentos de onda de 250nm e os 750nm.

### **3.4.3 Espectrofotómetro UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR**

O espectrofotómetro utilizado trata-se de um espectrofotómetro de feixe duplo composto por uma fonte de luz, onde está integrada uma lâmpada de deutério que emite radiação UV e uma lâmpada de tungsténio que emite luz visível e infravermelho. (Métodos espectrofotométricos 2020). A sua medição é realizada através da absorção da radiação eletromagnética em diversos comprimentos de onda que passam pelo objeto a avaliar. (Bachmann e Miller 2020)

A radiação eletromagnética é emitida pela fonte e subdivide-se em dois feixes em que uma atinge a peça a avaliar e outra atinge um espaço em branco, onde no fim é comparada os dois feixes. Além disto contém um monocromador que tem um conjunto de grelhas de difração, um selecionador

de comprimentos de onda mecânico e um detetor que a sua função é detetar a luz que passou pela peça e transfere para um visor e para o computador.

No momento da recolha de dados foi elaborado um protocolo de utilização do espectrofotómetro, que se encontra em anexo, em todas as medições feitas durante o estudo, de forma a diminuir erros de medida que possam acontecer com o seu uso e ter boa recolha de medidas. Neste caso foram medidas as transmitâncias das lentes expostas ao UVC e as que se mantiveram no escuro de forma a comparar as suas diferenças entre elas, de semana para semana para avaliar o efeito da UVC.



**Figura 3.9** Espectrofotómetro de bancada utilizado no estudo, UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR, da Shimadzu, Kyoto, Japão.

### **3.5. Análise de resultados**

A análise dos resultados irá ser realizada através do cálculo do índice de branqueamento e amarelecimento, para avaliar a diferença de cor entre as lentes expostas e não expostas. Esta fórmula foi adaptada para este estudo, no entanto, é usado pela indústria dentária para a fabricação de materiais ortodônticos e para a avaliação de branqueamento das estruturas dentárias. (Pérez et al. 2016; Sullivan et al. 2019)

Segundo o CIELAB um material é branco se a sua reflectância em todos os comprimentos de onda do visível é alta e constante, próxima de 100%, com uma luminosidade alta e uma saturação baixa. (Pérez et al. 2016)

Com base na diferença da cor que branco pode adquirir, Judd e Wyszecki criaram em 1963, uma fórmula para o índice de branqueamento. (Hirschler 2010)

A seguinte fórmula, para o índice de branqueamento, é representada por:

$$W=100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^{*2} + b^{*2})}$$

A fórmula acima é baseada no CIELAB que é um sistema que representa a cor de forma tridimensional, onde temos o fator  $L^*$  que representa a luminosidade e  $a^*$  e  $b^*$  as cores que são perceptíveis à visão humana, neste estudo o cálculo de  $L^*$  e  $b^*$  representa mudanças a nível de luminosidade e amarelecimento da lente e parâmetro  $a^*$  e  $b^*$  representa a relação do amarelecimento com a transparência.

Segundo o ASTM, o índice de amarelecimento refere-se à percepção de cor de um objeto como incolor ou de um objeto branco que absorveu mais luz no comprimento de onda do visível situado no azul do que no restante espetro. (Hirschler 2010)

A fórmula que representa este índice é:

$$Y=100 \times \left( \frac{0.72 \times a^* + 1.79 \times b^*}{L^*} \right)$$

Para análise destes índices vamos usar os valores de transmitância a partir de 360nm para o cálculo.

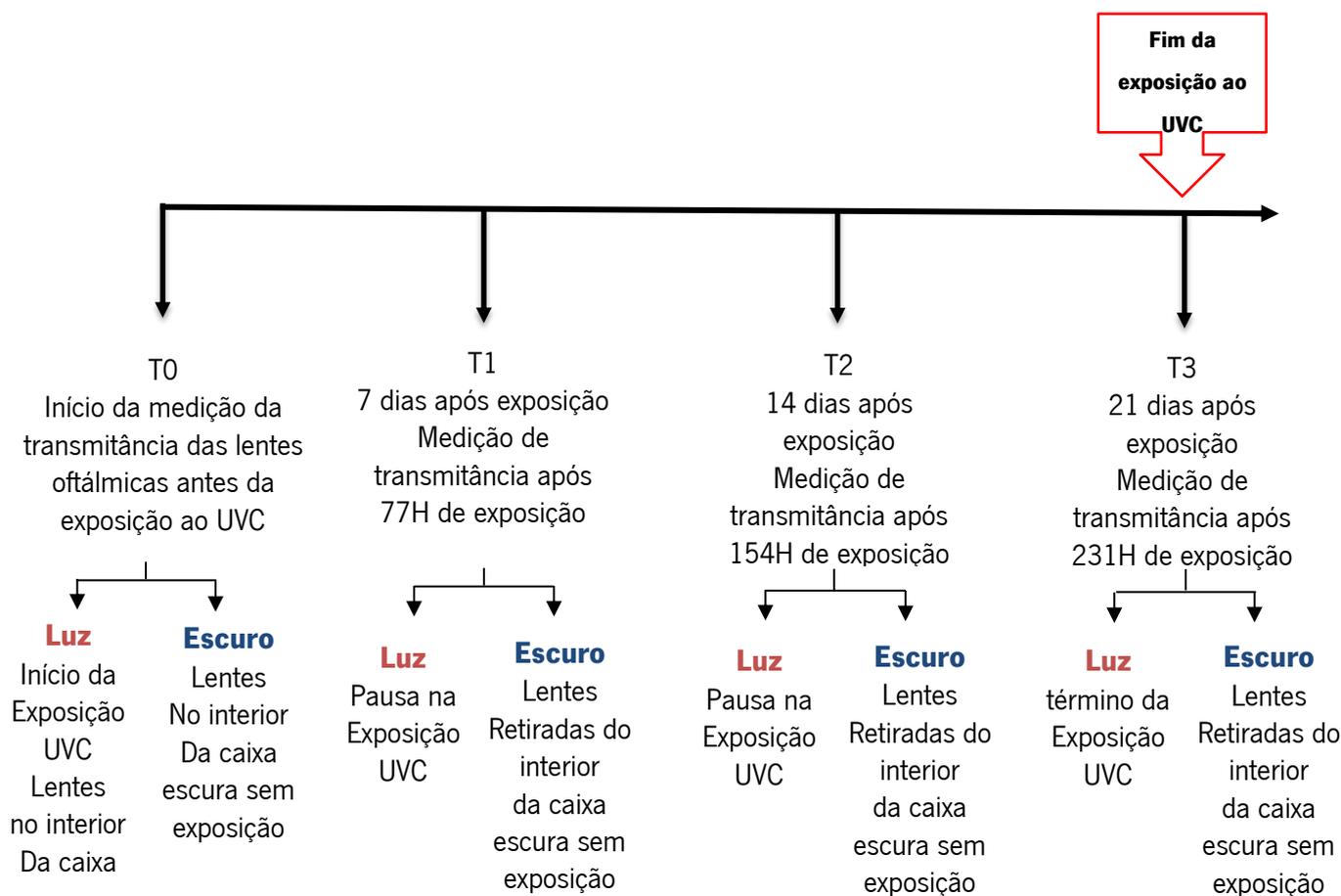
Por último, será calculado o índice de similaridade (SI) de cada lente, de forma a determinar se dois espectros são iguais ou diferentes, com o decorrer da exposição. Neste caso ir-se-á comparar as lentes expostas com as não expostas, calculando as suas transmitâncias correspondentes a cada semana, ou seja, irá ser avaliado desde a semana 0 à semana 3, entre a lente exposta e não exposta, no decorrer da exposição recorrendo à seguinte equação usada por *Katty X. Wan et. al. 2002*. (Wan, Vidavsky, e Gross 2002)

$$SI = \sqrt{\frac{\sum \left( \frac{i - i_0}{i + i_0} \times 100 \right)^2}{N}}$$

Nesta equação o  $i$  representa a transmitância da lente não exposta,  $i_0$  representa a transmitância da lente exposta e  $N$  representa o número de espectros usados neste estudo.

O resultado obtido é obtido em percentagem, em que se obter resultados próximos de 100 significa que os dois espectros são diferentes, e se obtivermos resultados próximos de 0 significa que os dois espectros são iguais. Para facilitar a sua interpretação do resultado foi ajustada a equação acima subtraindo a equação por 100. E, assim quanto maior for o resultado obtido, próximo de 100, mais similares são os espectros, caso o resultado seja menor, mais distintos são os espectros.

$$SI = \left| \sqrt{\frac{\sum \left\{ \frac{i - i_0}{i + i_0} \times 100 \right\}^2}{N}} - 100 \right|$$



**Figura 3.10** Representação temporal esquemática do estudo realizado.

## **4. Resultados**

---

Nesta secção serão apresentados os resultados obtidos através da medição da transmitância para as amostras utilizadas ao longo do tempo, no tempo 0 (antes da exposição), 1 (após 7 dias), 2 (após 14 dias) e 3 (após 21 dias). Também foram medidos os índices de amarelecimento e branqueamento para a amostra exposta e a amostra mantida no escuro para cada tempo, de forma analisar fisicamente as diferenças entre as duas. Posteriormente foi calculado o índice de similaridade para cada amostra, com a finalidade de fazer uma comparação entre os dois espectros utilizados da amostra exposta e a amostra mantida no escuro desde o início do estudo até ao final deste.

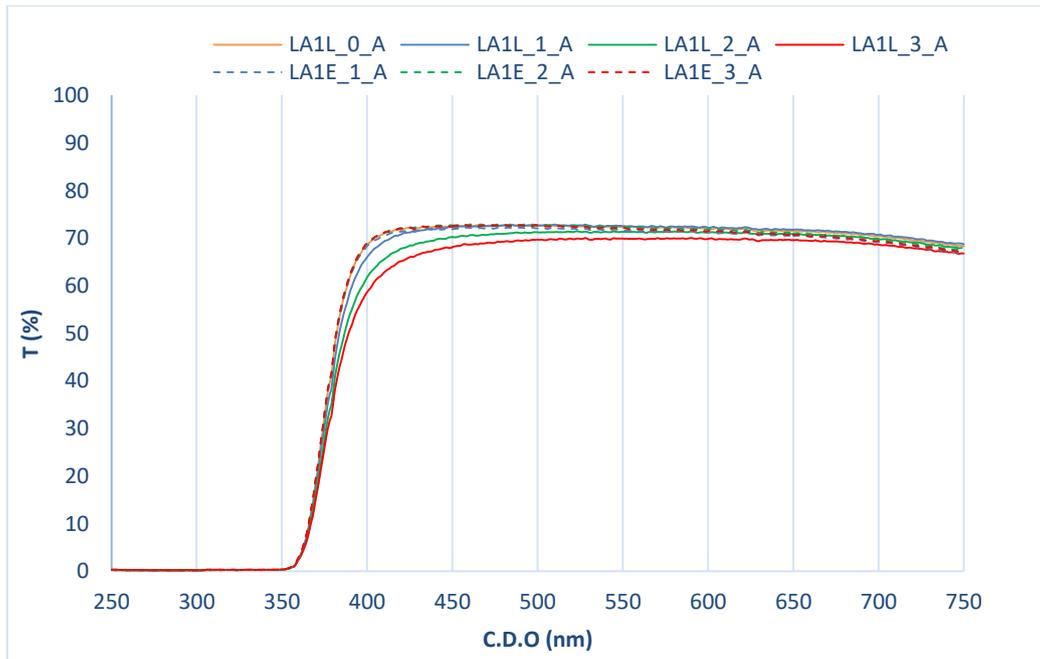
Neste estudo espera-se que a medida de transmitância no tempo T0 seja idêntica para lente exposta e para a lente mantida no escuro, pois não houve exposição ao UVC. Assim como, para a medida dos índices de amarelecimento e amarelecimento espera-se no momento T0 não haja alterações nas duas lentes. Relativamente ao índice de similaridade espera-se no tempo T0 que os dois espectros sejam similares. Com o decorrer do tempo espera-se haver diferenças entre as duas lentes produzindo alterações na sua transmitância, bem como alterações a nível físico, através do cálculo do índice de amarelecimento e branqueamento.

Para apresentar os resultados nesta secção, cada amostra foi dividida por material e tipo de tratamento.

Como não há trabalhos publicados de forma a perceber qual o comportamento ótico aquando à exposição do UVC, não foi possível estabelecer uma correlação com a bibliografia que já existe.

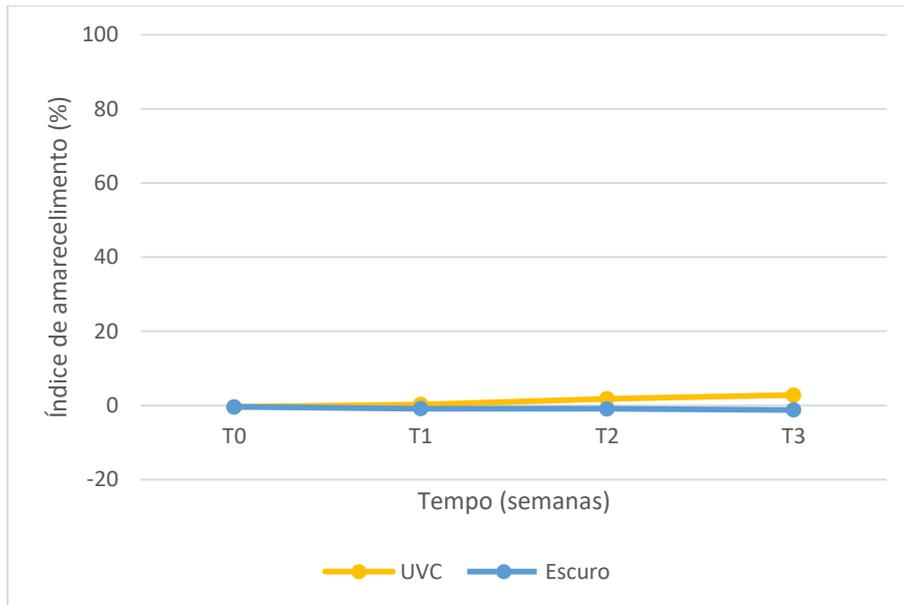
### **4.1. Lente de acrílico nº1**

O par de lentes de acrílico referentes às lentes nº1 e nº2 são constituídas pelo revestimento anti-risco, a diferença entre elas é na graduação onde, a primeira apresenta uma graduação de -2D e a segunda é neutra. Ao observar a figura 4.1 verifica-se que lentes expostas têm um pequeno decréscimo entre a semana 0 e 1. À medida que o tempo de exposição aumenta, referente à semana 2 e 3, verifica-se que a transmitância do material vai diminuindo à medida que o tempo decorre. A lente não exposta manteve-se igual ao longo do tempo, não demonstrando qualquer tipo de alteração.

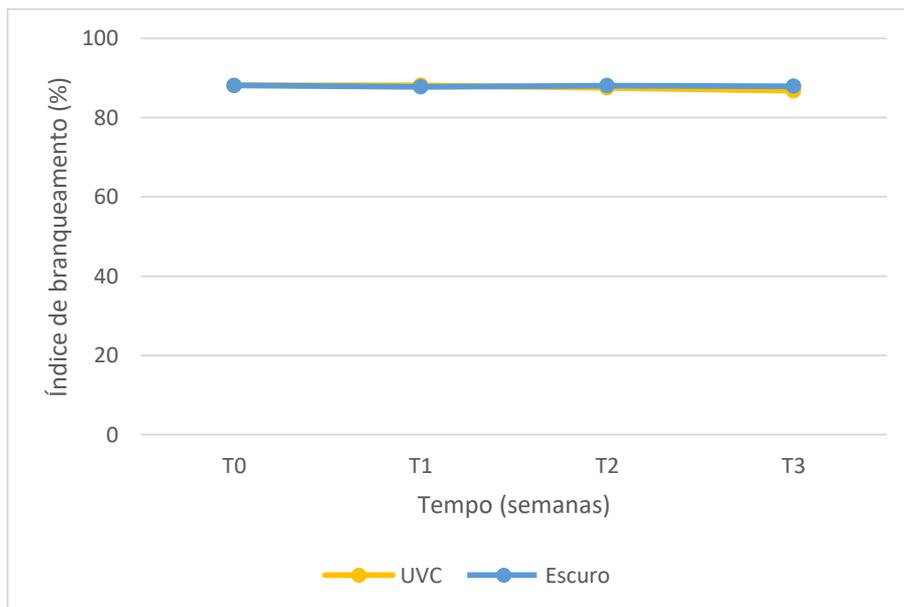


**Figura 4.1** Transmitância referente às lentes de acrílico n°1 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.

A lente n°1 não exposta tem um pico de transmitância de aproximadamente 70% mantendo-se constante com o tempo. A lente n°1 exposta vai diminuindo a sua transmitância, em que, na semana 1 tem um pico de aproximadamente de 68% e na semana 3 tem um pico de aproximadamente 60%, ou seja, um decréscimo 8%, embora essa diferença só se verifica a partir de aproximadamente 400nm, como podemos ver na figura 4.1. Também podemos verificar que as lentes expostas e não exposta têm uma proteção sobre o UVC e UVB, mas não oferecem proteção a uma parte de UVA, onde podemos analisar, aproximadamente nos 350nm um aumento da transmissibilidade.



**Figura 4.2** Índice de amarelecimento referente às lentes n°1 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.

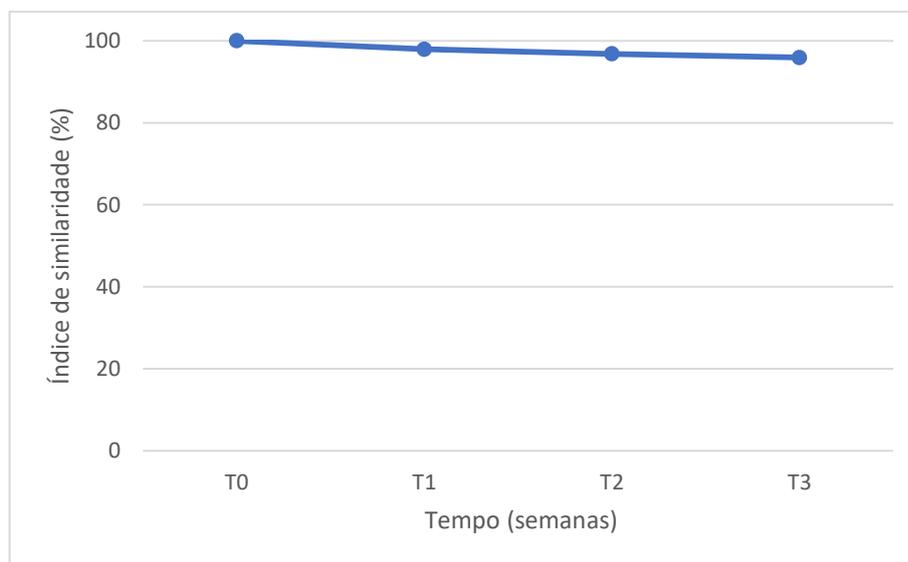


**Figura 4.3** Índice de branqueamento referente às lentes n°1 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.4** Referente às lentes n°1 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se uma pequena alteração na lente exposta, onde esta apresenta uma tonalidade mais tênue amarelo em comparação com a lente não exposta que se mantém transparente.

Analisando os índices de amarelecimento (fig. 4.2) e branqueamento (fig. 4.3) obtidos através da transmitância, podemos verificar que a lente mantida no escuro se mantém intacta ao longo do tempo, ao contrário da lente exposta UVC que se apresenta pequenas alterações no decorrer da experiência. Na figura 4.4 podemos observar uma pequena diferença de cor entre a lente exposta e não exposta.



**Figura 4.5** Índice de similaridade (%) referente às lentes n°1; representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à

medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

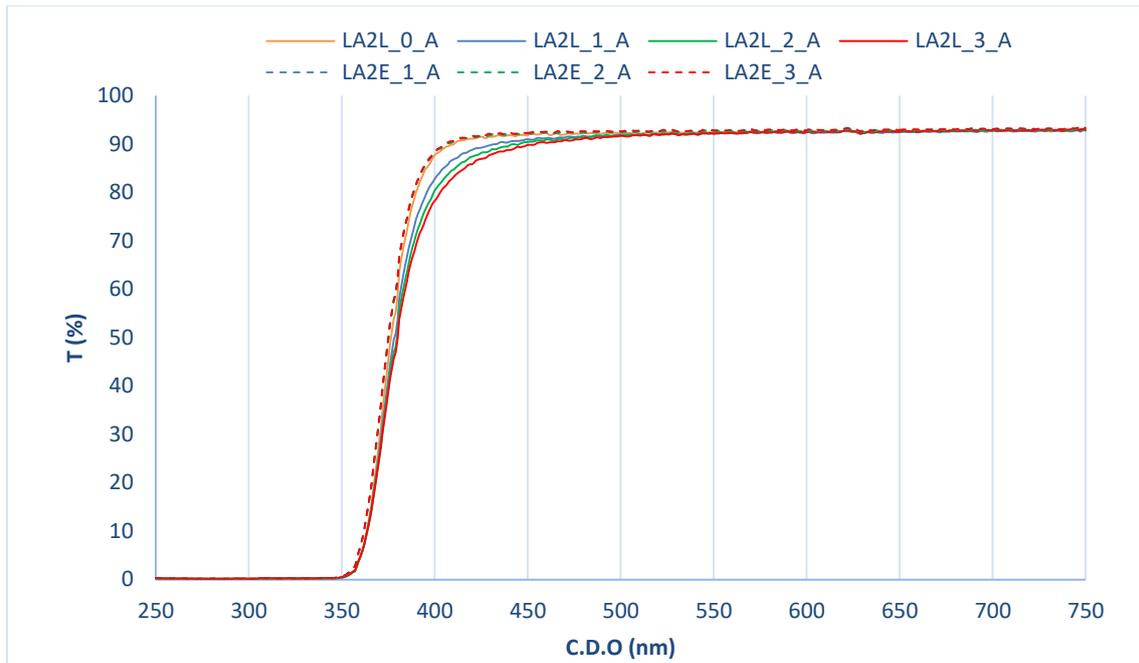
**Tabela 4.1** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº1 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	97,23	97,11	92,95
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,60	98,16	94,11

Ao analisar o índice de similaridade das lentes nº1, a partir da figura 4.5 denota-se um pequeno decréscimo à medida que o tempo decorre. Na tabela 4.1. podemos verificar de forma detalhada que após uma semana, a lente exposta e a lente não exposta têm índices de similaridade muito semelhantes e elevados, ou seja, não houve alterações nas duas lentes. Na segunda semana já se verifica um pequeno decréscimo da lente exposta que apresenta um SI de 97.11% e a lente não exposta manteve-se aproximadamente igual à primeira semana. Na terceira semana já se verifica uma diferença entre as duas lentes, onde a lente exposta apresenta um decréscimo maior, em comparação com a primeira semana, com um SI de 92.95%. Na lente não exposta verifica-se que sofreu alterações, mas de forma menor com um SI de 94.11%.

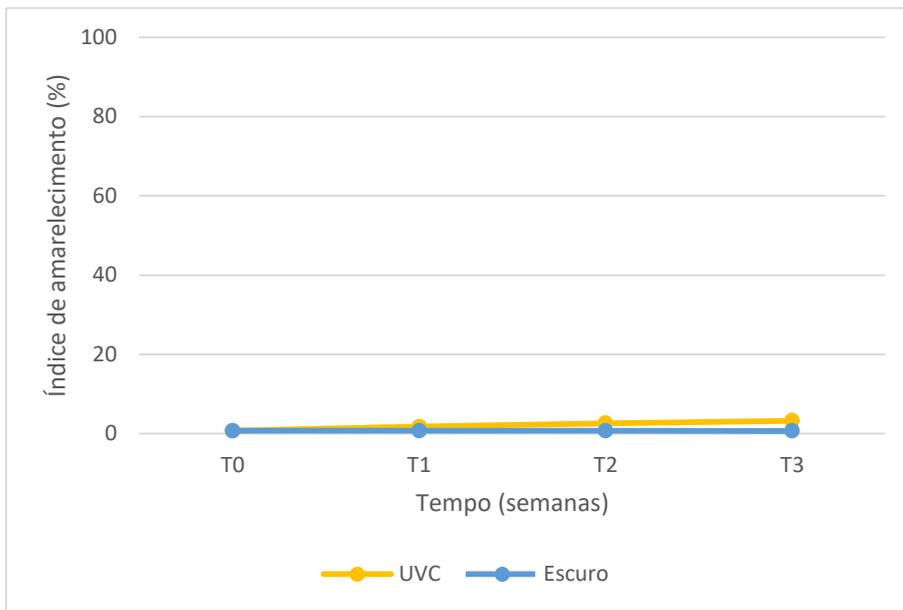
## 4.2. Lente de acrílico nº2

Na lente exposta nº2 podemos verificar um comportamento semelhante à lente nº1, onde se verifica um pequeno decréscimo entre a semana 0 e 1. À medida que o tempo de exposição aumenta, referente à semana 2 e 3 vemos que a transmitância do material vai diminuindo. A lente não exposta manteve-se igual ao longo do tempo, não demonstrando qualquer tipo de alteração.

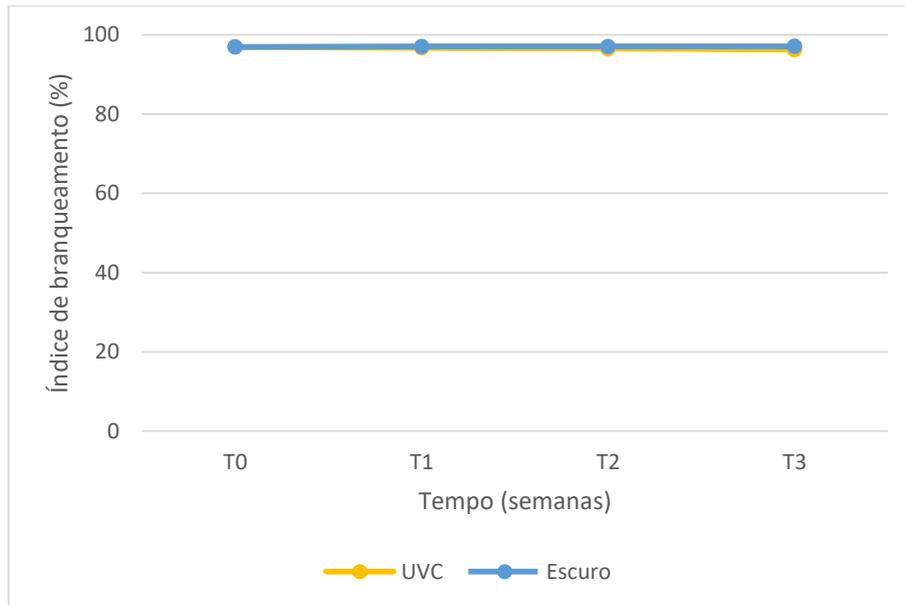


**Figura 4.6** Transmitância referente às lentes de acrílico nº2 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.

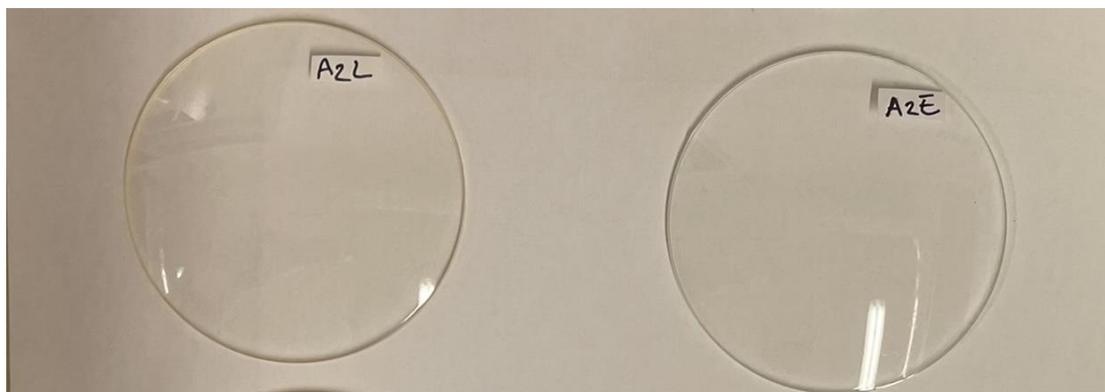
Numa análise à figura 4.6, observamos que lente n°2 mantida no escuro tem um pico de transmitância de aproximadamente 90%, mantendo-se constante com o tempo e, a lente n°2 exposta vai diminuindo a sua transmitância onde, na semana 1 tem um pico de aproximadamente de 90% e na semana 3 tem um pico aproximadamente aos 80%, ou seja, um decréscimo 10%. Embora essa diferença só se verifica a partir de aproximadamente 400nm, como podemos ver no gráfico acima. Podemos verificar na figura 4.6, que a lente exposta e não exposta não oferece proteção ao UVA (a partir dos 350nm) e bloqueiam de certa forma as radiações UVC e UVB.



**Figura 4.7** Índice de amarelecimento referente às lentes n°2 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejada representa a lente não exposta, mantida no escuro.



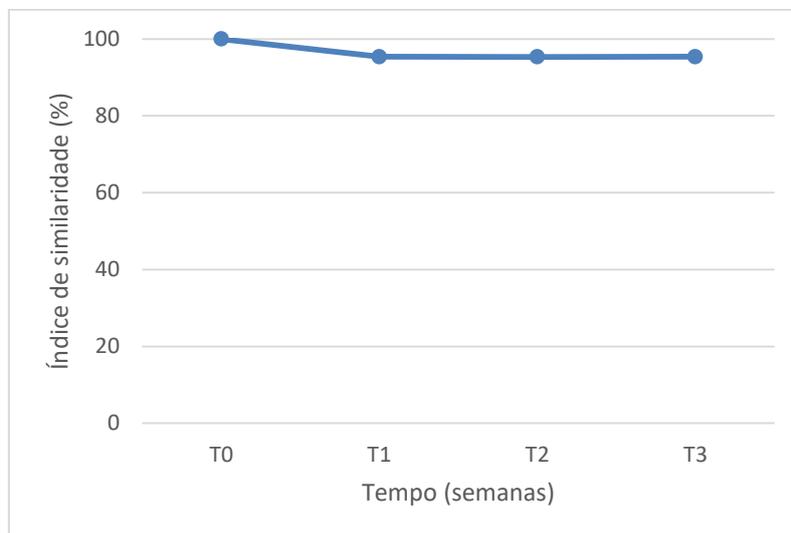
**Figura 4.8** Índice de branqueamento referente às lentes nº2 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.9** Referente às lentes nº2 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se uma pequena alteração na lente exposta, onde esta apresenta uma tonalidade mais ténue amarelo em comparação com a lente não exposta que se mantém transparente.

Ao analisarmos as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.7) e branqueamento (fig.4.8) verifica-se que a lente mantida no escuro se mantém inalterada ao longo tempo. Comparativamente à lente exposta que se verifica uma pequena alteração no índice de

amarelecimento, mas trata-se de uma alteração muito ínfima. Na figura 4.9 podemos observar uma alteração na lente exposta que apresenta uma tonalidade muito ténue amarela em comparação com a lente mantida no escuro que mantém a sua transparência.



**Figura 4.10** Índice de similaridade referente às lentes n°2 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

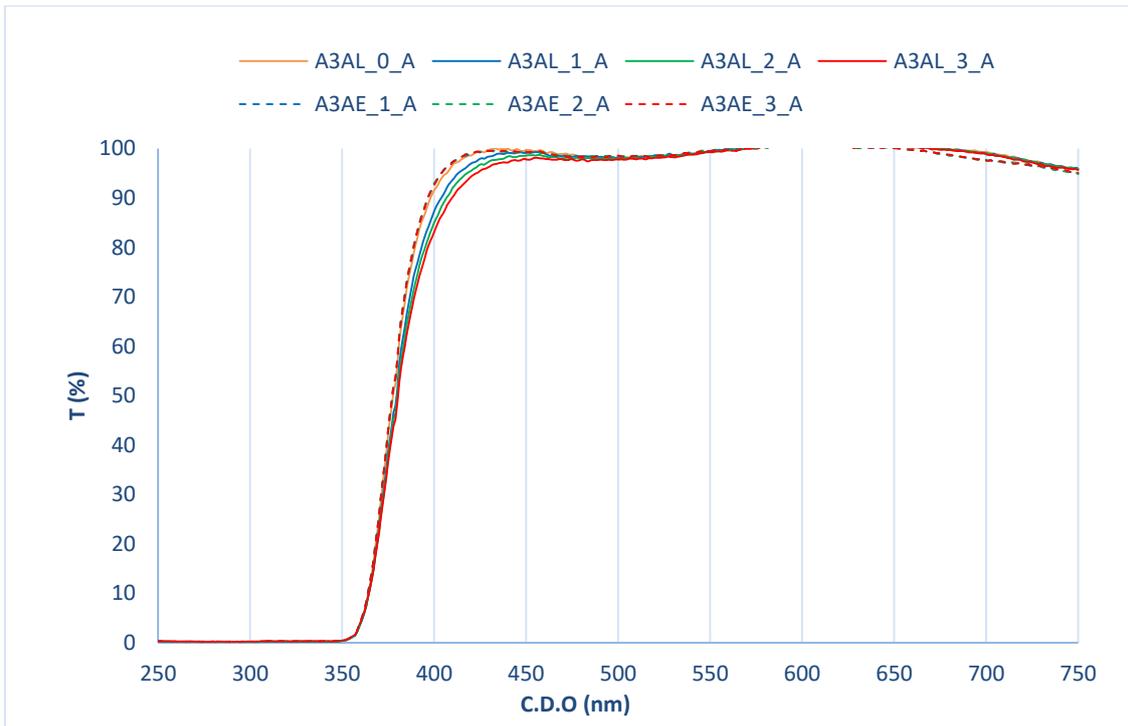
**Tabela 4.2** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes n°2 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	97,34	97,29	93,52
<b>Lente mantida no escuro</b>	95,40	95,71	92,80

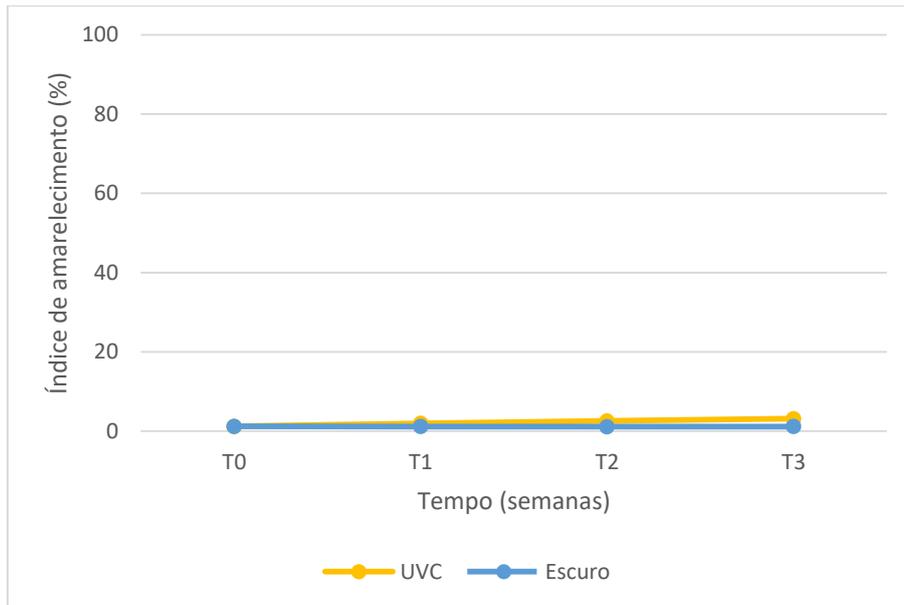
Relativamente ao índice de similaridade da lente n°2 denota-se um pequeno decréscimo da semana 0 até à semana 1, ou seja, há uma alteração na lente exposta em relação à lente não exposta, como se verificou na figura 4.6, mas posteriormente mantêm-se constantes, não havendo alterações entre as duas. Ao analisarmos em detalhe na tabela 4.1, podemos verificar que após uma semana, a lente exposta tem um índice um pouco superior de 97.34%, comparativamente à lente não exposta, que possui um índice de 95.40%. Na segunda semana a lente exposta e a lente mantida no escuro mantêm-se iguais em relação à primeira semana. Na terceira semana já se verifica uma diferença entre as duas lentes, onde a lente exposta apresenta um decréscimo maior, em comparação com a primeira semana, com um SI de 93.52%. Na lente não exposta verifica-se que sofreu alterações, mas de forma menor com um SI de 92.80%.

### **4.3. Lente de acrílico n°3**

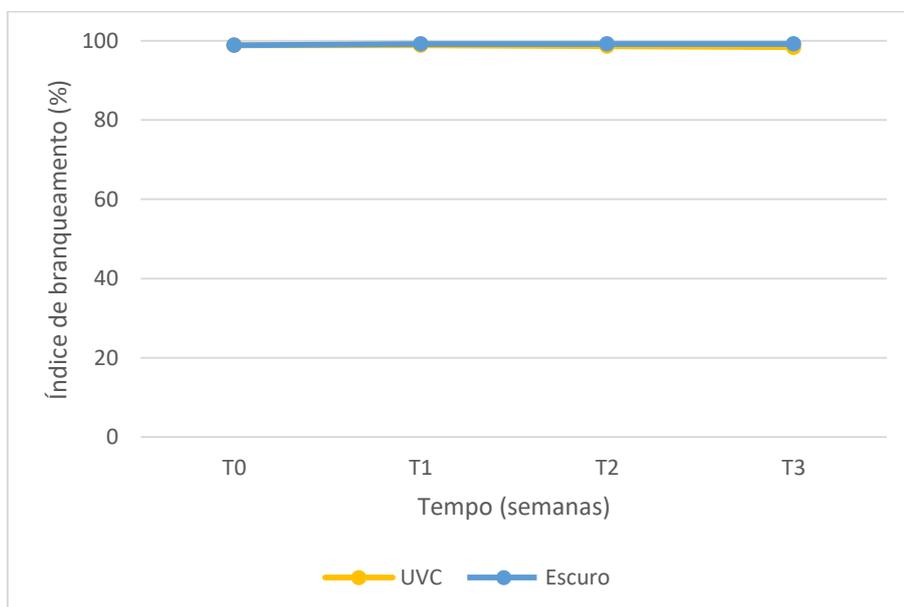
A lente de acrílico n°3 exposta constituída por anti-reflexo, verifica-se diferenças na sua transmitância entre os dois grupos de semana para semana, cerca de 10% da semana 0 para a semana 3 aos 400nm, entre a lente exposta e não exposta. A lente não exposta mantêm-se constante com o tempo, enquanto na lente exposta vemos um decréscimo gradual desde a semana 1 para a semana 3, com o decorrer da exposição. Podemos verificar que as duas lentes têm proteção para o UVC e UVB, mas não oferecem proteção ao UVA. A transmitância superior a 100% registada na figura, à qual não foi atribuída significância física, será avaliada e descrita em trabalhos futuros.



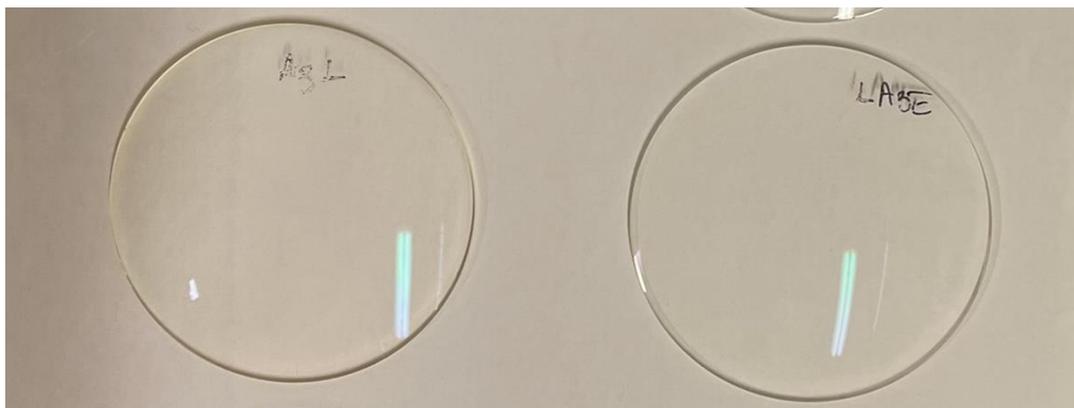
**Figura 4.11** Transmitância referente às lentes de acrílico n°3 (%); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.



**Figura 4.12** Índice de amarelecimento referente às lentes n°3 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.

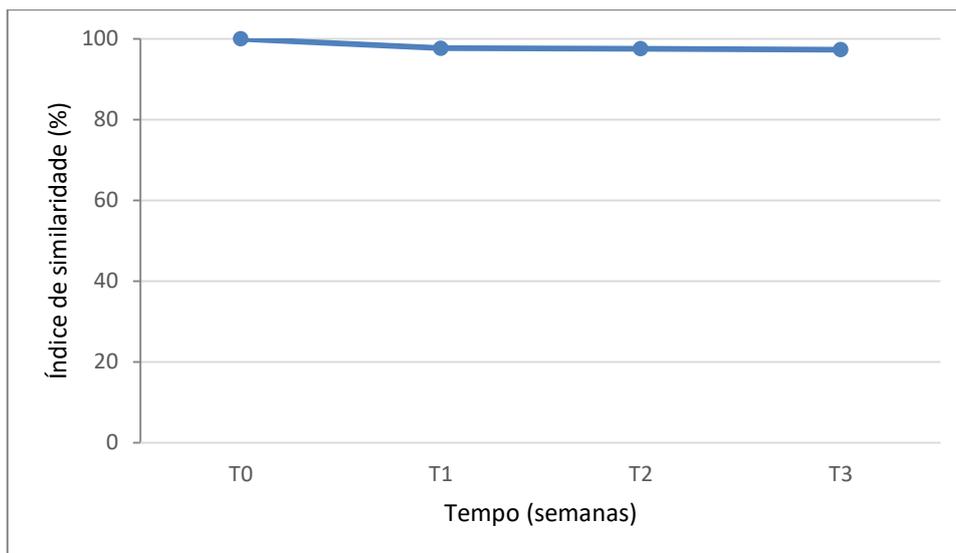


**Figura 4.13** Índice de branqueamento referente às lentes n°3 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.14 Referente** às lentes nº3 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se um reflexo verde correspondente ao anti-reflexo em ambas as lentes e pequena alteração na lente exposta, onde esta apresenta uma tonalidade mais ténue amarelo.

Ao observarmos as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.12) e branqueamento (fig.4.13) verifica-se que a lente mantida no escuro se mantém inalterada ao longo tempo. Comparativamente à lente exposta que se verifica uma pequena alteração no índice de amarelecimento, mas trata-se de uma pequena alteração. Na figura 4.14 podemos observar uma alteração na lente exposta que apresenta uma tonalidade muito ténue amarela em comparação com a lente mantida no escuro que mantém a sua transparência.



**Figura 4.15** Índice de similaridade referente às lentes n°3 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

**Tabela 4.3** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes n°3 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

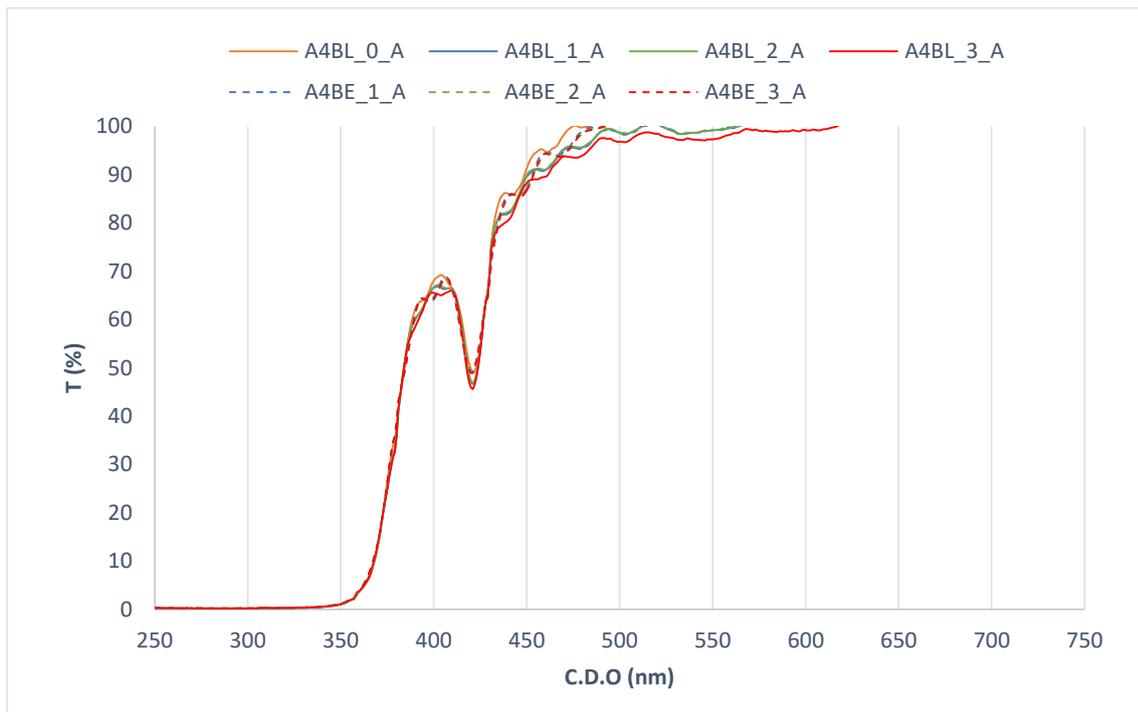
	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	97,41	97,63	94,23
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,71	98,13	94,49

Ao analisarmos o índice de similaridade da lente n°3, na figura 4.15, denota-se uma constante entre a lente exposta e a lente mantida no escuro, ao longo do tempo, o que significa que as duas

lentes se mantiveram intactas ao longo do estudo. Podemos comprovar, de forma mais detalhada, com os resultados da tabela 4.3.

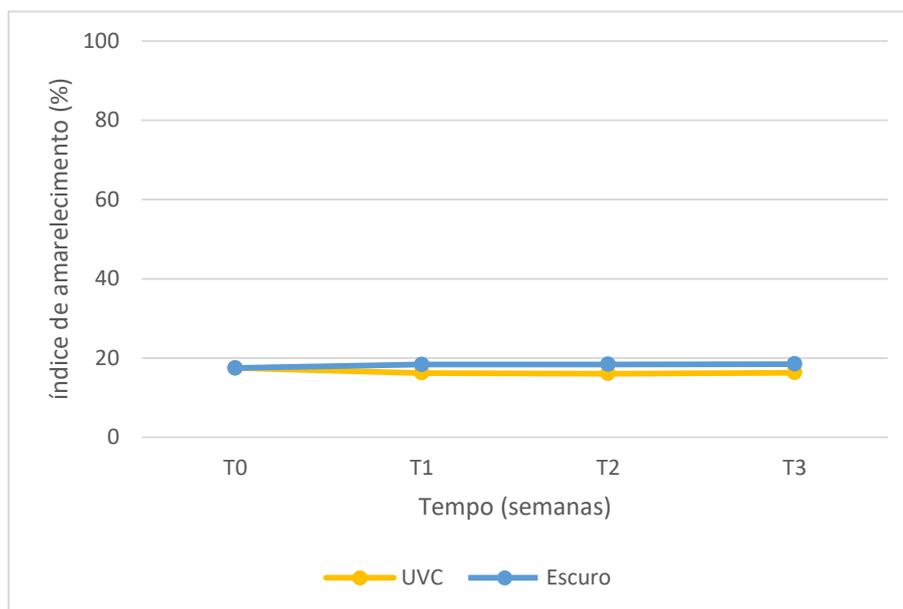
#### 4.4. Lente de acrílico nº4

As lentes de acrílico nº 4, 5 e 8 são constituídas pelo filtro de luz azul e podemos diferenciá-las devido à sua diferente graduação que cada uma possui, como podemos ver em detalhe na tabela 3.1. Relativamente à lente exposta nº4, não se denota diferenças na sua transmitância, à medida que tempo de exposição aumenta, esta tem um comportamento semelhante à lente não exposta. Verifica-se que as duas lentes têm uma proteção ao UVC e UVB, mas não oferecem proteção ao UVA (a partir de aproximadamente 340nm). A transmitância superior a 100% registada na figura, à qual não foi atribuída significância física, será avaliada e descrita em trabalhos futuros.

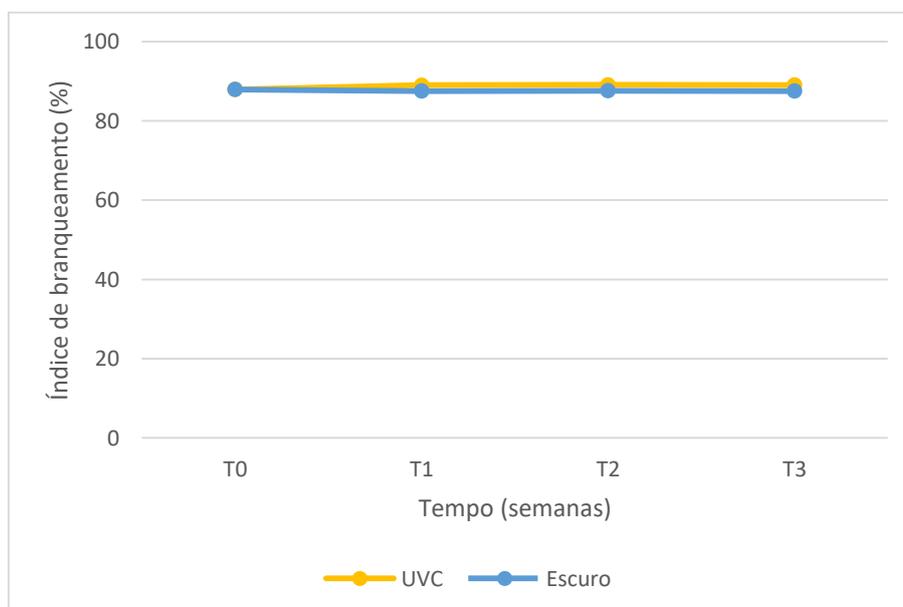


**Figura 4.16** Transmitância referente às lentes nº4 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2

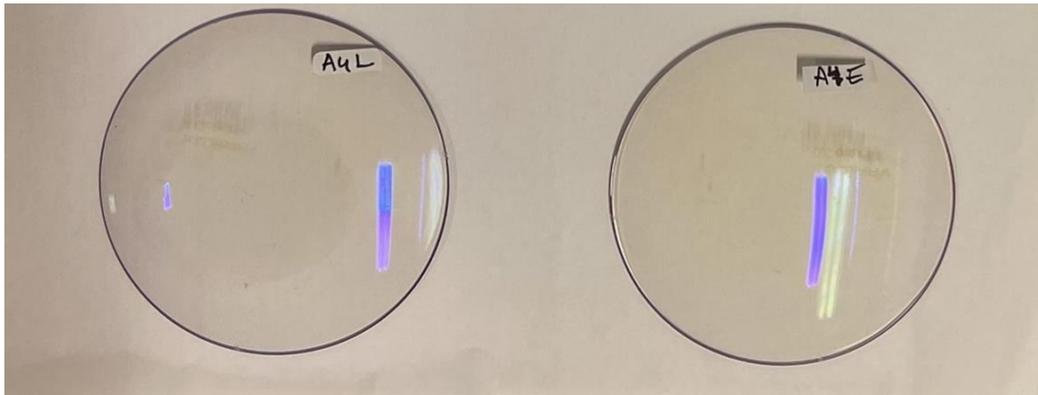
após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.



**Figura 4.17** Índice de amarelecimento referente às lentes n°4 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.

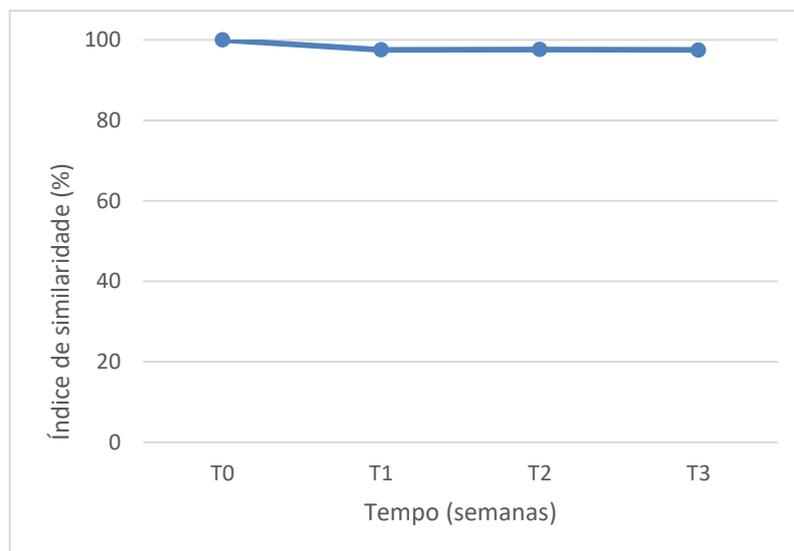


**Figura 4.18** Índice de branqueamento referente às lentes n°4 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.19** Referente às lentes n°4 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes, mas na lente exposta podemos ver uma mancha central em comparação com a lente não exposta que se mantém intacta com o tempo.

Ao observarmos as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.17) e branqueamento (fig.4.18) verifica-se que a lente mantida no escuro e a lente exposta ao UVC se mantêm inalteradas ao longo tempo. Na figura 4.19 podemos observar que ambas se mantêm idênticas, embora se verifique uma pequena mancha central na lente exposta.



**Figura 4.20** Índice de similaridade referente às lentes n°4 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à

medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

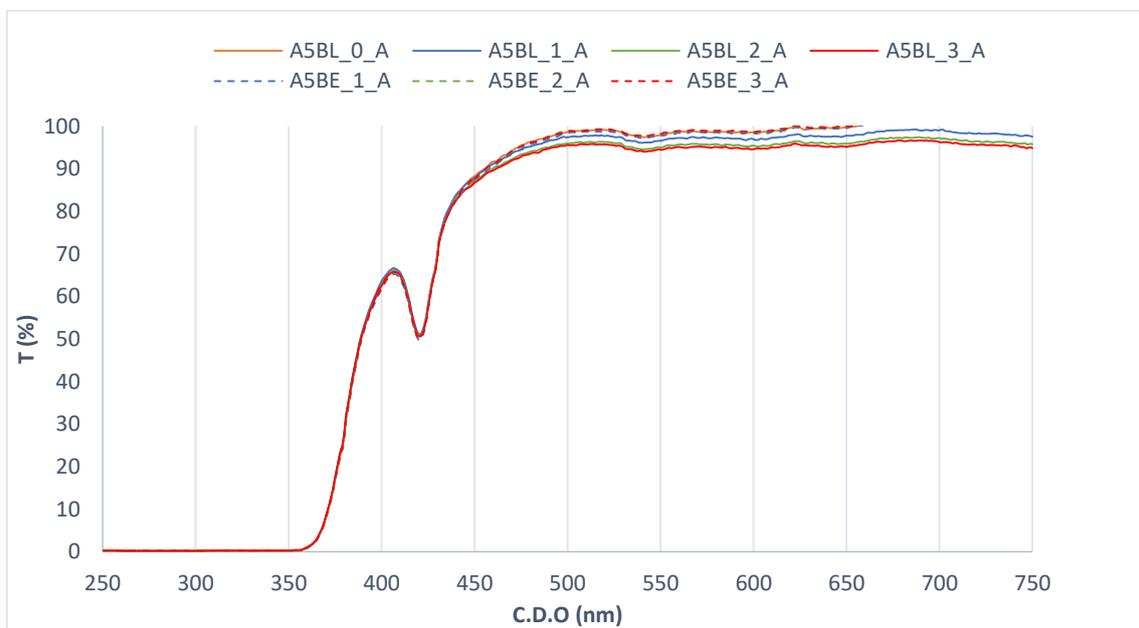
**Tabela 4.4** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº4 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	97,61	97,46	94,88
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,94	97,80	95,17

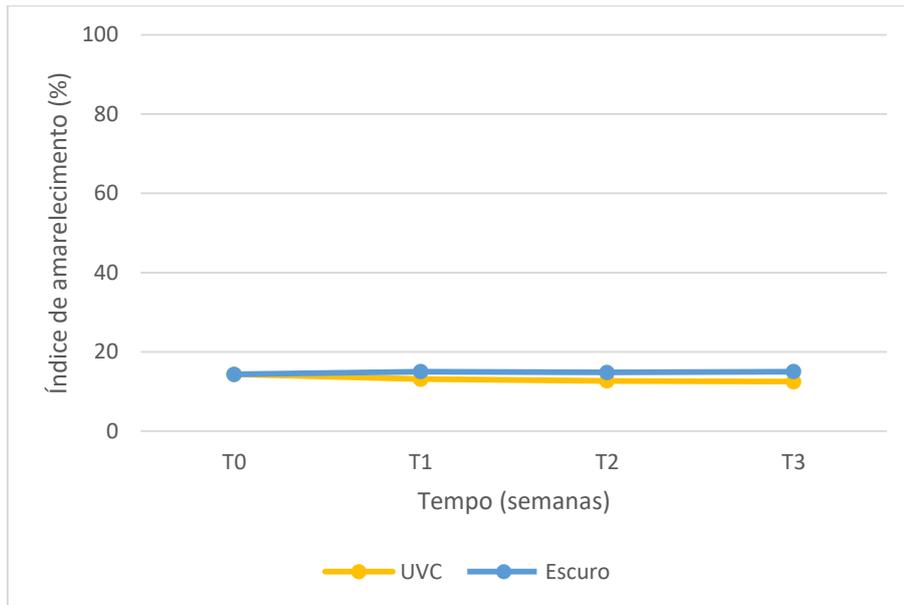
Numa análise ao índice de similaridade da lente nº4, na figura 4.20, verifica-se uma constante entre a lente exposta e a lente mantida no escuro, ao longo do tempo, o que significa que as duas lentes se mantiveram intactas ao longo do estudo. Podemos comprovar, de forma mais detalhada, com os resultados da tabela 4.4.

## 4.5. Lente de acrílico nº5

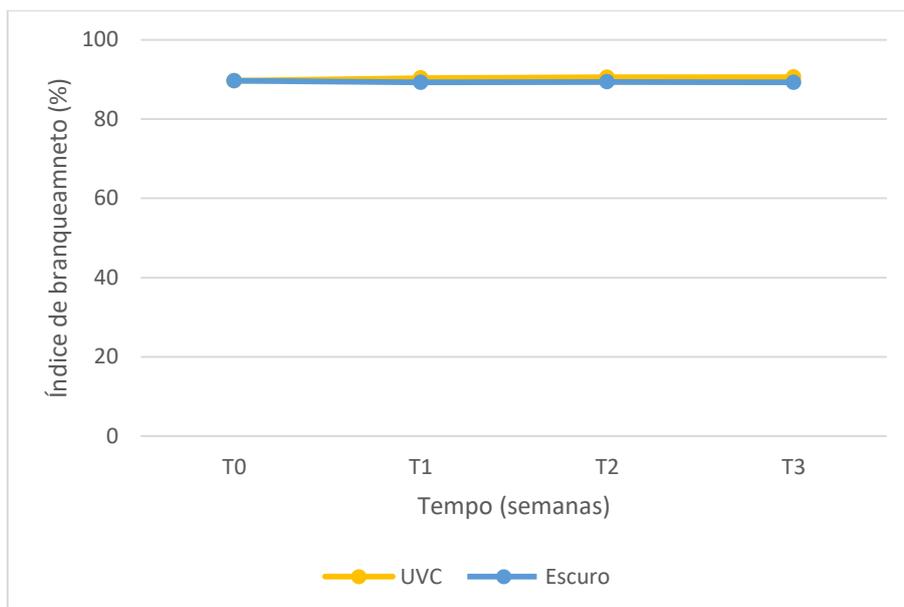
A lente de acrílico nº 5 constituída pelo filtro de luz azul exposta, não se denota diferenças na sua transmitância até a aproximadamente 470nm, como podemos observar no gráfico 4.20, um pequeno decréscimo na transmitância da lente, à medida que tempo de exposição aumenta. A lente não exposta mantém-se sempre constante com o decorrer da exposição. Verifica-se também que ambas têm uma proteção ao UVC e UVB, mas parte do UVA é transmitida por parte da lente, a partir dos 350nm. A transmitância superior a 100% registada na figura, à qual não foi atribuída significância física, será avaliada e descrita em trabalhos futuros.



**Figura 4.21** Transmitância referente às lentes nº5 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.



**Figura 4.22** Índice de amarelecimento referente às lentes n°5 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.

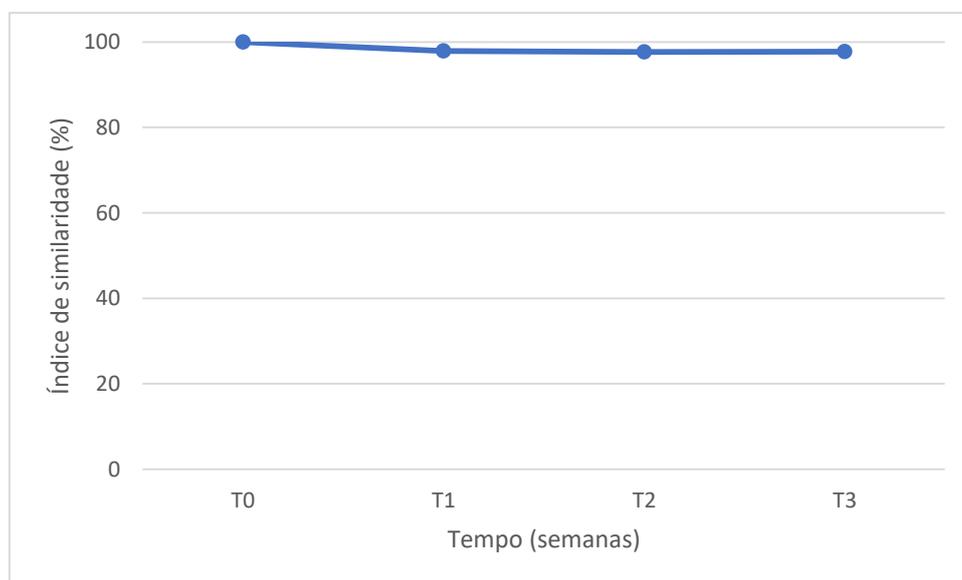


**Figura 4.23** Índice de branqueamento referente às lentes n°5 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.24** Referente às lentes n°5 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes, mas na lente exposta podemos ver uma mancha central em comparação com a lente não exposta que se mantém intacta com o tempo.

Ao observarmos as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.22) e branqueamento (fig.4.23) verifica-se que a lente mantida no escuro e a lente exposta ao UVC se mantêm inalteradas ao longo tempo. Na figura 4.24 podemos observar que ambas se mantêm idênticas, embora se verifique uma pequena mancha central na lente exposta.



**Figura 4.25** Índice de similaridade referente às lentes n°5 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

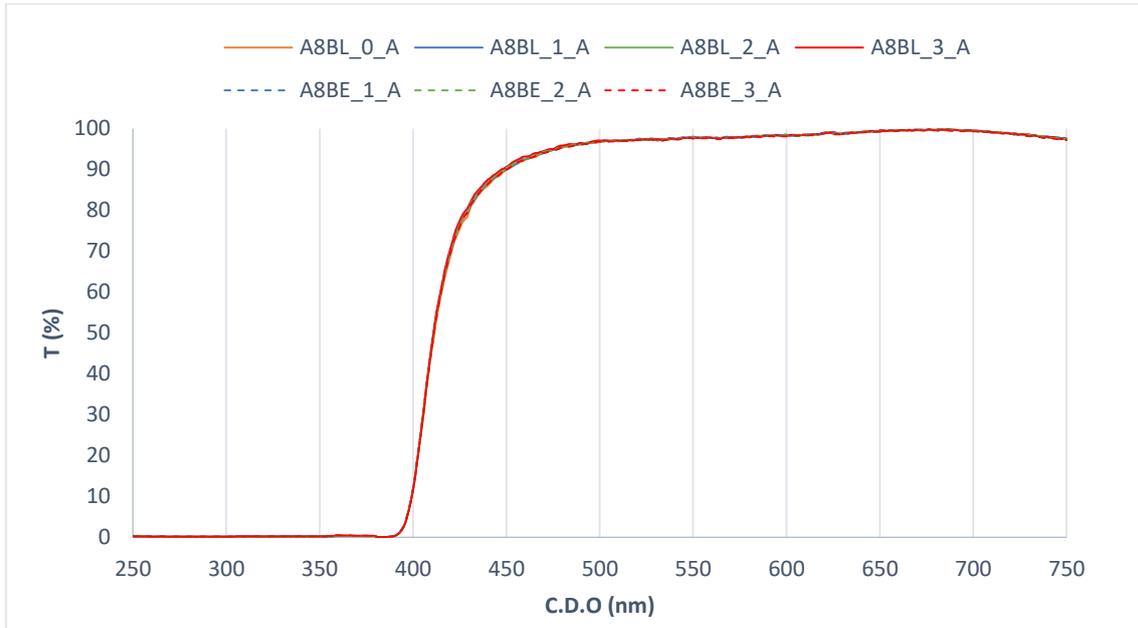
**Tabela 4.5** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes nº5 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	96,90	97,29	93,38
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,19	97,97	93,69

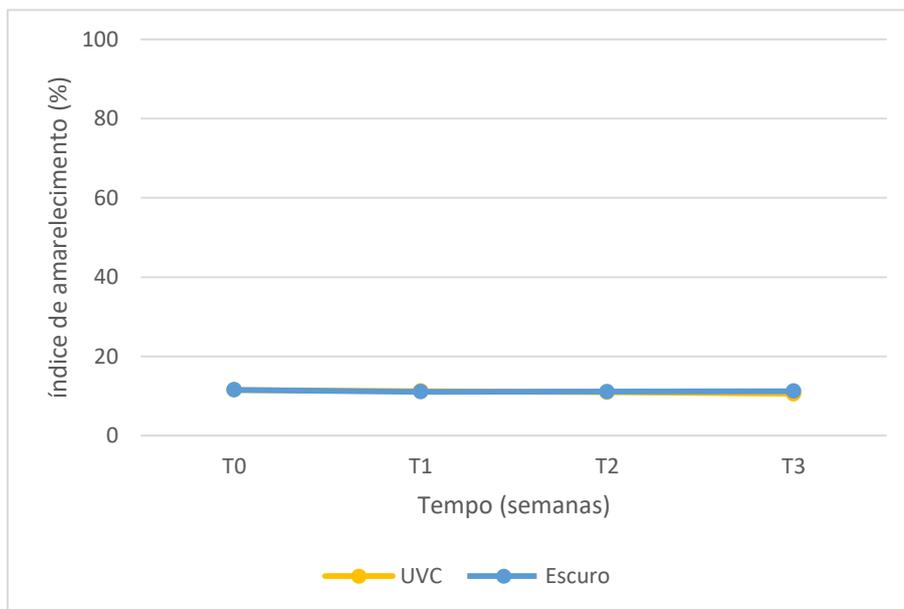
Ao observarmos a figura 4.25 correspondente ao índice de similaridade da lente nº5 verifica-se uma constante entre a lente exposta e a lente mantida no escuro, ao longo do tempo, o que significa que as duas lentes se mantiveram inalteradas ao longo do estudo. Podemos comprovar, de forma mais detalhada, com os resultados da tabela 4.5.

#### **4.6. Lente de acrílico nº8**

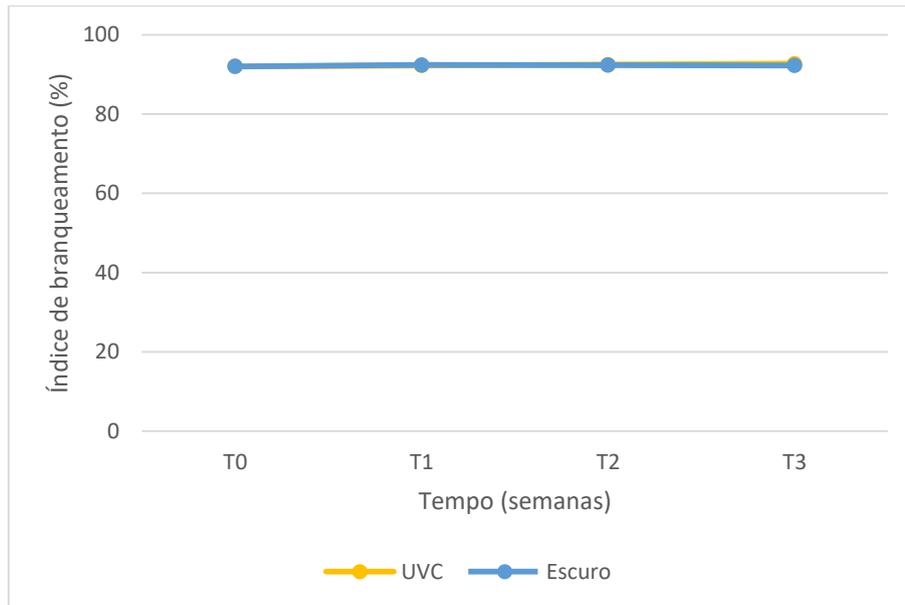
A lente de acrílico nº 8 constituída pelo filtro de luz azul exposta, não se denota diferenças na sua transmitância à medida que tempo de exposição aumenta. A lente não exposta mantém-se sempre constante com o decorrer da exposição. Verifica-se também que ambas oferecem uma proteção ao UVC, UVB e UVA.



**Figura 4.26** Transmitância referente às lentes n°8 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.



**Figura 4.27** Índice de amarelecimento referente às lentes n°8 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.

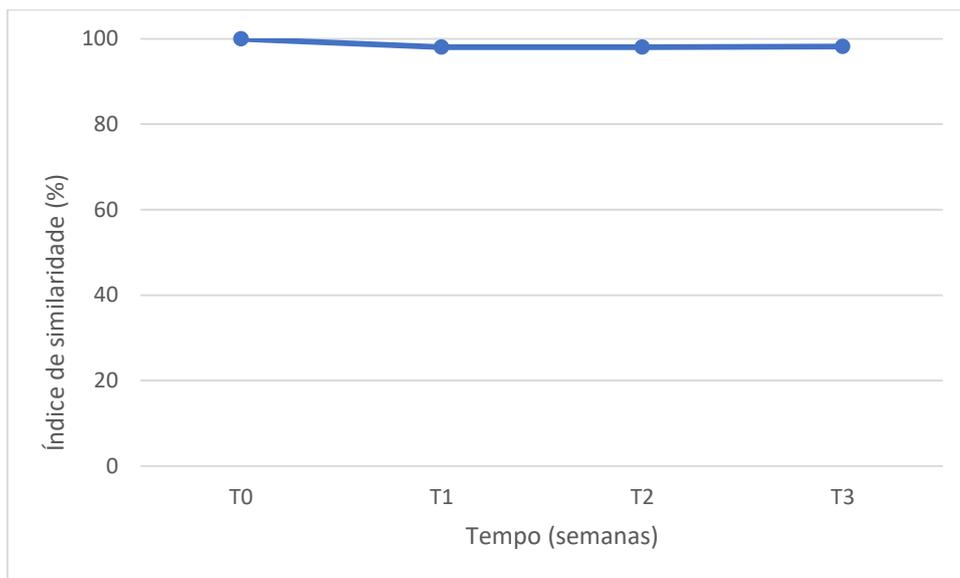


**Figura 4.28** Índice de branqueamento referente às lentes nº8 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejada representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.29** Referente às lentes nº8 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta, onde se mantêm intactas com o decorrer da exposição. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes.

Ao analisarmos as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.27) e branqueamento (fig.4.28) verifica-se que a lente mantida no escuro e a lente exposta ao UVC se mantêm inalteradas ao longo tempo. Na figura 4.29 podemos observar que ambas se mantêm idênticas.



**Figura 4.30** Índice de similaridade referente às lentes n°8 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

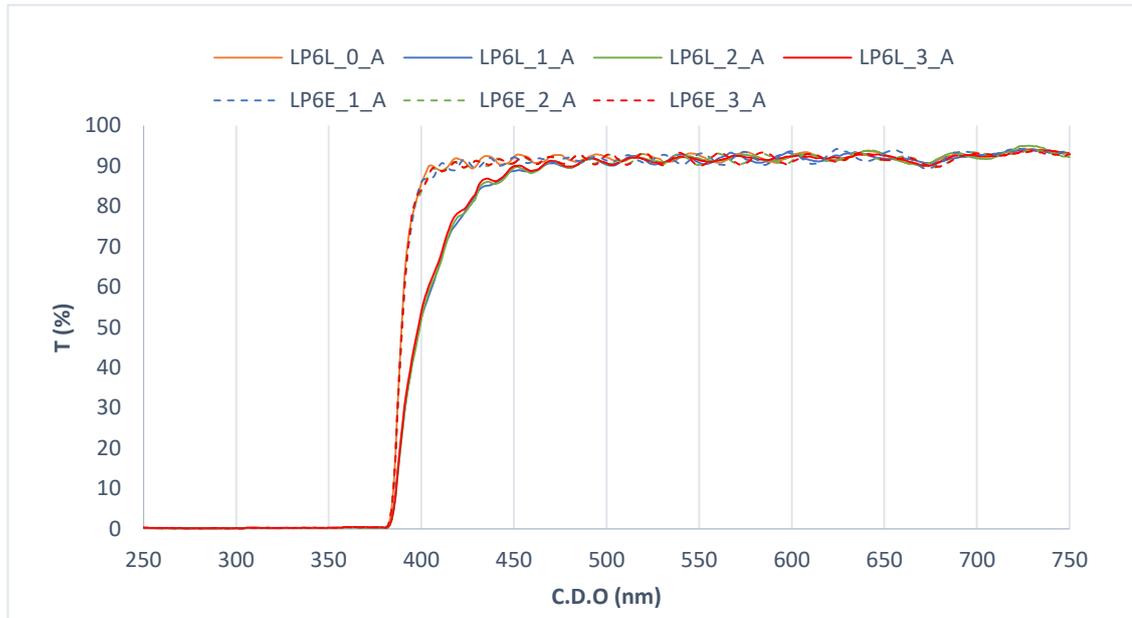
**Tabela 4.6** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes n°8 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	97,70	97,86	94,67
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,80	97,74	94,53

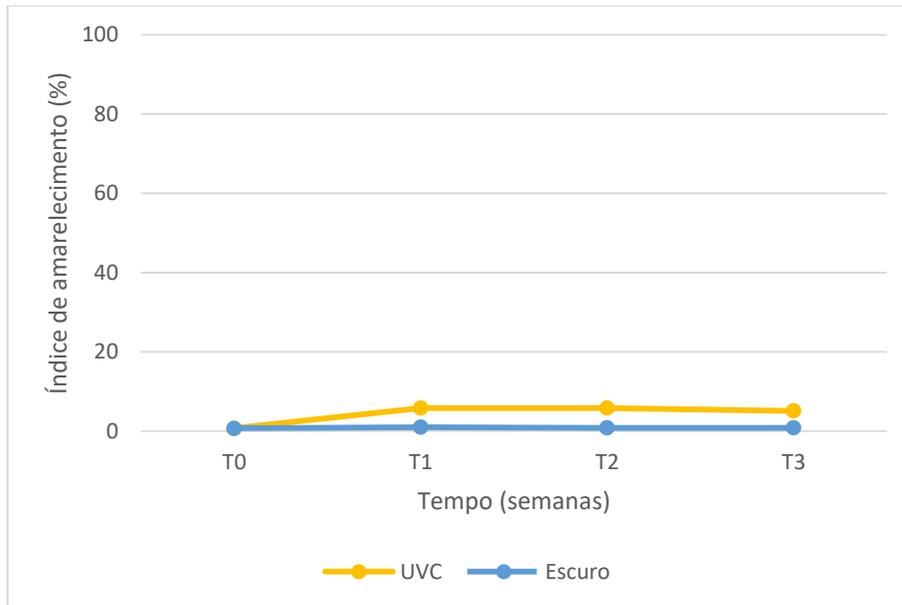
Ao analisarmos a figura 4.30 correspondente ao índice de similaridade da lente nº8 verifica-se uma constante entre a lente exposta e a lente mantida no escuro, ao longo do tempo, o que significa que as duas lentes se mantiveram inalteradas ao longo do estudo. Podemos comprovar, de forma mais detalhada, com os resultados da tabela 4.6.

#### **4.7. Lente de policarbonato nº6**

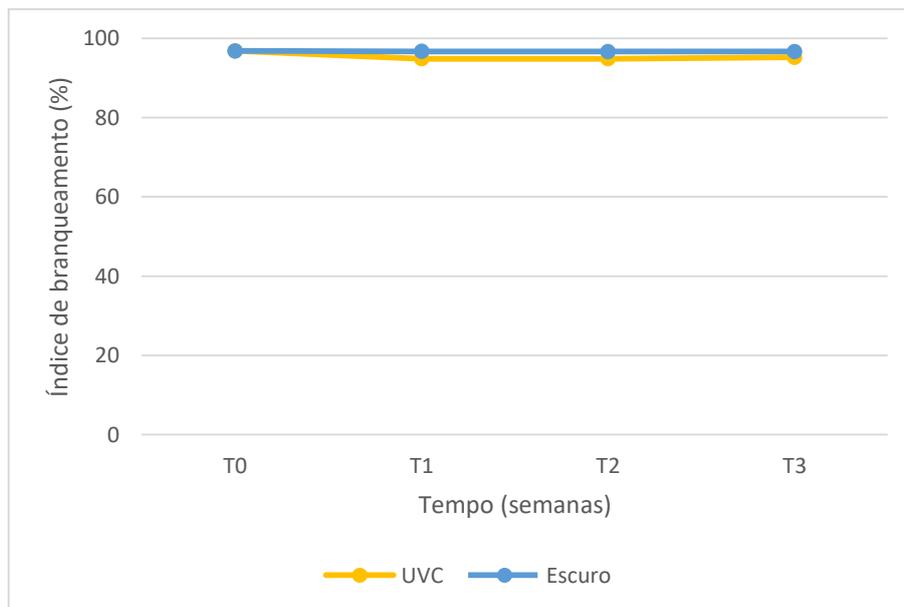
Relativamente às lentes de policarbonato nº6 constituídas por anti-risco verifica-se que, a lente exposta tem um decréscimo de transmitância comparativamente com a lente não exposta, no decorrer da exposição. Na lente exposta há uma diminuição da semana 0 para a semana 1, mas posteriormente mantém-se aproximadamente constante, com uma transmitância de 65% aos 400nm, comparativamente com a não exposta que se mantém sempre constante com o tempo, com cerca de 90% de transmitância no mesmo comprimento de onda. Esta diferença entre a lente exposta e não exposta obteve-se, devido ao tempo que se realizou a medição da transmitância deste tipo de lente que foi um pouco tardio, ou seja, dever-se-ia ter medido a sua transmitância um pouco mais antecipadamente que as restantes lentes, por exemplo, duas vezes por dia. E assim, verificava-se um decréscimo na sua transmissibilidade mais gradual. Além disso, as lentes expostas e não exposta têm uma proteção alargada aos UV'S, pois bloqueiam a passagem de UVC, UVB e UVA, só deixando passar radiação a partir dos 400nm correspondente à luz visível.



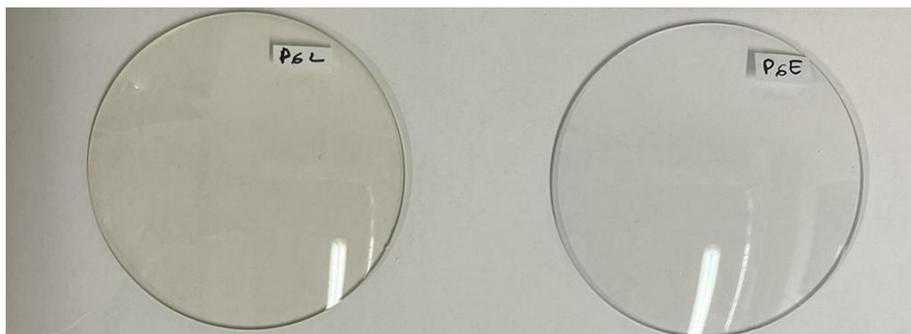
**Figura 4.31** Transmitância referente às lentes n°6 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.



**Figura 4.32** Índice de amarelecimento referente às lentes n°6 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.

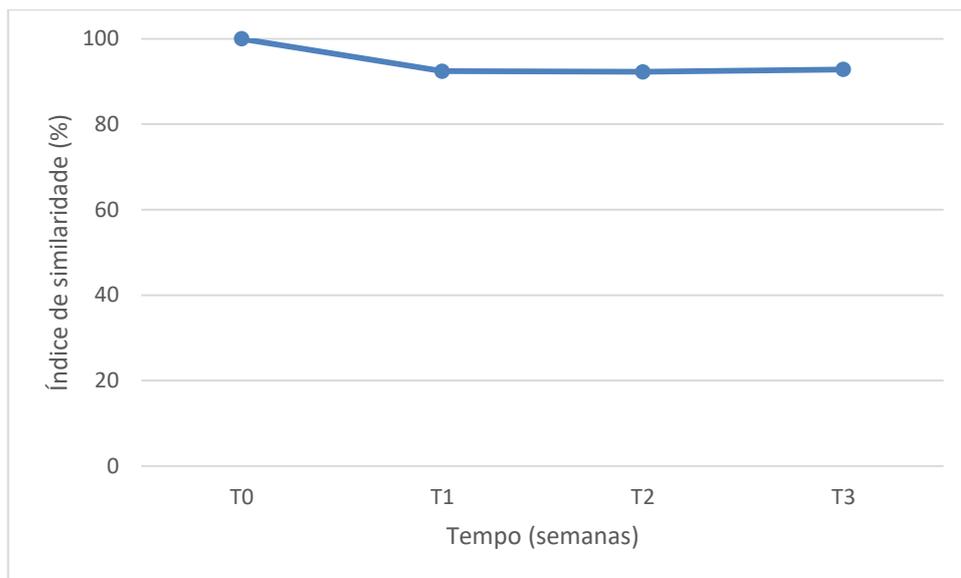


**Figura 4.33** Índice de branqueamento referente às lentes n°6 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.34** Referente às lentes n°6 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Verifica-se uma alteração na lente exposta, onde apresenta uma tonalidade amarela em comparação com a lente não exposta que se mantém transparente.

Ao observarmos as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.32) e branqueamento (fig.4.33) verifica-se que a lente mantida no escuro se mantém inalterada ao longo tempo. Comparativamente à lente exposta que se verifica uma variação no índice de amarelecimento, mas trata-se de uma pequena alteração. Na figura 4.34 podemos observar uma alteração na lente exposta que apresenta uma tonalidade residual ténue amarela em comparação com a lente mantida no escuro que mantém a sua transparência.



**Figura 4.35** Índice de similaridade referente às lentes n°6 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

**Tabela 4.7** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes n°6 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

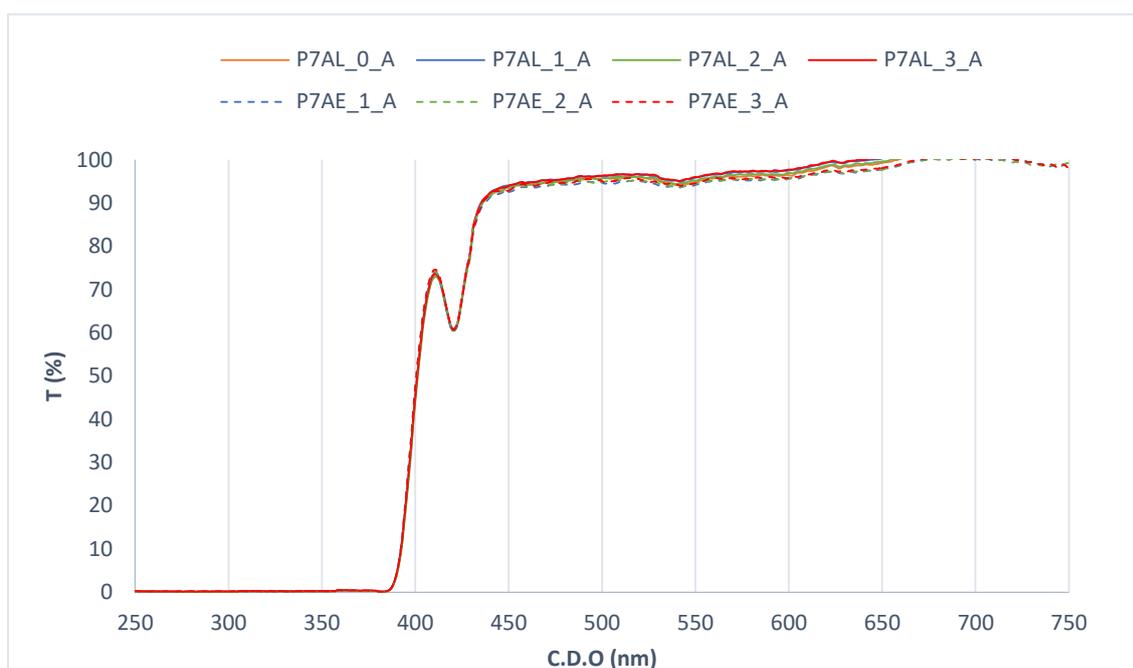
	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	92,07	91,92	90,59
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,39	97,98	94,28

Ao observarmos a figura 4.35 correspondente ao índice de similaridade da lente n°6 verifica-se uma diferença entre a lente exposta e não exposta da semana 0 à semana 1 e, posteriormente mantêm-se constantes. Analisando de forma mais detalhada, os resultados da tabela 4.7, verifica-se que a lente mantida no escuro se mantém constante com tempo em comparação com a lente exposta

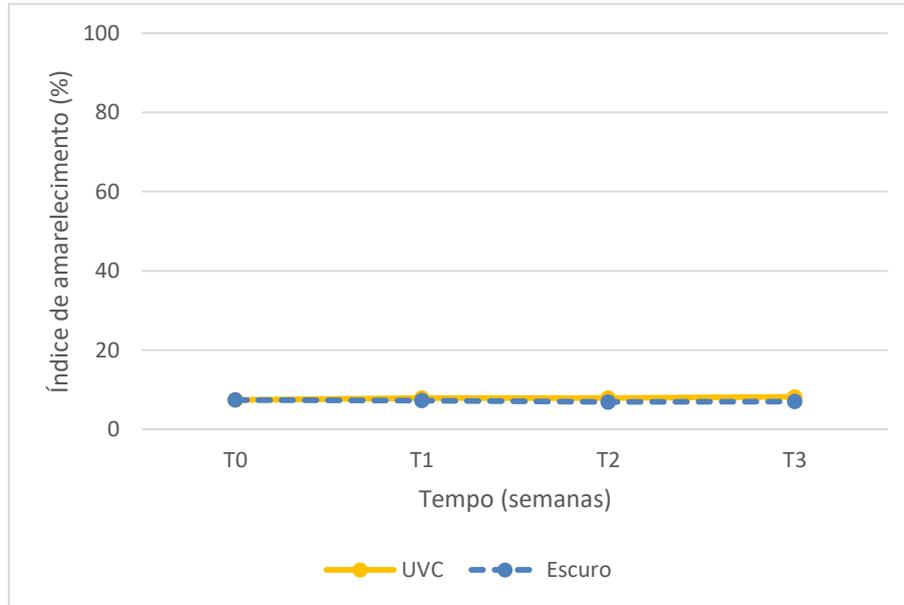
ao UVC que se verifica uma diferença de a semana 1, com 92.07% até à semana 3 com 90.59%, ou seja, a lente exposta sofreu alterações com a exposição ao UVC, como se verifica na figura 4.30.

#### 4.8. Lente de policarbonato nº7

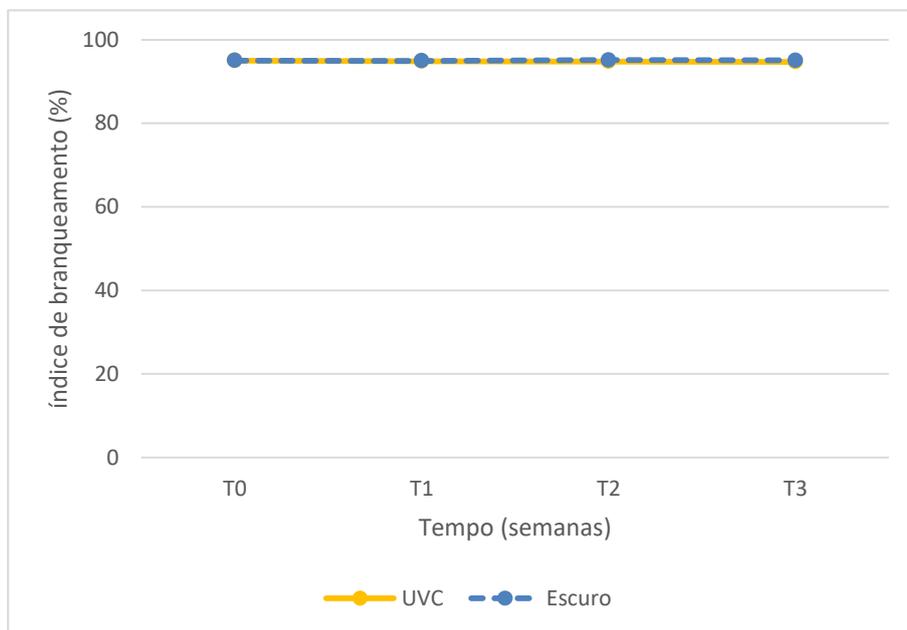
A lente nº7 de policarbonato constituída por anti-reflexo exposta não se denota diferenças na sua transmitância, em comparação com a lente não exposta, como podemos verificar na figura 4.36, as duas lentes mantêm-se constantes com o decorrer da exposição. Podemos verificar também que, a lente exposta e a lente não exposta oferece uma proteção ao UVC, UVB e uma grande parte UVA mas, não oferece a mesma proteção a partir de aproximadamente os 380 nm, uma pequena parte de UVA. A transmitância superior a 100% registada na figura, à qual não foi atribuída significância física, será avaliada e descrita em trabalhos futuros.



**Figura 4.36** Transmitância referente às lente nº7 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.



**Figura 4.37** Índice de amarelecimento referente às lentes nº7 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejada representa a lente não exposta, mantida no escuro.

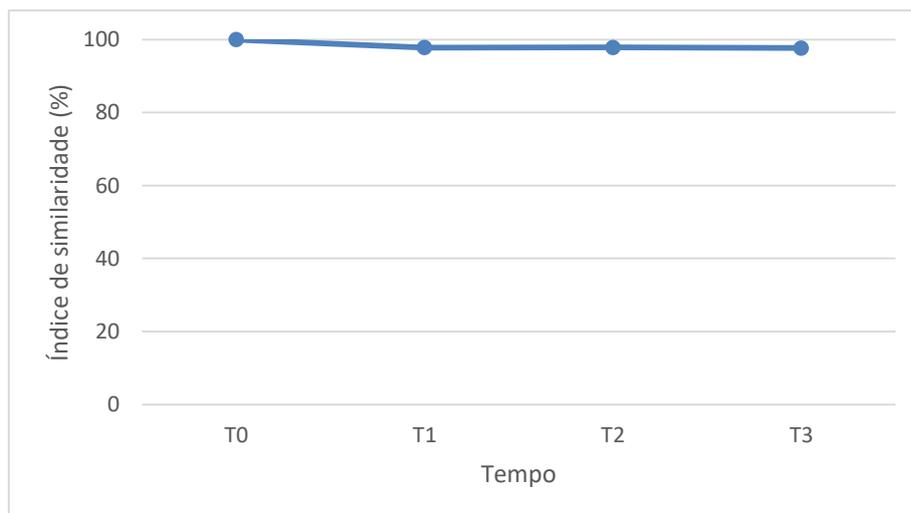


**Figura 4.38** Índice de branqueamento referente às lentes nº7 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejada representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.39** Referente às lentes nº7 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta, onde se mantêm intactas com o decorrer da exposição. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes. Na lente exposta podemos ver uma zona mais escura em redor da extremidade da lente me comparação com a lente não exposta que se mantêm intacta com o decorrer do estudo.

Ao analisarmos as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.37) e branqueamento (fig.4.38) verifica-se que a lente mantida no escuro e a lente exposta ao UVC mantêm-se inalteradas ao longo tempo. Na figura 4.39 podemos observar as duas lentes, fisicamente estão iguais, embora a lente exposta tem uma tonalidade mais escura nas extremidades da lente.



**Figura 4.40** Índice de similaridade referente às lentes nº7 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

**Tabela 4.8** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente à lente nº6 de cada semana desde o início do estudo; 1ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3ª semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

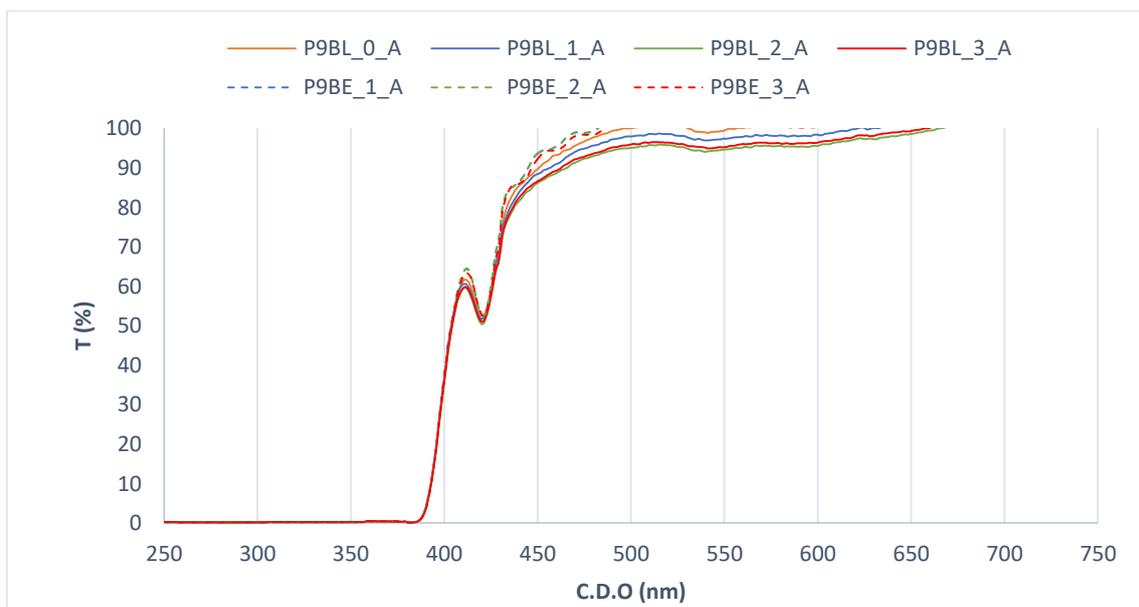
	<b>1ª Semana T1-T0</b>	<b>2ª Semana T2-T0</b>	<b>3ª Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	97,24	97,88	93,93
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,42	97,81	94,21

Ao analisarmos a figura 4.40 correspondente ao índice de similaridade da lente nº7 verifica-se uma constante entre a lente exposta e a lente mantida no escuro, ao longo do tempo, o que significa

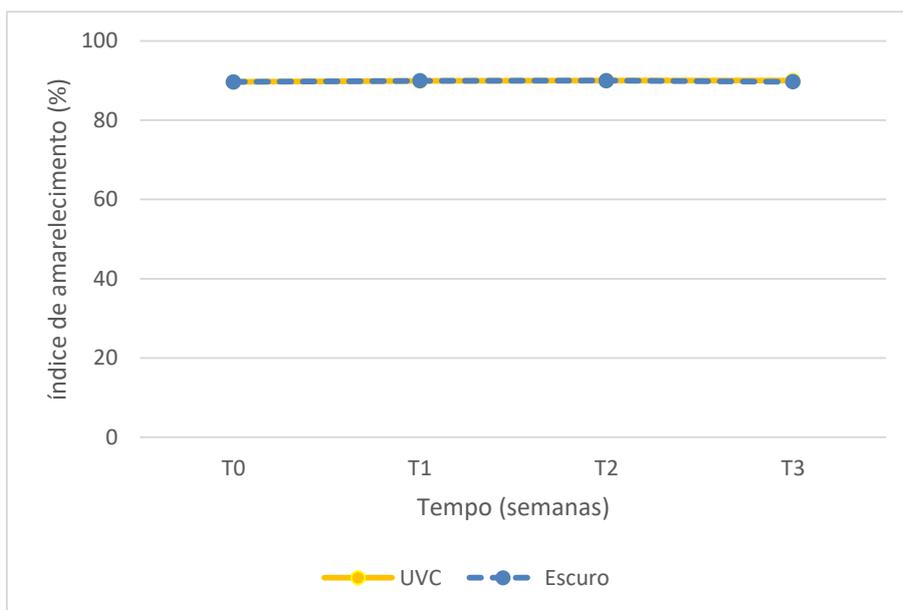
que as duas lentes se mantiveram inalteradas ao longo do estudo. Podemos comprovar, de forma mais detalhada, com os resultados da tabela 4.6 que faz a comparação das duas lentes.

#### 4.9. Lente de policarbonato nº9

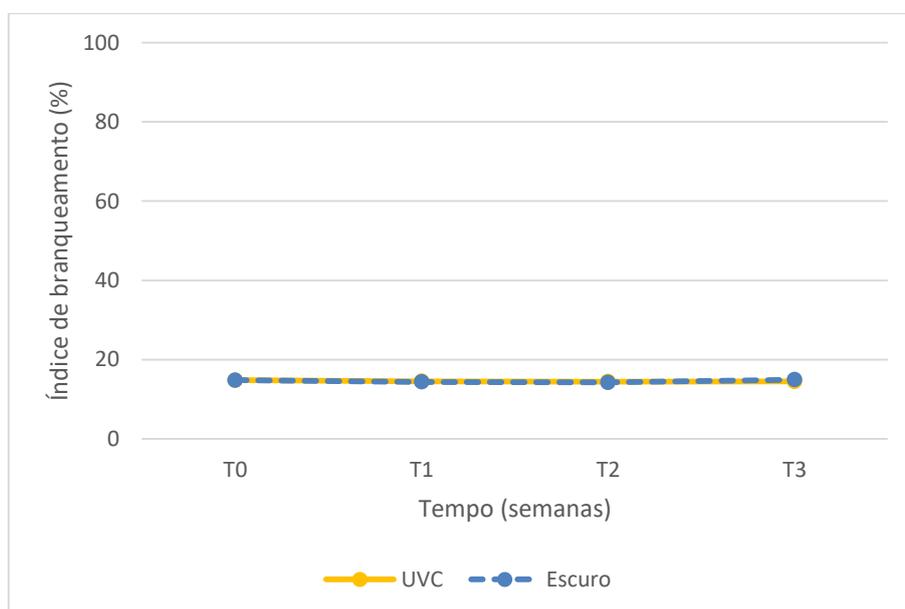
Por último, a lente nº9 de policarbonato constituída por filtro azul exposta mantém-se constante com o decorrer da exposição até que, a partir 400nm denota-se uma diminuição da transmitância da lente em comparação com a não exposta. A lente não exposta mantém-se constante. Além disso, a lente oferece uma proteção ao UVC, UVB e UVA, deixando passar radiação a partir dos 400nm correspondente à luz visível. A transmitância superior a 100% registada na figura, à qual não foi atribuída significância física, será avaliada e descrita em trabalhos futuros.



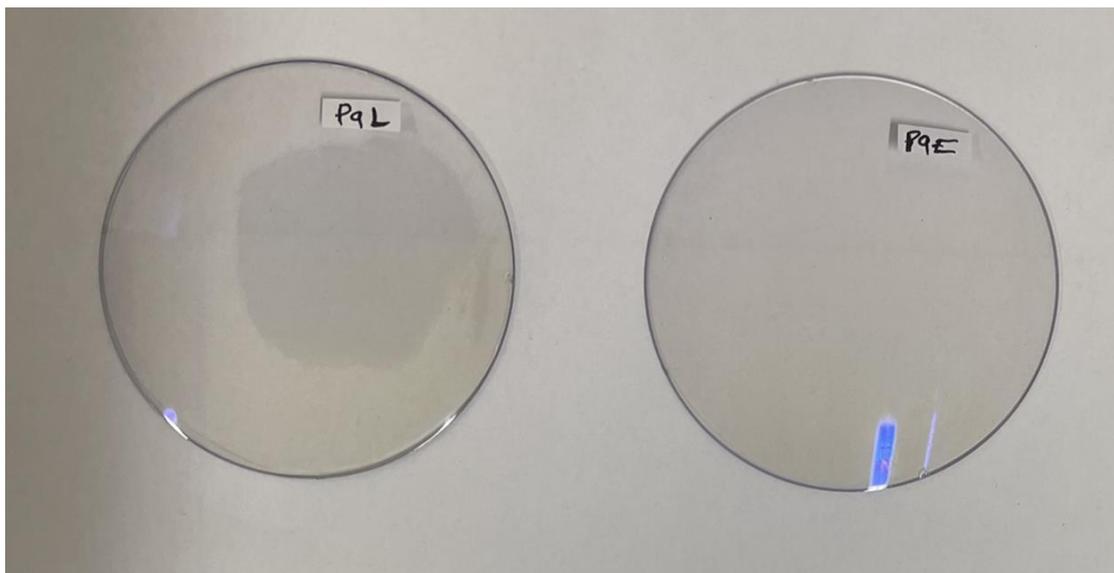
**Figura 4.41** Transmitância referente às lentes nº9 (em %); as linhas contínuas correspondem à lente exposta e as linhas a tracejado correspondem à lente mantida no escuro; a linha laranja corresponde à medida no tempo 0 antes da exposição para a lente exposta e não exposta; a linha azul corresponde à medida 1 após 1 semana de exposição para a lente exposta, a linha verde corresponde à medida 2 após 2 semanas e a linha a vermelho corresponde à medida 3 após 3 semanas; as linhas a tracejado correspondem exatamente às mesmas medidas e semanas mas para a lente mantida no escuro.



**Figura 4.42** Índice de amarelecimento referente às lentes n°9 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.

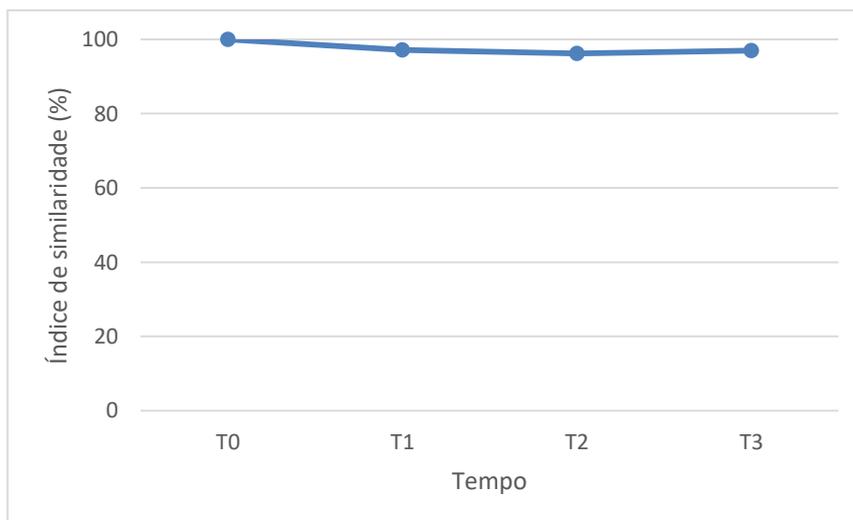


**Figura 4.43** Índice de branqueamento referente às lentes n°9 (em %); a linha amarela representa a lente exposta ao UVC; a linha azul a tracejado representa a lente não exposta, mantida no escuro.



**Figura 4.44** Referente à lente n°9 após três semanas de exposição, onde à esquerda podemos ver a lente exposta ao UVC e à direita a lente não exposta. Estas têm um reflexo azul correspondente ao filtro azul em ambas as lentes, mas, na lente exposta podemos ver uma mancha central em comparação com a lente não exposta que se mantém intacta com o tempo.

Ao observar as figuras correspondentes ao índice de amarelecimento (fig. 4.42) e branqueamento (fig.4.43) verifica-se que a lente mantida no escuro e a lente exposta ao UVC se mantêm inalteradas ao longo tempo. Na figura 4.44 podemos observar que, fisicamente ambas se mantêm idênticas, apenas a lente exposta apresenta uma mancha central.



**Figura 4.45** Índice de similaridade referente às lentes n<sup>o</sup>9 (em %); representa a média das 3 medidas em comparação com a lentes não expostas, cujos resultados são superiores a 90%, isto significa que à medida que o tempo de exposição aumenta, a lente obtém espectros muito similares entre si, ou seja, não sofre muita alteração.

**Tabela 4.9** Comparação de valores obtidos pelo índice de similaridade (%) referente às lentes n<sup>o</sup>6 de cada semana desde o início do estudo; 1<sup>a</sup> semana corresponde à comparação dos espectros da semana 1 e 0; 2<sup>a</sup> semana corresponde à comparação dos espectros da semana 2 e 0; 3<sup>a</sup> semana corresponde à comparação dos espectros da semana 3 e 0; Valores superiores a 90% significa uma similaridade elevada.

	<b>1<sup>a</sup> Semana T1-T0</b>	<b>2<sup>a</sup> Semana T2-T0</b>	<b>3<sup>a</sup> Semana T3-T0</b>
<b>Lente exposta ao UVC</b>	97,11	97,00	93,73
<b>Lente mantida no escuro</b>	97,35	97,62	93,64

Observando a figura 4.45 correspondente ao índice de similaridade da lente n<sup>o</sup>9 verifica-se uma constante entre a lente exposta e a lente mantida no escuro, ao longo do tempo, o que significa que as duas lentes se mantiveram inalteradas ao longo do estudo. Podemos comprovar, de forma mais detalhada, com os resultados da tabela 4.9 que faz a comparação das duas lentes.

## **5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

---

### **5.1. Comparação entre a lente de acrílico e a lente de policarbonato com anti-risco**

Ao analisarmos o resultado desta experiência verifica-se que, as lentes nº1 em comparação com as lentes nº2 de acrílico têm uma transmitância um pouco menor, embora ambas sejam do mesmo material e mesmo tratamento, mas isto deve-se segundo *T.Ozdemir et al.2016* (Ozdemir et al. 2016), à espessura da lente, segundo os autores quanto maior a espessura da lente, menor é a sua transmitância aos UV's, neste caso como a lente nº1 tem uma graduação de -2D faz com que seja mais espessa em comparação com a lente nº2 que é uma lente de graduação neutra e espessura mais reduzida.

As lentes nº1 e nº2 expostas de acrílico com anti-risco em comparação com a lente nº6 exposta de policarbonato com anti-risco sofrem menores alterações na sua transmitância com o decorrer da exposição. Ainda que, as lentes de acrílico sofram uma alteração gradual ao longo do estudo, na lente de policarbonato há uma grande disparidade da semana 0 para a semana 1, cerca de 30%, mas, posteriormente mantêm-se aproximadamente constantes nas semanas seguintes. Isto deveu-se à situação que foi referida acima, em que dever-se-ia ter medido a sua transmitância com maior antecedência do que as restantes lentes para obtermos um decréscimo da sua transmitância mais gradual.

Ao observar os índices de amarelecimento verifica-se que a lente nº6 é a que apresenta uma alteração maior em comparação com as lentes nº1 e 2. Em relação ao índice de branqueamento, não se denota diferenças significativas nas lentes 1,2 e 6.

Em relação ao índice de similaridade, a lente nº6 de acrílico exposta é a que apresenta uma alteração na sua transmissibilidade maior ao longo do tempo, em comparação com as lentes nº1 e 2 que apresentam uma transmitância ao longo do estudo mais constante, ou seja, a lente nº6 é a que sofre mais alterações com o UVC.

As lentes mantidas no escuro relativas à lente nº1, 2 e 6 mantêm-se intactas ao longo do estudo.

## **5.2. Comparação entre a lente de acrílico e a lente de policarbonato com anti-reflexo**

A lente nº3 de acrílico com anti-reflexo exposta em comparação com a lente nº7 de policarbonato com o mesmo tratamento exposta, demonstra diferenças com o decorrer da exposição, cerca de 10%, de decréscimo na sua transmitância da semana 0 para a semana 3, em comparação com as lentes não expostas do mesmo material. As lentes nº7 de policarbonato mantêm-se constantes com o decorrer da exposição.

Analisando os índices de branqueamento e amarelecimento referentes às lentes nº3 e às lentes nº7 verifica-se que a lente nº3 exposta teve uma ligeira diferença no índice de amarelecimento comparativamente às lentes 7 expostas e mantidas no escuro que se mantêm constante nos dois índices, ou seja, fisicamente as lentes permanecem intactas. A lente nº 3 mantida no escuro permanece intacta com o decorrer da exposição.

Em relação ao índice de similaridade das lentes nº3 e 7 denota-se que ambas se mantêm aproximadamente constantes ao longo do estudo, ou seja, não sofreram alterações coma exposição ao UVC.

As lentes mantidas no escuro da lente nº3 e 7 mantiveram-se intactas ao longo do tempo.

## **5.3. Comparação entre a lente de acrílico e a lente de policarbonato com filtro azul**

As lentes nº4,5 e 8 de acrílico com filtro azul em comparação com a lente nº9 de policarbonato com filtro azul, não demonstram diferenças na sua transmitância com o decorrer da exposição.

Ao analisar os índices de amarelecimento e branqueamento das lentes nº4, 5, 8 e 9 não se verificam diferenças entre elas, ou seja, mantêm-se iguais.

Relativamente aos índices de similaridade das lentes de acrílico nº 4, 5 e 8 e policarbonato nº 9 podemos verificar que se mantêm constantes, o que significa que não sofrem alterações a nível da transmissibilidade com o decorrer da exposição.

As lentes mantidas no escuro das lentes nº4, 5, 8 e 9 mantêm-se intactas ao longo do estudo.

## 6. CONCLUSÕES

---

No final deste estudo conclui-se que a exposição ao UVC provocou ligeiras alterações nas lentes de acrílico com tratamento anti-risco tendo um decréscimo da sua transmitância e fisicamente, alterando um pouco a sua cor, com o decorrer da exposição.

A lente de policarbonato também se obteve diferenças na sua transmissibilidade, um pouco superiores, e fisicamente tornou-se um pouco amarela.

As lentes de acrílico revestidas pelo anti-reflexo verificaram-se diferenças com a exposição à UVC, ao longo do estudo, tornando-se um pouco amarela. Enquanto as lentes de policarbonato com o mesmo tratamento não apresentam diferenças com o decorrer do estudo.

Nas lentes de acrílico com filtro azul, bem como, a lente de policarbonato com o mesmo tratamento, não se obtém diferenças com o decorrer da exposição, elas se mantêm praticamente iguais como se não houvesse exposição.

Ao analisar o estudo verifica-se que a exposição ao UVC provocou alterações apenas nas lentes de anti-risco, sendo que essas alterações foram muito pequenas. Nas restantes lentes não houve qualquer alteração com a exposição ao UVC.

As lentes de acrílico 1,2 e 3 oferecem proteção à UVC, UVB e parte da UVA, deixando uma parte passar, em relação às lentes nº8 oferecem proteção à UVC, UVB e grande parte da UVA. O que podemos concluir é que o filtro azul oferece uma maior proteção em comparação com o anti-risco e a anti-reflexo.

Nas lentes de policarbonato 6, 7 e 9, oferecem uma proteção à UVC, UVB e grande parte de UVA, mas neste caso não se deve aos tratamentos, mas ao próprio material que oferece uma proteção mais alargada aos UV's.

Para entendermos o efeito do UVC nas lentes oftálmicas seriam necessários realizar estudos futuramente, de forma a entender com exatidão os efeitos da UVC neste tipo materiais óticos e qual o efeito dos revestimentos destes materiais aquando da exposição.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Alzahrani, Hind S., Sieu K. Khuu, e Maitreyee Roy. 2020. «Modelling the Effect of Commercially Available Blue-blocking Lenses on Visual and Non-visual Functions». *Clinical and Experimental Optometry* 103(3):339–46. doi: 10.1111/cxo.12959.
- AVaSpec-ULS2048CL-EVO, S. (2018). *EVO Series, with 4k Cmos detector. 35-37* Consultado no dia 15 de março de 2022. Disponível em <https://www.avantes.com/products/spectrometers/starline/avaspec-uls2048cl-evo/>
- Bachmann, Lorin M., e W. Greg Miller. 2020. «Spectrophotometry». Pp. 119–33 em *Contemporary Practice in Clinical Chemistry*. Elsevier.
- Back, Seung-Ki, Bup-Mook Joung, Eun-Song Lee, Jin-Ho Sung, A. H. M. Mojammal, Yong-Joon Park, e Yong-Chil Seo. 2020. «Correlation between Mercury Content and Leaching Characteristics in Waste Phosphor Powder from Spent UV Curing Lamp after Thermal Treatment». *Journal of Hazardous Materials* 382:121094. doi: 10.1016/j.jhazmat.2019.121094.
- Baldasso, Manon, Maitreyee Roy, Mei-ying Boon, e Stephen J. Dain. 2021. «Effect of Blue-Blocking Lenses on Colour Discrimination». *Clinical and Experimental Optometry* 104(1):56–61. doi: 10.1111/cxo.13139.
- Bass, Michael, e Optical Society of America, eds. 1995. *Handbook of Optics*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill.
- Beatty, S., M. Boulton, D. Henson, H. H. Koh, e I. J. Murray. 1999. «Macular Pigment and Age Related Macular Degeneration». *British Journal of Ophthalmology* 83(7):867–77. doi: 10.1136/bjo.83.7.867.
- Buonanno, Manuela, Brian Ponnaiya, David Welch, Milda Stanislauskas, Gerhard Randers-Pehrson, Lubomir Smilenov, Franklin D. Lowy, David M. Owens, e David J. Brenner. 2017. «Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-Nm UV Light». *Radiation Research* 187(4):493–501. doi: 10.1667/RR0010CC.1.
- Büyükyıldız, H. Zeki. 2012. «Gözlük Camı Kaplamaları ve Renkli Camlar». *Türk Oftalmoloji Dergisi* 42(5):359–69. doi: 10.4274/tjo.42.52724.
- Carlson, Anthony S. 2019. «A Comparison of Blue-Light Transmissions through Blue-Control Lenses». *African Vision and Eye Health* 78(1). doi: 10.4102/aveh.v78i1.497.
- Diffey, B. L. 1991. «Solar Ultraviolet Radiation Effects on Biological Systems». *Physics in Medicine and Biology* 36(3):299–328. doi: 10.1088/0031-9155/36/3/001.
- Diffey, Brian L. 2002. «Sources and Measurement of Ultraviolet Radiation». *Methods* 28(1):4–13. doi: 10.1016/S1046-2023(02)00204-9.

Dominique Meslin, Essilor Academy 2010, Cadernos de Ótica Oftálmica, Materiais e Tratamentos. 5-49. Consultado no dia 22 de setembro de 2021.

Disponível em <https://www.essiloracademy.eu/sites/default/files/publications/Cahier-Materials-and-Treatments-PT/index.html>

Dominique Meslin, Essilor Academy 2006, Cadernos de Ótica Oftálmica, L Prática. 5-25 Consultado no dia 22 de setembro de 2021.

Disponível em <https://www.essiloracademy.eu/sites/default/files/publications/Cahier-Progressive%20Lenses-PT/index.html>

Eisaman, M. D., J. Fan, A. Migdall, e S. V. Polyakov. 2011. «Invited Review Article: Single-Photon Sources and Detectors». *Review of Scientific Instruments* 82(7):071101. doi: 10.1063/1.3610677.

Fernandes José, FCNAUP, Espectrofotométricos, M (2018). *Métodos Espectrofotométricos*. 1-22. Consultado no dia 12 de março de 2022. Disponível em [https://moodle1920.up.pt/pluginfile.php/47229/mod\\_resource/content/1/Bromatologia%202018.19%20-%20Espectrofotometria%20%28PB%29.pdf](https://moodle1920.up.pt/pluginfile.php/47229/mod_resource/content/1/Bromatologia%202018.19%20-%20Espectrofotometria%20%28PB%29.pdf)

Hirschler, R. 2010. «Visual and Instrumental Evaluation of Whiteness and Yellowness». Pp. 88–124 em *Colour Measurement*. Elsevier.

Hunt, R. W. G., e M. R. Pointer. sem data. «Measuring Colour». 493.

Internationale Beleuchtungskommission, ed. 2010. *UV-C Photocarcinogenesis Risks from Germicidal Lamps: Technical Report*. Vienna: CIE Central Bureau.

Jez, Kinga, Marcin Nabialek, Konrad Gruszka, Michal Deka, Slawomir Letkiewicz, e Bartlomiej Jez. 2018. «Light Transmittance by Organic Eyeglass Lenses According to Their Class». *Materiale Plaste* 55(3):438–41. doi: 10.37358/MP.18.3.5046.

Kim, Do-kyun, e Dong-Hyun Kang. 2020. «Effect of Surface Characteristics on the Bactericidal Efficacy of UVC LEDs». *Food Control* 108:106869. doi: 10.1016/j.foodcont.2019.106869.

Leung, Tsz Wing, Roger Wing-hong Li, e Chea-su Kee. 2017. «Blue-Light Filtering Spectacle Lenses: Optical and Clinical Performances» editado por J. M. González-Méijome. *PLOS ONE* 12(1):e0169114. doi: 10.1371/journal.pone.0169114.

Lindblad, Marie, Eva Tano, Claes Lindahl, e Fredrik Huss. 2020. «Ultraviolet-C Decontamination of a Hospital Room: Amount of UV Light Needed». *Burns* 46(4):842–49. doi: 10.1016/j.burns.2019.10.004.

Nardell, Ed, Louise Fletcher, John M. Putnam, Bob Scheir, Mary E. Clancy, Marc A. Deshusses, Charley Dunn, Scott Faland, Johnson Controls, Bill Fowler, Steve Guzorek, Brad Hollander, Timothy J.

- Leach, FP Technologies, Sam Speer, Nick Velandar, Dave Witham, Wladyslaw J. Kowalski, e Jim Bolton. sem data. «International Ultraviolet Association». 59.
- Ozdemir, Tuba, Adnan Saglam, Firdevs Banu Ozdemir, e Ali Ünsal Keskiner. 2016. «The Evaluation of Spectral Transmittance of Optical Eye-Lenses». *Optik* 127(4):2062–68. doi: 10.1016/j.ijleo.2015.11.034.
- Pérez, María del Mar, Razvan Ghinea, María José Rivas, Ana Yebra, Ana María Ionescu, Rade D. Paravina, e Luis Javier Herrera. 2016. «Development of a Customized Whiteness Index for Dentistry Based on CIELAB Color Space». *Dental Materials* 32(3):461–67. doi: 10.1016/j.dental.2015.12.008.
- Petrescu, Rely Victoria, Raffaella Aversa, Antonio Apicella, e Florian Ion Tiberiu Petrescu. 2018. «NASA Sees First in 2018 the Direct Proof of Ozone Hole Recovery». *Journal of Aircraft and Spacecraft Technology* 2(1):53–64. doi: 10.3844/jastsp.2018.53.64.
- Philips (2022). *Lightening Philips purificación aire y agua*. 8-11. Consultado no dia 11 de novembro de 2021. Disponível em [https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp927941904020-pss-pt\\_pt](https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp927941904020-pss-pt_pt)
- Raeiszadeh, Milad, e Babak Adeli. 2020. «A Critical Review on Ultraviolet Disinfection Systems against COVID-19 Outbreak: Applicability, Validation, and Safety Considerations». *ACS Photonics* 7(11):2941–51. doi: 10.1021/acsp Photonics.0c01245.
- Shaw, Gary A., Andrew M. Siegel, Joshua Model, Adam Geboff, Stanislav Soloviev, Alexey Vert, e Peter Sandvik. 2009. «Deep UV Photon-Counting Detectors and Applications». P. 73200J em, editado por M. A. Itzler e J. C. Campbell. Orlando, Florida, USA.
- Song, Kai, Madjid Mohseni, e Fariborz Taghipour. 2016. «Application of Ultraviolet Light-Emitting Diodes (UV-LEDs) for Water Disinfection: A Review». *Water Research* 94:341–49. doi: 10.1016/j.watres.2016.03.003.
- Sullivan, Chelsea, Qianqian Pan, Stephen Westland, e Roger Ellwood. 2019. «A Yellowness Index for Use in Dentistry». *Journal of Dentistry* 91:103244. doi: 10.1016/j.jdent.2019.103244.
- Vecchia, Paolo, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, e Internationale Arbeitsorganisation, eds. 2007. *Protecting Workers from Ultraviolet Radiation*. Oberschleißheim: Internat. Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
- Wan, Katty X., Ilan Vidavsky, e Michael L. Gross. 2002. «Comparing Similar Spectra: From Similarity Index to Spectral Contrast Angle». *Journal of the American Society for Mass Spectrometry* 13(1):85–88. doi: 10.1016/S1044-0305(01)00327-0.
- Yuki, Koichi, Miho Fujiogi, e Sophia Koutsogiannaki. 2020. «COVID-19 Pathophysiology: A Review». *Clinical Immunology* 215:108427. doi: 10.1016/j.clim.2020.108427.

## ANEXOS

---

### Anexo I – Protocolo Laboratorial: Espectrofotómetro

#### Protocolo laboratorial Espectrofotómetro

1. Ligar o computador;
2. Ligar espectrofotómetro;
3. Abrir o programa no computador – *UVPC*;
4. Aguardar que o espectrofotómetro faça a sua calibragem e fique pronto a ser usado;
5. Abrir câmara do aparelho em questão para verificar se não está nenhum objeto no seu interior e alterar para um suporte adequado;
6. Fechar câmara;
7. Selecionar no programa *Acquire mode* e colocar a opção *Spectrum*;
8. Selecionar *Configure*, e de seguida *Parameters* e seleciona a transmitância (%), em *Recording Range* selecionar a opção *low 0 to high 100*. Posteriormente selecionar o grupo de comprimentos de onda que irá ser avaliado, neste caso 250-750nm, para isso, selecionar em *start 750 to end 250 nm*, em *Scan Speed – fast* selecionar *fast*, em *Slit Width-2.0*, em *Sampling interval-1.0*. E por fim OK.
9. Medir a *baseline*, sem nenhum objeto a interferir no interior do equipamento.  
Neste passo é onde há uma calibração do equipamento e no ecrã ira aparecer os comprimentos de onda selecionados. Este só termina quando a transmitância rondar os 100%, se aparecer comprimentos de onda negativos temos de repetir o processo. É importante garantir que a tampa da célula esteja bem fechada para não comprometer a medição;
10. No ecrã irá aparecer *stand by*, que significa que o *baseline* terminou;
11. Colocar peça a medir no interior do equipamento numa posição pré-definida de modo que a luz incida.  
No suporte onde está a peça haverá uma parte do suporte que não está obstruído, sem qualquer obstáculo pela frente;
12. Carregar em **start** (apenas um dos suportes fica obstruído com o material a medir, o segundo está livre sem qualquer obstáculo).

**13.** Quando terminar de avaliar a transmitância do material em questão temos de guardar os dados em ***file-save as-drives-shimadzu- na pasta 1MOAUV***

À medida que guardamos escolhemos o “canal” para gravar a medição (ex: *Chanel 1, Chanel 2 ...*);

Por defeito, a primeira medida será gravada no *Chanel 0*. O nome do ficheiro será primeiro nome do material a medir com o número do material, tempo do material (em semanas) e número de medida com letras minúsculas do alfabeto; **Ex: L5\_11\_a (lente nº5, no dia 11, primeira medida)**

No total iremos fazer 3 medidas de cada material para diminuir os erros que possam decorrer.

**14.** Retirar peça do interior do espectrofotómetro e colocar próxima da mesma forma, na mesma posição. (em todas as medições é repetido o passo 13);

**15.** No final das 3 medições são guardados os dados e colocamos a próxima peça a medir;

**16.** Posteriormente iremos exportar ficheiro do material em ***File-data traslator-ASCCI Export*** – selecionamos até ao máximo de 8 medidas;

**17.** Para verificar se ficou guardado o ficheiro iremos ao ambiente de trabalho em *START- PROGRAMS* – *WINDOWS NT EXPLORER* (pasta *1MOAUV*);

**18.** Exportar ficheiros para disquete (só retirar disquete quando se desligar luz verde na torre);

**19.** Quando tudo terminado, fechar programa, desligar computador, mudar suporte do espectrofotómetro (colocar tudo como estava quando chegamos ao laboratório).

**Nota:**

- Ter em atenção em colocar os materiais sempre na mesma posição.
- Registar materiais por ordem de avaliação.