



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Ana Filipa Lopes Bago Rodrigues

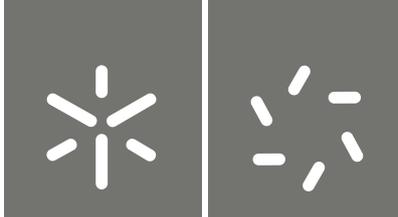
Comportamento ótico de diversos materiais após exposição a radiação UVC

Ana Filipa Lopes Bago Rodrigues **Comportamento ótico de diversos materiais após exposição a radiação UVC**

Ana Filipa Lopes Bago Rodrigues

UMinho | 2021

dezembro de 2021



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Ana Filipa Lopes Bago Rodrigues

**Comportamento ótico de diversos materiais
após exposição a radiação UVC**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Optometria Avançada

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

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

Terminar esta fase do meu percurso académico não foi fácil, todavia, com empenho, dedicação, responsabilidade, persistência e com as melhores pessoas do meu lado tudo se consegue!

Agradeço aos meus orientadores, Professora Doutora Sandra Franco e Professor Doutor João Linhares pela dedicação, empenho, disponibilidade, compreensão e partilha de conhecimentos. Muito obrigada!

Um agradecimento especial ao Senhor Américo, colaborador da Universidade do Minho, pela disponibilidade, dedicação e empenho na elaboração de determinados equipamentos e acessórios que foram indispensáveis na realização deste trabalho. Obrigada!

Agradeço aos meus pais, Rosa e Fernando, irmão e restante família por todo o apoio dado nos bons e maus momentos. Obrigada pela paciência, compreensão e pelas palavras de incentivo nas horas em que me senti desmotivada e perdida. Obrigada, por permitirem ser a pessoa que sou hoje e me ajudarem sempre!

Agradeço também aos meus amigos, por toda a compreensão e paciência que tiveram. Obrigada!

Agradeço também à Ana Catarina por toda a compreensão e ajuda.

Muito grata, por tudo e por todos!

“Conhecimento é poder!”

Francis Bacon

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.

Comportamento ótico de diversos materiais após exposição a radiação UVC

RESUMO

Objetivo: Análise do comportamento ótico de alguns acrílicos aquando e após a exposição à radiação ultravioleta C.

Métodos: A amostra foi constituída por 8 tipos de acrílicos, rígidos e flexíveis, tipicamente utilizados no embalamento na indústria alimentar e protetores de balcões e objetos. Haviam 2 peças de cada amostra sendo que uma foi exposta numa caixa escura e outra exposta numa caixa com lâmpadas emissoras de UVC, lâmpadas TUV T8 Philips. As peças foram expostas por intervalos de tempo idênticos nas respetivas caixas e entre cada exposição foi feita a medição de transmitância e da deformação provocada por um peso previamente definido. Foram realizadas medições após uma pausa na exposição ao UVC para verificar o quanto as peças alteravam as suas propriedades após a exposição a esta radiação.

Resultados: Obtiveram-se dados de transmitância (%) para comprimentos de onda desde os 250 nm até 1000 nm; de modo a verificar a similaridade entre os resultados obtidos em cada medição foi calculado o índice de similaridade. Foram obtidos resultados da deformação provocada pelos pesos determinados previamente. Foi ainda obtido o valor do índice de branqueamento e amarelecimento das amostras;

Conclusões: Este estudo mostrou que a exposição às lâmpadas emissoras de UVC provocam alterações na estrutura de alguns materiais, nomeadamente um caracterizado como protetor de radiação ultravioleta, afetando propriedades óticas e físicas como transmitância e resistência dos materiais. Verificou-se ainda que após uma pausa na exposição ao UVC determinadas peças continuaram a sofrer alterações na sua estrutura.

Palavras-chave: acrílicos; deformação; lâmpadas germicidas; radiação ultravioleta C; transmitância.

Optical behavior of different materials after exposure to UVC radiation

ABSTRACT

Objective: Analysis of the optical behavior of some acrylics when and after exposure to ultraviolet C radiation.

Methods: The sample consisted of 8 types of acrylics, rigid and flexible, typically used in packaging in the food industry and protectors for counters and objects. There were 2 pieces of each sample, one was exposed in a dark box and the other exposed in a box with UVC emitting lamps, TUV T8 Philips lamps. The pieces were exposed for identical time intervals in the respective boxes and between each exposure the measurement of transmittance and deformation caused by a previously defined weight was taken. Measurements were taken after a break in UVC exposure to verify how much the pieces changed their properties after exposure to this radiation.

Results: Transmittance data (%) were obtained for wavelengths from 250nm to 1000nm; in order to verify the similarity between the results obtained in each measurement, the similarity index was calculated. Results of the deformation caused by the previously determined weights were obtained. The whitening and yellowing index value of the samples was also obtained;

Conclusions: this study showed that exposure to UVC emitting lamps causes changes in the structure of some materials, namely one characterized as a protector against ultraviolet radiation, affecting optical and physical properties such as transmittance and resistance of the materials. It was also found that after a break in exposure to UVC, certain pieces continued to undergo changes in their structure.

Keywords: acrylics; deformation; germicidal lamps; transmittance; ultraviolet C radiation.

INDICE

AGRADECIMENTOS	iii
Comportamento ótico de diversos materiais após exposição a radiação UVC	v
RESUMO	v
Optical behavior of different materials after exposure to UVC radiation	vi
ABSTRACT	vi
INDICE.....	vii
ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABELAS	xviii
1. REVISÃO DA LITERATURA	1
1.1 Luz e espectro eletromagnético.....	1
1.1.1.1 Luz.....	1
1.2 Radiação UV: aplicações e efeitos nocivos	4
1.2.1.1 Fontes de radiação UV geradas pelo Homem	7
1.2.1.2 Lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (LP-Hg)	8
1.2.1.3 Lâmpadas <i>Excimer</i>	8
1.2.1.4 LEDS UVC	9
1.2.1.5 Lâmpada de arco.....	9
1.2.1.6 Lâmpada fluorescente	9
1.2.1.7 Luz de espectro total- luz <i>Full spectrum</i> (FSL).....	9
1.2.1.8 Lâmpadas de descarga de gás UV	10
1.2.1.9 UVB de banda estreita	10
1.2.1.10 Lâmpada sem elétrodo.....	10
1.2.1.11 Lâmpada ultravioleta TL-01	10
1.2.1.12 Lâmpadas TL-12 Philips	10
1.2.1.13 ILTs de luz negra.....	11

1.2.1.14	Díodos emissores de luz ultravioleta	11
1.2.1.15	Lâmpada ultravioleta de onda curta	11
2.	HIPÓTESE E OBJETIVO DE ESTUDO.....	12
2.1	Introdução	12
2.2	Hipóteses.....	12
2.3	Objetivo	13
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1	Tipo de estudo	14
3.2	Amostra	14
3.3	Análise estatística.....	15
3.4	Procedimento experimental.....	15
3.4.1.1	Alterações visíveis por inspeção visual nas peças expostas ao UVC.....	19
3.4.1.2	Teste da variabilidade na repetibilidade da medição pelo examinador	20
3.4.1.3	Espetrofotômetro	21
3.4.1.4	Caixa de iluminação.....	23
3.4.1.5	Medição da deformação do material	26
4.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	29
4.1	Teste da variabilidade da repetibilidade das medições efetuadas pelo examinador.....	29
4.2	Transmitância.....	33
4.2.1.1	Variação da transmitância com a exposição à radiação UVC	35
4.2.1.2	Acrílico 1	35
4.2.1.3	Acrílico 2	40
4.2.1.4	Acrílico 3	44
4.2.1.5	Acrílico 4	48
4.2.1.6	Acrílico 5A.....	52
4.2.1.7	Acrílico 6	56
4.2.1.8	Acrílico 7	60
4.2.1.9	Acrílico 8	64
4.2.1.10	Avaliação da transmitância após a exposição à radiação UVC.....	68
4.2.1.11	Acrílico 3.....	69

4.2.1.12	Acrílico 4.....	70
4.2.1.13	Acrílico 5B.....	71
4.2.1.14	Acrílico 6.....	71
4.3	Deformação.....	73
4.3.1.1	Acrílico 3.....	73
4.3.1.2	Acrílico 4.....	75
4.3.1.3	Acrílico 5A.....	77
4.3.1.4	Acrílico 5B.....	78
4.3.1.5	Acrílico 7.....	79
4.3.1.6	Acrílico 8.....	81
5.	CONCLUSÕES.....	83
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
	ANEXOS.....	87

ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

‰: percentagem

Δt : intervalo de tempo

A1: acrílico flexível de cor verde

A2: acrílico flexível de cor branca

A3: acrílico rígido transparente de espessura de 2 milímetros

A4: acrílico rígido transparente de espessura de 3 milímetros

A5A: acrílico rígido transparente de espessura de 5 milímetros

A5B: acrílico rígido transparente de espessura de 5 milímetros

A6: acrílico rígido transparente de espessura de 10 milímetros

A7: acrílico flexível transparente

A8: acrílico rígido transparente resistente ao ultravioleta

ADN: ácido desoxirribonucleico

c.d.o: comprimento de onda

CIE: *Commission Internationale de l'Éclairage* (Francês) – Comissão Internacional da Iluminação (Português)

cm: centímetros

FSL: luz *full spectrum*

GHz: Gigahertz

Hg: mercúrio

Hz: hertz

IV: radiação infravermelha

km: quilómetros

KrCl: cloreto de criptónio

LEDS: díodos emissores de luz

LP-Hg: lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão

m: metros

MDEL: lâmpada sem elétrodo e descarga de micro-ondas

mm: milímetros

MO: micro-ondas

NBUVB: radiação ultravioleta B de banda estreita

nm: nanómetros

Rx: radiação raios X

SI: índice de similaridade

T0: tempo 0

T1: tempo 1

T2: tempo 2

T3: tempo 3

T4: tempo 4

T5: tempo 5

T6: tempo 6

UV: radiação ultravioleta

UVA: radiação ultravioleta A

UVB: radiação ultravioleta B

UVC: radiação ultravioleta C

Vis: radiação visível

WID: índice de branqueamento

γ : radiação gama

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Representação gráfica de uma onda eletromagnética e respetivas características.	1
Figura 1.2 Espectro eletromagnético com as diferentes gamas representadas desde ondas rádio até à radiação gama. (Adaptado de https://science.nasa.gov/ems/01_intro)	4
Figura 3.1 Amostras selecionadas.	14
Figura 3.2 Representação esquemática das medidas temporais realizadas.....	19
Figura 3.3 Espectrofotómetro de bancada utilizado, o modelo UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR da Shimadzu, Kyoto, Japão.	21
Figura 3.4 Caixa de iluminação fechada com as lâmpadas emissoras de UVC em funcionamento.....	23
Figura 3.5 Caixa de iluminação com porta aberta e lâmpadas inativas.....	24
Figura 3.6 Dados fornecidos do fornecedor relativamente às lâmpadas emissoras de UVC; Há um pico de emissão máximo nos 250 nm (zona do UVC) e alguns picos de emissão na zona do visível e infravermelho.	24
Figura 3.7 Espectrofotómetro portátil utilizado para avaliar a veracidade dos dados fornecidos pelo fornecedor; adaptado de (Avaspec-ulscl-evo, 2018).	25
Figura 3.8 Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas neste trabalho, em unidades de número de fótons por unidade de área, avaliado entre os 175 nm e 1175 nm. É notório o pico de emissão nos 254 nm (UVC), picos de emissão na zona do visível que permite indicar que a lâmpada está em funcionamento e picos no infravermelho próximo devido ao calor emitido.....	25
Figura 3.9 Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas neste trabalho, em unidades de número de fótons por unidade de área, avaliado entre os 175nm e os 400nm (zona do UV). Há um pico máximo nos 254 nm (puramente UVC) e alguns picos nos 300nm e 350nm.....	26
Figura 3.10 Instrumento utilizado para medir a deformação provocada por determinados pesos no material.....	27

Figura 3.11 Demonstração dos pesos utilizados para medir a deformação nas peças.	27
Figura 3.12 Demonstração de como é colocada a peça para ser efetuada a medição.	28
Figura 3.13 Escala utilizada no equipamento.	28
Figura 4.1 Valores de transmitância obtidos (%) para 1 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 1; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinalada com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.	29
Figura 4.2 Valores de transmitância obtidos (%) para 3 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 2; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinalada com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.	30
Figura 4.3 Valores de transmitância obtidos (%) para 3 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 3; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinaladas com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.	31
Figura 4.4 Valores de transmitância obtidos (%) para 3 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 7; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinalada com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.	32
Figura 4.5 Alterações observáveis nas amostras 1 a 7 no tempo 2 (T2) e tempo 3 (T3) após 14 e 21 dias de exposição ao escuro e UVC, respetivamente. As amostras apresentadas no lado direito são as que foram expostas ao UVC.	34
Figura 4.6 Alterações observáveis nas amostras o tempo 4 após 48 dias da última exposição ao UVC.	

.....	34
Figura 4.7 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para as peças 1; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).	36
Figura 4.8 Índices de branqueamento (A) e amarelecimento (B) obtidos para a peça 1; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.	37
Figura 4.9 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 2; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).	40
Figura 4.10 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 2; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.	41
Figura 4.11 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 3; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).	44
Figura 4.12 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 3; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.	45
Figura 4.13 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 4; Os resultados	

obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás). 49

Figura 4.14 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 4; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC. 50

Figura 4.15 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 5A; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás). 53

Figura 4.16 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 5; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC. 54

Figura 4.17 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 6; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás). 57

Figura 4.18 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 6; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC. 60

Figura 4.19 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 7 ; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças

expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás); 61

Figura 4.20 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 7; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC. 64

Figura 4.21 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 8; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás). 65

Figura 4.22 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 8; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC. 68

Figura 4.23 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 3; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a última exposição, respetivamente. 69

Figura 4.24 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 4; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a última exposição, respetivamente. 70

Figura 4.25 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 5; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a última exposição, respetivamente. 71

Figura 4.26 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 6; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a

última exposição, respetivamente.	72
Figura 4.27 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 3; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.	74
Figura 4.28 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 4; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UV. (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.	76
Figura 4.29 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 5A; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.	78
Figura 4.30 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 5B; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UV. (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.	79
Figura 4.31 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 7; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.	80
Figura 4.32 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para o material 8; medidas efetuadas na peça não exposta ao UVC (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 Descrição das amostras selecionadas e respectivas características e nomenclatura	15
Tabela 4.1 Valores do índice de similaridade obtidos para a análise da variabilidade da repetibilidade das medidas efetuadas pelo examinador (%); Valores superiores a 90% significam que existe uma similaridade elevada.	32
Tabela 4.2 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 1; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	38
Tabela 4.3 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	38
Tabela 4.4 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	39
Tabela 4.5 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 2; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	42
Tabela 4.6 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	42
Tabela 4.7 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	43
Tabela 4.8 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o	

início da atividade experimental para acrílico 3; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	46
Tabela 4.9 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	47
Tabela 4.10 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	47
Tabela 4.11 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 4; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	51
Tabela 4.12 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	51
Tabela 4.13 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada;	52
Tabela 4.14 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 5B; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	55
Tabela 4.15 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	55
Tabela 4.16 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e	

não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	56
Tabela 4.17 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 6; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	58
Tabela 4.18 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	58
Tabela 4.19 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	59
Tabela 4.20 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 7; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	62
Tabela 4.21 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	62
Tabela 4.22 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	63
Tabela 4.23 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 8; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	66
Tabela 4.24 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta	

e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	66
Tabela 4.25 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada	67
Tabela 4.26 Valores do índice de similaridade obtidos entre o tempo 3 e 6 das peças que apresentaram alterações na superfície após uma pausa na exposição ao UVC; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.	69
Tabela 4.27 Descrição dos pesos utilizados para a medida da deformação em gramas.	73
Tabela 4.28 Registo ao longo do tempo das medidas obtidas para a deformação. Os resultados apresentados são a média de 6 medições \pm desvio padrão.	74
Tabela 4.29 Registo ao longo do tempo das medidas obtidas para a deformação após cessar a exposição a UVC. Os resultados apresentados são a média de 6 medições \pm desvio padrão.	75
Tabela 4.30 Registo ao longo do tempo das medidas obtidas para a deformação do acrílico 4 Os resultados apresentados são média de 6 medições \pm desvio padrão.	76
Tabela 4.31 Resultados obtidos entre tempos após a última exposição (T3) ao UVC e uma pausa na mesma (T6); Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico 4.	77
Tabela 0.1 Resultados obtidos para análise estatística efetuada para o acrílico ³ ; são apresentados os valores de p após comparação da peça exposta e não exposta ao UVC para cada tempo e entre tempos; Os dados apresentados são referentes ao tempo em que a peça era exposta ao UVC (entre T0 e T3). Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).	90
Tabela 0.2 Resultados obtidos para análise estatística efetuada para o acrílico ⁴ ; são apresentados os valores de p após comparação da peça exposta e não exposta ao UVC para cada tempo e entre tempos; Os dados apresentados são referentes ao tempo em que a peça era exposta ao UVC (entre T0 e T3). Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).	92
Tabela 0.3 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada aos dados obtidos para o acrílico 5 da	

deformação aquando a exposição ao UVC, entre T0 e T3; os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$). 93

Tabela 0.4 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada aos dados de deformação obtidos entre o T0 e T3 para o acrílico7; São apresentados os valores de p aquando a comparação entre a peça exposta e não exposta ao UVC para cada tempo e entre tempos; os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$). 94

Tabela 0.5 Resultados da análise estatística efetuada quando se compara os dados de deformação para a peça exposta ao Não exposta ao UVC e ao UVC para cada tempo e entre tempos para o acrílico8; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$). 96

Tabela 0.6 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada entre tempos após a última exposição ao UVC e uma pausa na mesma; Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico3; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$). 97

Tabela 0.7 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada entre tempos após a última exposição (T3) ao UVC e uma pausa na mesma (T6); Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico4; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$). 98

Tabela 0.8 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada entre tempos após a última exposição ao UVC e uma pausa na mesma; Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico5; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$). 99

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Luz e espectro eletromagnético

1.1.1.1 Luz

O espectro eletromagnético caracteriza-se por um conjunto de ondas eletromagnéticas. Cada fonte de luz emite radiação em forma de luz.

Define-se luz como sendo radiação eletromagnética que possui características de onda e de partícula. O movimento ondulatório da mesma permite a qualificação pelo seu comprimento de onda (c.d.o), o qual corresponde à distância linear entre dois máximos, medido em nanómetros (nm), que corresponde a 10^9 metros (m) como se pode verificar na Figura 1.1 e pela sua frequência que corresponde ao número de vezes que os picos ocorrem num certo intervalo de tempo (Δt).

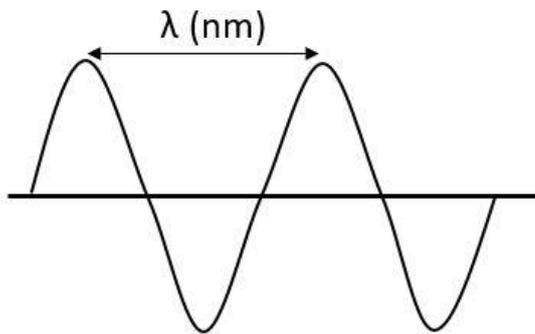


Figura 1.1 Representação gráfica de uma onda eletromagnética e respetivas características.

O potencial energético da luz é inversamente proporcional ao comprimento de onda, de tal forma que a luz violeta com comprimento de onda igual a 380 nm é mais energética do que a luz vermelha cujo comprimento de onda é 700 nm.

A luz é constituída por partículas de energia denominadas fótons, em que o conteúdo energético está intimamente relacionado com o comprimento de onda.

A radiação eletromagnética (luz) é constituída por partículas de energia denominadas fótons que

se propagam a uma velocidade fixa por meio de uma variação senoidal elétrica e campos magnéticos.

O sol sustenta grande parte da vida no nosso Planeta e a luz natural que atinge a superfície terrestre advém do Sol, a luz solar.

Decompondo-se um feixe de luz solar pelos seus comprimentos de onda é observado um espectro muito amplo e diferenciado (Figura 1.2). A radiação eletromagnética cobre um espectro contínuo de energias variáveis, variando de comprimentos de ondas longos e pouca energia (ondas rádio) para comprimentos de onda mais curtos e mais energéticos (radiação gama, γ). Entre estes dois extremos encontram-se outras formas de radiação, incluindo micro-ondas (MO), infravermelho (IV), radiação visível (Vis), ultravioleta (UV) e os raios-X (Rx).

As radiações são classificadas também pela sua capacidade de quebrar ligações químicas na matéria sendo que as radiações com esta capacidade- radiação γ , raios-X e radiação Vis são denominadas como radiações ionizantes classificadas como as com maior eficácia na esterilização e usadas particularmente nas áreas médicas, farmacêuticas e também indústria alimentar. As radiações não ionizantes- ondas rádio, MO, IV e UV não são capazes de quebrar ligações na matéria e são as usadas com maior frequência na descontaminação de superfícies na indústria alimentar. (Akhila et al., 2021)

A radiação gama apresenta os menores c.d.o e a maior energia de todas as radiações do espectro eletromagnético (Jeannette E. Allen, Max Bernstein & P. Delaney, Britt Griswold, Dr. Hashima Hasan, Dr. J. E. Hayes, Dr. Paul Hertz, Dr. Lisa Wainio, 2016). As definições comumente aceitas das regiões de raios gama e raios X do espectro eletromagnético incluem alguma sobreposição de c.d.o, com radiação de raios gama tendo comprimentos de onda de, aproximadamente, 10^{-10} m (Britannica (2021), *gamma-ray*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em <https://www.britannica.com/science/gamma-ray>) e frequências maiores que 1024 hertz (Hz). (Moravvej et al., 2021)

Os raios X caracterizam-se por comprimentos de onda curtos, alta frequência e energia (Akhila et al., 2021) com comprimentos de onda variando de cerca de 10^{-8} a 10^{-12} m. (Britannica (2021), *X-ray*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em <https://www.britannica.com/science/X-ray>)

A radiação UV, radiação que compreende intervalos de comprimento de onda entre 100 a 400 nm (Lerche et al., 2017), representa aproximadamente 6% do espectro solar e é a principal causa da deterioração dos materiais orgânicos devido ao efeito fotoquímico que a mesma causa na estrutura do polímero. (Ikematsu, 2007)

Esta componente da radiação solar pode ainda ser decomposta em três elementos de acordo com o seu comprimento de onda e energia. Portanto, a radiação ultravioleta A, UVA, os comprimentos de onda variam entre os 315-400nm (Lerche et al., 2017). Dentro da gama dos UVs a UVA é a componente que em maior quantidade atinge a superfície terrestre, cerca de 96,5%. (Almutawa et al., 2013) A radiação ultravioleta B, UVB, cujos comprimentos de onda variam entre os 280-315nm (Lerche et al., 2017) e que em dias de Verão atinge a superfície terrestre em cerca de 3.5%. (Almutawa et al., 2013) A radiação ultravioleta C, UVC, é a componente com comprimentos de onda menores, entre os 100-280nm (Lerche et al., 2017) que por sua vez é a mais energética e a que mais danos fisiológicos, celulares e físicos causa tanto em materiais físicos como biológicos. A camada de ozono existente na atmosfera filtra e funciona como barreira para comprimentos de onda inferiores a 290nm, pelo que impede que este tipo de radiação atinja a superfície terrestre e haja exposição à mesma de forma natural. (Almutawa et al., 2013)

A radiação visível (Vis) é a componente visível ao olho humano e compreende os intervalos de comprimentos de onda entre os 380 nm a 760 nm. (Zhong et al., 2020)

Dentro desta componente, os limites dos comprimentos de onda para cada tipo de radiação no espectro do visível são tidos como valores aproximados, pois cada cor funde-se gradualmente com a cor seguinte.

A região do infravermelho (IV) corresponde aproximadamente a 43% do espectro solar e o seu intervalo de comprimento de onda está contido entre 761nm até, aproximadamente, 2500nm. (Ikematsu, 2007)

As micro-ondas são ondas de rádio de comprimento de onda curto, de cerca de 10 centímetros (cm) a 1 milímetro (mm)².

As ondas de rádio são um tipo de radiação eletromagnética com comprimentos de onda no espectro eletromagnético maiores do que a radiação infravermelha. As ondas de rádio têm frequências de 300 gigahertz (GHz) a 30 Hz. Sendo que, a 300 GHz, o comprimento de onda correspondente é 1

mm e a 30 Hz, o comprimento de onda correspondente é 10.000 quilômetros (km)¹.

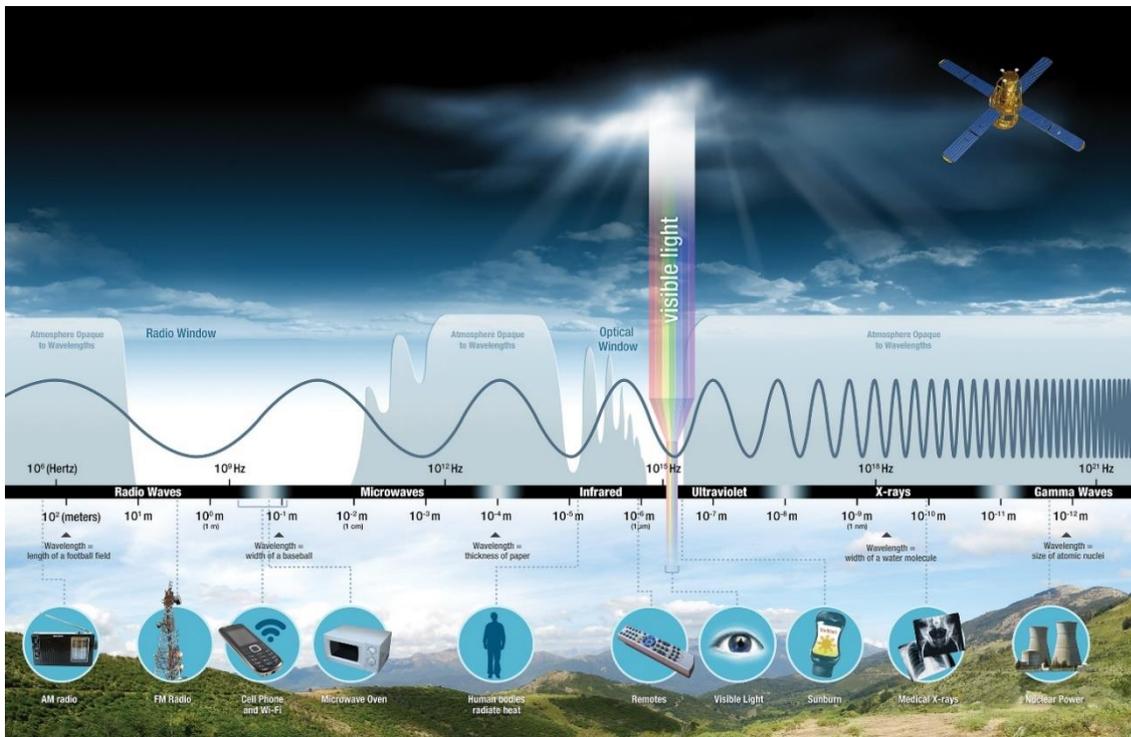


Figura 1.2 Espectro eletromagnético com as diferentes gamas representadas desde ondas rádio até à radiação gama. (Adaptado de https://science.nasa.gov/ems/01_intro)

1.2 Radiação UV: aplicações e efeitos nocivos

Existem duas fontes principais da UV - o sol e a luz artificial gerada por equipamentos construídos pelo Homem usados em diversas atividades. (Ahmad et al., 2017)

Sabe-se que quanto menor o comprimento de onda de uma determinada radiação, mais energética a mesma é e mais prejudicial se torna. (Nield, 2020)

Assim, da radiação solar, a radiação que mais danos pode causar é a UV, devido à elevada energia que a mesma apresenta. Apesar de representar apenas 5% da radiação a atingir a superfície

¹ (Wikipédia (2021), *Radio Wave*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_wave).

² Wikipédia (2021), *Microwaves*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#Microwaves).

terrestre são necessários cuidados aquando a exposição à luz solar ou a fontes de luzes artificiais que emitam este tipo de radiação. (Asmatulu et al., 2011)

Uma elevada exposição à UV, nomeadamente UVC acarreta efeitos adversos no organismo humano, materiais e alimentos logo quando se está perante esta radiação é necessário o uso de equipamentos de proteção individual e/ou necessidade do desenvolvimento de materiais que sejam resistentes à radiação UV. (Sackey et al., 2015)

Considerando os danos nos Seres vivos pode-se citar o efeito destrutivo na pele uma vez que a radiação emitida altamente energética provoca mutações genéticas a nível celular (Almutawa et al., 2013). A exposição desprotegida ao UV é a principal causa de cancro na pele e uma vez UV que atinge a superfície da Terra está a aumentar desde a década de 1970 e os números de cancro na pele têm vindo a disparar drasticamente. (Fantini et al., 2021)

A magnitude dos riscos para a pele depende muito de fatores climatológicos, sensibilidade pessoal e grau de adaptação à UV. A UV é absorvida pela epiderme e derme, onde os comprimentos de onda maiores penetram mais profundamente que os mais curtos, ou seja, a UVA é a que mais danos causa ao nível da pele e é de realçar que a mesma não é filtrada pela camada do ozono pelo que aquando a exposição solar ou artificial os cuidados devem ser redobrados. A UVA causa transformação nos precursores da melanina levando ao envelhecimento precoce, perda de elasticidade, cancro da pele e danos oculares como pinguéculas, pterígio e fotoqueratites. Tanto os carcinomas baso celulares quanto os melanomas estão associados a exposição eminente, enquanto os carcinomas de células escamosas estão associados à exposição crónica. (Almutawa et al., 2013)

A UVB penetra alguns milímetros na pele causando a formação de pigmento nas células da epiderme, levando a reações crónicas agudas, eritema e/ou queimaduras solares. (Sackey et al., 2015)

A UVC, a mais energética de todas as componentes dificilmente atinge a superfície terrestre devido à filtragem pela camada do ozono, no entanto, algumas atividades profissionais têm como produto este tipo de radiação, nomeadamente atividades que envolvam solda, atividades que se relacionem com a desinfecção através do uso deste tipo de radiação e alguns equipamentos usados nas áreas médicas pelo que são sempre necessários cuidados. (Nield, 2020)

Deste modo, apesar da UVC não atingir a superfície terrestre a exposição à mesma tem vindo a aumentar e consequentemente os riscos associados também. (Kim et al., 2019)

Segundo (Sackey et al., 2015) nos Estados Unidos, 1 em cada 5 pessoas desenvolverá cancro da pele resultando em mais de 1 milhão de novos casos de carcinomas induzidos pelo sol diagnosticados a cada ano devido à excessiva exposição da luz solar e indevida proteção da mesma.

Também uma pesquisa sobre soldadores realizada por Eriksen em 1987 na Dinamarca mostrou que 65% dos questionados apresentavam eritema e fotoqueratoconjuntivite.

Considerando os danos que a radiação UV pode provocar em diversos materiais destacam-se alterações nas cores de certos materiais orgânicos e sintéticos e com o uso de certas lâmpadas é produzido um poluente perigoso, o ozono (O₃) que pode causar danos nos pulmões por inalação prolongada ou crónica. (Dunn et al., 2005)

Diversos materiais podem ser degradados por exposição de longo prazo à UV sem necessariamente produzir qualquer evidência visível de degradação. Uma das preocupações mais importantes a este respeito são os novos filtros de ar compostos por fibras plásticas. As fibras plásticas podem se degradar e desintegrar em pó após uma longa exposição. Os filtros de fibra de vidro são impermeáveis à UV, mas muitas vezes os ligantes (ou colas) usados para manter as pregas do filtro juntas ou na própria estrutura do filtro podem se degradar e ocorrerem fugas de radiação. (Dunn et al., 2005)

Os filtros UV estão presentes em produtos de higiene pessoal, embalagens, plásticos, tintas e em muitos outros setores. Estes filtros orgânicos e inorgânicos são a principal defesa contra a exposição ao UV, no entanto ainda têm algumas questões de estabilidade e eficácia sofrendo foto degradação sob exposição ao UV, perdendo a capacidade de proteção, eficácia e deterioração em subprodutos de toxicidade desconhecida tornando importante encontrar materiais estáveis que absorvam esta radiação. (Fantini et al., 2021)

Apesar de a UV ser prejudicial e apresentar efeitos nocivos por danificar microrganismos sabe-se que a UVC é a radiação mais utilizada na esterilização e desinfeção de superfícies, do ar, equipamentos e até embalagens de alimentos devido aos danos que provoca no material genético e assim conferindo-lhe um grande poder de esterilização e desinfeção. Assim, produtos/objetos que emitem UVC são úteis na desinfeção do ar, superfícies ou esterilização de água. (Markovitsi et al.,

2010)

Segundo um trabalho publicado em 2018, (Alexandre et al., 2008) as radiações UV na faixa dos 210 nm e 330 nm, ou seja uma parte de UVC e UVB são as mais eficientes como germicidas por serem absorvidas pelas proteínas e ácidos nucleicos, provocando mutações genéticas e inativação de enzimas e, conseqüentemente, danos irreversíveis nos microrganismos.

Segundo Falguera *et al.*, (Falguera et al., 2011) a UVC com comprimento de onda de 254 nm atua como a radiação com maior eficácia e mais letal sobre os microrganismos. Inclusive, existem robôs de desinfecção automática, com eficácia de desinfecção de 99,999% que utilizam esta gama de comprimentos de onda para desinfecção de superfícies e áreas através de lâmpadas LEDS de UVC. (Guettari et al., 2020) (Astrid et al., 2021)

Em 2016 (Kiattisaksiri et al., 2016) foi estudada a foto degradação de haloacetoneitrilas subprodutos cancerígenos da desinfecção nitrogenada em água usando UV a vácuo em comparação com UV (de 254 nm).

Num estudo realizado por Butt *et al.* (Butt et al., 2015) é demonstrado que a irradiação de polímeros com diferentes tipos de radiações altera as propriedades dos mesmos. Com a irradiação, há um rearranjo estrutural por reticulação, clivagem de ligação irreversível, formação de radicais livres, segmentos de cadeia quebrada, etc., que é responsável pela mudança nas propriedades óticas, elétricas, térmicas, magnéticas e mecânicas dos polímeros.

1.2.1.1 Fontes de radiação UV geradas pelo Homem

Claro está que emissões indiscriminadas de UV devem ser isoladas no local de trabalho para evitar contacto com os trabalhadores, no entanto, como já referido há atividades profissionais que não é possível, por isso o risco de exposição pode ser evitado ao realizar o processo dentro de um espaço fechado “à prova da radiação”, com defletores, cortinas e distanciamento da fonte. Os espaços destinados podem ter zonas de observação feitas de material absorvente de UV devidamente testado, como certos tipos de acrílico, PVC e vidro. (Dobbinson & Knight, 2001)

Assim, aquando as exposições só devem ser utilizados produtos construídos adequadamente, que atendam a regulamentos de segurança ou em circunstâncias controladas e seguras garantindo

que os limites de exposição não são excedidos. (Nield, 2020)

Atividades como solda, atividades nas áreas médicas, farmacêutica e indústria alimentar têm como produto ou usam equipamentos que emitem radiação UV para tratamento de patologias e desinfecção de superfícies, ar e água. Deste modo, se não forem utilizados equipamentos de proteção construídos com materiais que sejam efetivamente resistentes a esta radiação os trabalhadores ficam expostos a este tipo de radiação e podem surgir a longo prazo problemas de saúde. Existem diversas fontes de luz que emitem este tipo de radiação. De seguida, são apresentados os mais usados.

1.2.1.2 **Lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (LP-Hg)**

Das fontes mais utilizadas destacam-se as lâmpadas de vapor de mercúrio de baixa pressão (LP-Hg) que são quase monocromáticas com quase 90% de emissão nos 254nm. São amplamente usadas devido às suas propriedades antimicrobianas, eficiência elétrica e baixo custo. Apesar de que o seu uso levanta várias preocupações sobre os perigos para olhos, pele e poluição ambiental causada pelo conteúdo de mercúrio, Hg. (Sellera et al., 2021)

A partir desta perspetiva, outras fontes de luz surgiram como alternativa às LP-Hg tais como os LEDs emissores de UVC que apesar de terem um maior custo e níveis de eficiência energética baixa demonstraram também ser adequados para inativação microbiana e as lâmpadas *Excimer*, particularmente de cloreto de criptônio, KrCl. (Sellera et al., 2021)

Atualmente, as lâmpadas LP-Hg são o método mais eficiente de geração de energia radiante germicida. Estas lâmpadas são eletricamente iguais às lâmpadas fluorescentes em tamanho e potência e requerem essencialmente o mesmo equipamento auxiliar- balastros. A diferença física entre ambas é que as lâmpadas fluorescentes não contêm fósforo e são construídas com um tipo especial de vidro que transmite cerca de 80% da UV gerada pela descarga de Hg nos 253,7nm. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.3 **Lâmpadas *Excimer***

As Lâmpadas *Excimer* são fontes quase monocromáticas que emitem mais de uma faixa da região UV dependendo do gás usado. Lâmpadas de *Excimer* de cloreto de criptônio (KrCl) mostraram produzir uma emissão significativa na região da UVC num comprimento de onda em torno de 222nm. A vantagem do KrCl é que a eficiência de desativação de bactérias e vírus nos 222nm aparenta ser aproximadamente o mesmo que a emissão em 270-280nm enquanto o efeito da emissão na pele

humana parece ser muito reduzido em comparação com a emissão de mercúrio de 253,7nm. É comumente usado em equipamentos utilizados no tratamento da psoríase, dermatite atópica e micoses. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.4 **LEDS UVC**

Existem várias empresas produtoras de LEDS que emitem na região da UVC, geralmente nos 265-275nm e são usados na desinfecção de superfícies e do ar. A vida útil dos LEDS UVC costuma ser de 10 000h, ou seja, ligeiramente melhor do que as LP-Hg. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.5 **Lâmpada de arco**

Lâmpadas de arco, também conhecidas como lâmpadas de descarga de gás, são compostas por dois elétrodos com plasma (o arco) entre eles; estes são selados dentro de uma câmara com gás, por exemplo, mercúrio ou xenônio. Quando a tensão é aplicada, os eletrões ficam excitados e ao retornarem ao estado fundamental e a luz é emitida. As lâmpadas de xenônio são usadas como simuladores solares. A lâmpada de arco foi a primeira eficaz fonte de luz artificial e atualmente é usada em equipamentos no tratamento de acne. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.6 **Lâmpada fluorescente**

Segundo (Ahmad et al., 2017) as lâmpadas fluorescentes são as fontes terapêuticas de radiação UV mais utilizadas em dermatologia.

São tubos de vidro cilíndricos revestidos com fósforo que contêm mercúrio. Quando a corrente é aplicada às extremidades dos tubos, o mercúrio é vaporizado para um estado superior e radiação é produzida quando o mercúrio cai para seu estado fundamental. Os fósforos revestindo o tubo atuam como cromóforos para fluorescência absorvendo a luz e, em seguida, reemitindo em comprimentos de onda mais longos. Dependendo dos fósforos há emissão de UVA, UVB ou luz visível.

1.2.1.7 **Luz de espectro total- luz *Full spectrum* (FSL)**

A luz *Full Spectrum* (FSL) é um dispositivo desenvolvido para a fototerapia. Gera luz com comprimento de onda contínuo variando de 320-5000nm e tem sido usado em conjunto com um

emoliente, demonstrando eficácia no tratamento de dermatites. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.8 **Lâmpadas de descarga de gás UV**

Estas são lâmpadas de arco especializadas que são carregadas com gases como argônio ou deutério que produzem UV. Esses tipos de lâmpadas são frequentemente usados em equipamentos de espectroscopia UV para análises químicas. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.9 **UVB de banda estreita**

A radiação ultravioleta B de banda estreita (NBUVB) compreende os comprimentos de onda entre os 311 e 312nm e foi desenvolvida para o tratamento da psoríase e permite que uma menor dose de UV seja usada. NBUVB também é eficaz para o tratamento de dermatites e micoses. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.10 **Lâmpada sem eletrodo**

Uma nova lâmpada sem eletrodo de descarga de micro-ondas (MDEL) foi produzida consistindo em três estruturas cilíndricas em camadas que é eficaz para quase total esterilização de bactérias em águas residuais por fotólise com o vácuo-UV emitido (185 nm) e luz UVC (254 nm). (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.11 **Lâmpada ultravioleta TL-01**

Esta lâmpada emite um espectro UV de banda estreita de 311 nm e tem mostrado eficácia no tratamento da psoríase. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.12 **Lâmpadas TL-12 Philips**

Esta lâmpada ultravioleta de banda larga emite luz com comprimentos de onda entre os 270 nm e 350 nm cobrindo uma pequena quantidade de UVC, todo UVB, e um certo comprimento de onda de UVA. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.13 **ILTs de luz negra**

Esta lâmpada UVA que foi originalmente desenvolvida em 1935 e usada na agricultura desde então, também é usada em armadilhas luminosas para insetos (ILTs). Atualmente é usada na indústria alimentar na produção de alimentos, em hospitais e em ambientes internos. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.14 **Díodos emissores de luz ultravioleta**

Díodos emissores de luz (LEDS) são semicondutores que convertem a corrente elétrica numa estreita banda de luz em comprimentos de onda que variam de 274 nm a 1300 nm.

Nas áreas médicas têm sido usados no aceleramento da cicatrização de feridas, tratamento de acne, colonoscopias e desinfecção de material médico. (Ahmad et al., 2017)

1.2.1.15 **Lâmpada ultravioleta de onda curta**

Conhecida também como a lâmpada UVC ou germicida que emite radiação entre os 180 nm e 290 nm. Este é uma das lâmpadas mais utilizadas na investigação em produtos biológicos. Desempenhou um papel importante na compreensão do dano no ADN e o seu reparo com a UV de 254 nm. (Ahmad et al., 2017)

2. HIPÓTESE E OBJETIVO DE ESTUDO

2.1 Introdução

O Sol assim como diversas fontes de luz artificial a que estamos expostos regularmente emitem energia radiante sobre todas as regiões do espectro eletromagnético desde ondas de rádio até radiação gama compreendendo UV, VIS e IV. (Dobbinson & Knight, 2001)

Apesar de existirem meios de proteção adequados a UVC, e de esta radiação ser utilizada para desinfecção de superfícies pouco é o conhecimento sobre o efeito que esta radiação produz nas superfícies de materiais transparentes, utilizados como barreira de proteção. Assim, este trabalho surge para tentar avaliar o efeito da iluminação UVC na estabilidade e durabilidade dos materiais plásticos utilizados na proteção individual.

A maioria dos indivíduos não fica exposto a UVC naturalmente uma vez que a UVC proveniente da luz solar é filtrada principalmente pela atmosfera e camada de O₃. Assim, a maioria da exposição humana à UVC surge através de fontes artificiais que algumas atividades profissionais exigem, como soldadores e indivíduos que se ocupam com a desinfecção e esterilização de superfícies e objetos com lâmpadas germicidas. (Nield, 2020)

Uma elevada exposição à radiação UV, nomeadamente UVC acarreta consigo alguns efeitos adversos na pele humana, materiais, alimentos entre outros, portanto a necessidade do conhecimento de materiais que sejam resistentes à UV para proteção individual é fundamental.

Também vários materiais podem ser degradados por exposição de longo prazo à UV sem necessariamente produzir qualquer evidência visível de degradação.

2.2 Hipóteses

A exposição à UVC provoca danos na estrutura e propriedades óticas dos materiais. Assim, será o acrílico transparente opaco ao UVC? Existirão determinados acrílicos que alterem as suas

propriedades como a cor com a exposição ao UVC? O tempo de exposição ao UVC altera a absorção do UVC nos materiais? Os acrílicos nomeados como “resistentes” ao UV serão resistentes a todas as componentes do UV?

2.3 Objetivo

Este estudo tem como objetivo analisar o comportamento ótico e físico de alguns materiais aquando e após a exposição à UVC e assim conhecer um possível material que garanta uma proteção adequada aquando a exposição a este tipo de radiação e que mantenha as suas propriedades intrínsecas a longo prazo.

Serão avaliadas propriedades óticas e físicas, nomeadamente transmitância e alteração da estrutura após exposição da radiação UVC ao longo do tempo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Tipo de estudo

O estudo realizado trata-se de um estudo observacional, onde o observador não interfere nos resultados e apenas observa aquilo que ocorre. Trata-se ainda de um estudo prospetivo, não randomizado e não cego.

O estudo foi realizado na Universidade do Minho recorrendo a equipamentos disponíveis na mesma instituição e com a colaboração dos orientadores mencionados.

O procedimento experimental decorreu durante 6 semanas.

3.2 Amostra

No presente trabalho foram utilizadas como amostras oito tipos de materiais utilizados no quotidiano, (Figura 3.1) no embalamento na indústria alimentar e em equipamentos de proteção individual. Estes são também utilizados em acrílicos protetores de balcões, viseiras e outro tipo de objetos de proteção.

As amostras utilizadas (Figura 3.1) foram três acrílicos flexíveis, mais vulgarmente utilizados no embalamento de alimentos e cinco acrílicos rígidos transparentes de espessuras diferentes sendo um deles caracterizado como resistente ao UV e utilizado como protetor de montras para evitar a perda de cor de objetos e outros materiais expostos.



Figura 3.1 Amostras selecionadas.

As diversas amostras foram numeradas como acrílicos 1 a 8 e havia duas peças de cada peça para que uma fosse exposta às lâmpadas emissoras de UVC e outra fosse mantida numa caixa escura, no mesmo intervalo de tempo e assim permitir posteriormente que fossem feitas comparações. Foram feitas medidas antes da exposição (T0), 7, 14 e 21 dias após a exposição, T1, T2 e T3 respetivamente. Para avaliar o efeito que a exposição ao UVC tem no material foi utilizada a peça A5A.

Na Tabela 3.1 estão apresentadas a nomeação dada a cada material e as suas características e nomenclatura.

Tabela 3.1 Descrição das amostras selecionadas e respetivas características e nomenclatura

Amostra	Material	Nomeação
1	Acrílico flexível de cor verde	A1
2	Acrílico flexível de cor branca	A2
3	Acrílico rígido transparente de espessura 2mm	A3
4	Acrílico rígido transparente de espessura 3mm	A4
5	Acrílico rígido transparente de espessura 5mm	A5A / A5B
6	Acrílico rígido transparente de espessura 10mm	A6
7	Acrílico flexível transparente	A7
8	Acrílico rígido transparente resistente ao UV	A8

3.3 Análise estatística

Para a análise estatística recorreu-se ao programa informático *Statistical Package for the Social Sciences* versão 28, SPSS. Por ser um estudo de medidas repetidas utilizou-se o teste ANOVA para medidas repetidas, onde se considera que, para um valor de $p < 0,05$ há um resultado estatisticamente significativo.

3.4 Procedimento experimental

Para garantir que o procedimento realizado em cada peça fosse constante ao longo do tempo e da sua manipulação foram elaborados protocolos de utilização e manuseamento de cada um dos

equipamentos utilizados na análise da transmitância e deformação das peças acrílicas. Os protocolos elaborados descrevem processo de medição de transmitância e deformação física e podem ser consultados na secção *Anexos*.

Para a medição da transmitância, quantidade de luz que atravessa um material sem sofrer absorção ou reflexão, utilizou-se um espectrofotómetro de bancada, o modelo UVPC 3101 PC-UV-VIS-NIR, Shimadzu, Kyoto, Japão e registou-se a transmitância em função do comprimento de onda. Por se tratar de um procedimento estático foi efetuada apenas uma medida para cada peça.

Para a medição da deformação utilizou-se um equipamento que permite através da adição de pesos medir a variação em mm conforme o peso colocado (Figura 3.10). Em cada medição foram feitas 6 medidas por se tratar de um procedimento que a cada mínimo movimento provoca enviesamento nos resultados. A deformação é uma mudança na forma de um material devido a uma força aplicada. As forças aplicadas podem ser de tração, compressão, flexão ou torção.

Dependendo do tipo de material, tamanho e das forças aplicadas, vários tipos de deformação podem decorrer, nomeadamente deformação elástica, deformação plástica e fratura.

A deformação elástica é reversível uma vez que quando deixam de ser aplicadas forças o material retorna à forma original. Geralmente materiais elásticos apresentam uma faixa de deformação elevada. Termoplásticos e metais macios têm uma deformação elástica moderada e cerâmicas, cristais e plásticos termofixos duros quase não sofrem deformação elástica.

A deformação plástica não é reversível, ou seja, o material após a(s) força (s) aplicadas não volta ao seu estado inicial. Geralmente um objeto que apresente uma deformação plástica terá primeiro sofrido deformação elástica. Os termoplásticos têm uma faixa bastante grande de deformação plástica, assim como os metais dúcteis como cobre, prata e ouro. Plásticos rígidos, borrachas, cristais e cerâmicas têm faixas mínimas de deformação plástica.

A fratura também não é reversível. Após aplicada uma determinada força é ultrapassada a deformação elástica e plástica e ocorre quebra do material. Todos os materiais sofrem fraturas dependendo das forças aplicadas.

Para a descrição das propriedades elásticas de objetos que são esticados ou comprimidos, um parâmetro importante é a proporção da tensão à deformação, um parâmetro denominado módulo de

Young do material que pode ser obtido, tendo-se conhecimento de outras características do material, através de medições como a efetuada neste trabalho. Tal como efetuado por (Complex, 1800) que através de um procedimento idêntico e outras características calcularam o módulo de *Young* para o ferro, alumínio e aço. Em (Cantor & Dewitt, 2018) é também mostrado como calcular o módulo de *Young* de um fio de aço por um procedimento idêntico.

Para comparar e analisar a semelhança entre os dados obtidos na medição da transmitância de cada medida calculou-se o índice de similaridade (SI) e o índice de branqueamento e amarelecimento. Para o SI espera-se que à medida que o tempo de exposição aumenta se obtenham valores cada vez menores e para o índice de branqueamento espera-se uma diminuição dos mesmo e aumento do índice de amarelecimento.

Para a análise da variabilidade da repetibilidade das medições efetuadas pelo examinador recorreu-se também a este cálculo esperando-se obter valores próximos dos 90% demonstrando a elevada similaridade entre os espetros.

O índice de similaridade (Wan et al., 2002), SI, é utilizado para determinar se dois espetros são iguais ou diferentes.

É calculado pela equação:

$$SI = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{i-i_0}{i+i_0} \times 100 \right)^2}{N}} \quad (1)$$

que permite o cálculo do índice de similaridade, SI. As diferenças na intensidade do sinal para dois compostos (i e i0) são divididos pela soma das mesmas intensidades e onde N é o número de comprimentos de onda que devem ser usados na comparação. Onde, i e i0 correspondem os valores e transmitância obtidos e N o número de comprimentos de onda a comparar.

Para esta equação, é obtido um resultado em percentagem onde quanto mais próximo do 100 mais distintos os espetros são entre si e quanto mais próximos do 0, mais idênticos são entre si. No presente estudo, este cálculo foi efetuado para comparar espetros dois a dois onde, i0 representa os valores obtidos para um determinado espetro num determinado intervalo de tempo, i para o outro espetro que se pretende comparar no mesmo intervalo de tempo e N representa o número de

comprimentos de onda que se comparam. Para facilitar a interpretação do resultado e torná-lo mais intuitivo ajustou-se a equação apresentada. Para tal, subtraiu-se 100 ao valor obtido pela equação acima e desta forma quanto maior fosse o valor mais similares os espectros seriam. Assim, a equação utilizada para este estudo foi:

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

Onde é obtido um valor em percentagem que quanto mais próximo de 100 mais similares são os espectros.

O índice de branqueamento e amarelecimento das amostras foi obtido através de um cálculo usado frequentemente na indústria odontológica para avaliar o branqueamento das estruturas dentárias (Sullivan et al., 2019). Este mesmo cálculo já foi utilizado num estudo com lentes oftálmicas com tratamento de proteção contra a luz azul. (Alzahrani et al., 2020)

A equação WID, foi desenvolvida para uso na odontologia e usada para medir o branqueamento e amarelecimento é baseada no espaço de cores CIELAB.

$$WID = 0.511l - 2.24a - 1.100b \quad (3)$$

Através desta equação é obtido o índice de branqueamento e amarelecimento de um objeto. Onde l , a e b correspondem às coordenadas cromáticas sendo L^* a luminosidade, a^* a coordenada vermelha/verde e b^* a coordenada amarelo/azul.

As peças foram expostas numa caixa construída propositadamente para o estudo (Figura 3.4 e Figura 3.5) e continha lâmpadas emissoras de UVC na parte superior, lâmpadas TUV T8 Philips. As lâmpadas foram medidas através de um espectrofotómetro portátil, AvaSpec-ULS2048CL-EVO, Avantes, Louisville, CO, USA, de modo a verificar espectro de emissão das mesmas. As lâmpadas foram automatizadas a ligarem-se das 8h às 19h, estando em permanente funcionamento 11 horas diárias.

Tanto para a análise da transmitância como para a deformação foram feitas medidas no tempo 0 (T0), antes das peças sofrerem qualquer tipo de exposição. Depois de feitas estas medidas expuseram-se as amostras nas respetivas caixas durante 7 dias. Após 7 dias do começo, ou seja, depois 77 horas de exposição foram retiradas e efetuaram-se novas medições designadas ao longo do

trabalho como medidas do tempo 1 (T1). Voltaram a colocar-se as peças nas respectivas caixas por mais 77 horas. Passado este tempo, ou seja, 14 dias (154 horas de exposição) desde o início da atividade experimental voltaram a fazer-se novas medidas denominadas como medidas do tempo 2 (T2). No final das medições voltaram-se a colocar as peças nas caixas. Passados 7 dias desde a última medição e 21 dias desde o início da atividade voltaram a retirar-se as peças e fizeram-se novas medidas, denominadas como medidas do tempo 3 (T3). No final destas medidas decidiu-se terminar a recolha de medidas e todas as amostras foram colocadas na caixa escura, como se pode observar no esquema da Figura 3.2.



Figura 3.2 Representação esquemática das medidas temporais realizadas.

Um conjunto de amostras foram expostas às lâmpadas emissoras de UVC e outro conjunto de peças iguais como controlo permaneceram sempre na caixa escura a ma temperatura constante e longe de fontes de luz.

3.4.1.1 Alterações visíveis por inspeção visual nas peças expostas ao UVC

Após 48 dias verificou-se que determinadas peças apresentavam alterações na superfície (Figura 4.5), nomeadamente as amostras A3, A4, A5B e A6. Assim, realizaram-se novas medidas de transmitância e deformação das amostras que apresentavam danos na sua superfície. As medidas efetuadas 48 dias após a não exposição são nomeadas como medidas do tempo 4 (T4). Após estas medidas voltaram a colocar-se na caixa escura e passados 7 dias desde a última medida, ou seja, 55 dias desde a última exposição efetuaram-se novas medidas, nomeadas como medidas do tempo 5 (T5). Mais uma vez, após estas medidas voltaram a colocar-se as peças na caixa escura por mais 7

dias. Após este tempo, isto é, 62 dias após a última exposição fizeram-se novas medidas designadas como medidas do tempo 6 (T6) - Figura 3.2.

Para a peça 3 e 6 nestas medidas do tempo 4 a 6 foram utilizadas as mesmas peças utilizadas para as medições do tempo 0, 1, 2 e 3. Para a peça 5 fizeram-se medidas para o tempo 0, 1, 2 e 3 com a mesma peça, peça denominada como A5A e foi com esta peça que se analisou o impacto da exposição no material. Para a análise do tempo 3, 4, 5 e 6 foi utilizada uma segunda peça, A5B, pois por se obterem dados incoerentes optou-se por se fazer uma segunda medição desta peça para o tempo 0 a 3.

3.4.1.2 **Teste da variabilidade na repetibilidade da medição pelo examinador**

Com o objetivo de apurar se o facto de o examinador efetuar diferentes medidas influencia no resultado obtido de forma significativa começou-se por fazer três medidas consecutivas de transmitância em cada amostra. Considerando que as peças nomeadas como A3, A4, A5A, A5B, A6 e A8 são, aparentemente, formadas com o mesmo material avaliou-se a variabilidade da repetibilidade apenas para a peça A3 e considerou-se que os resultados esperados neste parâmetro, para as amostras semelhantes, seriam idênticos.

Fizeram-se três medições para cada amostra, tanto para a peça que viria a ser exposta ao UVC como a que seria mantida no escuro. Entre cada medição a peça era retirada do suporte do instrumento e colocada novamente tendo o cuidado de colocar em posições idênticas. Após a recolha dos dados construíram-se as representações gráficas dos espectros de cada peça e calcularam-se a média das três medições para averiguar se havia uma discrepância elevada entre os dados obtidos para as médias e cada medida.

Os resultados são apresentados, por exemplo para o acrílico 1, sob forma de A1_0_a, A1_0_b e A1_0_c que representam respetivamente a 1^a, 2^a e 3^a medições efetuadas. Para a peça que viria a ser exposta os resultados são apresentados sob a mesma forma sendo acrescentado um L apenas para não haver troca de resultados e facilitar o examinador na identificação de cada espectro. As amostras que não apresentam o L são as que na fase seguinte não seriam expostas ao UVC. Em todas as amostras os resultados são apresentados desta forma alterando apenas o número que identifica o número da amostra.

Posteriormente calculou-se o índice de similaridade, nestas medidas para verificar o quanto efetivamente os espectros obtidos entre cada medida para cada peça eram similares. Para tal, compararam-se para cada amostra, A1, A2, A3 e A7 a primeira medida com a segunda, a primeira medida com a terceira e a entre a segunda e a terceira medida. Os resultados estão apresentados na secção resultados.

Para a medida da deformação foram realizadas seis medições de cada amostra por ser um procedimento em que as variações externas influenciam o resultado de forma significativa.

3.4.1.3 Espectrofotómetro

Neste estudo, para a recolha de dados da transmitância foi utilizado um espectrofotómetro da marca *Shimadzu*, o modelo UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR (Figura 3.3). Foram analisados comprimentos de onda entre os 250-1000nm.



Figura 3.3 Espectrofotómetro de bancada utilizado, o modelo UVPC 3101 PC UV-VIS-NIR da Shimadzu, Kyoto, Japão.

O espectrofotómetro *Shimadzu* UV-3101 PC UV-VIS-NIR é um sistema de medição de proporção direta de feixe duplo (Tecnologia et al., 2021, consultado em julho de 2021). Embora sejam mais dispendiosos, os espectrofotómetros de feixe duplo apresenta a vantagem de que possibilita o traçado dos espectros de modo automático (Espectrofotométricos, 2018).

Este equipamento oferece soluções na análise de filmes, pós, revestimentos, plásticos e líquidos. Contém dois conjuntos de três grelhas de difração para cobrir a ampla faixa de comprimento de onda do UV ao IV.

Os métodos espectrofotométricos envolvem a avaliação quantitativa dos fenómenos resultantes

da interação de radiações eletromagnéticas com a matéria. (Espectrofotométricos, 2018)

Para a recolha dos dados foi colocada uma peça no suporte próprio do equipamento. Após ligar o equipamento há uma fonte a emitir luz e um componente do equipamento que divide a luz em diferentes comprimentos de onda.

Uma fenda ajustável permite que apenas um comprimento de onda específico atravesse a peça que depois é lida no detetor.

Os principais componentes de um espectrofotómetro são: a fonte de luz, composta por uma lâmpada de deutério e uma lâmpada de tungstênio. A lâmpada de deutério emite radiação UV e a de tungstênio emite luz visível e infravermelho próximo (800-1000nm), o monocromador constituído por um conjunto de grelhas de difração e um selecionador de comprimentos de onda mecânico. Existe um detetor, um dispositivo que deteta a fração de luz que passou pela peça e transfere para o visor e para o computador acoplado ao espectrofotómetro. Por fim, é composto pela cuvete, que consiste num pequeno recipiente utilizado para conter o material a ser analisado. As cuvetes podem ser quadradas, retangulares ou redondas e são constituídas de vidro, sílica (quartzo) ou plásticas.

Para a recolha dos dados utilizando este equipamento foi elaborado um protocolo de utilização do mesmo para que, em cada utilização, os dados fossem recolhidos da mesma forma evitando erros nas medidas. Por ser um equipamento em que a medida é estática e pelos resultados obtidos no estudo da variabilidade da repetibilidade das medições foi efetuada uma medida em cada uma das oito amostras tanto para a peça que foi exposta ao UVC como a não exposta, em cada tempo. De forma a avaliar o efeito que a exposição à radiação UVC teve nas diferentes peças, avaliaram-se os espectros de transmitância obtidos ao longo do tempo para cada material para as amostras expostas e não expostas à referida radiação.

Para se efetuarem comparações entre espectros obtidos calculou-se também o índice de similaridade para cada peça comparando o tempo 0 com o tempo 3 e também para cada tempo comparando-se a peça exposta e não exposta. Aqui analisou-se também os índices de similaridade para todos os comprimentos de onda analisados (250nm-100nm) e de forma repartida para se perceber se existia alguma zona do espectro eletromagnético que influenciava de forma mais significativa possíveis alterações que surgissem, nomeadamente a região do ultravioleta (250nm-400nm), região dos 250nm-450nm, região dos 451nm-580nm e dos 580nm-750nm. Calculou-se

também o índice de similaridade, para as gamas do ultravioleta, ultravioleta A, B e C de forma a perceber se havia alguma destas componentes influenciava mais significativamente ou não possíveis diferenças que pudessem surgir.

Calculou-se também o índice de similaridade para os espectros obtidos entre o tempo 3 e o tempo 6 de modo a avaliar qual o impacto que a pausa na exposição tinha no material.

3.4.1.4 Caixa de iluminação

Para se expor as amostras mencionadas à radiação UV construiu-se propositadamente uma caixa de madeira fechada com as duas lâmpadas UVC na parte superior (Figura 3.4 e Figura 3.5). Na caixa foi acoplado um sistema elétrico que permite através de um botão ligar e desligar as lâmpadas e um sistema de segurança que garante que quando a porta é aberta as lâmpadas emissoras de UVC se desligam automaticamente para evitar uma exposição desnecessária. Por motivos de segurança, a caixa estava ligada a uma tomada com temporizador para que ligasse automaticamente às 8 horas e desligasse às 19 horas, todos os dias, o que permitia que as peças fossem expostas em períodos de 77 horas.



Figura 3.4 Caixa de iluminação fechada com as lâmpadas emissoras de UVC em funcionamento.



Figura 3.5 Caixa de iluminação com porta aberta e lâmpadas inativas.

As lâmpadas utilizadas, TUV T8 da *Philips*, são lâmpadas UVC utilizadas na desinfecção e esterilização de superfícies, objetos, ar e água devido às suas propriedades germicidas. Segundo o fabricante tratam-se de lâmpadas com extremidade duplas que emitem de forma quase constante ao longo das 9000 horas de vida útil UV.

A lâmpada no seu interior contém mercúrio e fósforo. O mercúrio com a passagem de elétrons, emite radiação no comprimento de onda do UV. Esta radiação entra em contacto com o fósforo e excita-o. Este com a energia recebida reemite energia em comprimentos de onda da luz visível, tipicamente vista como luz branca, como a do caso deste estudo.

Relativamente aos dados fornecidos pelo fabricante, cada lâmpada tem uma potência de 15,5W, uma corrente de 0.335A e uma tensão de 55V. O conteúdo de mercúrio é de 2mmHg. A radiação UVC tem uma potência de 4.9W. (Philips, 2020)

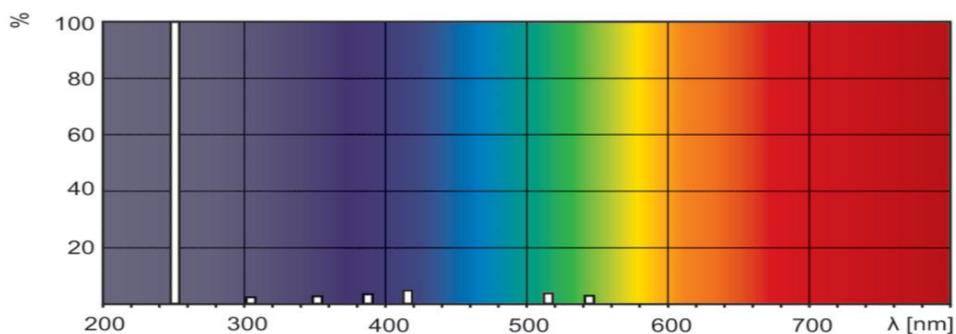


Figura 3.6 Dados fornecidos do fornecedor relativamente às lâmpadas emissoras de UVC; Há um pico de emissão máximo nos 250 nm (zona do UVC) e alguns picos de emissão na zona do visível e infravermelho.

Segundo os dados do fabricante a lâmpada emite maioritariamente nos 250nm, zona de UV particularmente UVC. Apresenta alguns picos, de menor amplitude entre os 300 e 550nm (Figura 3.6).



Figura 3.7 Espectrofotómetro portátil utilizado para avaliar a veracidade dos dados fornecidos pelo fornecedor; adaptado de (Avaspec-ulscl-evo, 2018).

Com o objetivo de verificar a veracidade dos dados fotométricos fornecidos pelo fabricante fez-se a medição das lâmpadas para verificar a luz e a radiação emitida pelas mesmas. Esta medição foi feita por um espectrofotómetro portátil, Avaspect- ULS2048CL- EVO representado na Figura 3.7 (Avaspec-ulscl-evo, 2018).

Os resultados estão representados abaixo na seguinte representação gráfica, Figura 3.8.

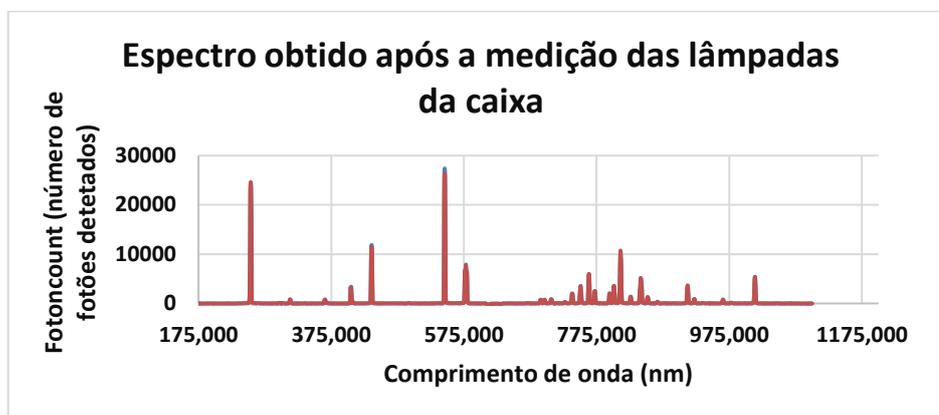


Figura 3.8 Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas neste trabalho, em unidades de número de fótons por unidade de área, avaliado entre os 175 nm e 1175 nm. É notório o pico de emissão nos 254 nm (UVC), picos de emissão na zona do visível que permite indicar que a lâmpada está em funcionamento e picos no infravermelho próximo devido ao calor emitido.

Pela Figura 3.8, verificam-se a existência de um pico elevado na zona da radiação visível. Apresenta alguns picos elevados na zona do UV e na zona do infravermelho. O apresentado na zona do infravermelho demonstra que as lâmpadas emitem energia na forma de calor, havendo por isso a possibilidade de aquecimento das amostras.

Para se observar e focar-mo nos na radiação de maior interesse para este estudo, radiação UV, construi-se a seguinte representação gráfica que representa apenas o espectro na radiação UV, como mostra a Figura 3.9.

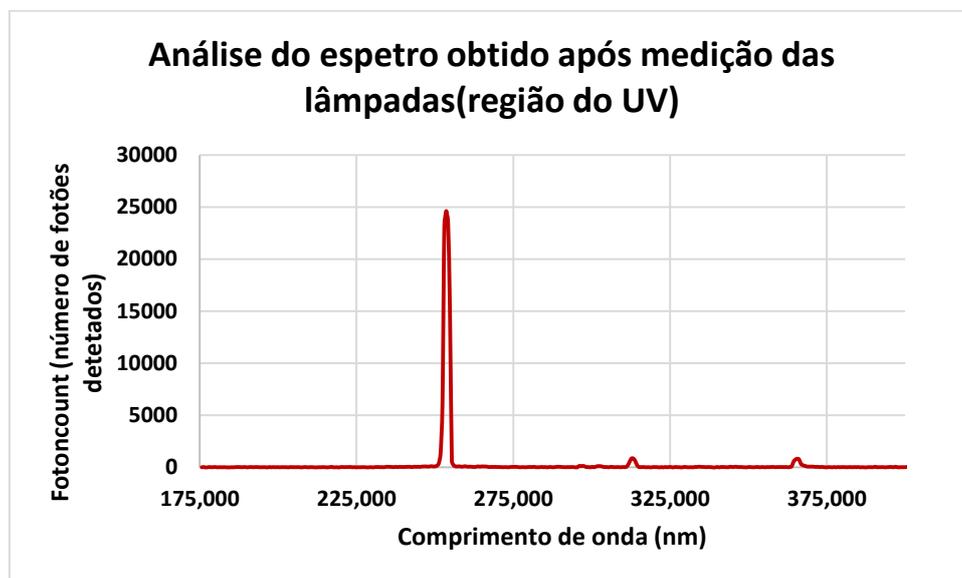


Figura 3.9 Espectro de emissão das lâmpadas UVC utilizadas neste trabalho, em unidades de número de fótons por unidade de área, avaliado entre os 175nm e os 400nm (zona do UV). Há um pico máximo nos 254 nm (puramente UVC) e alguns picos nos 300nm e 350nm.

Pela Figura 3.9 observa-se um espectro monocromático apresentando um pico máximo nos 254nm, aproximadamente demonstrando que emite radiação puramente UVC.

3.4.1.5 Medição da deformação do material

Para avaliar o efeito que a radiação UVC tem na estrutura das amostras utilizou-se um equipamento que através da adição de um peso nos quantifica a deformação que o material sofre através de uma escala em milímetros (Figura 3.13). Aqui, quanto mais altos os valores obtidos, menos resistente é o material, ou seja, maior a deformação que o material sofre. E, quanto mais baixos os

valores, mais resistente é a peça pois menor é a deformação que a mesma sofre.

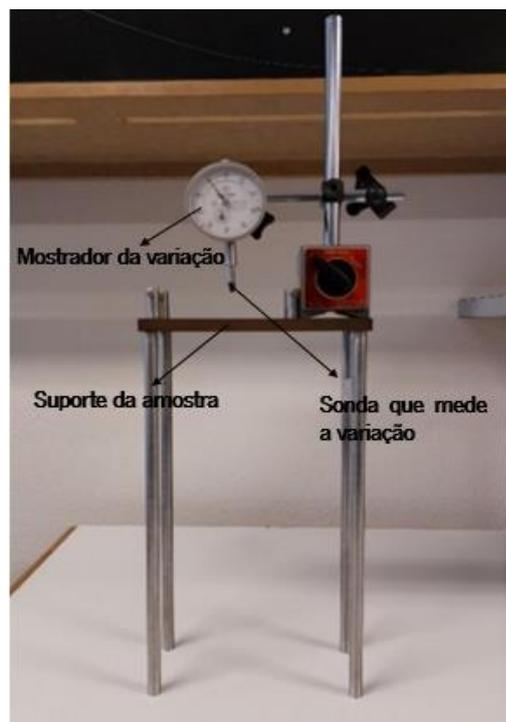


Figura 3.10 Instrumento utilizado para medir a deformação provocada por determinados pesos no material.

Para analisar este parâmetro, definiu-se previamente os pesos (Figura 3.11) a aplicar durante toda a atividade experimental a cada peça de forma a cada semana avaliar-se com o mesmo peso e assim poderem se fazer comparações e demonstrar se há efeito ou não na estrutura causado pela radiação.

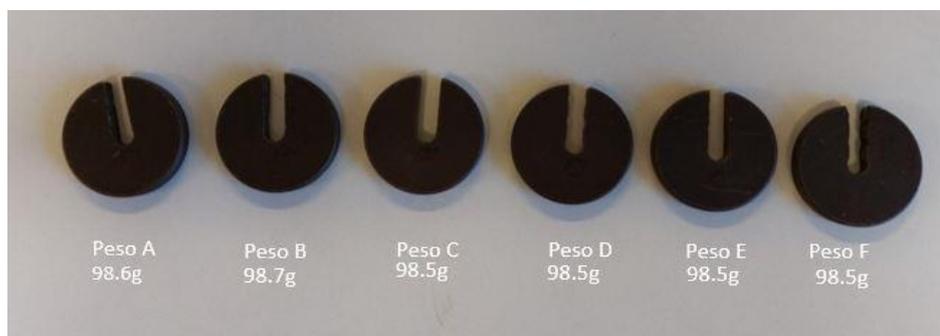


Figura 3.11 Demonstração dos pesos utilizados para medir a deformação nas peças.

A peça foi colocada como demonstrado na Figura 3.12 com um suporte para que as medidas

fossem feitas de forma centrada e com possibilidade de apoio periférico por forma a permitir deformação e diminuir os erros associados. Foram feitas marcas no suporte para que a peça fosse colocada sempre na mesma posição, aproximadamente. Para evitar marcas de sujidade e “dedadas” nas amostras houve o cuidado de não manuseamento das mesmas pegar nelas pelas extremidades.

Por ser um equipamento em que o mínimo movimento em seu redor implicaria uma alteração no resultado foram realizadas 6 medições consecutivas em cada peça e a cada semana tendo o cuidado de quando se retira e volta a colocar a peça esta ficar sempre em posição idêntica à medição anterior. Foi registado para cada amostra, A3, A4, A5, A7 e A8, medidas do T0 ao T3. No final deste tempo como haviam determinadas peças que apresentavam alterações na sua superfície, optou-se por prolongar as medidas e assim fazer uma análise após uma pausa na exposição ao UVC das peças 3, 4 e 5.

Ao longo da atividade experimental foi feito o registo fotográfico das alterações observáveis a “olho nu” nas amostras.

Foi feita a análise estatística verificando para cada tempo a significância estatística entre os dados obtidos para a peça exposta e a mantida no escuro e para cada tempo comparou-se e analisou-se a significância estatística comparando os tempos, isto é, entre tempo 0 e 1, tempo 0 e 2, tempo 0 e 3, tempo 1 e 2, tempo 1 e 3 e tempo 2 e 3.

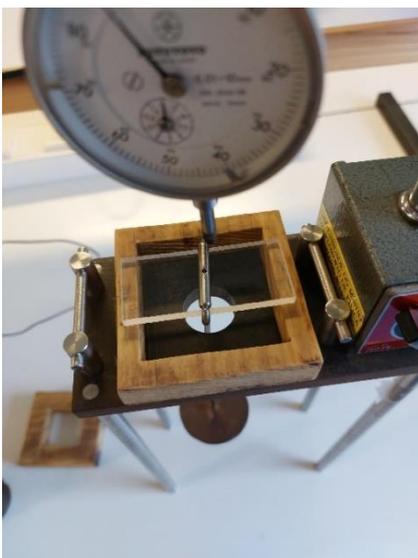


Figura 3.12 Demonstração de como é colocada a peça para ser efetuada a medição.



Figura 3.13 Relógio comparador. Escala utilizada no equipamento.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Teste da variabilidade da repetibilidade das medições efetuadas pelo examinador

Para validar a repetibilidade das medições apresentam-se, neste subcapítulo, os resultados obtidos das medidas de transmitância, nas Figura 4.1 à Figura 4.4. Para reforçar os resultados obtidos e para se obter uma conclusão relativamente a esta hipótese calculou-se também o índice de similaridade, apresentado na Tabela 4.1.

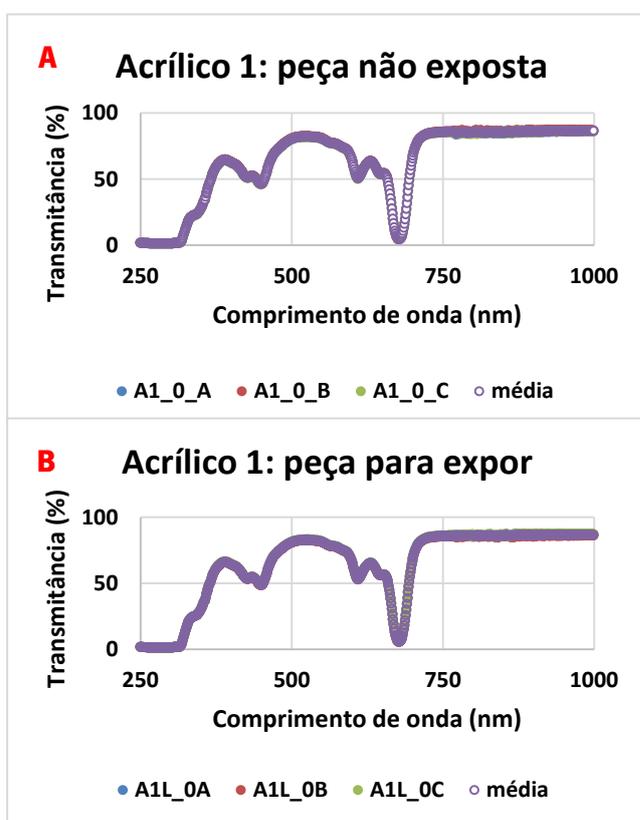


Figura 4.1 Valores de transmitância obtidos (%) para 1 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 1; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinalada com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.

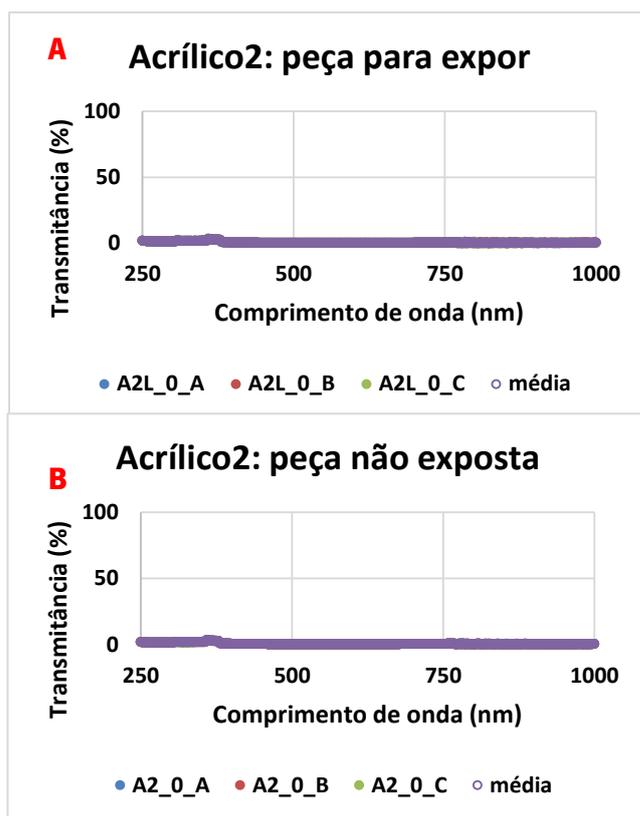


Figura 4.2 Valores de transmitância obtidos (%) para 3 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 2; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinalada com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.

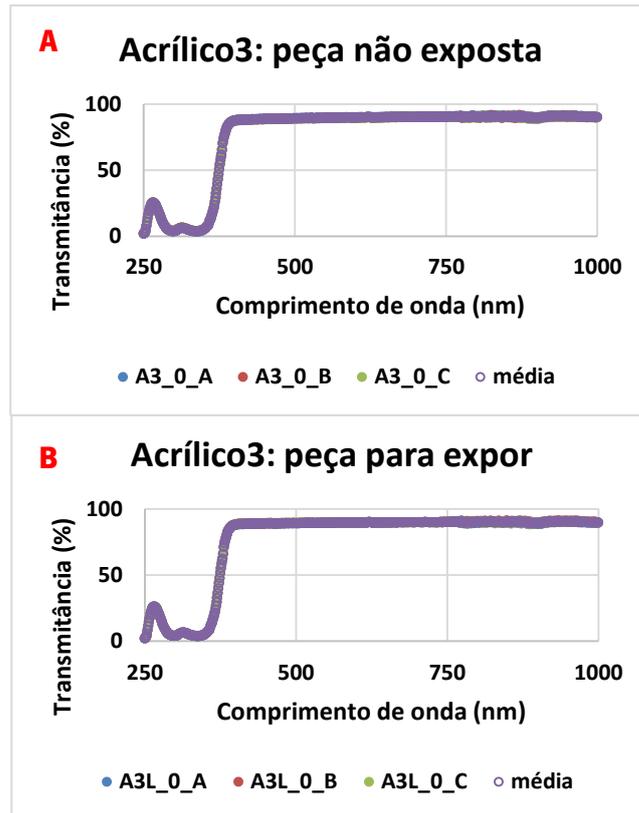


Figura 4.3 Valores de transmitância obtidos (%) para 3 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 3; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinaladas com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.

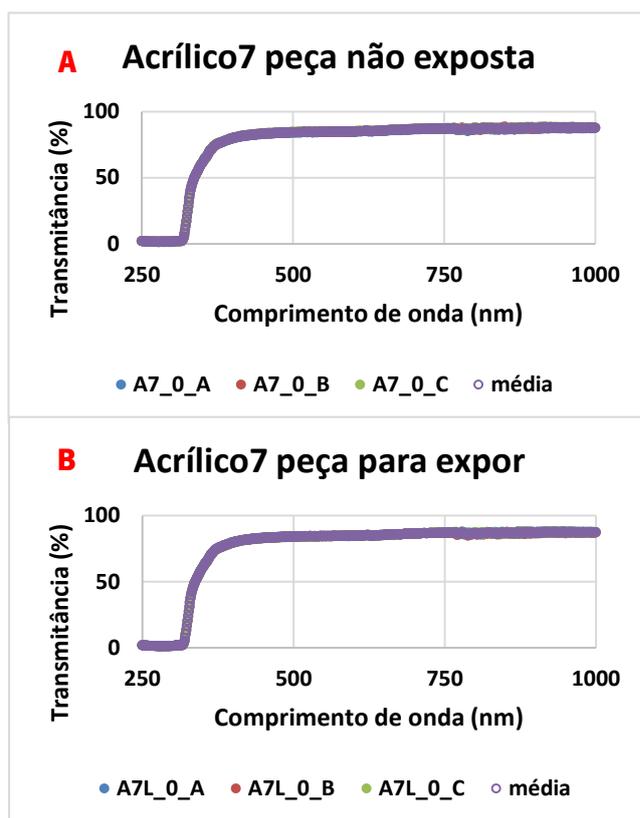


Figura 4.4 Valores de transmitância obtidos (%) para 3 medidas consecutivas e respetiva média para acrílico 7; primeira medida efetuada (pontos a azul), segunda medida efetuada (pontos a vermelho), terceira medida efetuada (pontos a verde), média das medidas (pontos sem preenchimento); Peça não exposta ao UVC assinalada com A; Peça que seria exposta na fase seguinte ao UVC assinaladas com B.

Tabela 4.1 Valores do índice de similaridade obtidos para a análise da variabilidade da repetibilidade das medidas efetuadas pelo examinador (%); Valores superiores a 90% significam que existe uma similaridade elevada.

	Valores do índice de Similaridade (SI) obtidos entre medidas para cada peça (%)			
	A1	A2	A3	A7
Primeira medição com segunda	99,22	99,00	98,73	99,38
Primeira medição com terceira	99,20	98,99	98,75	99,37
Segunda medição com terceira	99,27	99,13	99,715	99,37

Pela análise dos resultados obtidos através da Tabela 4.1 e pelas representações gráficas (Figura 4.1 à Figura 4.4) das três medidas consecutivas efetuadas e média das mesmas verifica-se que, para as amostras testadas se obtém valores do índice de similaridade, SI, que rondam os 99%, isto é, os espectros obtidos apresentam uma semelhança elevada entre si.

Este resultado permitiu aferir que fazer três medidas diferentes consecutivas e posteriormente utilizar a média das mesmas ou fazer apenas uma só medida os resultados obtidos seriam semelhantes e sem grandes discrepâncias. Assim, pelos resultados obtidos e por esta medida ser estática foi permitido que na fase seguinte do estudo se pudesse fazer apenas uma medida para cada amostra.

4.2 Transmitância

Ao longo desta secção, são apresentados os resultados para a transmitância obtidos ao longo do tempo e que correspondem às medidas efetuadas nas amostras com 0 dias (T0) de exposição, 7 dias (T1), 14 dias (T2) e 21 dias (T3). Para as peças 3 a 6 são ainda apresentados os resultados obtidos para as medições realizadas depois de permanecerem no escuro depois de terem sido expostas à radiação UVC. Estas medições foram efetuadas 48 dias (T4), 55 dias (T5) e 62 dias (T6) depois de terminada a exposição à radiação. Para a peça 5 havia ainda uma terceira peça, nomeada como 5A que permitiu fazer uma repetição das medidas, para garantir dados, uma vez que os dados obtidos de T0 a T3, por erros de medida, nas primeiras medições não foram conclusivos. No entanto, com o seguimento da atividade verificou-se que a peça A5B após a pausa na exposição apresentou alterações na sua estrutura. Assim, para avaliar o efeito que a pausa na exposição tem no mesmo material foi utilizado a peça 5B.

Foram calculados os índices de similaridade comparando o espectro da peça exposta ao UVC e o da mantida no escuro para cada tempo e o índice de similaridade obtido quando comparado o espectro da peça exposta ao UVC e a não exposta ao longo do tempo por intervalos de comprimentos de onda. Foram ainda calculados os índices de similaridade entre os espectros obtidos no início da experiência e no período final para cada peça e o índice de similaridade obtido pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental.

Ao longo da atividade foram realizados registos fotográficos das peças. As alterações verificadas podem ser visualizadas na Figura 4.6 e Figura 4.5.

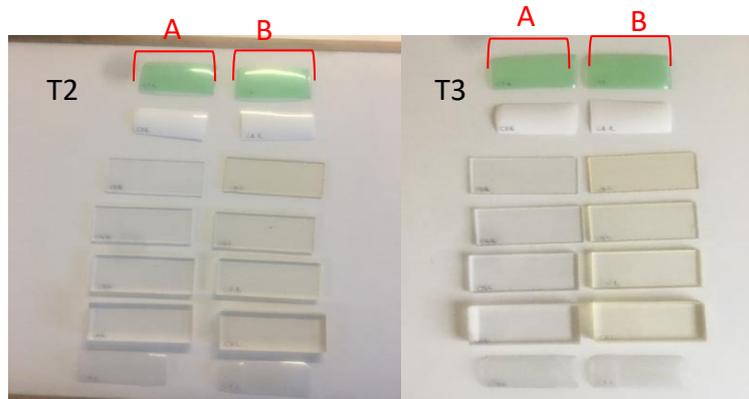


Figura 4.6 Alterações observáveis nas amostras 1 a 7 no tempo 2 (T2) e tempo 3 (T3) após 14 e 21 dias de exposição ao escuro e UVC, respetivamente. As amostras nas colunas assinaladas com A foram as não expostas ao UVC. As amostras nas colunas assinaladas com B foram as expostas ao UVC.



Figura 4.5 Alterações observáveis nas amostras o tempo 4 após 48 dias da última exposição ao UVC.

Espera-se, para a medida realizada antes da exposição (T0), que a transmitância de ambas as peças de cada material (a que não vai ser exposta e a que vai ser exposta a radiação UVC) sejam idênticos uma vez que ainda não houve exposição ao UVC e que com a exposição ao UVC surjam alterações na transmitância. Espera-se que a peça que apresenta propriedades de proteção ao UV não apresente alterações com a exposição a esta radiação.

Uma vez que não existem muitos trabalhos realizados no sentido de perceber qual o comportamento ótico e físico aquando e após a exposição ao UV, nomeadamente UVC, não foi possível estabelecer relações com a bibliografia existente.

Neste trabalho não foram consideradas nas comparações feitas com as alterações de temperatura provocadas pela IV emitida pelas lâmpadas emissoras de UVC como observado no espetro da Figura 3.8.

4.2.1.1 **Variação da transmitância com a exposição à radiação UVC**

4.2.1.2 **Acrílico 1**

Na Figura 4.7 estão apresentados os resultados de transmitância referentes ao acrílico 1 obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC.

Na Figura 4.8 estão apresentados os resultados obtidos para o índice de branqueamento e amarelecimento do acrílico 1.

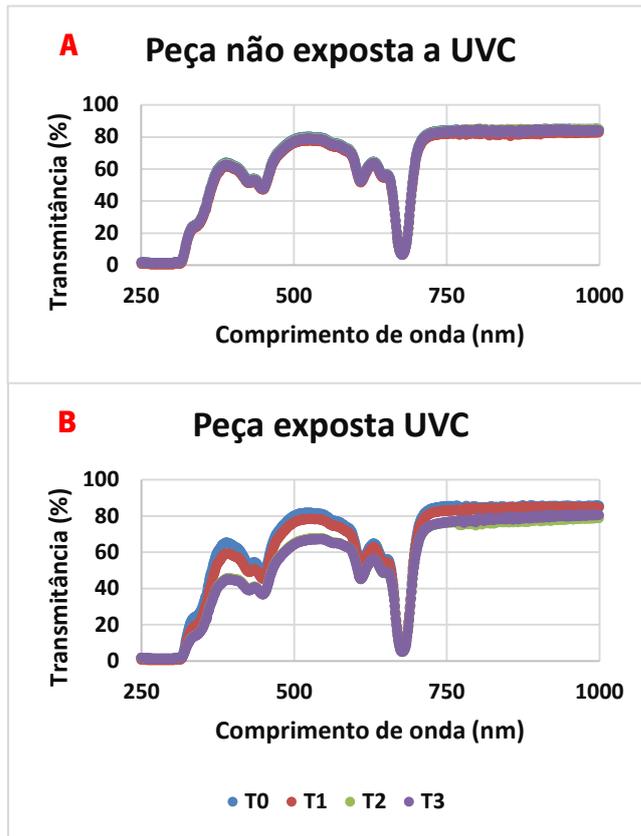


Figura 4.7 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para as peças 1; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).

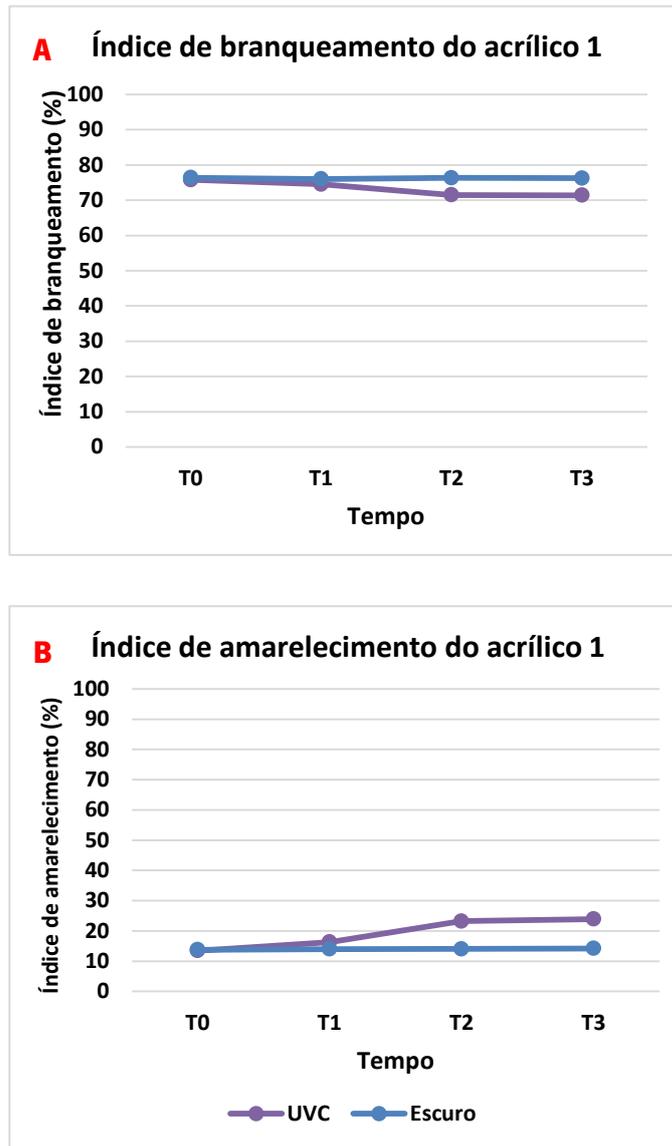


Figura 4.8 Índices de branqueamento (A) e amarelecimento (B) obtidos para a peça 1; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

Analisando os dados obtidos de transmitância (gráfico A e B da Figura 4.7), verificou-se que, para a peça mantida no escuro deste material, não houveram alterações nos seus espectros como se comprova pelo SI elevado obtido para a comparação entre o T0 e T3 desta peça (SI=99.18%), como se pode verificar na Tabela 4.2. Já para a peça que foi exposta à UVC, verificam-se ligeiras diferenças entre os espectros, existindo uma diminuição para praticamente todos os comprimentos de onda analisados (250-1000nm), obtendo-se um SI de 89.52% (Tabela 4.2), comparando o T0 com T3, ou seja, há uma diminuição na semelhança dos espectros possivelmente causada pela exposição ao UVC.

Tabela 4.2 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 1; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	86.41	99.22	99.18
UVC	86.28	89.65	89.52

Fazendo a comparação entre os espectros da peça exposta e a peça não exposta ao longo do tempo, verifica-se que no início do estudo (T0) se obtém um SI de 98.7% (Tabela 4.3) demonstrando uma similaridade elevada entre os espectros, tal como esperado uma vez que são peças do mesmo material e estiveram sujeitas às mesmas condições até este momento. Analisando a transmitância apenas para frações específicas do espectro, verifica-se que para o T0, a similaridade entre espectros das 2 peças é maior entre os comprimentos de onda dos 451-580nm (SI=99.00%) e menor entre os 580-750nm (SI=97.84%) demonstrando uma similaridade elevada para todos os comprimentos de onda, podendo por isso considerarem-se equivalentes.

Tabela 4.3 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250- 1000nm	250- 450nm	451- 580nm	580- 750nm
TEMPO 0	98.67	98.73	99.00	97.84
TEMPO 1	97.39	95.59	99.00	97.81
TEMPO 2	90.05	84.19	90.98	92.73
TEMPO 3	90.20	84.00	90.96	93.06

Ao fim de uma semana (T1), obtém-se um SI de 97,39% entre o espectro obtido nessa altura e o obtido inicialmente, mas ainda assim muito semelhantes o que pode induzir que apesar de haverem diferenças entre a peça exposta e a não exposta nesta fase, são poucas e influenciam em muito pouco a transmitância. Para o T1 averigua-se que as maiores diferenças são observadas nos intervalos de comprimentos de onda de 250-450nm, zona do UV, o que mostra que as diferenças encontradas afetam em maioria a transmitância do UV.

Para o T2, verifica-se um SI entre o espectro da peça que foi mantida no escuro e a que foi exposta já é menor que o obtido para T1, com um valor de 90.05% (Tabela 4.3) o que significa que os espectros diferem em 10%, aproximadamente.

Para o tempo T3, verifica-se que a similaridade entre os espectros da peça mantida no escuro e da peça exposta ao UVC apresenta um valor de 90.20%, ligeiramente superior ao tempo T1 (Tabela 4.3). Tanto para o T2 e T3 verifica-se que as maiores diferenças entre espectros se obtêm nos comprimentos de onda entre os 250-450 nm, zona dos UV, apresentando índices de similaridade de 84.19% e 84.00% para os tempos T2 e T3, respetivamente.

Analisando os índices de similaridade encontrados para cada componente do ultravioleta (Tabela 4.4) verifica-se que os espectros são semelhantes para os comprimentos de onda do UVB e parte do UVC. O mesmo não acontece com o UVA que apresenta um índice de similaridade de 79.96% e 77.54% para o tempo T2 e T3, respetivamente, o que leva a concluir que as diferenças encontradas, após a exposição, afetam principalmente o UVA.

Tabela 4.4 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	99.03	97.95	98.38
TEMPO 1	93.59	97.68	97.31
TEMPO 2	79.96	98.75	98.70
TEMPO 3	77.54	93.75	98.41

Para o acrílico 1, um acrílico flexível de cor verde, as peças não apresentavam, a olho “nu”, alterações na cor como mostra a Figura 4.6. No entanto, quando calculado o índice de branqueamento e amarelecimento verifica-se que, tal como esperado, a peça mantida no escuro, não sofreu alterações uma vez que o índice de branqueamento e amarelecimento se mantêm constante ao longo da atividade experimental como se pode observar na Figura 4.8. Já a peça exposta, verifica-se a partir do tempo 1 uma diminuição do índice de branqueamento e um aumento do índice do amarelecimento, ainda que ligeiro.

Com isto, verifica-se que à medida que o tempo de exposição aumenta, os espectros de transmitância apresentaram diferenças mais significativas uma vez que o espectro da peça mantida no escuro manteve-se aproximadamente equivalente em todas as medições. Assim a única variável foi o espectro de transmitância associado à peça exposta. Desta forma, pode dizer-se que as maiores diferenças para esta peça começam a surgir a partir do T2, particularmente na zona do UVA, uma vez que as maiores diferenças apresentadas surgem nos comprimentos de onda entre os 321-400nm.

4.2.1.3 Acrílico 2

Na Figura 4.9 estão apresentados os resultados de transmitância referentes ao acrílico 2 obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC.

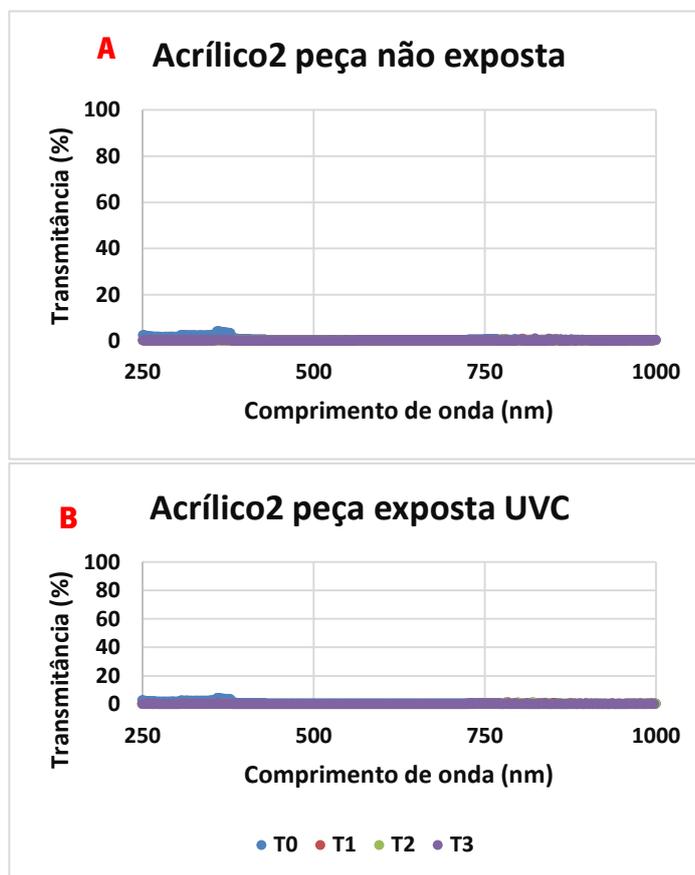


Figura 4.9 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 2; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).

Na Figura 4.10 estão apresentados os resultados obtidos para o índice de branqueamento e amarelecimento do acrílico 2.

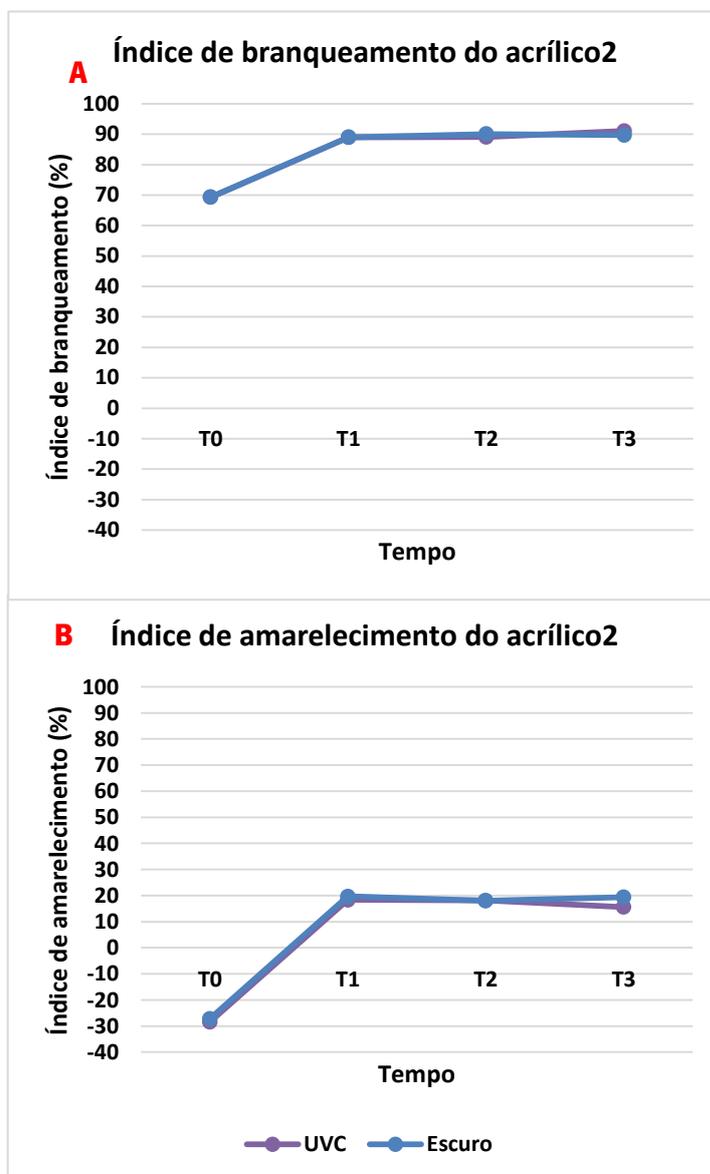


Figura 4.10 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 2; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

Numa análise observacional dos resultados de transmitância obtidos para os tempos 0, 1, 2 e 3 do acrílico 2 (Figura 4.9) observa-se que tanto para a peça que foi mantida no escuro como a que foi exposta não existem alterações.

Tabela 4.5 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 2; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	37.10	37.41	39.48
UVC	36.83	39.17	38.06

Numa análise mais detalhada recorrendo aos valores obtidos para o índice de similaridade, comparando o T0 e T3, pela Tabela 4.5, verifica-se, com surpresa, um índice de similaridade baixo (SI=39.48%) para a peça mantida no escuro, demonstrando que houve alterações na peça com a não exposição ao UVC. Este resultado demonstra que as diferenças encontradas surgem na zona do infravermelho uma vez que para os comprimentos de onda analisados (250-750nm) se obtém valores de índice de similaridade elevada (Tabela 4.6). É encontrado um resultado inesperado também para a peça exposta ao UVC, pois obtém-se um índice de similaridade de 38.06%, demonstrando uma similaridade baixa, facto que não é coerente com os dados da Figura 4.9.

Tabela 4.6 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250-1000nm	250-450nm	451-580nm	580-750nm
TEMPO 0	63.41	98.28	99.60	98.20
TEMPO 1	66.91	94.32	96.83	96.76
TEMPO 2	91.11	95.48	96.44	96.50
TEMPO 3	64.50	95.93	97.52	97.15

Comparando-se os espectros da peça exposta e não exposta para cada tempo (Tabela 4.6) verifica-se que no início da atividade (T0), para todos os comprimentos de onda, um índice de similaridade de 63.41% que demonstra que os espectros são diferentes, o que não é expectável pois tratam-se de peças de materiais iguais pelo que seria de esperar uma semelhança elevada entre os espectros. Analisando de forma repartida os comprimentos de onda verifica-se que nos intervalos analisados são semelhantes. Assim, podemos dizer que as diferenças encontradas se devem a

comprimentos de onda superiores a 750 nm. Esses valores não serão aqui apresentados uma vez que a relação sinal ruído existente é muito elevada.

Para o tempo 1, verifica-se, que para todos os comprimentos de onda, o índice de similaridade é de 66.91% (Tabela 4.6), ou seja, os espectros apresentam entre si maiores semelhanças quando comparado com o T0. Analisando de forma detalhada os intervalos de comprimentos de onda verifica-se que as maiores diferenças são encontradas nos comprimentos de onda entre 250-450nm, zona dos UV, no entanto, calculando os índices de similaridade para cada componente do UV verifica-se as maiores diferenças, ainda que poucas, são encontradas nas gamas dos UVB com um índice de similaridade de 97.94% (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	98.22	97.94	98.6
TEMPO 1	93.27	94.83	93.89
TEMPO 2	95.03	95.97	95.08
TEMPO 3	95.13	96.19	96.01

Para o tempo 2 obtém-se um índice de similaridade de 91.11% (Tabela 4.6), ou seja, os espectros da peça mantida no escuro e da exposta são semelhantes. Analisando de forma repartida os valores de índice de similaridade verifica-se que são obtidos valores de, aproximadamente, 95% que demonstra a existência de uma similaridade elevada tanto para quando se avaliam os comprimentos de onda das 3 componentes do UV (Tabela 4.7) como quando se avaliam dos 250 – 450 nm, 451-580 nm e 580-750 nm.

Para o tempo 3 obtém-se um índice de similaridade de 64.50% (Tabela 4.6) quando se avaliam todos os comprimentos de onda, ou seja, os espectros são um pouco diferentes. Analisando os índices de similaridade por gamas de comprimentos de onda verifica-se que as diferenças mais acentuadas, ainda que ligeiras, são encontradas para os comprimentos de onda 250-450nm, gama dos UVs. Para cada componente do UV obtém-se um índice de similaridade de 95.13%, 96.19% e 96.01% respetivamente para UVA, B e C, demonstrando que as maiores diferenças são encontradas para a

componente do UVA (Tabela 4.7).

Analisando os índices de branqueamento e amarelecimento verifica-se que para a peça mantida no escuro que há um aumento do índice de branqueamento e amarelecimento do tempo 0 para o tempo 1 e para o restante tempo se mantém constante, como mostram os gráficos da Figura 4.10. Para a peça exposta observa-se um aumento do índice de branqueamento a partir do tempo 0 até ao tempo 1 mantendo-se, depois, constantes (Figura 4.10). Para o índice de amarelecimento há um aumento do tempo 0 para 1 e depois mantém-se praticamente constante, tal como mostra a Figura 4.10.

4.2.1.4 Acrílico 3

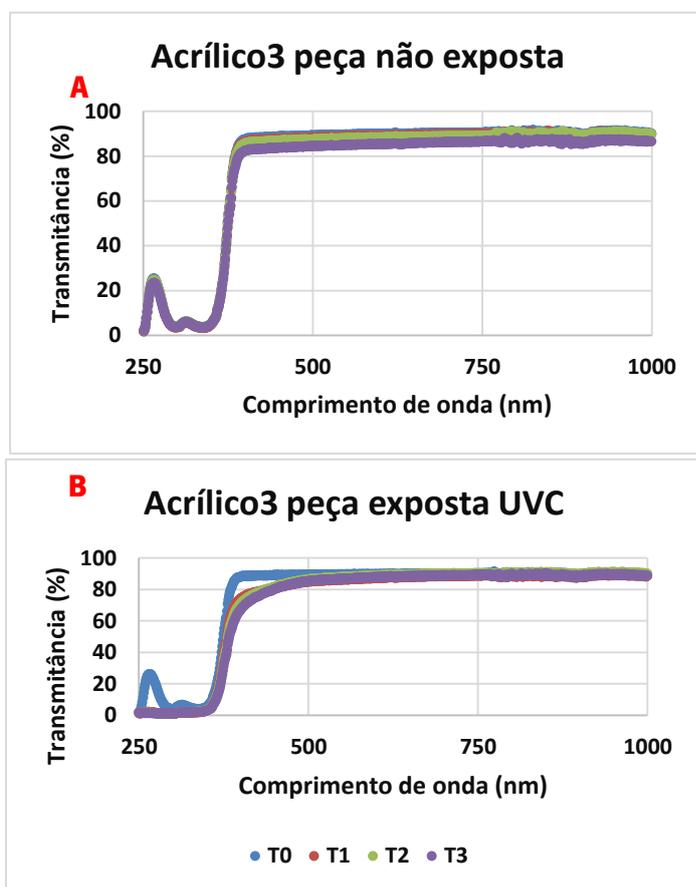


Figura 4.11 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 3; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).

Na Figura 4.11 estão apresentados os resultados de transmitância referentes ao acrílico 3 obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC.

Na Figura 4.12 estão apresentados os resultados obtidos para o índice de branqueamento e amarelecimento do acrílico 3.

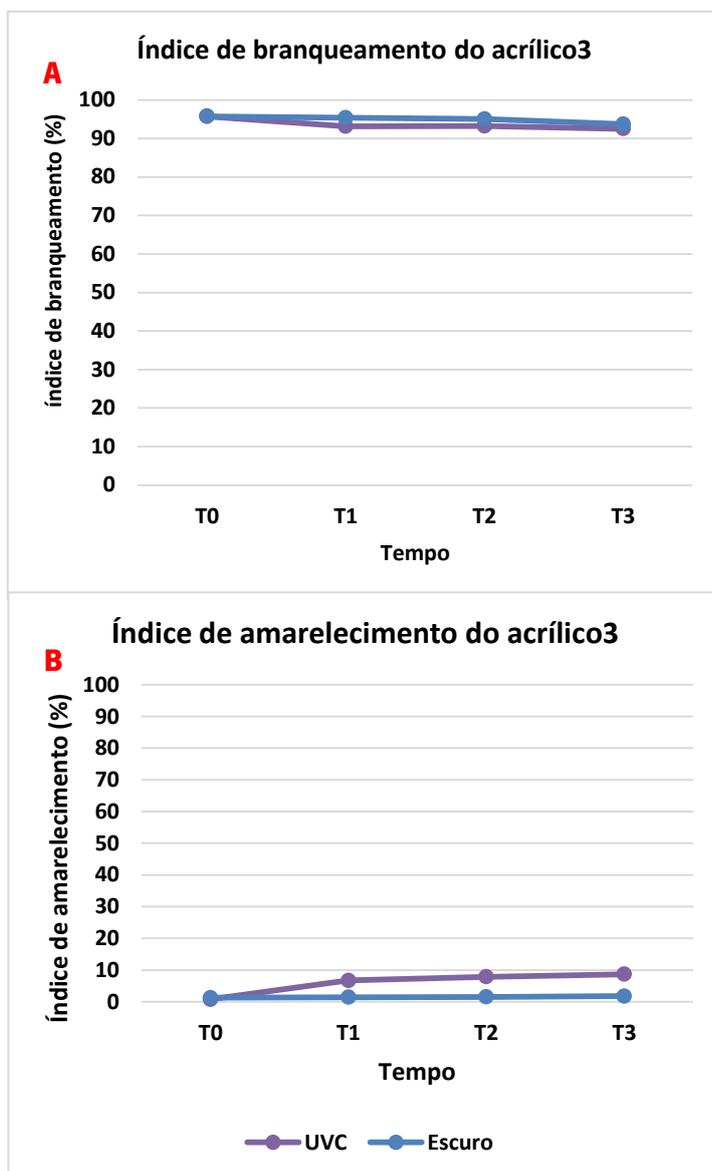


Figura 4.12 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 3; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azuis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

Analisando os dados de transmitância obtidos, para a peça mantida no escuro, (Figura 4.11) observa-se que há uma ligeira diminuição da transmitância à medida que a atividade experimental vai decorrendo para os comprimentos de onda a partir dos 400 nm, podendo ser comprovado pelo SI obtido quando se compara T0 e T3 desta peça (SI=97.55%), demonstrando que esta peça, mesmo com a não exposição ao UVC, vai sofrendo alterações na sua estrutura que afetam a transmitância. Para a peça exposta ao UVC observa-se uma diminuição da transmitância ao longo do tempo para todos os comprimentos de onda comprovado pelo índice de similaridade obtido, SI=75.89% (Tabela 4.8), demonstrando a existência de diferenças entre os dados no início e fase final da atividade. Não podemos concluir que estas diferenças se devam à exposição ao UVC, uma vez que, a peça mantida no escuro apresenta alterações.

Tabela 4.8 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 3; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	98.64	99.10	97.55
UVC	76.10	76.80	75.89

Para esta peça, no tempo 0, efetuando a comparação e calculando o SI da peça exposta ao UVC e a não exposta obtém-se uma semelhança elevada, de 98.48% (Tabela 4.9), tal como esperado. Analisando os comprimentos de onda de forma repartida verifica-se que a menor similaridade é obtida para a gama dos comprimentos de onda dos 250-450nm, gama dos UV (Tabela 4.9). Analisando por gamas dos UV de forma repartida também se verifica que as maiores diferenças encontradas são na zona do UVB, com uma similaridade de 95.90% (Tabela 4.10).

Tabela 4.9 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250-1000nm	250-450nm	451-580nm	580-750nm
TEMPO 0	98.48	97.10	99.91	99.86
TEMPO 1	77.46	56.40	97.81	99.14
TEMPO 2	77.45	56.36	99.22	99.46
TEMPO 3	77.03	55.58	99.01	98.47

Para o tempo 1, verifica-se, para todos os comprimentos de onda que entre a peça exposta e a mantida no escuro há uma diminuição da similaridade dos espectros pois é obtido um SI de 77.46% (Tabela 4.9). Analisando de forma repartida os comprimentos de onda e os índices de similaridade obtidos verifica-se que é na zona dos UV que existe maior diferença pois é obtido um índice de similaridade de 56.40% (Tabela 4.9). Analisando a similaridade para cada componente do UV, pela Tabela 4.10 verifica-se que, para esta peça, todos os valores obtidos são inferiores a 80%, no entanto, a gama do UVC é a que apresenta uma similaridade menor, 22.01%, demonstrando que as alterações afetam a transmitância nesta zona do espectro.

Tabela 4.10 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	97.06	95.90	96.42
TEMPO 1	78.12	41.97	22.01
TEMPO 2	75.76	45.84	21.27
TEMPO 3	73.50	44.98	20.96

Para o tempo 2, obtém-se um SI de 77.45% (Tabela 4.9) para todos os comprimentos de onda, ou seja, há uma diminuição da similaridade entre espectros face ao tempo 1, ainda que ligeira. Analisando de forma repartida os comprimentos de onda observa-se que mais uma vez a gama dos UV é a que menor similaridade apresenta (SI=56.36%) nomeadamente a zona dos UVC, com um SI de 21.27% (Tabela 4.10).

Para o tempo 3, há uma diminuição do SI comparativamente ao tempo 2 (SI=77.45%) e a menor similaridade existe para a gama dos UV (SI=56.36%) (Tabela 4.9) particularmente UVC (SI=20.96%) (Tabela 4.10).

Assim, podemos concluir que à medida que a exposição às lâmpadas emissoras de UVC aumenta há uma diminuição da similaridade entre espetros em todos os comprimentos de onda, particularmente UVA.

A peça 3, que sofreu exposição ao UVC apresentou alterações na sua cor, tornando-se mais amarela, à medida que a atividade foi decorrendo tal como se pode observar na Figura 4.6 .

Pela Figura 4.12 observa-se que o índice de branqueamento se mantém constante para ambas as peças. Relativamente ao amarelecimento verifica-se um aumento do mesmo para a peça exposta ao UVC, tal como esperado.

4.2.1.5 **Acrílico 4**

Na Figura 4.13 estão apresentados os resultados de transmitância referentes ao acrílico 4 obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC.

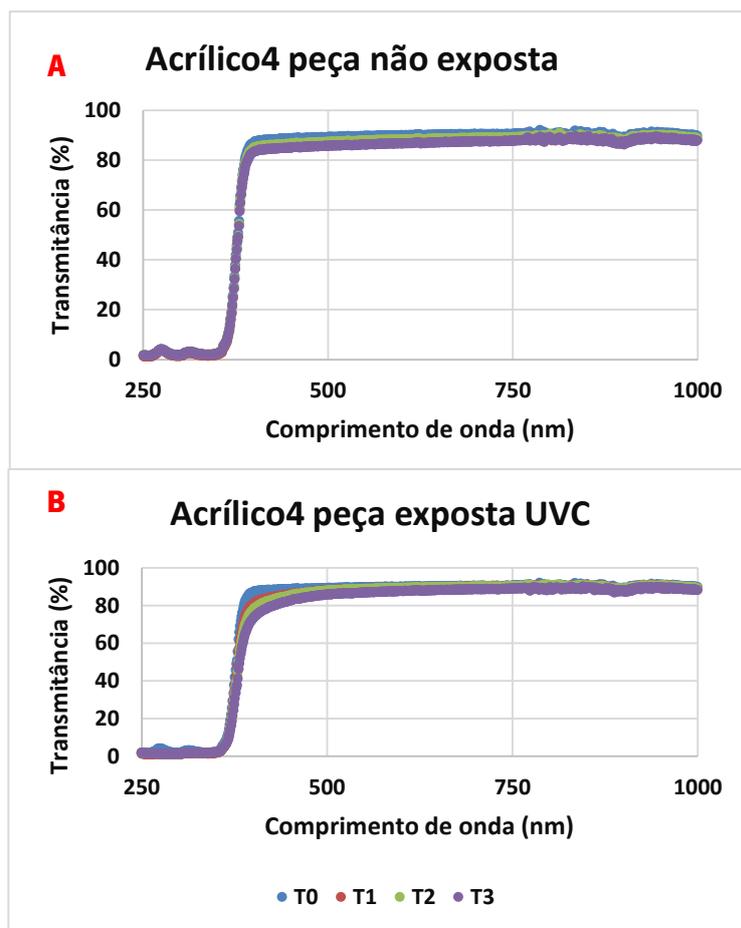


Figura 4.13 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 4; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).

Na Figura 4.14 estão apresentados os resultados obtidos para o índice de branqueamento e amarelecimento do acrílico 4.

Observando os dados de transmitância obtidos (Figura 4.13) observa-se que para a peça mantida no escuro não há diferenças ao longo do tempo, tal como esperado, pois não é esperado que houvessem alterações com a não exposição ao UVC. O mesmo pode ser comprovado pelo índice de similaridade elevado obtido quando se comparam os tempos 0 e 3 da peça não exposta ao UVC (SI=98.00%) (Tabela 4.11). Para a peça exposta ao UVC observa-se uma ligeira diminuição da transmitância, comprovada pelo índice de similaridade obtido no valor de 89.80%, demonstrando diferenças.

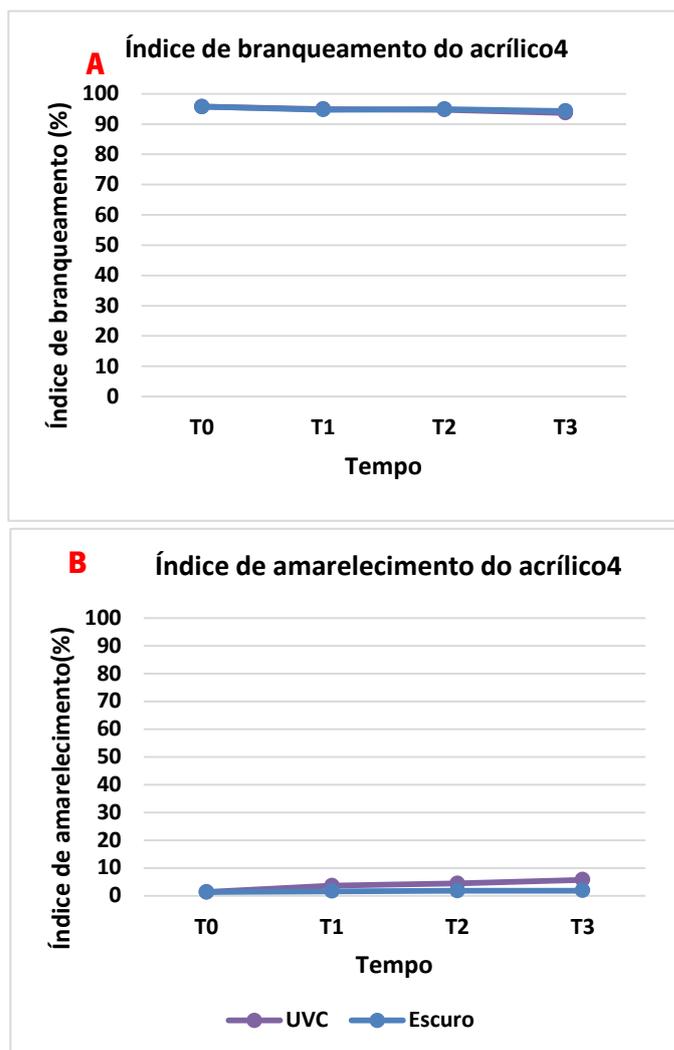


Figura 4.14 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 4; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azuis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

Fazendo-se a comparação para cada tempo entre a peça exposta e não exposta ao UVC verifica-se que, para T0, há uma similaridade de 100% (Tabela 4.12). Este valor é obtido porque o examinador usou os mesmos dados do T0 para o escuro e para o UVC após concluir num estudo de médias que se podiam considerar idênticos.

Para T1, verifica-se uma diminuição da similaridade entre espectros (SI=89.27%) (Tabela 4.12) possivelmente devido à exposição ao UVC, uma vez que a peça mantida no escuro não apresentou alterações. Pela análise dos índices de similaridade obtidos para os grupos de comprimentos de onda verificou-se que a menor similaridade é observada para o grupo dos UVs (SI=79.26%) nomeadamente

para os UVC (SI=60.58%) (Tabela 4.13).

Tabela 4.11 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 4; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	95.56	98.90	98.38
UVC	86.55	90.24	89.80

Para o tempo 2, verifica-se que, para todos os comprimentos de onda a similaridade é maior comparativamente à semana anterior (SI=90.18%) e que para o grupo dos UVs é onde os espectros apresentam maiores diferenças (SI=80.99%) nomeadamente para os UVC (SI=64.67%).

Tabela 4.12 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250-1000nm	250-450nm	451-580nm	580-750nm
TEMPO 0	100.00	100.00	100.00	100.00
TEMPO 1	89.27	79.26	99.33	99.10
TEMPO 2	90.18	80.99	99.57	99.41
TEMPO 3	90.14	80.93	99.50	99.40

Para o tempo 3, observa-se uma ligeira diminuição do SI relativamente ao tempo 2 (SI=90.14%) e que tal como o tempo anterior as maiores diferenças são observadas para os UVs, nomeadamente UVC (SI=65.25%).

Tabela 4.13 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada;

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	100.00	100.00	100.00
TEMPO 1	92.30	74.39	60.58
TEMPO 2	91.01	76.75	64.67
TEMPO 3	89.54	77.18	65.25

Assim, podemos dizer, que como a peça mantida no escuro não sofreu alterações ao longo do tempo, as alterações verificadas na peça exposta ao UVC se devem a esta exposição e que afeta a transmitância na zona do UVC, nomeadamente a sua diminuição.

O acrílico 4, à medida que a exposição ao UVC foi decorrendo apresentou alterações na sua cor e transparência, adquirindo um tom mais amarelo como mostram a Figura 4.6. Analisando a Figura 4.14 observa-se que, para a peça mantida no escuro, tanto o índice de branqueamento como de amarelecimento se mantém constante comparando T0 e T3. Já a peça exposta ao UVC, apresenta um índice de branqueamento constante e um aumento do índice de amarelecimento, tal como esperado.

4.2.1.6 **Acrílico 5A**

Na Figura 4.15 estão apresentados os resultados de transmitância referentes ao acrílico 5A obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC. Já na Figura 4.16 são mostrados os resultados obtidos para o índice de branqueamento e amarelecimento do acrílico 5A.

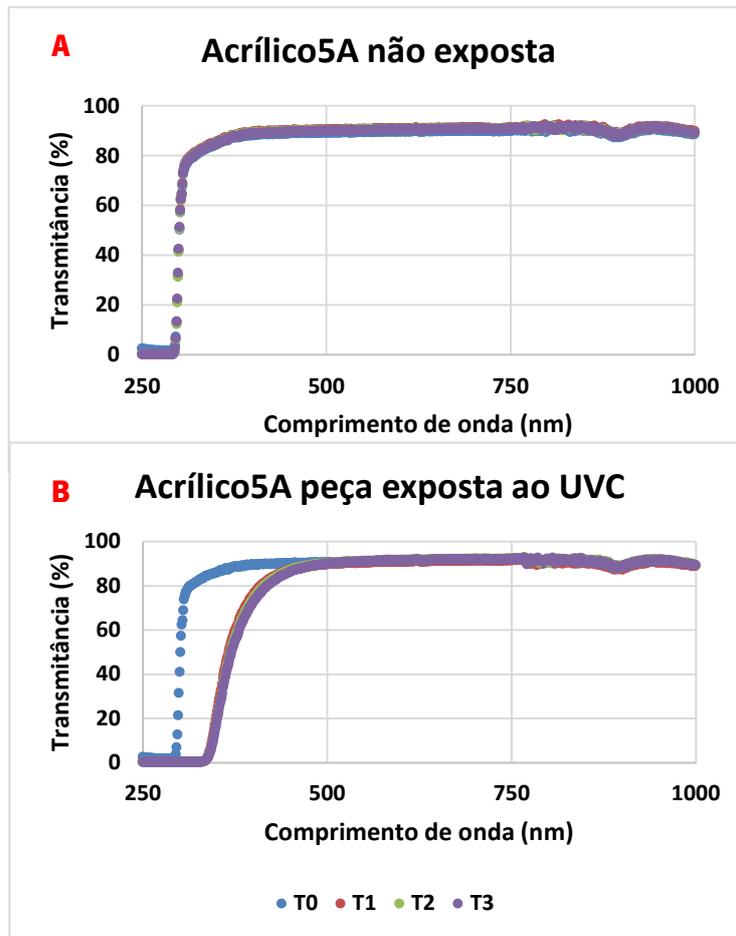


Figura 4.15 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 5A; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).

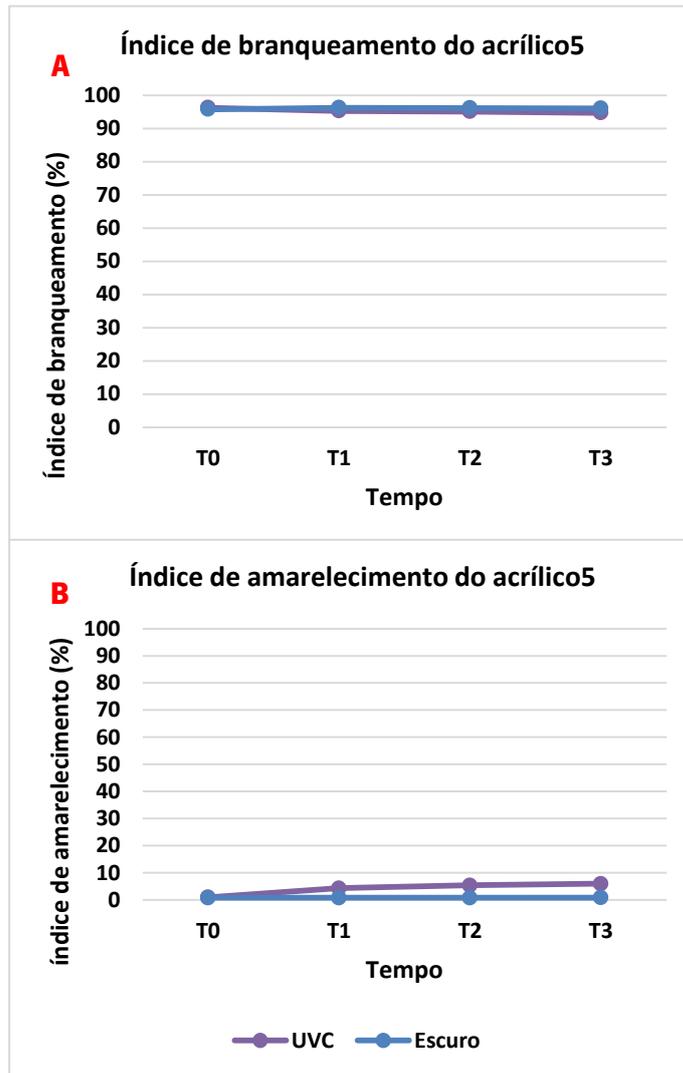


Figura 4.16 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 5; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azúis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

Para esta peça verifica-se, observando a Figura 4.15, que não há alterações acentuadas na transmitância para a peça não exposta ao UVC. Pelo índice de similaridade obtido após comparação de T0 e T3 (SI=80.04%) (Tabela 4.14) verifica-se um valor inferior ao esperado pois demonstra uma ligeira diferença ainda que impercetível na representação do respetivo espetro. Já para a peça exposta ao UVC há uma diminuição da transmitância para os comprimentos de onda dos 250-450nm e que esta diminuição se verifica logo após as primeiras 77 horas de exposição. O índice de similaridade obtido comparando T0 e T3 (Tabela 4.14) demonstra efetivamente essa diferença (SI=65.94%).

Analisando para cada tempo a comparação entre a peça exposta e não exposta ao UVC (Tabela 4.15), verifica-se, para todos os comprimentos de onda, que para o T0, existe uma similaridade elevada, de 99.24%, tal como esperado.

Tabela 4.14 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 5B; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	78.75	79.27	80.04
UVC	65.58	65.53	65.94

Para T1, verifica-se um SI de 72.86% mostrando que a semelhança entre espectros diminuiu após o primeiro momento de exposição ao UVC. A gama dos UVs é a que mais diferenças apresenta com uma similaridade de apenas 47.44%, particularmente para o grupo dos UVB, com um SI de 4.57% (Tabela 4.16).

Tabela 4.15 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250-1000nm	250-450nm	451-580nm	580-750nm
TEMPO 0	99.24	98.95	99.30	99.21
TEMPO 1	72.86	47.44	99.39	99.90
TEMPO 2	72.54	46.83	99.47	99.41
TEMPO 3	72.50	46.74	99.37	99.42

Para o tempo 2, obtém-se uma similaridade de 72.54%, para todos os comprimentos de onda, sendo que a gama dos UVs é a que menor semelhança apresenta com um SI de 46.83%, nomeadamente para o UVB, com um SI de valor 4.77% (Tabela 4.16).

Para o tempo 3, analisando todos os comprimentos de onda obtém-se uma similaridade de 72.50%, onde a gama dos UVs é a com menor semelhança, com um SI de 46.74% e particularmente o grupo dos UVB é o que mais diferenças apresenta, com uma similaridade de apenas, 5,13% (Tabela 4.16).

Tabela 4.16 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	99.18	98.51	98.56
TEMPO 1	39.82	4.57	94.01
TEMPO 2	38.36	4.77	94.91
TEMPO 3	38.01	5.13	94.63

Assim, podemos inferir que esta peça, quando exposta ao UVC apresenta alterações na transmitância, afetando principalmente os comprimentos de onda do UVB.

Como se pode verificar pela Figura 4.6 observa-se que a peça exposta ao UVC sofreu alterações na sua coloração, obtendo um tom mais amarelado à medida que a atividade decorreu. Pelos resultados obtidos do índice de branqueamento e amarelecimento, apresentados na Figura 4.16, observa-se, a peça mantida no escuro, apresenta um índice de branqueamento e amarelecimento constante, tal como esperado e que a peça exposta ao UVC sofreu um aumento do índice de amarelecimento, tal como esperado.

4.2.1.7 Acrílico 6

Na Figura 4.17 estão apresentados os resultados de transmitância referentes ao acrílico 6 obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC.

Através de uma análise observacional da Figura 4.17 observa-se que, para a peça mantida no escuro não existem alterações na transmitância com a não exposição ao UVC, comprovado pelo índice de similaridade elevado, de 98.63% obtido.

Para uma análise mais detalhada, fez-se a comparação entre a peça não exposta e a exposta ao UVC para cada tempo (Tabela 4.17)

Para a peça exposta às lâmpadas emissora de UVC observa-se uma ligeira diminuição da transmitância, demonstrada também pela diminuição da similaridade obtida pelo valor de SI, de 96.44%.

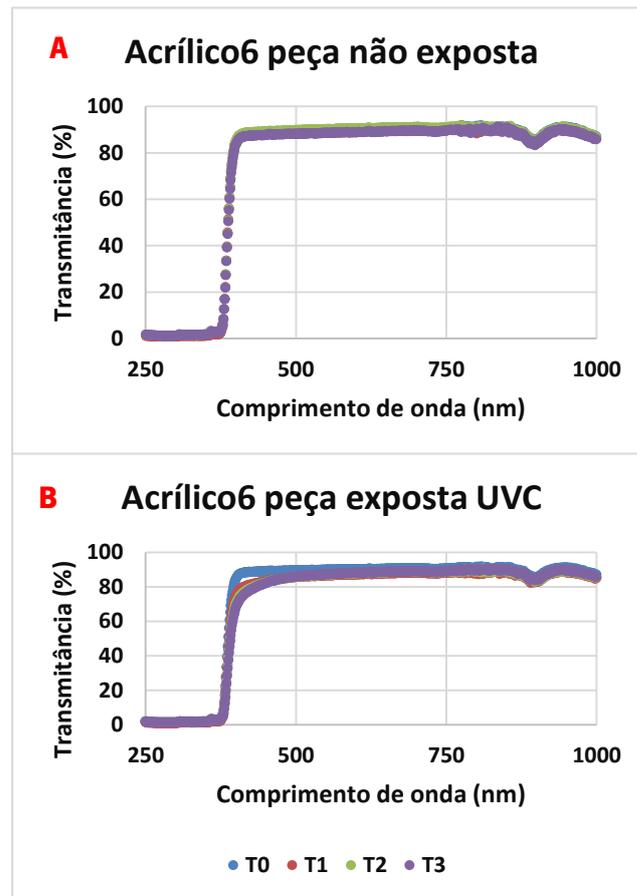


Figura 4.17 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 6; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).

Tabela 4.17 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 6; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	91.79	98.99	98.63
UVC	91.40	96.85	96.44

Assim, para T0, analisando todos os comprimentos de onda observa-se que existe uma similaridade de 100% (Tabela 4.18). Este valor é obtido porque o examinador usou os mesmos dados do T0 para o escuro e para o UVC após concluir num estudo de médias que se podiam considerar idênticos.

Para o T1, há um SI de 97.62% (Tabela 4.18) para todos os comprimentos de onda, no entanto, analisando os grupos dos comprimentos de onda verifica-se que para o grupo dos UVs é onde se observa uma menor semelhança, com um valor de SI 96.10% mais precisamente o UVA com um SI de 95.29% (Tabela 4.19).

Para T2, verifica-se uma diminuição da similaridade comparativamente ao tempo 1 obtendo-se um SI no valor de 96.94% (Tabela 4.18) sendo que o comprimento de onda mais afetado é desde os 451-580nm.

Para T3 há novamente uma diminuição da similaridade para 72.50% sendo o grupo dos UV onde se verifica uma menor similaridade (SI=94.16%). Analisando os grupos do UV verifica-se que a menor similaridade é observada para os UVA (SI=92.44%) (Tabela 4.19).

Tabela 4.18 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250-1000nm	250-450nm	451-580nm	580-750nm
TEMPO 0	100.00	100.00	100.00	100.00
TEMPO 1	97.62	96.10	97.76	98.52
TEMPO 2	96.94	99.64	97.66	98.64
TEMPO 3	72.50	46.74	99.37	99.42

Tabela 4.19 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	100.00	100.00	100.00
TEMPO 1	95.29	98.15	98.02
TEMPO 2	93.15	98.57	98.67
TEMPO 3	92.44	98.53	98.58

Na Figura 4.18 estão apresentados os resultados obtidos para o índice de branqueamento e amarelecimento do acrílico 6.

Para esta peça, verifica-se através do índice de branqueamento e amarelecimento (gráficos da Figura 4.18), que para a peça mantida no escuro os valores se mantêm constantes entre T0 e T3. Para a peça exposta ao UVC verifica-se uma diminuição do índice de branqueamento e aumento do índice de amarelecimento tal como esperado uma vez que a peça apresentou alterações na sua cor, apresentando um tom mais amarelo como se pode observar na Figura 4.6 .

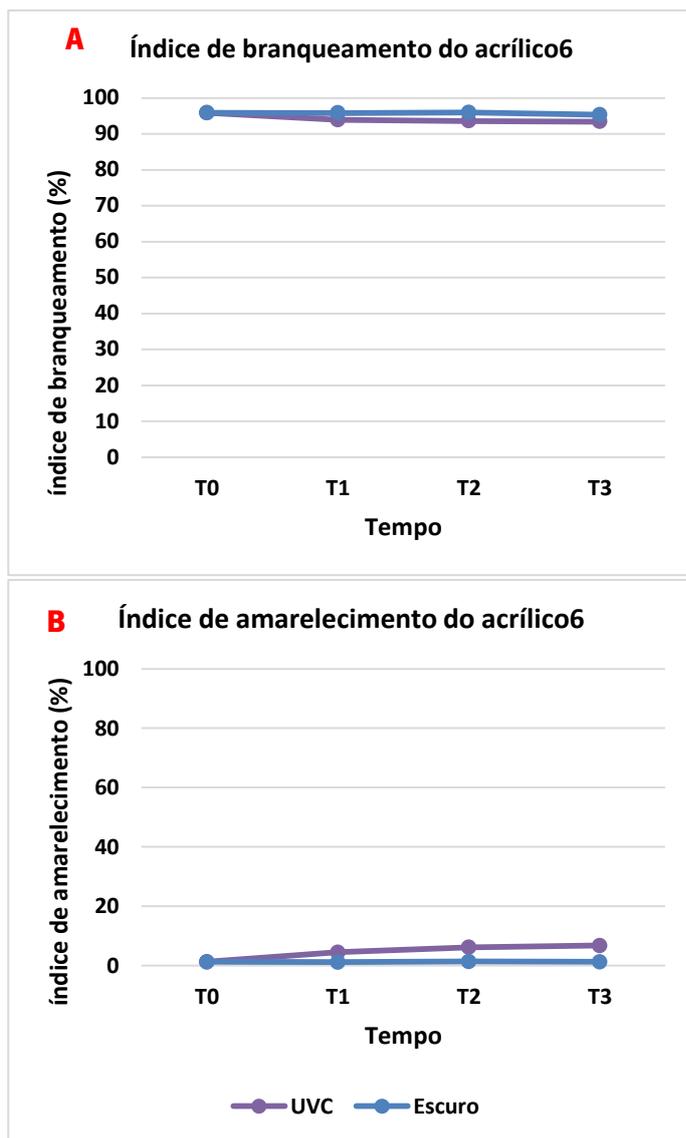


Figura 4.18 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 6; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azuis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

4.2.1.8 Acrílico 7

Na Figura 4.19 estão apresentados os resultados de transmitância referentes ao acrílico 7 obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC.

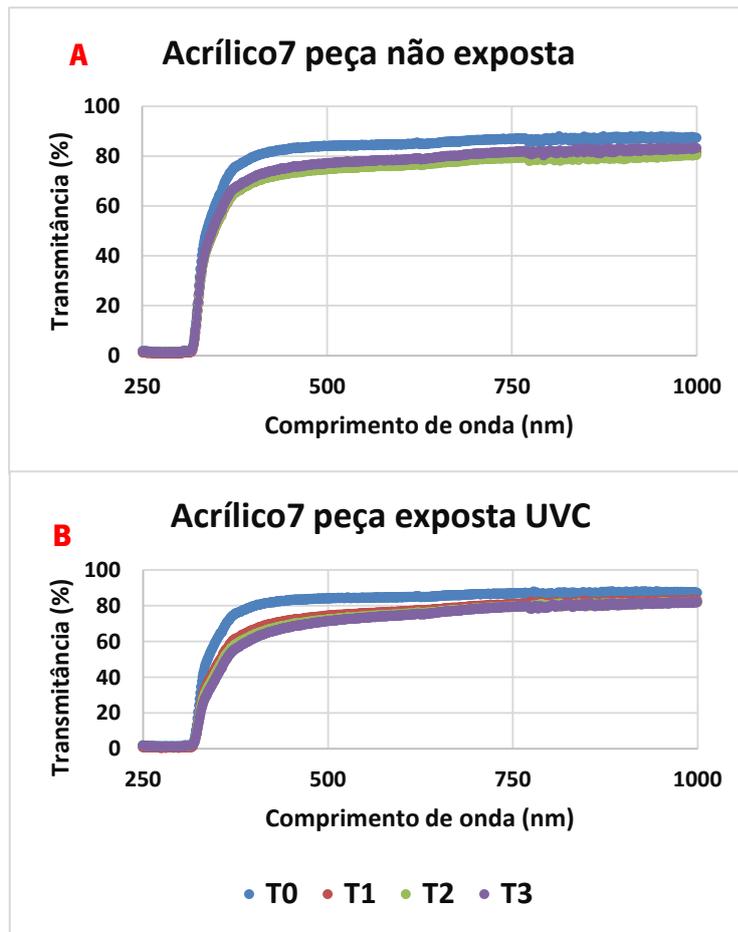


Figura 4.19 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 7 ; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás);

Pelos gráficos da Figura 4.19 observa-se que há uma ligeira diminuição da transmitância ao longo do tempo para a ambas as peças sendo que a diminuição mais evidente ocorre na peça exposta ao UVC. Comparando T0 e T3 (Tabela 4.20) para a peça não exposta ao UVC demonstra-se uma similaridade elevada, de 95.81%, apresentando que a não exposição ao UVC não provoca grandes alterações na transmitância deste tipo de material. Já para a peça exposta ao UVC obtém-se um SI menor, de 91.53% (Tabela 4.20), tal como esperado, uma vez que as diferenças são mais notáveis.

Calculando o índice de similaridade obtido pela comparação entre a peça não exposta e exposta ao UVC (Tabela 4.21) para cada tempo obtém-se que, para T0, há uma grande similaridade entre os espetros obtidos, cerca de 99.00%, tal como esperado.

Tabela 4.20 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 7; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	91.36	94.54	95.81
UVC	85.43	92.58	91.53

Para o tempo 1, há uma diminuição da similaridade, para 92.64% o que demonstra que após a primeira semana de exposição às lâmpadas emissoras de UVC surgiram alterações e que as mesmas são mais acentuadas no grupo de comprimentos de onda dos UV (SI=85,79%) nomeadamente UVB (SI=77.01%) (Tabela 4.22).

Para o tempo 2, há um aumento da similaridade para 96.92%, no entanto o grupo dos UV continua a ser o que menos semelhança apresenta (SI=94.28%).

Para o tempo 3, há novamente uma diminuição da similaridade para 95.02% continuando a haver uma menor similaridade para o grupo dos UVs (SI=91.10%).

Tabela 4.21 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250-1000nm	250-450nm	451-580nm	580-750nm
TEMPO 0	99.37	98.85	99.90	99.94
TEMPO 1	92.64	85.79	99.57	99.49
TEMPO 2	96.92	94.28	98.43	99.67
TEMPO 3	95.02	91.10	6.23	97.99

Assim, podemos concluir que ao longo dos tempos 0, 1, 2 e 3 há sempre uma diminuição da transmitância para este tipo de material quando exposto ao UVC e que as maiores alterações surgem no 1º período de exposição.

Tabela 4.22 Valores do índice de similaridade obtidos pela comparação dos espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda dos UVs; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	99.80	98.41	97.84
TEMPO 1	94.00	77.01	76.50
TEMPO 2	91.51	97.58	98.12
TEMPO 3	86.94	96.11	98.44

Pela Figura 4.20 observa-se que, para a peça mantida no escuro, o índice de branqueamento amarelecimento se mantêm constantes. Para a peça exposta ao UVC verifica-se um ligeiro aumento do índice de amarelecimento.

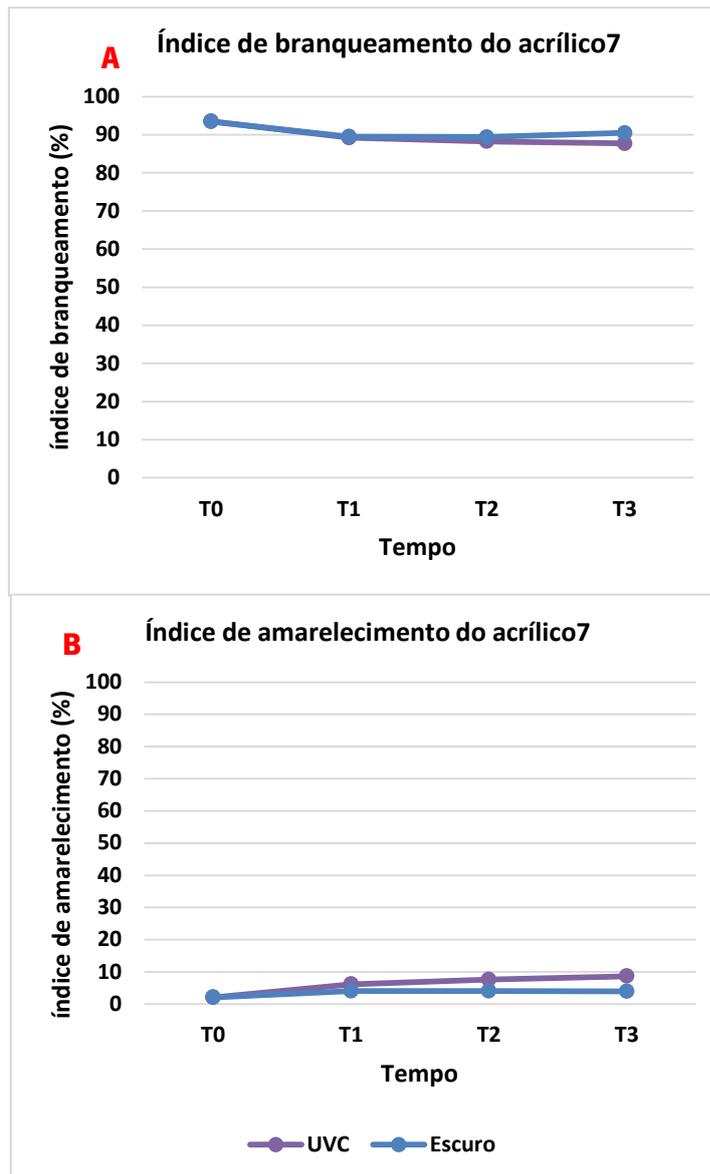


Figura 4.20 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 7; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azuis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

4.2.1.9 Acrílico 8

Na Figura 4.21 estão apresentados os resultados de transmitância referentes aoacrílico 8 obtidos para a peça mantida no escuro e a peça exposta ao UVC.

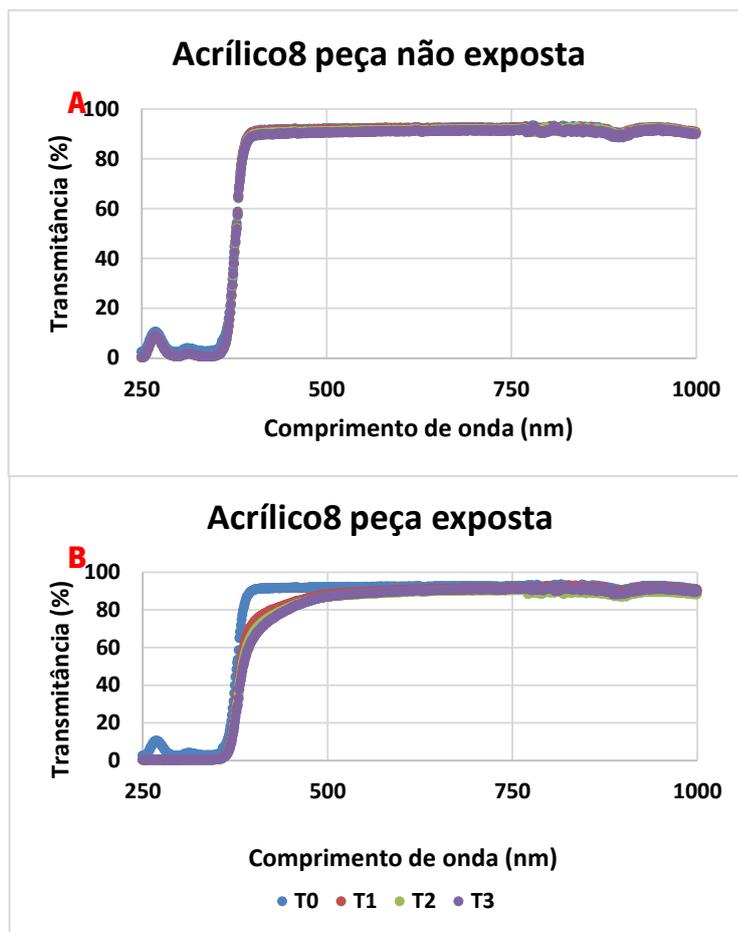


Figura 4.21 Dados de transmitância obtidos (%) ao longo do tempo para a peça 8; Os resultados obtidos para a peça mantida no escuro está assinalado com A; Os resultados obtidos para as peças expostas ao UVC está assinalado com B; Medidas efetuadas no tempo 0 (pontos a azul); medidas efetuadas no tempo 1 (pontos a vermelho); medidas efetuadas no tempo 2 (pontos a verde); medidas efetuadas no tempo 3 (pontos a lilás).

Analisando os gráficos da Figura 4.21 observa-se que, para a peça mantida no escuro, não há alterações na transmitância à medida que a atividade experimental decorre. Já para a peça exposta ao UVC observa-se uma ligeira diminuição da transmitância.

Recorrendo ao cálculo do SI e fazendo a comparação do T0 e T3 para a peça mantida no escuro obtém-se um SI de 81.96% (Tabela 4.23) que demonstra haver uma ligeira diferença entre os espetros o que nos leva a incitar que a não exposição ao UVC provoca alterações na transmitância deste tipo de material. Para a peça exposta ao UVC obtém-se um SI de 65.96% que demonstra que as exposições às lâmpadas emissoras de UVC provocam alterações na transmitância.

Comparando a peça exposta com a não exposta, no tempo 0, obtém-se um SI de 99% que

demonstra uma similaridade elevada entre as peças (Tabela 4.24).

Tabela 4.23 Valores obtidos para o índice de similaridade (%) pela comparação entre cada tempo e o início da atividade experimental para acrílico 8; Semana 1 – comparação entre espectros do tempo 1 e 0; Semana 2 – comparação entre espectros do tempo 2 e 0; Semana 3 – comparação entre tempos 3 e 0; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Semana 1 (T1-T0)	Semana 2 (T2-T0)	Semana 3 (T3-T0)
Não exposta ao UVC	81.16	81.37	81.96
UVC	65.80	65.38	65.96

Para o tempo 1, há uma diminuição da similaridade para 73% (Tabela 4.24) e a mesma é mais acentuada para o grupo dos UVs (SI=47.93%) nomeadamente para o grupo dos UVC (SI=13.34%) (Tabela 4.24).

Para o tempo 2, obtém-se um SI de 72.57% também com similaridade mais baixa para o grupo dos UV (SI=46.95%) nomeadamente UVC (13.18%) (Tabela 4.25).

Para o tempo 3, a similaridade volta a diminuir para 73.36% e as menores semelhanças observam-se para o grupo dos UVs (SI=48.46%) nomeadamente UVC (SI=14.91%) (Tabela 4.25).

Tabela 4.24 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

Valores de SI obtidos pela comparação entre espectros da peça exposta e a peça não exposta para cada tempo (%)				
	250-1000nm	250-450nm	451-580nm	580-750nm
TEMPO 0	99.44	98.97	99.93	99.94
TEMPO 1	73.09	47.93	97.69	99.30
TEMPO 2	72.57	46.95	97.33	99.10
TEMPO 3	73.36	48.46	97.57	99.57

Tabela 4.25 Valores do índice de similaridade obtido pela comparação entre espectros da peça exposta e não exposta ao longo do tempo, por intervalos de comprimentos de onda; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada

Valores de SI obtidos pela comparação entre a peça exposta e não exposta para o grupo dos UVs (%)			
	321-400nm	291-320nm	250-290nm
TEMPO 0	98.80	98.64	98.94
TEMPO 1	68.43	25.23	13.34
TEMPO 2	64.91	25.70	13.18
TEMPO 3	65.25	30.14	14.91

Assim, podemos concluir que, o acrílico 8, designado como uma peça resistente ao UV apresenta alterações significativas na transmitância ao longo de toda atividade experimental. As alterações observadas provocam maiores alterações nos comprimentos de onda do UVC ao nível da similaridade de espectros.

Analisando o índice de branqueamento e amarelecimento (Figura 4.22) observa-se que, para a peça escura, há uma ligeira diminuição do índice de branqueamento e o amarelecimento mantém-se aproximadamente constante. Já para a peça exposta ao UVC verifica-se uma diminuição do branqueamento e aumento do amarelecimento acentuado.

Com base nos resultados obtidos verifica-se que determinadas peças, nomeadamente os acrílicos 2, 3, 5A e 7 mesmo com a não exposição ao UVC a transmitância é afetada para determinados comprimentos de onda pelo que nestes acrílicos não podemos concluir que as alterações observadas nas peças expostas à radiação UVC se devam à exposição desta radiação. Nos acrílicos 1, 4, 6 e 8 verificou-se que com a não exposição ao UVC a peça não sofreu alterações na transmitância pelo que nestas peças os resultados obtidos nos levam a inferir que as alterações verificadas na peça exposta, nomeadamente a diminuição da transmitância se devam à exposição às lâmpadas emissoras de UVC.

Relativamente à cor, verificou-se, pelo índice de amarelecimento e pelas alterações observadas na Figura 4.6, que todas as peças expostas às lâmpadas emissoras de UVC, se tornaram mais amareladas com o decorrer da atividade, pelo que nos leva a inferir que a exposição às lâmpadas UVC alteram a cor dos materiais estudados.

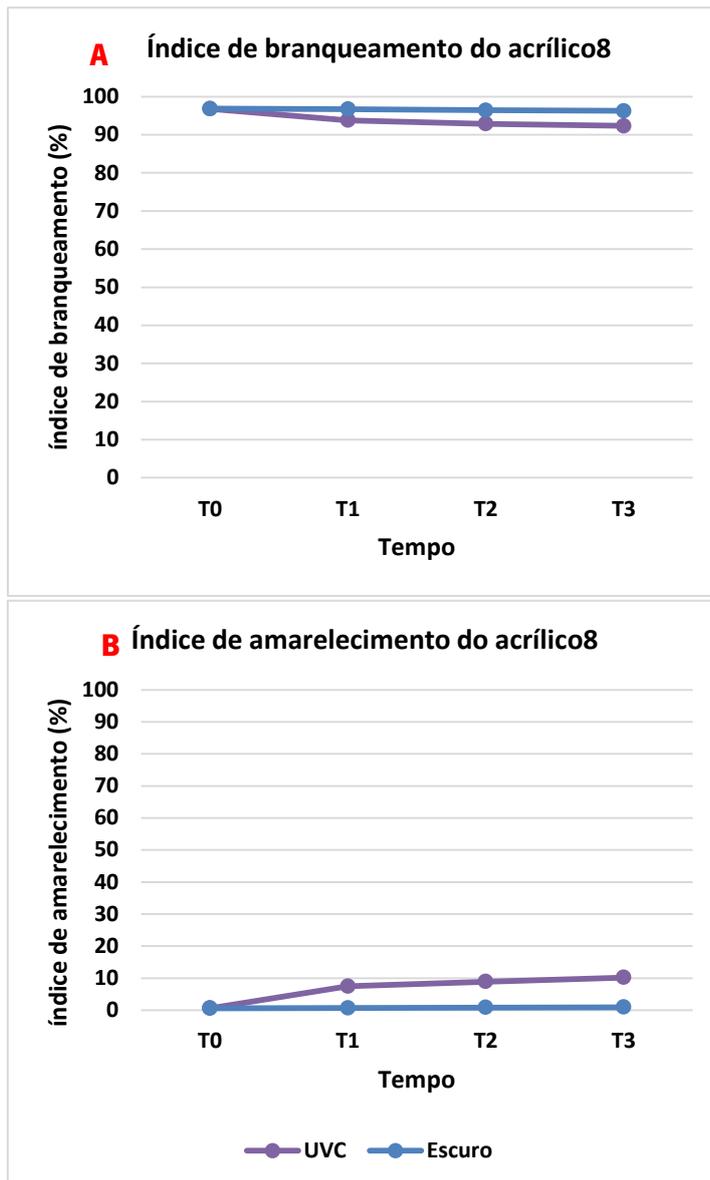


Figura 4.22 Índices de branqueamento e amarelecimento obtidos para a peça 8; Gráfico A corresponde ao índice de branqueamento; Gráfico B representa o índice de amarelecimento; as linhas azuis representam o resultado obtido para a peça mantida no escuro; as linhas a lilás representam o resultado para a peça exposta ao UVC.

4.2.1.10 Avaliação da transmitância após a exposição à radiação UVC

Após uma pausa na exposição ao UVC foram novamente realizadas medições de determinadas peças, nomeadamente acrílicos 3, 4, 5 e 6 devido às alterações que as mesmas apresentaram, como se pode observar na Figura 4.5.

Os resultados obtidos, para a transmitância, das peças acima apresentadas, encontram-se de

seguida, nas Figura 4.23 à Figura 4.26. São apresentados na Tabela 4.26 os resultados obtidos do cálculo do índice de similaridade entre o tempo 3 e 6 das peças que apresentaram alterações na superfície após uma pausa na exposição ao UVC.

Tabela 4.26 Valores do índice de similaridade obtidos entre o tempo 3 e 6 das peças que apresentaram alterações na superfície após uma pausa na exposição ao UVC; Valores superiores a 90% significa a existência de uma similaridade elevada.

	Acrílico 3	Acrílico 4	Acrílico 5	Acrílico 6
Entre tempo 3 e tempo 4	75.95%	72.34%	73.14%	67.08%
Entre tempo 4 e tempo 5	97.27%	98.22%	97.00%	97.65%
Entre tempo 5 e tempo 6	95.85%	95.70%	95.52%	95.02%

4.2.1.11 Acrílico 3

Os dados obtidos de transmitância para o acrílico 3 após uma pausa na exposição ao UVC estão apresentados na Figura 4.23.

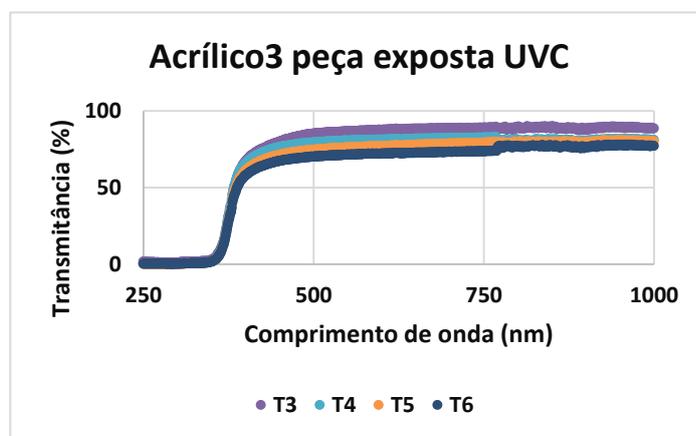


Figura 4.23 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 3; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a última exposição, respetivamente.

Observando a Figura 4.23 verifica-se que desde T3 a T6 há uma diminuição da transmitância em todos os comprimentos de onda.

Pela Tabela 4.26, através do cálculo do índice de similaridade verifica-se que comparando T3 e T4 se obtêm um valor de 75.95%, demonstrando que após uma pausa de 48 dias na exposição a peça

continuou a sofrer alterações que provocam alterações ao nível da transmitância da mesma. Analisando T4 e T5 obtém-se um índice de similaridade de 97.27%, demonstrando uma grande similaridade e comparando T5 e T6 obtém-se um índice de similaridade de 95.85%, demonstrando mais uma vez uma grande semelhança entre espectros. Assim, conclui-se que mesmo após a exposição ao UVC a peça continua a sofrer alterações que afetam a transmitância da mesma e que estas alterações são mais acentuadas nos primeiros 48 dias após a paragem na exposição.

4.2.1.12 Acrílico 4

Na Figura 4.24 são apresentados os resultados obtidos para o acrílico 4 após uma pausa na exposição à radiação UVC.

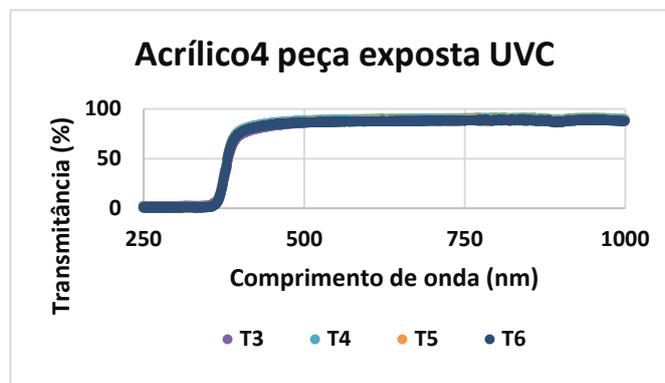


Figura 4.24 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 4; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a última exposição, respetivamente.

Observando o gráfico da Figura 4.24 verifica-se que desde o T3 até T6 não houve grandes alterações na transmitância deste material.

Analisando os índices de similaridade verifica-se que comparando o T3 e o T4 se obtém um índice de similaridade de 72.34% que demonstra a existência de algumas diferenças entre os espectros obtidos. Posteriormente, comparando T4 com T5 e T5 com T6 obtém-se uma similaridade de 98.22% e 95.70%, respetivamente, valores que podem ser verificados na Tabela 4.26. Estes resultados levam-nos a crer que o material que constitui esta peça continua a sofrer alterações após a última exposição e que as mesmas surgem ao longo dos primeiros 48 dias após a última exposição.

4.2.1.13 Acrílico 5B

Na Figura 4.25 são apresentados os dados de transmitância obtidos para o acrílico 5 após uma pausa na exposição ao UVC. Pode-se observar que desde o T3 (última semana de exposição) e o T6 (última medida) não se observam grandes alterações na transmitância da peça.

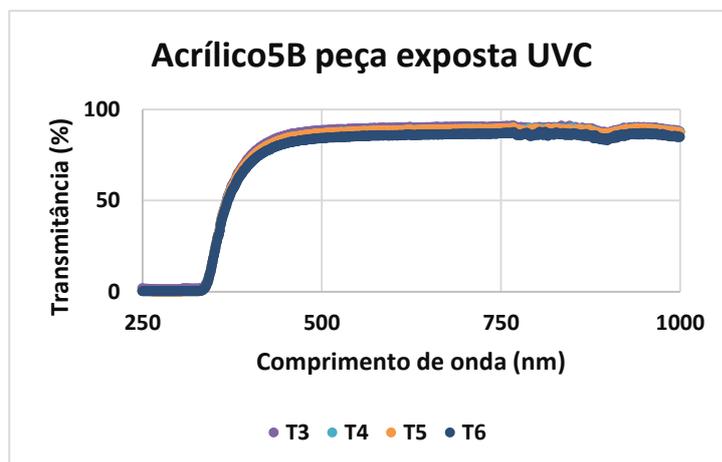


Figura 4.25 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 5; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a última exposição, respectivamente.

Analisando os índices de similaridade obtidos verifica-se que, para este material, comparando o T3 com T4 se obtém um índice de similaridade de 73.14% que demonstra a existência de diferenças entre os espectros. Comparando períodos após a pausa na exposição, isto é, T4 com T5 e T5 com T6 obtêm-se valores iguais a 97.00% e 95.52%, respectivamente (Tabela 4.26).

Com os resultados obtidos leva-nos a induzir que este material mesmo após a exposição ao UVC continua a sofrer alterações na sua estrutura que afetam a transmitância e que as mesmas alterações, mais acentuadas, surgem ao longo dos primeiros 48 dias após a última exposição.

4.2.1.14 Acrílico 6

Os resultados de transmitância obtidos para o acrílico 6 após a pausa na exposição ao UVC são apresentados de seguida, na Figura 4.26.

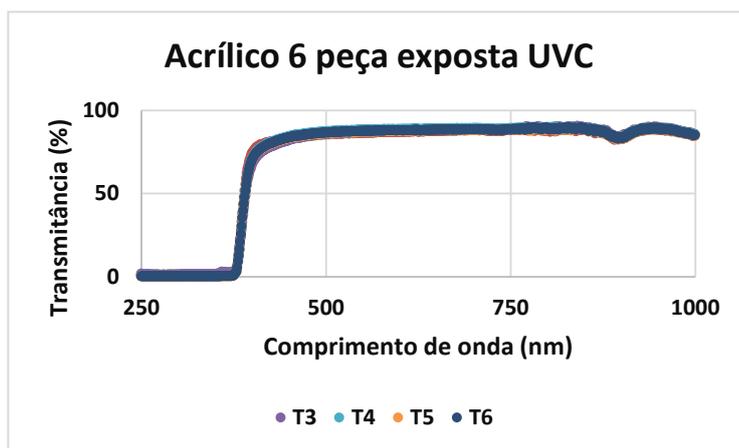


Figura 4.26 Dados de transmitância obtidos após uma pausa na exposição ao UVC ao longo do tempo para o acrílico 6; T3, T4, T5 e T6 representa as medidas efetuadas após 0, 48, 55 e 62 dias desde a última exposição, respetivamente.

Pelo gráfico da Figura 4.26 verifica-se que desde T3 a T6 não parecem surgir grandes alterações na transmitância deste material.

Analisando os índices de similaridade calculados verifica-se que, comparando o T3 com o T4, intervalo de tempo em que não houve exposição ao UVC, se obtém um índice de similaridade de 67.08%, demonstrando uma diminuição da similaridade dos espectros. Comparando T4 com T5 e T5 com T6 obtém-se os valores 97.65% e 95.02%, respetivamente, demonstrando uma maior semelhança entre espectros. Estes valores podem ser consultados na Tabela 4.26.

Assim, podemos dizer que mesmo após a exposição a peça continua a sofrer alterações e que as mesmas surgem ao longo dos primeiros 48 dias após a última exposição ao UVC.

Com base nos resultados obtidos de transmitância após uma pausa na exposição ao UVC verificam-se que, para as amostras avaliadas neste parâmetro, acrílico A3, A4, A5B e A6, as peças mesmo após a exposição às lâmpadas continuam a sofrer alterações que afetam a transmitância, nomeadamente a sua diminuição, tal como esperado devido ao estado das peças comprovado pela Figura 4.5.

4.3 Deformação

Os registos efetuados ao longo do tempo dos dados obtidos da deformação estão apresentados ao longo desta secção. Para cada acrílico que se realizaram medidas de deformação é apresentada, para além da tabela com os valores obtidos, uma representação gráfica com a representação dos dados e os valores obtidos pela análise estatística. Na secção *Anexos* encontram-se tabelados os valores obtidos em toda a análise estatística realizada.

Os pesos definidos para cada peça estão apresentados na Figura 3.11.

Tabela 4.27 Descrição dos pesos utilizados para a medida da deformação em gramas.

Peça	Peso(g)	Pesos utilizados (da Figura 3.11)
A3	295.80	A+B+C
A4	394.30	A+B+C+D
A5A	591.30	A+B+C+D+E+F
A5B	591.30	A+B+C+D+E+F
A7	98.6	A
A8	591.30	A+B+C+D+E+F

Não foi possível obter resultados das amostras A1, A2 e A6 pois as amostras 1 e 2 são acrílicos flexíveis e o próprio peso do suporte deforma a peça e a obtenção de resultados é limitada. A peça 6, por ter uma espessura elevada não se consegue colocar no local devido e a recolha de dados fica limitada. Para a peça 5B foram feitas medições do T0 a T6 no entanto só foram utilizadas as medidas de T3 a T6 pois as primeiras medições, por erros de medida, foram inconclusivas. Assim, efetuaram-se segundas medições para uma peça idêntica, nomeada como 5A para se obterem dados de T0 a T3.

4.3.1.1 Acrílico 3

De seguida são apresentados os dados da deformação obtidos para o acrílico 3 (Tabela 4.28 e Figura 4.27).

Fazendo uma análise observacional dos dados registados na Tabela 4.28, observa-se que, para

a peça que foi mantida no escuro, houve um aumento dos valores entre o tempo T0 e T3 ($p = 0,004$). Para a peça que foi exposta à radiação UVC observa-se um aumento dos valores ao longo do tempo ($p > 0,05$) mantendo-se o valor constante a partir de T2 ($p = 0,852$).

Tabela 4.28 Registo ao longo do tempo das medidas obtidas para a deformação. Os resultados apresentados são a média de 6 medições \pm desvio padrão.

	Deslocamento (mm)				<i>p</i>
	T0	T1	T2	T3	
Escuro	0.195 \pm 0.017*	0.205 \pm 0.018	0.208 \pm 0.011	0.213 \pm 0.009*	* 0,004
UVC	0.206 \pm 0.015 ^{a,b,c}	0.243 \pm 0.018 ^{a,d,e}	0.220 \pm 0.016 ^{b,d,f}	0.221 \pm 0.010 ^{c,e,f}	^a < 0,001; ^b 0,027; ^c 0,012; ^d 0,007; ^e 0,005; ^f 0,852
<i>p</i>	0.409	0.008	0.256	0.365	

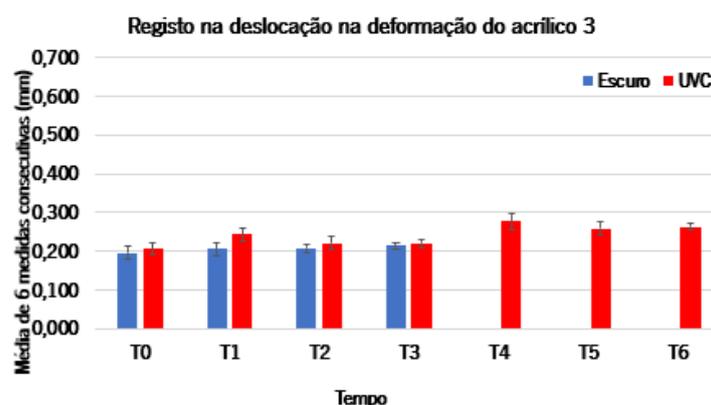


Figura 4.27 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 3; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.

Pelos resultados obtidos na análise estatística verifica-se que, embora o comportamento seja diferente ao longo do tempo, apenas para o tempo T1, há diferenças estatisticamente significativas entre os valores obtidos para a deformação, com um valor de $p = 0.008$.

Portanto, podemos deduzir que mesmo quando não exposta à luz, houve alterações na estrutura da peça em causa, nomeadamente, uma diminuição da sua resistência justificada pelo aumento dos valores obtidos e que esta alteração só se começa a observar 231 horas depois de a peça ser mantida em situação de obscuridade. Quando sujeita a radiação UVC, o material da peça

estudada sofre alterações na sua estrutura, nomeadamente uma diminuição da resistência, logo após 77 horas da primeira exposição. Estes resultados parecem sugerir que a exposição à radiação UVC parece acelerar o processo de alteração na resistência do material.

Analisando agora os dados registados após as semanas que se seguiram à exposição à radiação UVC, (Tabela 4.29) observa-se que desde o T3 (última exposição ao UVC) até ao T4 há um aumento dos valores ($p = 0,002$), e que estes se mantêm durante as semanas seguintes ($p > 0,05$)

Tabela 4.29 Registo ao longo do tempo das medidas obtidas para a deformação após cessar a exposição a UVC. Os resultados apresentados são a média de 6 medições \pm desvio padrão.

Deslocamento (mm)				p
T3	T4	T5	T6	
0.221 \pm 0.010 ^{a,b,c,d}	0.277 \pm 0.022 ^{a,d,e}	0.259 \pm 0.015 ^{b,d,f}	0.263 \pm 0.009 ^{c,e,f}	^a 0,002; ^b 0,002; ^c 0,001; ^d 0,233; ^e 0,946; ^f 0,999

Assim, verifica-se que para este tipo de material que mesmo após terminada a exposição à radiação UVC houve alterações significativas na estrutura da peça nomeadamente uma diminuição da sua resistência da mesma. tal como esperado pelas alterações observadas e registadas na Figura 4.5.

4.3.1.2 Acrílico 4

De seguida são apresentados os resultados obtidos para o acrílico 4 (Tabela 4.30 e Figura 4.28).

Através dos valores obtidos verifica-se que, no tempo 1, comparando a peça mantida no escuro e a exposta ao UVC existem diferenças estatisticamente significativas ($p=0.032$), assim como no tempo 3 ($p=0.020$).

Fazendo-se a análise para cada peça entre tempos verifica-se que para a peça mantida no escuro há alterações estatisticamente significativas entre o tempo 0 e tempo 2, entre o tempo 1 e tempo 2 e entre o tempo 2 e 3, isto é, para a peça mantida no escuro, verifica-se uma diminuição na resistência do material a partir de 77 horas de exposição ao escuro e após a 2ª semana há um aumento da resistência da mesma. No entanto, comparando os valores obtidos no inicio da atividade (T0) com os obtidos na fase final da exposição (T3) os valores observados são semelhantes.

Para a peça exposta às lâmpadas emissoras de UVC verifica-se uma significância estatística entre os tempos T0 e T3 ($p < 0.001$), entre o tempo T1 e T3 ($p=0.000$) e entre o tempo T2 e T3 ($p=0.003$).

Tabela 4.30 Registo ao longo do tempo das medidas obtidas para a deformação do acrílico 4 Os resultados apresentados são média de 6 medições \pm desvio padrão.

	Deslocamento (mm)				<i>p</i>
	T0	T1	T2	T3	
Escuro	0.108 \pm 0.015 ^{a,b,c}	0.108 \pm 0.090 ^{a,d,e}	0.128 \pm 0.014 ^{b,d,f}	0.113 \pm 0.013 ^{c,e,f}	^a 0,999; ^b 0,006; ^c 0,267; ^d 0,01; ^e 0,296; ^f 0,018
UVC	0.113 \pm 0.018 ^{a,b,c}	0.123 \pm 0.009 ^{a,d,e}	0.111 \pm 0.013 ^{b,d,f}	0.091 \pm 0.013 ^{c,e,f}	^a 0,118; ^b 0,659; ^c <0,001; ^d 0,080; ^e <0,001; ^f 0,003
<i>p</i>	0,64	0,032	0,081	0,020	

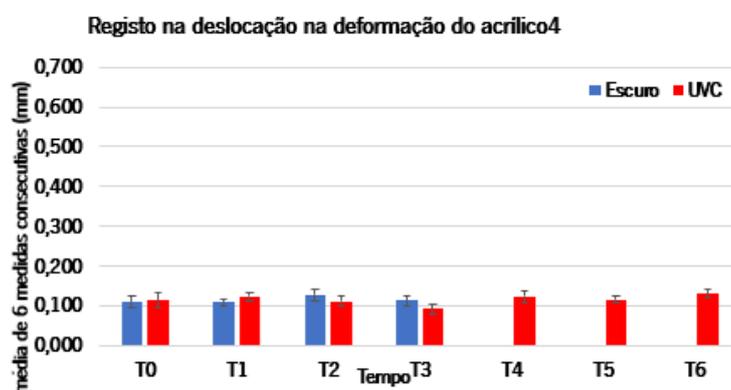


Figura 4.28 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 4; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UV. (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.

Assim, podemos deduzir, que na última semana de exposição (T3), há um aumento da resistência do material da peça justificado pela diminuição estatisticamente significativa dos valores e que estas alterações só se manifestam após 154 horas de exposição à radiação UVC. No entanto não podemos concluir que se deva efetivamente à exposição ao UVC pois a peça mantida no escuro também apresentou alterações significativas na sua estrutura.

Observando os dados registados na Tabela 4.31 verifica-se que desde a última exposição à

radiação UVC (T3) houve um aumento dos valores registados de T3 para T4 ($p = 0,007$).

Assim, podemos concluir que para este material a pausa na exposição também provoca alterações na resistência da peça nomeadamente a sua diminuição tal como é observado na Figura 4.28 , um aumento da fragilidade da peça.

Tabela 4.31 Resultados obtidos entre tempos após a última exposição (T3) ao UVC e uma pausa na mesma (T6); Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico 4.

Deslocamento (mm)				p
T3	T4	T5	T6	
0.091±0.013 ^{a,b,c}	0.124±0.008 ^{a,d,e}	0.130±0.010 ^{b,d,f}	0.263±0.009 ^{c,e,f}	^a 0,007; ^b 0,142; ^c <0,001; ^d 0,999; ^e 0,999; ^f 0,418

4.3.1.3 Acrílico 5A

Como se pode observar no gráfico da Figura 4.29, para esta peça, verifica-se que, para a peça mantida no escuro, registou-se uma diminuição estatisticamente significativa dos valores medidos da 1^o para a 3^a semana ($p = 0,003$). No entanto, no final da semana T3, o valor obtido é semelhante ao seu valor inicial.

Para a peça exposta ao UVC, só se verificam alterações estatisticamente significativas entre os tempos T0 e T2 ($p=0.037$). O valor obtido na última semana de exposição não apresenta diferenças estatisticamente significativas em relação ao valor obtido inicialmente (T0).

Analisando, para cada tempo, a diferença encontrada entre cada peça deste material verifica-se que só são encontradas diferenças estatisticamente significativas para o tempo 3 ($p=0.003$). Para esta medida, o valor encontrado para a peça exposta à radiação UVC é maior do que o encontrado para a que permaneceu no escuro.

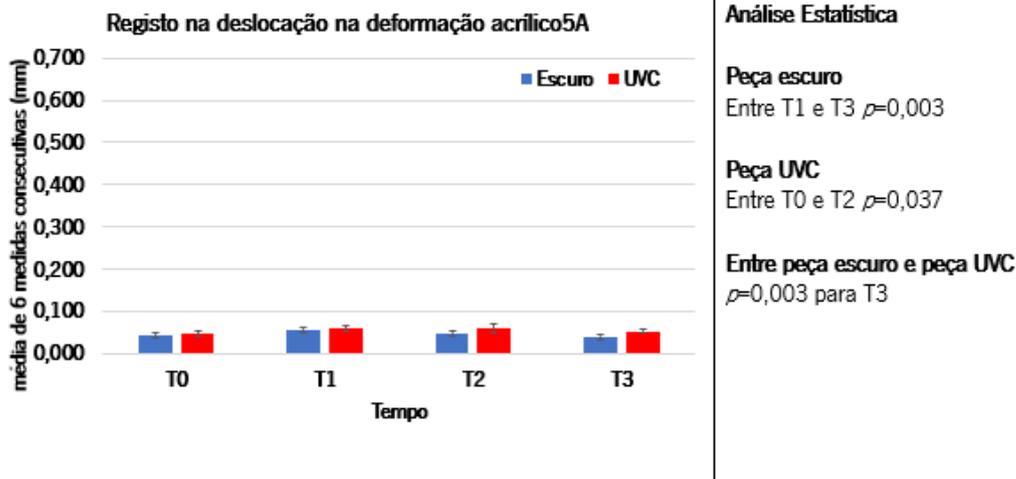


Figura 4.29 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 5A; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.

Assim, conclui-se que a não exposição ao UVC da peça provocou um aumento da resistência da peça a partir de 77 horas de exposição. Relativamente à exposição às lâmpadas emissoras de UVC conclui-se que provocaram uma diminuição na resistência do material a partir da 2ª semana de exposição (154 horas de exposição). Posto estes resultados não podemos inferir que as alterações verificadas se devam à exposição ao UVC uma vez que a peça mantida no escuro também sofreu alterações.

4.3.1.4 Acrílico 5B

Observando os dados registados na

Figura 4.30 verifica-se que não foram registadas alterações estatisticamente significativas, quer para a placa exposta à radiação UVC quer para aquela que permaneceu no escuro, nas primeiras 3 semanas do estudo (T0 a T3).

No entanto, após retirada da radiação e colocada no escuro (T4 a T6) observa-se que para esta peça, foi registado um aumento estatisticamente significativas no valor medido entre os instantes T5 ($0,043 \pm 0,007$ mm) e T6 ($0,056 \pm 0,007$ mm) ($p=0,045$).

Assim, conclui-se que após terminada a exposição ao UVC foi registada uma diminuição da resistência da peça e que estas alterações apenas são significativas 55 dias após a última exposição.

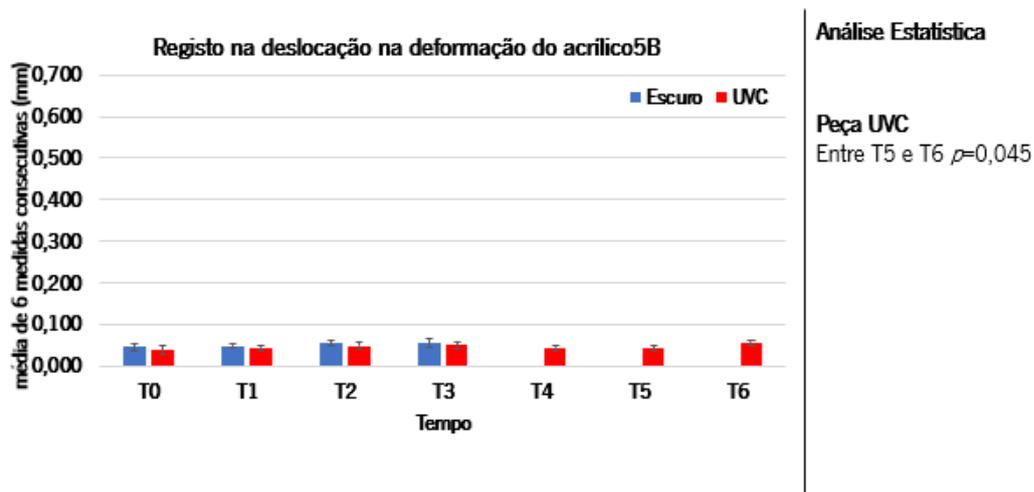


Figura 4.30 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 5B; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UV. (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.

4.3.1.5 Acrílico 7

Observando os dados obtidos da Figura 4.31, verifica-se que para a peça mantida no escuro, os valores vão sofrendo alterações ao longo do tempo. No final da 1^o semana há um ligeiro aumento dos valores ($p = 0,018$), depois, na semana T2 há uma diminuição significativa no deslocamento medido (variação de 0,319 mm), voltando-se a registar um aumento significativo ($p = 0,002$) de 0,264 mm entre os tempos T2 e T3. O valor obtido em T3 não difere estatisticamente do valor obtido em T0 ($p > 0,05$).

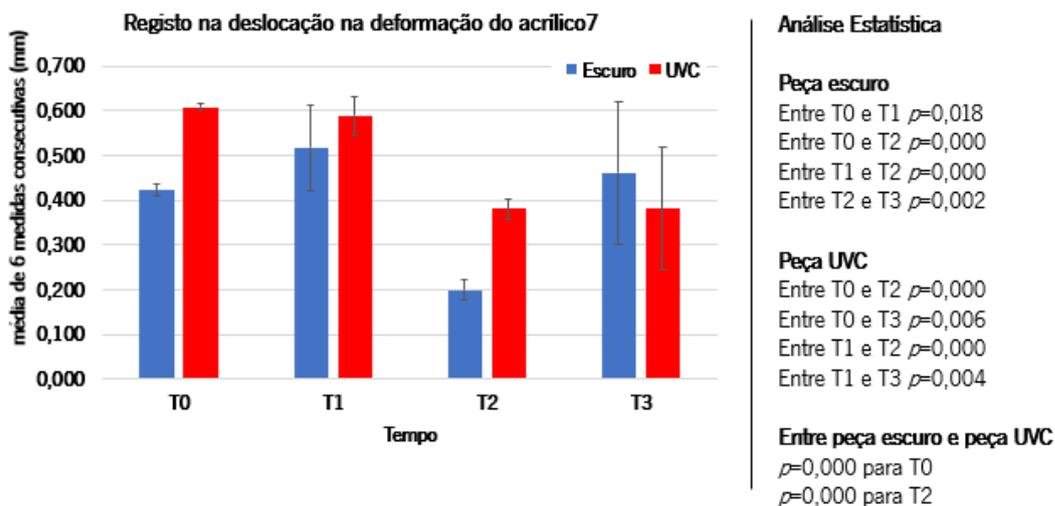


Figura 4.31 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para a peça 7; medidas efetuadas na peça mantida no escuro (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.

Para a peça exposta às lâmpadas emissoras de UVC verifica-se que após a 1^o semana de exposição os valores mantêm-se constantes, mas após 77 horas de exposição há uma diminuição significativa ($p < 0,001$) no deslocamento de 0,280 mm, mantendo-se o valor na medida realizada em T3.

Assim, comparando a peça não exposta com a exposta ao UVC deste material verifica-se que no tempo T0, há diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,001$) o que não era esperado uma vez que ambas as peças são do mesmo material e foram sujeitas até esta fase às mesmas condições. No tempo T2, após 154 horas do início da exposição observam-se diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,001$) obtendo-se um deslocamento inferior para a placa que esteve exposta à radiação UVC.

Analisando para cada peça as variações existentes entre tempos verificam-se que para a peça mantida no escuro há diferenças estatisticamente significativas entre o T0 e T1 e entre o T0 e T2 com valores de p iguais a 0.018 e 0.000, respetivamente. Ou seja, para este material a não exposição ao UVC provoca alterações na estrutura do material nomeadamente logo após o 1^o período de exposição (77 horas) há uma diminuição da resistência do material.

Após as 77 horas e com a 2^o exposição há um aumento da resistência estatisticamente

significativa e com a 3^o e último período de exposição volta a surgir uma diminuição da resistência.

Para a peça exposta ao UVC verifica-se que entre o T0 e T2 há uma diminuição dos valores estatisticamente significativa ($p=0.000$) assim como de T0 para T3 ($p=0.006$). De T1 para T2 uma diminuição ($p=0.000$).

Assim, podemos dizer que a peça exposta ao UVC sofreu alterações na sua resistência à deformação tal como a peça exposta na caixa escura. No entanto, no final da 3^a semana a placa exposta à radiação apresentava uma maior resistência do que aquela que permaneceu no escuro.

Devido às alterações observadas em ambas as condições, não podemos concluir que a alteração na resistência do material se deve à exposição à radiação UVC pois a peça mantida no escuro também sofreu alterações.

4.3.1.6 Acrílico 8

Os resultados encontrados para o acrílico 8 encontram-se resumidos no gráfico da Figura 4.32.

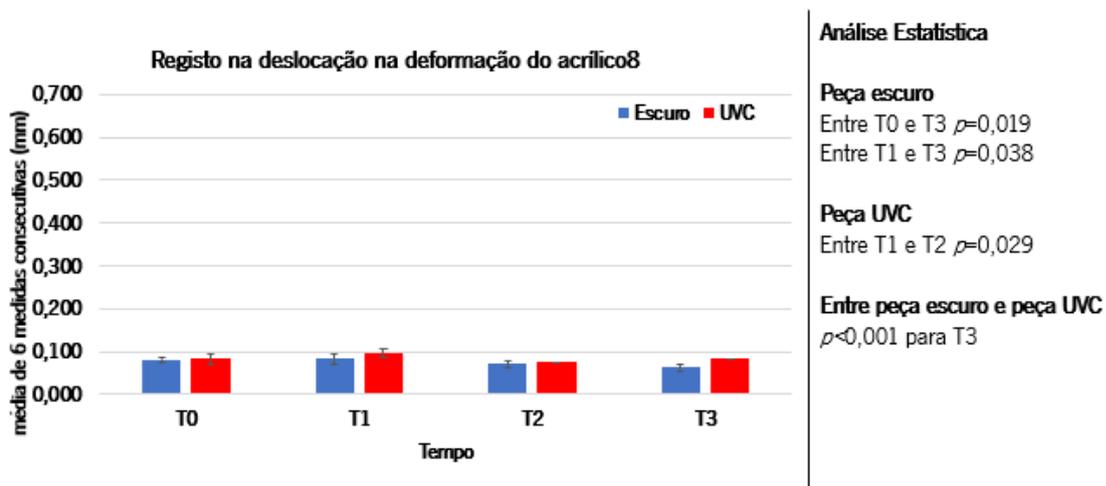


Figura 4.32 Valores médios para a deformação (mm) para as 6 medidas consecutivas para o material 8; medidas efetuadas na peça não exposta ao UVC (barras a azul); medidas efetuadas para a peça exposta ao UVC (barras a vermelho); as linhas a preto apresentadas representam as barras de erro associadas a cada medida.

Através dos dados obtidos verifica-se uma diminuição estatisticamente significativa no deslocamento medido, para a peça não exposta ao UVC, entre o T0 e T3, entre T1 e T3 com uns valores de p de 0.019 e 0.038 respetivamente. Já para a peça exposta à radiação UVC, verifica-se alterações significativas entre o tempo T1 e T2 ($p=0.029$). Entre estas medidas verificou-se uma diminuição no deslocamento registado de 0,021 mm.

Assim conclui-se que para este material mantendo a peça no escuro a mesma sofre alterações na sua estrutura nomeadamente um aumento da resistência, após 77 horas de exposição. As exposições às lâmpadas emissoras de UVC também provocam alterações estatisticamente significativas na resistência do material, nomeadamente um aumento da resistência justificada pela diminuição dos valores obtidos. Para esta peça, as alterações surgem após 77 horas de exposição.

Embora ambas as peças tenham sofrido alterações ao longo das semanas em que se realizou o estudo, na última semana, a peça exposta à radiação UVC apresentava um deslocamento estatisticamente superior em 0,019 mm àquele registado na placa que permaneceu no escuro ($p < 0,001$).

Com base nos resultados obtidos da deformação verifica-se que a não exposição ao UVC provoca alterações na resistência do material pelo que não podemos concluir que as alterações observadas nas peças expostas às lâmpadas emissoras de UVC se devam à exposição deste tipo de radiação. Verificou-se que mesmo após a pausa na exposição ao UVC os materiais continuaram a sofrer alterações, nomeadamente uma diminuição da resistência como esperado pelo observado ao longo da atividade (Figura 4.5).

5. CONCLUSÕES

Com o trabalho efetuado conclui-se que a exposição às lâmpadas emissoras de UVC provocam alterações na estrutura dos materiais afetando propriedades óticas como transmitância e resistência dos materiais.

Verificou-se que existem acrílicos que não são opacos ao UVC por apresentarem alterações na transmitância com a exposição às lâmpadas emissoras de UVC.

Verificou-se que com a exposição às lâmpadas emissoras de UVC determinados acrílicos alteraram a sua cor.

Verificou-se que após uma pausa na exposição ao UVC que determinadas peças continuaram a sofrer alterações na sua estrutura e que as maiores alterações visíveis eram nas peças com espessura menor.

Relativamente à deformação e afetação que as exposições às lâmpadas emissoras de UVC têm na resistência do material verifica-se que, para as amostras estudadas, seja a peça não exposta ao UVC como a exposta ao UVC, todas apresentaram alterações na sua resistência.

Analisando após a exposição verificou-se, tal como esperado pelo observado com o decorrer da atividade experimental que houve alterações nos materiais.

Conclui-se que existem materiais caracterizados como protetores da radiação UV mas que em determinadas condições, particularmente as deste estudo, o mesmo sofre alterações e altera as suas propriedades.

Para se perceber quais o efeito do UV na estrutura molecular dos materiais outras pesquisas e trabalhos necessitam de ser realizados futuramente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, S. I., Christensen, L., & Baron, E. (2017). History of UV lamps, types, and their applications. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 996, 3–11. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56017-5_1
- Akhila, P. P., Sunooj, K. V., Aaliya, B., Navaf, M., Sudheesh, C., Sabu, S., Sasidharan, A., Mir, S. A., George, J., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). Application of electromagnetic radiations for decontamination of fungi and mycotoxins in food products: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 114(May), 399–409. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.013>
- Alexandre, F. A., Faria, J. de A. F., & Cardoso, C. F. (2008). Avaliação da eficiência da radiação ultravioleta na esterilização de embalagens plásticas. *Ciência e Agrotecnologia*, 32(5), 1524–1530. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542008000500025>
- Almutawa, F., Vandal, R., Wang, S. Q., & Lim, H. W. (2013). *Current status of photoprotection by window glass , automobile glass , window films , and sunglasses. November 2012*, 32, 439-448
- Alzahrani, H. S., Khuu, S. K., & Roy, M. (2020). Modelling the effect of commercially available blue-blocking lenses on visual and non-visual functions. *Clinical and Experimental Optometry*, 103(3), 339–346. <https://doi.org/10.1111/cxo.12959>
- Asmatulu, R., Mahmud, G. A., Hille, C., & Misak, H. E. (2011). Effects of UV degradation on surface hydrophobicity, crack, and thickness of MWCNT-based nanocomposite coatings. *Progress in Organic Coatings*, 72(3), 553–561. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2011.06.015>
- Astrid, F., Beata, Z., Van den Nest Miriam, Julia, E., Elisabeth, P., & Magda, D. E. (2021). The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an Academic hospital. *Antimicrobial Resistance and Infection Control*, 10(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s13756-021-00945-4>
- Avaspec-ulscl-evo, S. (2018). *EVO Series , with 4k CMOS detector* : 35–37.
- (Britannica (2021), *gamma-ray*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em <https://www.britannica.com/science/gamma-ray>)
- (Britannica (2021), *X-ray*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em <https://www.britannica.com/science/X-ray>)
- Dobbinson, S., & Knight, K. (2001). Protecting workers from ultraviolet radiation in sunlight. Em *Journal of Occupational Health and Safety - Australia and New Zealand* (Vol. 17, Número 6).
- Dunn, C., Hollander, B., Speer, S., Technologies, C., Levin, B., Sylvania, O., Fletcher, L., Putnam, J. M., Faland, S., & Controls, J. (2005). *IUVA Draft Guideline IUVA-G01A-2005 International Ultraviolet Association*.
- Fernandes, José., FCNAUP, Espectrofotométricos, M. (2018). *Métodos espectrofotométricos*. 1–22.
- Falguera, V., Pagán, J., Garza, S., Garvín, A., & Ibarz, A. (2011). Ultraviolet processing of liquid food: A

- review. Part 2: Effects on microorganisms and on food components and properties. *Food Research International*, 44(6), 1580–1588. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.025>
- Guettari, M., Gharbi, I., & Hamza, S. (2020). ENVIRONMENTAL FACTORS AND THE EPIDEMICS OF COVID-19 UVC disinfection robot. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Ikematsu, P. (2007). Estudo Da Refletância E Sua Influência No. *Dissertação*, 134.
- Jeannette E. Allen, Max Bernstein, D. M., & P. Delaney, Britt Griswold, Dr. Hashima Hasan, Dr. J. E. Hayes, Dr. Paul Hertz, Dr. Lisa Wainio, and G. W. (2016). *Tour-of-the-Electromagnetic Spectrum-TAGGED-v7*.
- Kim, W., Kim, D. Y., & Lee, K. H. (2019). Ultraviolet-C (UVC) ray acts as a synchronizing cue for circadian rhythm control in murine fibroblast. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 512(2), 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2019.03.059>
- Lerche, C. M., Philipsen, P. A., & Wulf, H. C. (2017). UVR: sun, lamps, pigmentation and Vitamin D. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 16(3), 291–301. <https://doi.org/10.1039/c6pp00277c>
- Markovitsi, D., Gustavsson, T., & Banyasz, A. (2010). Absorption of UV radiation by DNA: Spatial and temporal features. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 704(1–3), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.11.003>
- Morawej, Z., Mohebbi, A., Vakylabad, A. B., & Raeissi, S. (2021). The effect of radio-waves irradiation on copper-ore leaching. *Hydrometallurgy*, 201(May 2020), 105584. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105584>
- Nield, K. (2020). CIE Position Statement on Ultraviolet (UV) Radiation to Manage the Risk of COVID-19 Transmission. *Light & Engineering*, 28(4), 4–8.
- Philips. (2020). *Lighting Philips Purificación aire y agua*. 8–11.
- Sackey, S. S., Vowotor, M. K., Owusu, A., Mensah-Amoah, P., Tatchie, E. T., Sefa-Ntiri, B., Hood, C. O., & Atiemo, S. M. (2015). Spectroscopic Study of UV Transparency of Some Materials. *Environment and Pollution*, 4(4). <https://doi.org/10.5539/ep.v4n4p1>
- Sellera, F. P., Sabino, C. P., Cabral, F. V., & Ribeiro, M. S. (2021). A systematic scoping review of ultraviolet C (UVC) light systems for SARS-CoV-2 inactivation. *Journal of Photochemistry and Photobiology*, 8, 100068. <https://doi.org/10.1016/j.jpap.2021.100068>
- Sullivan, C., Pan, Q., Westland, S., & Ellwood, R. (2019). A yellowness index for use in dentistry. *Journal of Dentistry*, 91, 103244. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.103244>
- Tecnologia, F. de C. e, Lisboa, U. N. de, & 2021. (2021). *CENIMAT; Spectrometer UV-Vis-NIR - Shimadzu UV 3101pc*. <https://www.cenimat.fct.unl.pt/services/laboratory-electronic-and-optoelectronic-materials-and-devices/spectrometer-uv-vis-nir-shimadzu-uv-3101pc>
- Wan, K. X., Vidavsky, I., & Gross, M. L. (2002). Comparing similar spectra: From similarity index to spectral contrast angle. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 13(1), 85–88.

[https://doi.org/10.1016/S1044-0305\(01\)00327-0](https://doi.org/10.1016/S1044-0305(01)00327-0)

(Wikipédia (2021), *Microwaves*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_spectrum#Microwaves)

(Wikipédia (2021), *Radio Wave*. Consultado em dezembro de 2021. Disponível em https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_wave)

Zhong, H., Liu, Z., Tang, P., Liu, X., Zhan, X., Pan, P., & Tang, C. (2020). Thermal-stability resonators for visible light full-spectrum perfect absorbers. *Solar Energy*, *208*(August), 445–450. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.026>

ANEXOS

Anexo I- Protocolo de utilização do espectrofotómetro- UVPC 3101 PC- UV-VIS-NIR, Shimadzu, Kyoto, Japão



- 1- Ligar computador;
- 2- Ligar espectrofotómetro;
- 3- Abrir o programa no computador- *UVPC*;
- 4- Aguardar que o espectrofotómetro “ calibre ” e fique pronto para ser usado;
- 5- Verificar se está algum objeto no interior do espectrofotómetro;
- 6- Colocar o suporte adequado no espectrofotómetro;
- 7- Após aberto o programa, seleccionar *Acquire mode* e verificar/colocar a opção *Spectrum*;
- 8- Seleccionar *Configure*, de seguida *Parameters* e seleccionar transmitância (T%), em *Recording Range* seleccionar na opção *low 0* e *to high 100*, seleccionar o grupo de comprimentos de onda que queremos avaliar, neste caso, dos 250-1000nm, para tal, seleccionar *start 1000-to end 250*, em *Scan Speed* seleccionar *fast*, em *Slit Width* seleccionar 2.0; em *Sampling Interval* seleccionar 1.0; seleccionar *OK*;
- 9- Medir a *baseline* sem nenhum objeto no interior do espectrofotómetro (aqui deverá aparecer a transmitância próxima dos 100% em todos os comprimentos de onda); garantir que a tampa da célula que recebe os objetos a medir está completamente fechada. Caso contrário a *baseline* fica errada e contaminará os resultados medidos a seguir.
- 10- Quando no ecrã aparecer *stand by* significa que a medição da *baseline* terminou;
- 11- Após a medição da *baseline* podem iniciar-se as medidas com as amostras pretendidas; Para tal, colocar no interior do equipamento a peça de forma a que a luz incidir na posição pré-definida; aqui garantir que apenas um dos suportes fica obstruído com o material a avaliar. O outro terá que ficar livre, sem qualquer obstáculo pela frente,

12- Selecionar *START*

13- Após terminar cada medida guardar os dados, para tal: selecionar File → Save As → selecionar pasta 1MOAUVC (a pasta está em C:\1MOAUVC; antes de fazer Save As seleccionar o "channel" a gravar. Por defeito estará sempre selecionada primeira medida (channel 0), por isso será necessário ir ajustando os "channel" para gravar a file correta; → Save → Exit (após isto, verificar na pasta se guardou efetivamente) ; neste passo terá de ser dado um nome ao ficheiro de acordo com o seguinte: indicar o material e o n da peça (A-acrílico, L-lente, H-haste), indicar a medida temporal (se é no 1º dia, 2º dia...), indicar a medida numérica (a-primeira medição daquela amostra, b-2º medição da amostra, c-3º medida da amostra) EX: A1_1_a significa que se avaliou a peça de acrílico 1, no 1º dia e a 1º medição.

14- Retirar a peça do espectrofotómetro, voltar a colocar da mesma forma que foi colocada na medida anterior e repetir a medição (3 medições); repetir passo 13 entre cada medida;

15- Após 3 medições da mesma peça e guardar os dados entre cada medição, retirar a peça e colocar a peça seguinte (para cada peça fazer 3 medições e repetir passo 13 entre cada medida); com os passos 14 e 15 vamos testar o erro associado à repetibilidade das medidas

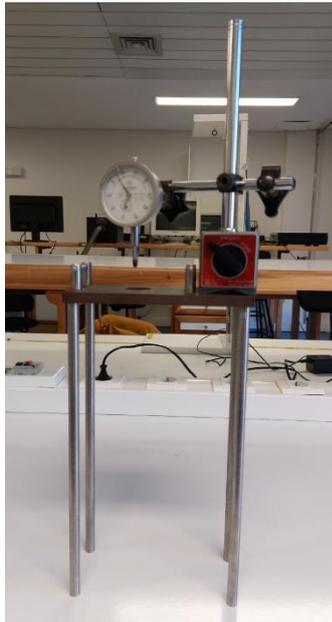
16- Após cada 8 medições é necessário exportar os dados, para tal: File → Data Translation → ASCII export → (Verificar se os documentos se encontram nas pastas com a extensão *.dat) seleccionamos os dados a exportar → Save As

17- Fechar o programa, desligar o espectrofotómetro e desligar o PC;

Notas:

Numa fase inicial registar a ordem das amostras; colocar os objetos sempre na mesma posição; para cada peça fazer 3 medições e entre medições guardar os dados;

Anexo II- Protocolo de utilização para o equipamento de avaliação de deformação



- 1- Definir uma zona de bancada onde colocar o instrumento;
- 2- Ajustar o instrumento;
- 3- Colocar a peça a avaliar no suporte;
- 4- Colocar o suporte de pesos na posição correta e encaixado na amostra;
- 5- Colocar a “zeros”;
- 6- Colocar o(s) peso(s) pré-definidos;
- 7- Anotar a medida obtida; ter atenção ao sentido de rotação da escala, e registar a variação corretamente.
- 8- Após a primeira medida, levantar o peso, verificar se a escala está a zero, voltar a colocar o peso; repetir 6 vezes;
- 9- Anotar os valores; de cada medida, ou seja, para cada peso serão necessários 6 registos. Este número mais elevado é para compensar a variabilidade de medição. O instrumento é bastante sensível a oscilações (pancadas na mesa) que a variabilidade vai ser grande. Ao termos várias medidas vamos poder saber qual o valor da variabilidade da medida (média + desvio padrão) e com isso perceber se se as diferenças são estatisticamente significativas ou não e assim verificar o erro associado à medida;

ANEXO III- Resultados obtidos para análise estatística dos dados de deformação das diversas peças

Tabela 0.1 Resultados obtidos para análise estatística efetuada para o acrílico3; são apresentados os valores de p após comparação da peça exposta e não exposta ao UVC para cada tempo e entre tempos; Os dados apresentados são referentes ao tempo em que a peça era exposta ao UVC (entre T0 e T3). Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).

Acrílico 3: Análise estatística entre a peça exposta e não exposta para cada tempo					
Tempo	Variável 1	Variável 2	Diferença média entre variáveis	Erro	p
0	Não exposta ao UVC	UVC	-0,008	0,010	0,409
1	Não exposta ao UVC	UVC	-0,038*	0,011	0,008
2	Não exposta ao UVC	UVC	-0,010	0,009	0,256
3	Não exposta ao UVC	UVC	-0,005	0,006	0,365
Acrílico 3: Análise estatística entre tempos para cada peça exposta e não exposta					
Peça	Tempo(s)		Diferença média entre variáveis	Erro	p
Não exposta ao UVC	0	1	-0,008	0,007	0,285
		2	-0,012	0,005	0,051
		3	-0,018*	0,005	0,004
	1	0	0,008	0,007	0,285
		2	-0,004	0,007	0,591
		3	-0,010	,006	0,149
	2	0	0,012	0,005	0,051
		1	0,004	0,007	0,591
		3	-0,006	0,004	0,211
	3	0	0,018*	0,005	0,004
		1	0,010	0,006	0,149
		2	0,006	0,004	0,211
UVC	0	1	-0,038*	0,007	0,000
		2	-0,014*	0,005	0,027
		3	-0,015*	0,005	0,012
	1	0	0,038*	0,007	0,000
		2	0,023*	0,007	0,007
		3	0,023*	0,006	0,005
	2	0	0,014*	0,005	0,027
		1	-,023*	0,007	0,007

		3	-0,001	0,004	0,852
	3	0	0,015	0,005	0,012
		1	-0,023	0,006	0,005
		2	0,001	0,004	0,852

Tabela 0.2 Resultados obtidos para análise estatística efetuada para o acrílico4; são apresentados os valores de p após comparação da peça exposta e não exposta ao UVC para cada tempo e entre tempos; Os dados apresentados são referentes ao tempo em que a peça era exposta ao UVC (entre T0 e T3). Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).

Acrílico 4: Análise estatística entre a peça exposta e não exposta para cada tempo				
Tempo	Variável 1	Variável 2	Diferença média entre variáveis	p
0	Não exposta ao UVC	UVC	-0,005	0,640
1	Não exposta ao UVC	UVC	-0,014*	0,032
2	Não exposta ao UVC	UVC	0,017	0,081
3	Não exposta ao UVC	UVC	0,023*	0,020
Acrílico 4: Análise estatística entre tempos para cada peça exposta e não exposta				
Amostra	Tempos		Diferença média entre variáveis	p
Não exposta ao UVC	0	1	1,388E-17	1,000
		2	-0,019*	0,006
		3	-0,005	0,267
	1	0	-1,388E-17	1,000
		2	-0,019*	0,010
		3	-0,005	0,296
	2	0	0,019*	0,006
		1	0,019*	0,010
		3	0,014*	0,018
	3	0	0,005	0,267
		1	0,005	0,296
		2	-0,014*	,018
UVC	0	1	-0,009	0,118
		2	0,003	0,659
		3	0,023*	0,000
	1	0	0,009	0,118
		2	0,012	0,080
		3	0,032*	0,000
	2	0	-0,003	0,659
		1	-0,012	0,080
		3	0,020*	0,003
	3	0	-0,023*	0,000
		1	-0,032*	0,000
		2	-0,020*	0,003

Tabela 0.3 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada aos dados obtidos para o acrílico 5 da deformação aquando a exposição ao UVC, entre T0 e T3; os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0,05$).

Acrílico 5A: Análise estatística entre a peça exposta e não exposta para cada tempo				
Tempo	Variável 1	Variável 2	Diferença média entre variáveis	<i>p</i>
0	Não exposta ao UVC	UVC	-0,002	0,604
1	Não exposta ao UVC	UVC	-0,003	0,590
2	Não exposta ao UVC	UVC	-0,009	0,129
3	Não exposta ao UVC	UVC	-0,013*	0,003
Acrílico 5A: Análise estatística entre tempos para cada peça exposta e não exposta				
Amostra	Tempos(s)		Diferença média entre variáveis	<i>p</i>
Não exposta ao UVC	0	1	-0,012	0,131
		2	-0,005	1,000
		3	0,003	1,000
	1	0	0,012	0,131
		2	0,007	0,131
		3	0,016*	0,003
	2	0	0,005	1,000
		1	-0,007	0,131
		3	0,008	0,310
	3	0	-0,003	1,000
		1	-0,016*	0,003
		2	-0,008	0,310
UVC	0	1	-0,013	0,131
		2	-0,012*	0,037
		3	-0,008	0,464
	1	0	0,013	0,131
		2	0,001	1,000
		3	0,005	0,816
	2	0	0,012*	0,037
		1	-0,001	1,000
		3	0,004	1,000
	3	0	0,008	0,464
		1	-0,005	0,816
		2	-0,004	1,000

Tabela 0.4 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada aos dados de deformação obtidos entre o T0 e T3 para o acrílico7; São apresentados os valores de p aquando a comparação entre a peça exposta e não exposta ao UVC para cada tempo e entre tempos; os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).

Acrílico 7: Análise estatística entre a peça exposta e não exposta para cada tempo				
Tempo	Variável 1	Variável 2	Diferença média entre variáveis	p
0	Não exposta ao UVC	UVC	-0,187*	0,000
1	Não exposta ao UVC	UVC	-0,072	0,157
2	Não exposta ao UVC	UVC	-0,182*	0,000
3	Não exposta ao UVC	UVC	0,082	0,404
Acrílico 7: Análise estatística entre tempos para cada peça exposta e não exposta				
Amostra	Tempos		Diferença média entre variáveis	p
Não exposta ao UVC	0	1	-0,095*	0,018
		2	0,223*	0,000
		3	-0,040	0,560
	1	0	0,095*	0,018
		2	0,318*	0,000
		3	0,055	0,349
	2	0	-0,223*	0,000
		1	-0,318*	0,000
		3	-0,263*	0,002
	3	0	0,040	0,560
		1	-0,055	0,349
		2	0,263*	0,002
UVC	0	1	0,020	0,566
		2	0,228*	0,000
		3	0,228*	0,006
	1	0	-0,020	0,566
		2	0,208*	0,000
		3	0,208*	0,004
	2	0	-0,228*	0,000

		1	-0,208	0,000
		3	-5,551E-17	1,000
	3	0	-0,228	0,006
		1	-0,208	0,004
		2	5,551E-17	1,000

Tabela 0.5 Resultados da análise estatística efetuada quando se compara os dados de deformação para a peça exposta ao Não exposta ao UVC e ao UVC para cada tempo e entre tempos para o acrílico8; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).

Acrílico 8: Análise estatística entre a peça exposta e não exposta para cada tempo				
tempo	Variável 1	Variável 2	Diferença média entre variáveis	<i>p</i>
0	Não exposta ao UVC	UVC	-0,002	0,794
1	Não exposta ao UVC	UVC	-0,013	0,057
2	Não exposta ao UVC	UVC	-0,004	0,491
3	Não exposta ao UVC	UVC	-0,019*	<0,001
Acrílico 8: Análise estatística entre tempos para cada peça exposta e não exposta				
acrílico 8	Tempo (s)		Diferença média (I-J)	<i>p</i>
Não exposta ao UVC	0	1	-0,002	1,000
		2	0,010	0,121
		3	0,018*	0,019
	1	0	0,002	1,000
		2	0,012	0,427
		3	0,020*	0,038
	2	0	-0,010	0,121
		1	-0,012	0,427
		3	0,008	0,423
	3	0	-0,018*	0,019
		1	-0,020*	0,038
		2	-0,008	0,423
UVC	0	1	-0,013	0,179
		2	0,008	0,392
		3	0,001	1,000
	1	0	0,013	0,179
		2	0,021*	0,029
		3	0,014	0,209
	2	0	-0,008	0,392
		1	-0,021*	0,029
		3	-0,007	0,818
	3	0	-0,001	1,000
		1	-0,014	0,209
		2	0,007	,818

Tabela 0.6 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada entre tempos após a última exposição ao UVC e uma pausa na mesma; Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico3; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).

Acrílico 3: Análise estatística entre tempos após a última exposição ao UVC e uma pausa na mesma				
Acrílico 3	Tempo (s)	Diferença média entre variáveis	<i>p</i>	
UVC	3	4	-0,056*	0,002
		5	-0,038*	0,002
		6	-0,042*	0,001
	4	3	0,056*	0,002
		5	0,018	0,233
		6	0,013	0,946
	5	3	0,038*	0,002
		4	-0,018	0,233
		6	-0,004	1,000
	6	3	0,042*	0,001
		4	-0,013	0,946
		5	0,004	1,000

Tabela 0.7 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada entre tempos após a última exposição (T3) ao UVC e uma pausa na mesma (T6); Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico4; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).

Acrílico 4: Análise estatística entre tempos após a última exposição ao UVC e uma pausa na mesma				
Acrílico 4	Tempo (s)		Diferença média entre variáveis	<i>p</i>
VC	3	4	-0,033*	0,007
		5	-0,023	0,142
		6	-0,039*	<0,001
	4	3	0,033*	0,007
		5	0,010	1,000
		6	-0,006	1,000
	5	3	0,023	0,142
		4	-0,010	1,000
		6	-0,016	0,418
	6	3	0,039*	<0,001
		4	0,006	1,000
		5	0,016	0,418

Tabela 0.8 Resultados obtidos pela análise estatística efetuada entre tempos após a última exposição ao UVC e uma pausa na mesma; Os resultados referem-se à peça exposta ao UVC do acrílico5; Os resultados assinalados com * são os estatisticamente significativos ($p < 0.05$).

Acrílico 5B: Análise estatística entre tempos após a última exposição ao UVC e uma pausa na mesma				
Acrílico 5	Tempo (s)		Diferença média entre variáveis	<i>p</i>
UVC	3	4	0,006	1,000
		5	0,007	0,612
		6	-0,007	0,062
	4	3	-0,006	1,000
		5	0,001	1,000
		6	-0,012	0,060
	5	3	-0,007	0,612
		4	-0,001	1,000
		6	-0,013*	0,045*
	6	3	0,007	0,062
		4	0,012	0,060
		5	0,013*	0,045*