

## MODIFICAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE VIDROS BIOATIVOS USANDO UM REATOR DE PLASMA

Davi João Espíndola, Daniela Becker, Luis Cesar Fontana.

### INTRODUÇÃO

O ácido polilático (PLA) tem se destacado no campo dos biomateriais graças à sua notável biodegradabilidade e biocompatibilidade. Essas propriedades fazem do PLA um candidato atrativo para a fabricação de scaffolds, estruturas essenciais que auxiliam no direcionamento do crescimento celular ósseo durante processos de regeneração tecidual. Apesar dessas vantagens, o PLA carece de propriedades osteoindutivas, o que limita seu desempenho em aplicações regenerativas [1]. Para contornar essa limitação, é comum incorporar partículas bioativas como, Biosilicato® (BIO) ou vidro bioativo tipo 45S (45S) à matriz polimérica do PLA, conferindo-lhe caráter osteoindutivo [2]. Entretanto, a introdução desses agentes bioativos pode promover a quebra das cadeias poliméricas do PLA, reduzindo o tamanho das macromoléculas e consequentemente diminuindo a temperatura de degradação do material, um fator crítico para seu processamento por manufatura aditiva [3]. Visando evitar esse efeito indesejado, é possível modificar superficialmente o BIO ou 45S para controlar a liberação de íons presentes nas partículas por meio da funcionalização com outros compostos. Dessa forma, os efeitos catalíticos do BIO podem ser minimizados durante sua incorporação ao polímero, preservando assim a massa molar do PLA e prolongando sua vida útil. Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a funcionalização tanto do BIO quanto do 45S, utilizando a tecnologia de plasma. Nesse trabalho foi usada uma fonte de radiofrequência (RF) e o anidrido maleico (AM) como agente funcionalizante.

### DESENVOLVIMENTO

Para a realização dos ensaios, foram preparadas amostras compostas por 90% de BIO e 10% de AM, e 90% de 45S e 10% de AM. As misturas foram homogeneizadas em almofariz, sendo todos os materiais previamente acondicionados em estufa por 2 h a 60 °C para remoção de qualquer umidade residual. Em seguida, as amostras foram submetidas a tratamento em um reator do tipo Plasma Acoplado Capacitivamente (CCP). Durante o experimento, o sistema foi inicialmente evacuado até atingir uma pressão de  $2,0 \times 10^{-1}$  Torr e, posteriormente, gás argônio puro foi introduzido até alcançar a pressão operacional de  $7,0 \times 10^{-1}$ , parâmetros semelhantes aos utilizados por Klok (2022) [4]. Após esse ajuste, a fonte de alimentação RF foi acionada à 50 watts para formação do plasma. Para investigar o efeito do tempo de exposição ao plasma na funcionalização, cada conjunto foi tratado por diferentes períodos: uma amostra de cada vidro bioativo permaneceu no reator por 15 min e por 40 min, totalizando quatro ensaios no total. Posteriormente, as misturas foram submetidas à filtragem a vácuo utilizando metanol como solvente, com o objetivo de remover os resíduos de AM que não aderiram à superfície do BIO e do 45S. Em seguida, as misturas foram novamente secas em estufa e encaminhadas para análise por Espectroscopia de Fotoelétrons por Raios X (XPS).

### RESULTADOS

Na literatura, é possível encontrar que a composição dos materiais BIO e 45S em suas formas puras inclui os elementos Si, O, Na, Ca e P, conforme relatado por Zanotto et al. (2007) [5] e Chen et al. (2006) [6], respectivamente. A Tabela 1 apresenta o percentual atômico presente das

ligações de COO obtidos dos espectros de XPS de alta resolução do C1s dos testes realizados. Já foi confirmado em estudo anterior, para a mesma mistura de BIO com AM a presença de ligações de carbono (C) associadas à adesão da molécula à superfície do biomaterial, especialmente em tempos maiores [7]. No caso do 45S, ainda não foram encontrados estudos específicos sobre sua funcionalização com AM. No entanto, a literatura indica que o BIO difere do 45S apenas por apresentar uma estrutura mais organizada e cristalina, embora ambos compartilhem os mesmos elementos [8]. Dessa forma, é possível identificar grupos funcionais semelhantes introduzidos nesses materiais por meio da análise XPS. Logo, a presença da ligação COO foi verificada em todas as amostras com diferentes percentuais, como mostrado na Tabela 1, indicando o sucesso da funcionalização. Vale ressaltar que, independentemente do biovidro utilizado, a ligação COO aumenta com o tempo de tratamento, indicando maior funcionalização, assim como, aparentemente foi mais fácil funcionalizar o BIO que o 45S.

**Tabela 1.** Porcentagem de concentração atômica das ligações de COO presente nas amostras utilizadas.

NO ME	45S+AM_RF_50 W_15min_LV	BIO+AM_RF_50 W_40min_LV	45S+AM_RF_50 W_15min_LV	BIO+AM_RF_50 W_40min_LV
% atô mic o de CO O	1,83%	6,79%	5,31%	13,38%

Dados foram obtidos dos espectros de alta resolução do C1s e foi considerado a energia de ligação 288,3 para a ligação COO.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A funcionalização dos materiais bioativos utilizando a tecnologia de plasma revelou resultados promissores. A análise por XPS confirmou a presença de ligações COO em todas as amostras, indicando o sucesso do processo de funcionalização. Notavelmente, a funcionalização do BIO se destacou em relação ao 45S, possivelmente devido à sua estrutura cristalina mais organizada e menos amorfa. Essa característica pode facilitar a adesão do agente funcionalizante, resultando em uma maior eficiência na modificação superficial. Assim, os resultados sugerem que o BIO pode ser uma escolha preferencial para aplicações que exigem maiores propriedades osteoindutivas para o PLA.

**Palavras-chave:** Biosilicato®; Biovidro 45S5; anidrido maleico; plasma; funcionalização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] - ARMENTANO, I.; DOTTORI, M.; FORTUNATI, E.; MATTIOLI, S.; KENNY, J.M.. Biodegradable polymer matrix nanocomposites for tissue engineering: a review. *Polymer Degradation And Stability*, [S.L.], v. 95, n. 11, p. 2126-2146, nov. 2010. Elsevier BV.
- [2] - R. L. Siqueira e E. D. Zanotto, *Quim. Nova*, 34, 1234-1240, (2011).
- [3] - M. Oliveira, E. Santos, A. Araújo, G. J. Fechine, A. V. Machado, and G. Botelho, The role of shear and stabilizer on PLA degradation. *Polymer Testing*, vol. 51, pp. 109–116, 2016.

- [4] - L. A. Klok, Funcionalização de nanopartículas de óxido de zinco por plasma utilizando compostos orgânicos. Joinville, 2022.
- [5] - ZANOTTO D. E, RAVAGNANI C, PEITL O, PANZERI H, LARA EG. Process and compositions for preparing particulate, bioactive or resorbable biosilicates for use in the treatment of oral ailments. Patent WO 2004074199 A1, 2007.
- [6] - CHEN QZ, BOCCACCINI AR. Poly(D,L-lactic acid) coated 45S5 Bioglass-based scaffolds: processing and characterization. J Biomed Mater Res A. 2006 Jun 1;77(3):445- 57.
- [7] - C. T. Mamani, Funcionalização de partículas de biosilicato® por plasma utilizando anidrido maleico. Joinville 2024.
- [8] - SIQUEIRA, L. R.; ZANATTO, D. E. Biosilicato®: Histórico de uma Vitrócerâmica Brasileira de Elevada Bioatividade, [S.L], v. 34, n. 7, p. 1231-1241, abril 2011. Quim. Nova (SciELO)

---

#### DADOS CADASTRAIS

---

**BOLSISTA:** Davi João Espíndola

**MODALIDADE DE BOLSA:** PROBIC/UDESC

**VIGÊNCIA:** 09/2024 a 07/2025 – Total: 10 meses

**ORIENTADOR(A):** Luis Césa Fontana

**CENTRO DE ENSINO:** CCT

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Física

**ÁREAS DE CONHECIMENTO:** Ciências Exatas e da Terra

**TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA:** Ciência e tecnologias de plasmas: estudos fundamentais e aplicados à ciência e engenharia de superfície - Parte 2.

**Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA:** NPP3223-2021