



ISSN: 2230-9926

Available online at <http://www.journalijdr.com>

# IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 11, Issue, 06, pp. 47525-47529, June, 2021

<https://doi.org/10.37118/ijdr.21938.06.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

## EFEITO DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM IMPLANTES DE PEUAPM APLICADOS NA ARTROPLASTIA

Márcia Cristina de Moraes Reis Ribeiro\*<sup>1</sup>, Kleilton Oliveira Santos<sup>1</sup>, Rossemberg Cardoso Barbosa<sup>1</sup>, Wladymyr Jefferson Bacalhau Sousa<sup>1</sup>, Márcio José Batista Cardoso<sup>2</sup> and Marcus Vinícius Lia Fook<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais (UAEMa), Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), Universidade Federal de Campina Grande –(UFCG), Campina Grande, Brasil; <sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAT), Centro de Tecnologia (CT), Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, Brasil

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 20<sup>th</sup> March, 2021  
Received in revised form  
11<sup>th</sup> April, 2021  
Accepted 09<sup>th</sup> May, 2021  
Published online 20<sup>th</sup> June, 2021

#### Key Words:

PEUAPM. Biomaterial.  
Artroplastia. Radiação Ultravioleta.

#### \*Corresponding author:

Márcia Cristina de Moraes Reis Ribeiro,

### ABSTRACT

Artroplastia é uma cirurgia para substituição total da articulação natural por uma articulação artificial, causadas por diferentes, patológicas ou traumáticas. Esse procedimento substitui por implantes metálicos, cerâmicos ou poliméricos, com o objetivo de restaurar a integridade funcional da articulação, exibindo um papel relevante no sucesso na Artroplastia Total de Joelho (ATJ) e de Quadril (ATQ). Dentre os implantes poliméricos, o polietileno de ultra alto peso molécula (PEUAPM), destaca-se por suas excelentes propriedades físicas, mecânicas, inércia química e lubrificidade, no entanto, a degradação promovida por atrito, radiações, calor, ambiente de aplicação, entre outras e o fato de não possuírem foto estabilizadores, de acordo com a Norma Técnica ABNT NBR ISO 5834-2, demonstram a importância da avaliação de tais implantes. Desta forma, este trabalho propôs avaliar as possíveis alterações físico-químicas de componentes de PEUAPM utilizados em artroplastia de joelho e quadril, pela exposição à radiação ultravioleta (UV) por 0, 1; 24 e 48 horas. As amostras foram caracterizadas por difração de raios X (DRX), espectroscopia de absorção de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura com mapeamento de espectroscopia por energia dispersiva (MEV-EDS) e microscopia de força atômica (AFM). Os resultados confirmaram que a exposição do a radiação UV em todos os tempos avaliados promoveram alterações significativas do PEUAPM, contribuindo para o aumento do desgaste e diminuição do tempo de vida útil.

Copyright © 2021, Márcia Cristina de Moraes Reis Ribeiro et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Márcia Cristina de Moraes Reis Ribeiro, Kleilton Oliveira Santos, Rossemberg Cardoso Barbosa, Wladymyr Jefferson Bacalhau Sousa, Márcio José Batista Cardoso and Marcus Vinícius Lia Fook. 2021. "Efeito do tempo de exposição à radiação ultravioleta em implantes de peupam aplicados na artroplastia", *International Journal of Development Research*, 11, (06), 47525-47529.

## INTRODUCTION

Os biomateriais são considerados produtos aptos para serem incorporados nos seres humanos com a finalidade de tratamento ou alívio de uma enfermidade, acidentes ou lesão, amplamente utilizados na Odontologia e Ortopedia (Aparecida, Guastaldi, and Fook 2008; Soares 2005). Intervenções cirúrgicas em articulações humanas pode ser um processo doloroso, que pode levar a dificuldade ou a impossibilidade de movimentar o membro, ocasionados por patologias ou traumas. Por se tratar de procedimentos efetivos que melhoram a capacidade funcional, diminuem a dor e melhoram a qualidade de vida dos pacientes, as Artroplastia Total de Quadril (ATQ) e Artroplastia Total de Joelho (ATJ) vêm crescendo constantemente na última década (Ferreira et al. 2018; Reis 1997). Dentre os diferentes tipos de biomateriais poliméricos o PEUAPM, destaca-se devido às suas boas propriedades químicas e mecânicas, sendo uma das únicas opções de polímeros para uso em articulações sinoviais humanas, sendo uma das superfícies constituintes das

próteses articulares juntamente com os metais ou cerâmicas (Cardoso et al. 2013; Chen et al. 2017; Jefferies, Al-Malaika, and Sheena 2021; M. Rocha, Mansur, and Mansur 2009; Rodrigues et al. 2019). O PEUAPM é um material de rolamento predominante aplicado em artroplastia articular, apesar de não ser um biomaterial novo, seus detritos como consequência de longa aplicação e propriedades de superfície geralmente ainda levam a uma vida útil curta. Muitas das desvantagens estão associadas aos métodos de esterilização que degradam as propriedades da superfície do UHMWPE (Rodrigues et al. 2019). De acordo com uma pesquisa realizada pela Grand View Research, a demanda do mercado por PEUPAM de grau médico aumentou no período de 2015-2024. Sendo assim, uma maior atenção está sendo dada à compreensão de fatores que influenciam o comportamento tribológico do PEUAPM devido ao desgaste sofrido. (Patil, Njuguna, and Kandasubramanian 2020). O processo de degradação no PEUAPM, em geral, está relacionado ao intemperismo, que é um termo que engloba os efeitos da luz, da oxidação e do calor, intensificados pela umidade, pelas chuvas, pelos

ventos e poluentes atmosféricos, entre outros, que deve ser considerado para o estudo da degradação deste polímero. Assim, o envelhecimento do PEUAPM está relacionado à velocidade da degradação que depende das condições ambientais, tais como radiação solar, temperatura, umidade, poluentes atmosféricos, incidência de chuvas, ciclos térmicos e conteúdo de oxigênio no ar (Costa e Bracco, 2016; Edidin et al., 2000; Jefferies, Al-Malaika e Sheena, 2021). Há uma evidência substancial para mostrar que a degradação oxidativa tem um impacto negativo sobre as propriedades e o desempenho do polietileno de ultra alto peso molecular (PEUAPM) usado como componentes de articulação em implantes de articulações ortopédicas e é a principal causa de sua falha prematura (Jefferies, Al-Malaika, and Sheena 2021). Os resíduos de desgaste, degradação oxidativa devido à geração de radicais livres quando submetidos à irradiação com raios gama e baixo envelhecimento do implante são alguns problemas críticos observados em implantes baseados em PEUAPM no corpo humano (Patil, Njuguna, and Kandasubramanian 2020). Avaliar o efeito da radiação UV em ambiente controlado é de suma importância para compreender os fatores que podem contribuir para o aumento do desgaste. Desta forma o resultado do respectivo estudo auxiliará na avaliação de ações regulatórias adequadas, tendo em vista a importância de mecanismos que contribuam para minimizar riscos e aumentar a segurança de uso do produto. O presente trabalho teve a finalidade avaliar as possíveis alterações de componentes fabricados em polietileno de ultra alto peso molecular utilizados em procedimentos cirúrgicos de artroplastia e joelho e quadril, exposto a radiação ultravioleta.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Desenvolvimento e Avaliação de Biomateriais (CERTBIO), na Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/UAEMA. Foram utilizados componentes poliméricos de PEUAPM de implantes aplicados na artroplastia, tais como: tíbiais (Figura 1a) e acetabulares (Figura 1b), adquiridos do projeto de monitoramento de implantes ortopédicos, realizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA.

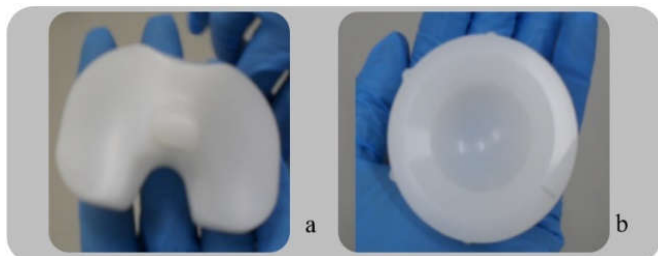


Figura 1. Componentes de implantes poliméricos tíbiais (a) e acetabulares (b)

As amostras foram submetidas ao processo de radiação ultravioleta (UV) tendo como base a tese de doutorado de Fook (2005) e a norma ISO 4892-3:2013 *Standard Practice for Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus Exposure of Plastics*. As amostras de implantes de PEUAPM em laboratório, foram colocadas em exposição à radiação UV de 900 mJ/cm<sup>2</sup> por diferentes períodos de tempo, via seco, utilizando-se lâmpadas fluorescentes R-UVA TL fornecidas pela PHILIPS, e nomeadas conforme Tabela 1. (verifica qual o equipamento e lâmpadas aí do laboratório para colocar aqui).

Tabela 1. Descrição das variações de exposição à radiação UV das amostras

Implantes de PEUAPM	Abreviatura
PEUAPM sem exposição à radiação UV	P0
PEUAPM exposto à radiação UV por 1 hora	P1h
PEUAPM exposto à radiação UV por 24 horas	P24h
PEUAPM exposto à radiação UV por 48 horas	P48h

Posteriormente foram caracterizadas por difração de raios X (DRX), espectroscopia de absorção na região infravermelho por transformada

de Fourier (FTIR), microscopia ótica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV) com mapeamento de espectroscopia por energia dispersiva de raios X (EDS) e microscopia de força atômica (MFA), com o objetivo de avaliar o efeito da radiação UV sobre as alterações físico-químicas, degradação e desgaste superficial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Difração de raios X (DRX):** As amostras P0, P1h, P24h e P48h foram caracterizadas por difração de raios X com a finalidade de observar o perfil cristalino e a cristalinidade, os resultados dos difratogramas são ilustrados na Figura 2. Nos difratogramas, observa-se a presença dos picos característicos em aproximadamente  $2\theta = 21^\circ$  e  $2\theta = 24^\circ$ , indicando o perfil semicristalino do PEUAPM, que corrobora com os dados do JCPDS (*International Centre for Diffraction Data - ICDD*), de acordo com a ficha padrão nº 11-0834, também definidos por Mansur (2005), Rocha (2007) e Cardoso et al. (2013).

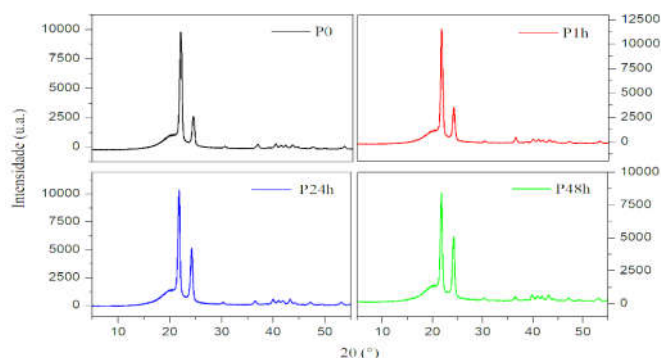


Figura 2. Difratograma de raios X das amostras

Quanto ao efeito da radiação ultravioleta nas amostras evidencia-se que a exposição à radiação UV, promove alterações de estreitamento e aumento da intensidade no pico  $2\theta = 24^\circ$  e este efeito é intensificado com o aumento do tempo de exposição. O aumento da cristalinidade do PEUAPM, bem sutil, deve-se pelo fato de que, a radiação UV apresenta comprimento de onda na faixa de  $10^3$  à  $10^4$  Angstrom, o que promove alterações na superfície do PEUAPM, não penetrando camadas mais internas. De Paoli, 2009 em seu trabalho explica que a penetração da radiação UV, promove modificações macromoleculares e em diferentes profundidades está correlacionado com o tempo de exposição. O Índice de cristalinidade (Ic) foi calculado a partir do perfil de difração de cada amostra, os resultados são apresentados na Tabela 2, onde verifica-se que a cristalinidade do PEUAPM sem efeito da radiação UV foi de  $59,09 \pm 0,02\%$ , na literatura observou-se que a faixa varia entre 39 a 79%, como relatado por Xia et. al. 2013 e Rodrigues et. al. 2019. Também observa-se um aumento da cristalinidade com a exposição à radiação UV e que esse aumento é intensificado com o tempo de exposição da radiação UV. Corroborando com Suarez et. al. 2000, que verificou que a exposição à radiação UV, em face da sua elevada energia, produziu uma maior cisão no material, aumentando a quantidade de cadeias mais curtas, como consequência, promove a elevação da cristalinidade.

Tabela 2. Índice de cristalinidade (Ic) das amostras determinado por DRX

Amostras	P0	P1h	P24h	P48h
Ic (%)	$59,09 \pm 0,02$	$67,68 \pm 0,02$	$71,81 \pm 0,02$	$77,38 \pm 0,02$

**Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR):** A técnica de FTIR foi utilizada com o objetivo de demonstrar nos espectros as bandas características dos grupos funcionais obtidos das amostras P0, P1h, P24h e P48h, para verificar alterações dos grupos característicos. Na Figura 3 observa-se os espectros de FTIR das amostras, onde foram observadas as bandas relativas ao estiramento simétrico e assimétrico CH<sub>3</sub> (metila) e

estiramento do grupo  $\text{CH}_2$  (metileno) na faixa de  $2800$  a  $2950\text{ cm}^{-1}$ ; pico relativo à flexão simétrica e assimétrica do grupo  $\text{CH}_3$  (metila) na faixa de  $1450$  a  $1490\text{ cm}^{-1}$ ; pico relativo à vibração do grupo  $\text{CH}_2$  (metileno) na faixa de  $700$  a  $740\text{ cm}^{-1}$ . Todas essas bandas de absorção foram observadas ao analisarem o espectro de FTIR do PEUAPM por Marques 2019 que avaliou o mecanismo de ataque de plasma de baixa pressão de oxigênio e argônio e Rodrigues (2019) no tratamento de plasma em superfícies de PEUAPM.

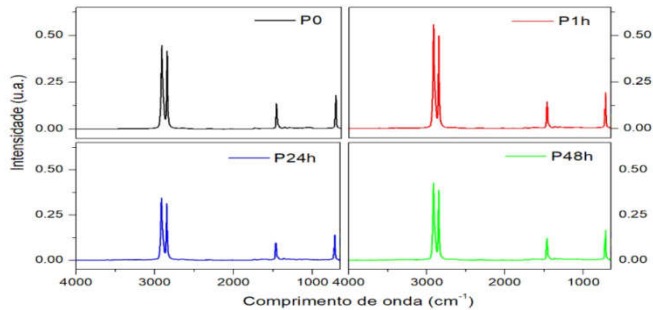


Figura 3. Espectro de FTIR das amostras

As amostras apresentaram alterações sutis de intensidades dos espectros, pela exposição à radiação UV, os valores do índice de oxidação (IO) de acordo com ASTM F2102 foi determinado pela razão entre a área da região de absorção relativas ao estiramento e estiramento/flexão do grupo funcional  $\text{C}=\text{O}$  em  $1725\text{ cm}^{-1}$  pela área da região de referente ao movimento de deformação simétrica da metila  $\text{CH}_3$  em torno de  $1370\text{ cm}^{-1}$ . Os resultados do IO são apresentados na Tabela 3, indicam que o tempo de exposição à radiação UV aumenta o IO das amostras e todas apresentaram IO inferiores a 0,5. Ressalta-se que valores superiores a 0,50 representam grande risco de falharem in vivo por causa da degradação oxidativa, de acordo com o estudo Prever 1996.

Tabela 3. Índice de oxidação (IO) das amostras

P1h	Amostras	P0	P24h	P48h
$0.38 \pm 0,01$	IO (%)	$0.37 \pm 0,01$	$0.42 \pm 0,01$	$0.46 \pm 0,01$

O índice de cristalinidade ( $I_c$ ) por FTIR, foi determinado segundo os Hendus 1961, definida pela relação entre as intensidades das absorvâncias ( $A_a$ ) e ( $A_c$ ) e as áreas das regiões absorvidades ( $aa$ ) e ( $ac$ ) referentes as regiões amorfas em  $1303\text{ cm}^{-1}$  e cristalinas em  $1897\text{ cm}^{-1}$  respectivamente. Os resultados do índice de cristalinidade ( $I_c$ ) são apresentados na Tabela 4, os valores indicam um aumento da cristalinidade com o aumento de tempo de exposição à radiação UV, corroborando com os resultados do DRX e Suarez et. al. 2000.

Tabela 4. Índice de cristalinidade ( $I_c$ ) das amostras determinado por FTIR

Amostras	P0	P1h	P24h	P48h
$I_c$ (%)	$61,89 \pm 0,5$	$64,82 \pm 0,5$	$71,87 \pm 0,5$	$75,78 \pm 0,5$

**Microscopia Ótica (MO):** As imagens da Figura 4 ilustram as microscopias óticas das amostras P0, P1h, P24h e P48h com magnificação de 700X respectivamente, onde pode-se constatar a superfície constituída irregularidades macroscópicas e microscópicas, descritas na norma ASTM F1877-05.

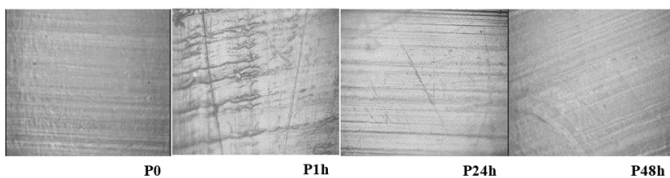


Figura 4. Micrografia ótica das amostras com 700X respectivamente

Em todas as imagens da Figura 4 visualiza-se ranhuras mais ou menos uniformes e alinhadas paralelamente, aspecto provavelmente provocadas pelo processo de usinagem dos implantes de PEUAPM. A exposição à radiação UV não altera significativamente a morfologia superficial, no entanto, as superfícies com maior intensidade de irregulares favorecem a reação com a radiação UV, estudos como o de Cooper et al. 1993 e Kurtz 2004, mostram que o desgaste superficial no PEUAPM é relacionado com as asperezas macroscópicas e microscópicas.

**Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com mapeamento por Espectroscopia de Energia Dispersiva (EDS):** As imagens da Figura 5, ilustram as micrografias das amostras P0, P1h, P24h e P48h com magnificação de 1000X respectivamente, onde observou-se uma superfície uniforme e lisa com presença de ranhuras paralelas semelhantes às observadas no MO.

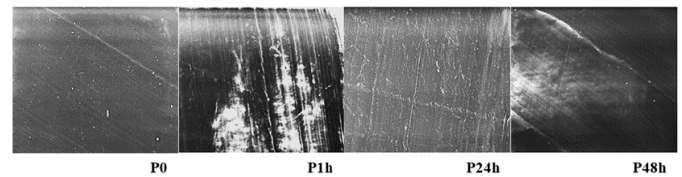


Figura 5. Microscopia eletrônica de varredura das amostras com magnificação de 1000X

No entanto, são observadas algumas áreas esbranquiçadas que podem estar relacionada a regiões mais densas dos polímeros, como também por ação do feixe de elétrons sobre a amostra no momento do ensaio que, possivelmente funde a mesma provocando algumas alterações como também mascarando possíveis alterações provocadas pela ação da exposição à radiação UV. A superfície dos implantes de PEUAPM estão sujeitos a formação de irregularidades inerentes ao processamento de usinagem e o próprio atrito na aplicação dos implantes, esse desgaste demonstram uma direção de alinhamento preferencial, comportamento já relatado e discutido por diversos pesquisadores em seus estudos com PEUAPM tais como Sobieraj et. al. 2009, Shi et. al. 2000 e Chen et. al. 2017. Na tabela 5 encontra-se os resultados de EDS das amostras P0, P1h, P24h e P48h, constata-se a presença dos elementos carbono (C) e oxigênio (O) característicos no PEUAPM, os resultados mostram um aumento na concentração do elemento O e uma redução do C com o aumento do tempo de exposição à radiação UV, esse efeito pode ser associado ao aumento no nível de degradação do PEUAPM, corroborando com os resultados do índice de oxidação observado nos cálculos do FTIR e da cristalinidade por FTIR e DRX.

Tabela 5. Porcentagem atômica dos elementos das amostras

Amostras	P0	P1h	P24h	P48h
C (%)	97,96	96,76	96,27	93,95
O (%)	2,04	3,21	3,73	6,05

**Microscopia de Força Atômica (MFA):** As imagens da Figura 6 ilustram as micrografias de MFA das amostras P0, P1h, P24h e P48h, onde percebe-se que todas as amostras apresentam uma superfície 3D com linhas paralelas e confirma as imagens observadas na MO e MEV, onde também, forma observadas esse perfil da morfologia superficial do PEUAPM. As imagens apresentadas na Figura 9 ilustram uma superfície texturizada das amostras de PEUAPM, quando as superfícies são analisadas comparando o tempo de exposição do material a radiação UV, não são observadas alterações significativas que permitam afirmar que esta exposição altera a topografia do material. Mas o fato dessa mesma superfície sofrer alteração na sua cristalinidade confirmadas por FTIR e DRX, tornar mais frágil e somando essa alteração com as elevações microscópicas (linhas) provocadas pela usinagem do material poderá favorecer no desgaste da superfície articular e dos componentes e consequentemente no menor tempo de vida útil do mesmo. A partir das superfícies 3D obtidas por MFA foi determinado a rugosidade

média (Ra) e rugosidade quadrática média (Rms) das amostras, os resultados são apresentados na Tabela 6.

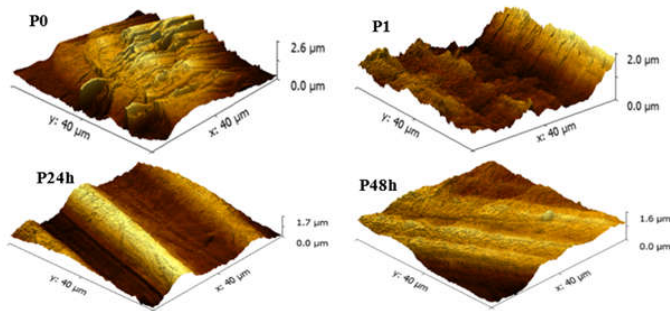


Figura 6. Microscopia de força atômica das amostras

Tabela 6. Rugosidade média Ra e quadrática média Rms das amostras

Amostras	P0	P1h	P24h	P48h
Ra	48,6± 0,5	112,5± 0,5	348,4± 0,5	278,5± 0,5
Rms	50,4± 0,5	153,4± 0,5	389,3± 0,5	320,4± 0,5

Os resultados mostram um aumento da rugosidade com o aumento do tempo de exposição à radiação UV, entretanto, quando o tempo de exposição é de 48h a rugosidade reduz em relação ao tempo de 24h. Esse efeito pode ser associado a maior cisão das cadeias poliméricas do PEUPAM, promovendo assim uma uniformização superficial, que consequentemente, uma redução da rugosidade. Efeito similar foi observado por Marques et. al. 2019, ao realizar um tratamento com plasma de oxigênio de superfície de PEUAPM, onde verificou um aumento da rugosidade, devido ao ataque unidirecional na superfície, e então diminuição com o aumento do tempo de tratamento devido à amorfização da superfície.

## CONCLUSÕES

A exposição aos raios ultravioletas das amostras de PEUAPM, altera as características físico-química e o tempo de exposição por mesmo curto promove modificações significativas. O aumento da cristalinidade observados pelo DRX e confirmado pelo FTIR indicam que houve cisão de cadeias poliméricas, devido, a exposição à radiação UV, e este efeito é intensificado com o tempo de exposição. Em relação a superfície das amostras a exposição à radiação UV não promove alterações significativas como pode ser observado pela MO, MEV e MFA. Alterações químicas elementares são indicadas pelo EDS e esse efeito pode ser associado ao aumento no nível de degradação. A rugosidade superficial das amostras de PEUAPM é afetada pela degradação induzida pela exposição a radiação UV, sendo é elevada com o tempo de 1 e 24h e reduzido ao tempo de 48h, esse efeito pode esta associada a uma uniformização da superfície pelo alto nível de degradação superficial das amostras. O desgaste superficial promovido pela exposição à radiação UV e o fato de como o tempo pode alterar características importantes dos implantes de PEUPAM aplicados na artroplastia que podem afetar no tempo de vida útil, indicam que o tratamento superficial durante o processamento e mesmo os métodos de esterilização dos implantes devem ser realizados levando em considerações desses efeitos.

## REFERÊNCIAS

Aparecida, Anahi H., Antonio C. Guastaldi, and Marcus V. L. Fook. 2008. "Desenvolvimento e Caracterização de Suportes Porosos de Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PEUAPM) Para Utilização Como Biomaterial Para Reposição e Regeneração Óssea." *Polímeros* 18(4): 277–80.

- ASTM, American Society for Testing and Materials –. 2010. "ASTM F1877-05, Standard Practice for Characterization of Particles. 2010."
- Cardoso, M J B et al. 2013. "Estudo Físico-Químico e Morfológico de Superfície Do PEUAPM Modificada." *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* 2: 68–73.
- Chen, Song et al. 2017. "Tribological Properties of Polyimide-Modified UHMWPE for Bushing Materials of Seawater Lubricated Sliding Bearings." *Tribology International*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2017.06.011>.
- Cooper, J R, D Dowson, and J Fisher. 1993. "Macroscopic and Microscopic Wear Mechanisms in Ultra-High Molecular Weight Polyethylene." *Wear* 162: 378–84.
- Costa, Luigi, and Pierangiola Bracco. 2016. "Mechanisms of Cross-Linking, Oxidative Degradation, and Stabilization of UHMWPE." In *UHMWPE Biomaterials Handbook*, Elsevier, 467–87.
- Edidin, A A et al. 2000. "Degradation of Mechanical Behavior in UHMWPE after Natural and Accelerated Aging." *Biomaterials* 21(14): 1451–60.
- Ferreira, Marcio de Castro et al. 2018. "Artroplastia Total de Joelho e Quadril: A Preocupante Realidade Assistencial Do Sistema Único de Saúde Brasileiro." *Revista Brasileira de Ortopedia* 53(4): 432–40.
- Fook, Marcus Vinicius Lia. 2005. "Desenvolvimento De Técnica De Deposição De Hidroxiapatita Pelo Método Biomimético Na Superfície Polietileno De Ultra-Alto Peso Molecular Para Aplicação Como Biomaterial."
- Hendus, H, and Gg Schnell. 1961. "Röntgenographische Und IR-Spektroskopische Kristallinitätsbestimmung an Polyäthylen." *Kunststoffe* 51(2): 69–74.
- ISO, International Organization for Standardization -. 2013. "4892-3 Plastics - Methods of Exposure to Laboratory Light Sources - Part 3: Fluorescent UV Lamps."
- Jefferies, C, S Al-Malaika, and H H Sheena. 2021. "New and Novel Stabilisation Approach for Radiation-Crosslinked Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene (XL-UHMWPE) Targeted for Use in Orthopedic Implants." *Polymer Degradation and Stability* 183: 109462.
- Kurtz, Steven M. 2004. *The UHMWPE Handbook: Ultra-High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement*. Elsevier.
- MANSUR, Herman Sander, M Pereira, and R Oréfice. 2006. "Técnicas de Caracterização de Materiais." In *Biomateriais: Fundamentos e Aplicações*, ed. Cultura Médica. Rio de Janeiro, 185–235.
- Marques, Silvana et al. 2019. "Mechanism of Oxygen and Argon Low Pressure Plasma Etching on Polyethylene ( UHMWPE )." *Surface & Coatings Technology* (September): 124990. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.124990>.
- Paoli, Marco Aurélio de. 2009. *Degradação e Estabilização de Polímeros*. 1st ed. ed. ARTLIBER EDITORA LTDA. Artliber São Paulo.
- Patil, Nikhil Avinash, James Njuguna, and Balasubramanian Kandasubramanian. 2020. "UHMWPE for Biomedical Applications: Performance and Functionalization." *European Polymer Journal* 125(January).
- del Prever, Elena Brach et al. 1996. "Unacceptable Biodegradation of Polyethylene in Vivo." *Biomaterials* 17(9): 873–78.
- Reis, Marcelo de Carvalho. 1997. "Estudo Da Influencia de Parametros de Processamento Na Resistencia Ao Desgaste Do Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular."
- Rocha, Magda F G, and Herman S Mansur. 2007. "CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL E ESPECTROSCÓPICA DO UHMWPE UTILIZADO COMO POLÍMERO DE SUPORTE PARA PRÓTESE TOTAL DE JOELHO." In *Anais Do 9o Congresso Brasileiro de Polímeros*,.
- Rocha, Magda, Alexandra Mansur, and Herman Mansur. 2009. "Characterization and Accelerated Ageing of UHMWPE Used in Orthopedic Prosthesis by Peroxide." *Materials* 2(2): 562–76.
- Rodrigues, Melissa Machado et al. 2019. "Investigation of Plasma Treatment on UHMWPE Surfaces: Impact on Physicochemical

- Properties, Sterilization and Fibroblastic Adhesion.” *Materials Science and Engineering C* 102(April): 264–75. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.04.048>.
- Shi, W, H Dong, and T Bell. 2000. “Tribological Behaviour and Microscopic Wear Mechanisms of UHMWPE Sliding against Thermal Oxidation-Treated Ti6Al4V.” *Materials Science and Engineering: A* 291(1–2): 27–36.
- Soares, G A. 2005. “Biomateriais, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.” *Ciência, Tecnologia e Inovação*.
- Sobieraj, M C, and C M Rinnac. 2009. “Ultra High Molecular Weight Polyethylene: Mechanics, Morphology, and Clinical Behavior.” *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials* 2(5): 433–43.
- Suarez, João Carlos Miguez, Eloisa Biasotto Mano, and Romeu Abrahão Pereira. 2000. “Thermal Behavior of Gamma-Irradiated Recycled Polyethylene Blends.” *Polymer degradation and stability* 69(2): 217–22.
- Xia, Bing, Meiju Xie, and Bangcheng Yang. 2013. “Surface Modification of Ultrahigh Molecular Weight Polyethylene by the Poly(Ethylene Glycol)-Grafted Method and Its Effect on the Adsorption of Proteins and the Adhesion of Blood Platelets.” *Journal of Biomedical Materials Research - Part A* 101 A(1): 54–63.

\*\*\*\*\*