SÍNTESE DE NANOFIBRAS COMPÓSITAS DE POLI(ÁLCOOL VINÍLICO)/HIDROXIAPATITA VIA SOLUTION BLOW SPINNING: POTENCIAL APLICAÇÃO EM TECIDOS ÓSSEOS RADIONECROSADOS

Emily de Oliveira Katayama[1] (PIBIC/CNPq), Guilherme M. Pereira[2] (Co-orientador), Thelma S. P. Cellet[1] (Orientadora). E-mail: tspcellet2@uem.br

[1]Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Ciências, Goioerê, PR.
[2]Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Química, Maringá, PR.

Ciências Exatas e da Terra / Química

Palavras-chave: nanofibras poliméricas; engenharia de tecidos; regeneração óssea.

RESUMO

A osteorradionecrose é uma complicação da radioterapia caracterizada pela deterioração do tecido ósseo, especialmente em regiões submetidas à irradiação, reforçando a necessidade de biomateriais que auxiliem na regeneração óssea. Este trabalho teve como objetivo desenvolver nanofibras compósitas de poli(álcool vinílico) (PVA) e hidroxiapatita (HAp) utilizando Fiação por Sopro em Solução, Solution Blow Spinning (SBS), visando sua aplicação como biomaterial. Nanopartículas de hidroxiapatita (n-HAp) foram sintetizadas por precipitação química e caracterizadas por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR-ATR), difração de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de transmissão (MET). Soluções de PVA em diferentes concentrações foram submetidas à SBS e posteriormente incorporadas com n-HAp (5% e 10%, m/m). As fibras compósitas foram caracterizadas por FTIR-ATR, DRX e MET. Os resultados confirmaram a formação de n-HAp cristalina em escala nanométrica. A incorporação da n-HAp foi evidenciada pelas bandas e reflexões características de PO_4^{3-}, mais intensas com o aumento do teor mineral, e pelas regiões de maior contraste nas micrografias de MET. A SBS mostrou-se eficaz na obtenção de nanofibras PVA/n-HAp, evidenciando seu potencial para futuras aplicações em regeneração óssea.

INTRODUÇÃO

O câncer permanece um importante problema de saúde pública, com 20,6 milhões de novos casos estimados mundialmente em 2024 (SUNG, 2024). No Brasil, aproximadamente 701 mil pacientes foram atendidos pelo SUS em radioterapia entre 2018 e 2023 (GIOSEFFI, 2024). Embora eficaz, a radioterapia pode causar danos a tecidos saudáveis, incluindo o ósseo. Entre as complicações, destaca-se a osteorradionecrose, especialmente na região da cabeça e pescoço, caracterizada

pela deterioração e exposição óssea após a irradiação, agravada por danos aos osteoblastos que comprometem a mineralização (SILVEIRA, 2025).
Nesse contexto, nanofibras apresentam elevada porosidade e área superficial, além de capacidade de mimetizar a matriz extracelular, sendo promissoras como *scaffolds* para regeneração tecidual. A eletrofiação, embora amplamente utilizada, apresenta limitações de produtividade e escalabilidade, estimulando a busca por métodos alternativos, como a fiação por sopro em solução *(Solution Blow Spinning,* SBS) (RODRIGUES, 2024).
A hidroxiapatita (HAp) destaca-se por sua biocompatibilidade, bioatividade e semelhança com a fase mineral óssea. Sua associação ao poli(álcool vinílico) (PVA), polímero biocompatível e biodegradável, permite combinar as propriedades da matriz polimérica à bioatividade e osteocondutividade da HAp, favorecendo a regeneração óssea (LI, 2023).
Como alternativa à eletrofiação, a SBS apresenta simplicidade de equipamento, elevada produtividade, potencial de escalabilidade e fiação *in situ,* sendo promissora para a produção de *scaffolds* fibrosos (MENG, 2024).
Este trabalho teve como objetivo desenvolver e caracterizar nanofibras de PVA/HAp obtidas por SBS, visando sua aplicação como biomaterial para futura regeneração óssea em condições associadas à exposição à radiação ionizante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Síntese de nanopartículas de hidroxiapatita (n-HAp)

As n-HAp foram sintetizadas por precipitação química a partir de $Ca(OH)_2$ e H_3PO_4 (2,0 mol·L^{-1}). A suspensão foi aquecida a 80 °C sob agitação, com adição de H_3PO_4 a 5 mL·min^{-1}, mantida a 100 °C por 50 min, resfriada, filtrada, lavada, seca a 75 °C por 12 h, calcinada a 900 °C por 8 h e peneirada (200 mesh). A caracterização foi realizada por FTIR-ATR (Thermo Scientific, iS10 Smart iTR), DRX (Shimadzu, XRD-6000) e MET (JEOL, JEM-1400).

Preparo das soluções de PVA e obtenção das nanofibras por Solution Blow Spinning

PVA (Mw 31.000–50.000 g mol^{-1}; 98–99% hidrolisado) foi dissolvido em água (10%, 15% e 20% m/v) sob agitação e aquecimento a 90 °C por 2 h. As soluções foram submetidas à SBS em aerógrafo de dupla ação (Steula, BC60-02), com bico de 0,2 mm e reservatório de 9,0 mL, conectado a um motocompressor (Chiaperini, Silenciar MC, 5 pés, 21 L, 1 HP), sob 6 bar e distância de 30 cm do coletor, utilizando maçarico de gás butano na saída do jato. A morfologia foi avaliada por MET. Para os compósitos, n-HAp foram incorporada ao PVA (5% e 10% m/m) após sonicação em água (Sonics, Vibra-Cell VCX 750, 750 W, 40% de amplitude, 5 min). As dispersões foram adicionadas ao PVA 15%, submetidas as mesmas condições de SBS e caracterizadas por FTIR, DRX e MET.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A síntese das n-HAp foi confirmada por FTIR-ATR, Figura 1a, pela presença das bandas características dos grupos PO_4^{3-}, além de sinais de carbonato e O–H. O DRX, Figura 1b, apresentou reflexões características da estrutura hexagonal da HAp, com destaque para os planos (002), (211) e (300), em 2θ ≈ 25,6°, 31,8° e 32,9°, respectivamente, compatíveis com o padrão JCPDS 09-0432. A ausência de fases secundárias indicou a obtenção de HAp predominantemente pura e cristalina.
A micrografia, Figura 1c, confirmou a síntese de partículas com morfologia irregular e arredondada, com dimensões inferiores a 100 nm.

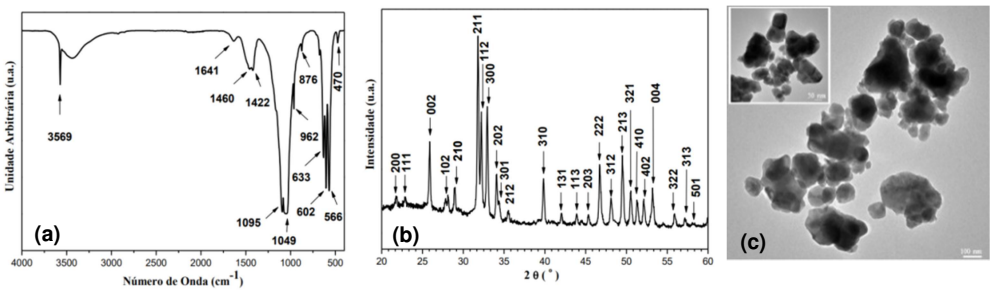


Figura 1. (a) FTIR-ATR, (b) DRX e (c) MET das n-HAp.

O FTIR-ATR do PVA, Figura 2 a, apresentou bandas características dos grupos O-H, C-H, C=O e C-O, confirmando a presença dos grupos funcionais do polímero. O DRX, Figura 2b, apresentou reflexões em 2θ ≈ 19,7°, 22,7° e 40,7°, características dos planos (101), (10-1) e (220), respectivamente, confirmando o caráter semicristalino do PVA (LI, 2023). Nas fibras PVA/HAp, Figuras 2 d,e,f, a presença da fase mineral foi confirmada por FTIR-ATR e DRX, com maior intensidade das reflexões de HAp para a formulação contendo 10% de n-HAp. A micrografia mostrou regiões de maior contraste no interior das fibras, atribuídas às n-HAp, indicando sua incorporação e distribuição na matriz polimérica.

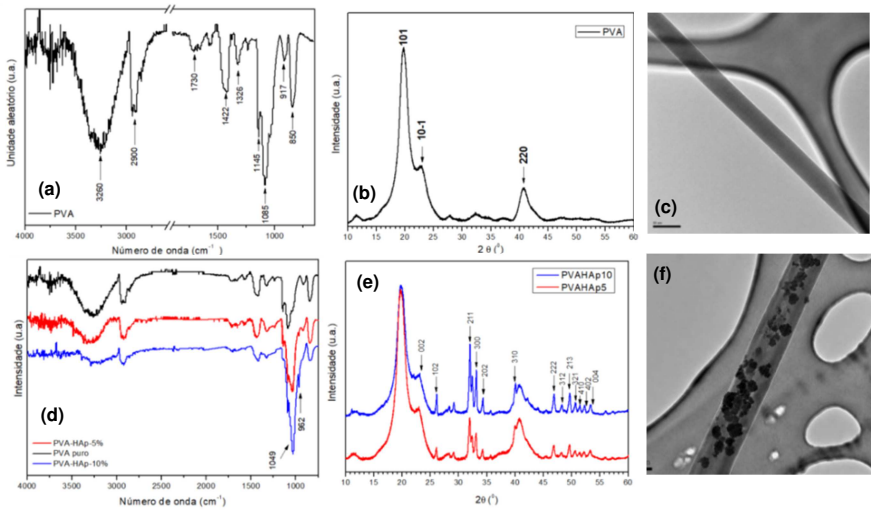


Figura 2. Caracterização das fibras de PVA e PVA/HAp por (a,d) FTIR-ATR, (b,e) DRX e (c,f) MET.

CONCLUSÕES

A síntese de n-HAp e sua incorporação às nanofibras de PVA por SBS resultaram em fibras com características promissoras para aplicações em engenharia de tecidos e regeneração óssea associada à exposição à radiação ionizante.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, a UEM, a COMCAP e ao DCI.

REFERÊNCIAS

GIOSEFFI, J. R. Panorama da Radioterapia no Brasil entre 2018 e 2023. **Observatório de Oncologia**, 27 nov. 2024. Disponível em: https://observatoriodeoncologia.com.br/estudos/tratamento-em-oncologia/2024/panorama-da-radioterapia-no-brasil-entre-2018-e-2023/. Acesso em: 12 ago. 2026.

LI, T. et al. SLS 3D printing to fabricate poly(vinyl alcohol)/hydroxyapatite bioactive composite porous scaffolds and their bone defect repair property. **ACS Biomaterials Science & Engineering**, Washington, DC, v. 9, n. 12, p. 6734-6744, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.3c01014. Acesso em: 12 ago. 2026.

MENG, Q. et al. Recent advances of electrospun nanofiber-enhanced hydrogel composite scaffolds in tissue engineering. **Journal of Manufacturing Processes**, Amsterdam, v. 123, p. 112-127, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.05.085. Acesso em: 14 ago. 2026.

RODRIGUES, M. Á. V. et al. Comparing solution blow spinning and electrospinning methods to produce collagen and gelatin ultrathin fibers: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdam, v. 283, pt. 3, p. 137806, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137806. Acesso em: 14 ago. 2026.

SILVEIRA, B. B. et al. Effects of ionizing radiation on osteoblastic cells: In vitro insights into the etiopathogenesis of osteoradionecrosis. **Archives of Oral Biology**, Amsterdam, v. 172, p. 106172, abr. 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2024.106172. Acesso em: 12 ago. 2026.

SUNG, H. et al. Global cancer statistics 2024: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 34 cancers in 186 countries. **CA: A Cancer Journal for Clinicians**, Hoboken, v. 76, n. 4, e70090, jul./ago. 2026. Disponível em: https://doi.org/10.3322/caac.70090. Acesso em: 12 ago. 2026.