cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROGÉIS DE ALGINATO DE SÓDIO, POLI(ACRILAMIDA) E POLI(ÁLCOOL VINÍLICO): PARÂMETROS DE REDE E POTENCIAL BIOMÉDICO

Paula Iasmin Gonçalves[1], Esther Varreira de Mello[1], Vânia C. de Sousa[1], Luís Alberto L. dos Santos[1]
1.Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Introdução

Hidrogéis são redes poliméricas tridimensionais hidrofílicas com alto teor de água, biocompatibilidade e propriedades mecânicas ajustáveis. Biomateriais de destaque para liberação controlada de fármacos, curativos e engenharia de tecidos [1].

Alginato de Sódio (AS), Poli(acrilamida) (PAAm) e Poli(álcool vinílico) (PVAl) são amplamente estudados individualmente, porém comparações sistemáticas dos três sistemas nas mesmas condições são escassas na literatura.

O mecanismo de reticulação iônico (Ca^{2+}/egg-box), covalente (MBAM) e físico (cristalização por ciclos criogênicos) determina diretamente o inchamento, os parâmetros de rede e o potencial biomédico de cada sistema [1–3].

A rigidez (G') e a malha de rede (ξ) condicionam a resposta celular: substratos com G' ~ 1–10 kPa favorecem diferenciação miogênica e G' ~ 25–40 kPa osteogênica [4], orientando a escolha de cada hidrogel para sua aplicação biomédica.

Objetivos

- Sintetizar hidrogéis de AS, PAAm e PVAl pelos respectivos mecanismos de reticulação (iônico, covalente e físico);
- Comparar os hidrogéis pelos parâmetros da teoria de Flory-Rehner/Peppas-Merrill (Q, Mc, ξ, G') e pelo expoente de transporte de Korsmeyer-Peppas (n);
- Verificar potenciais usos biomédicos dos hidrogéis obtidos com base nesses parâmetros.

Metodologia

SÍNTESE (n = 5/sistema):

AS: gelificação iônica ($CaCl_2$ 2%) | PAAm: polimerização radicalar | PVAl: 3× ciclos −20°C / 25°C

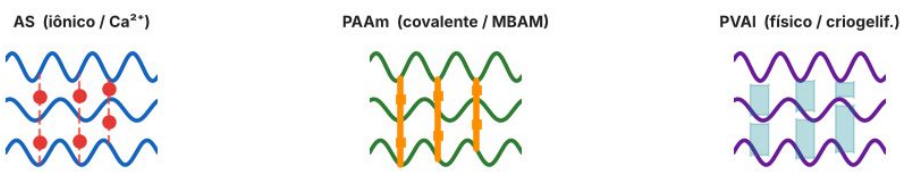


Fig. 1. *Representação esquemática dos mecanismos de reticulação dos três sistemas.*

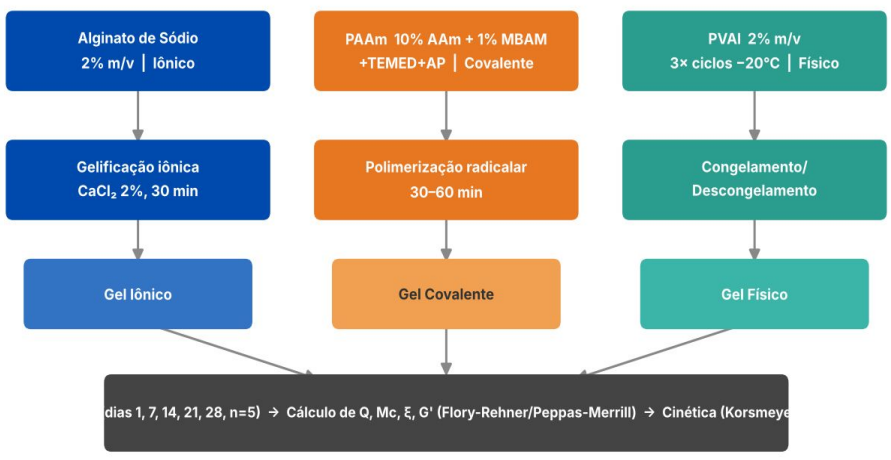


Fig. 2. *Fluxograma de síntese e caracterização dos hidrogéis (n = 5 por sistema).*

Resultados e Discussão

Os géis de PAAm apresentaram maior grau de inchamento (Q = 6,86; ξ = 400 Å) e menor rigidez (G' ≈ 34 kPa), reflexo da baixa densidade de reticulações (Mc = 96.477 g/mol, com apenas 1% de MBAM). O AS, embora baseado em ligações iônicas individualmente mais fracas, forma rede com maior densidade de nós físicos (Mc = 3.375 g/mol - modelo egg-box com Ca^{2+}), resultando em G' ≈ 3.085 kPa, ordem de grandeza acima do PAAm. O PVAl exibiu comportamento intermediário (G' ≈ 214 kPa), compatível com cartilagem articular. Os parâmetros obtidos sugerem nichos biomédicos distintos: o G' do AS (~3 MPa) é compatível com matrizes de suporte ósseo mineralizado; o do PVAl (~214 kPa) situa-se na faixa de cartilagem articular; e o elevado Q do PAAm (ξ = 400 Å) favorece a difusão de princípios ativos, indicando uso em liberação controlada de fármacos [6, 7].

Tabela 1. *Parâmetros de rede e mecânicos dos hidrogéis no equilíbrio (D 28).*

Parâmetro	AS	PAAm	PVAl
Mecanismo	Iônico (Ca^{2+})	Covalente (MBAM)	Físico (criogelif.)
Q (Dia 28)	2,50 ± 0,66	6,86 ± 0,76	2,49 ± 1,40
ξ (Å)	65,8	400,2	199,0
G' (kPa)	3 085	34,4	214

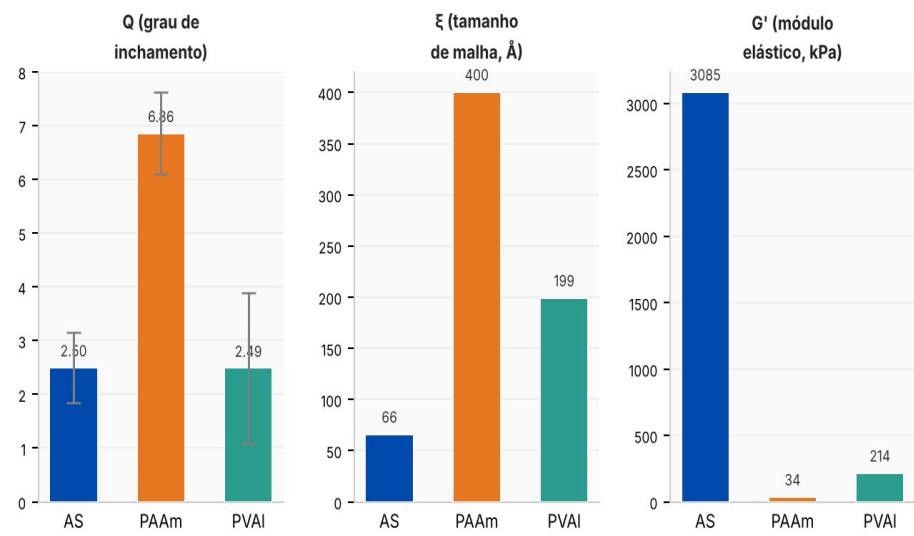


Fig. 3. *Q, ξ e G' no equilíbrio (D28) para AS, PAAm e PVAl (n=5; média ± DP). Cinética de transporte: AS n=0,338 (Fickiano); PAAm n=0,568 e PVAl n=0,516 (anômalo).*

Conclusões

Os três sistemas apresentaram comportamento higroscópico distinto após 28 dias. O AS destacou-se pela maior estabilidade dimensional e rigidez elevada (G' ≈ 3.085 kPa), viabilizando aplicações de suporte estrutural como scaffolds ósseos. O PAAm, com maior swelling e malha larga, é mais indicado para liberação controlada de fármacos. O PVAl, produzido por ciclos de congelamento/descongelamento, apresentou propriedades intermediárias compatíveis com cartilagem articular (G' ≈ 214 kPa), embora a concentração de 2% utilizada seja sub-ótima, indicando margem para otimização. O transporte de fluidos seguiu cinética Fickiana no AS (n = 0,338) e anômala no PAAm e PVAl (n = 0,568 e 0,516, respectivamente), refletindo diferentes densidades de reticulação.

Referências e Agradecimentos

[1] TOMIĆ et al. Marine Drugs, 2023. [2] SHUKLA; BAJPAI. J. Appl. Polym. Sci., v.101, 2006. [3] VOLKMER. Tese UFRGS, 2011.[4] ENGLER et al. Cell, v.126, p.677–689, 2006. [5] HASSAN; PEPPAS. Adv. Polym. Sci., v.153, 2000. [6] HOARE; KOHANE. Polymer, v.49, 2008.[7] LEE; MOONEY. Prog. Polym. Sci., v.37, p.106–126, 2012.

Agradecimentos: CAPES, CNPQ, FAPERGS, FINEP