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

Avaliação da Toxicidade e Caracterização de Resíduo de Mineração encapsulado em Hidrogel de Alginato de Sódio

Maria Lúcia Antunes[1]; Maria Eduarda Pierami[1]; Claudia H. W. Rezende[1]; Elidiane C. Rangel[1]; Jose A. Silva Souza[2].

1.UNESP/ICT-Sorocaba; 2. UFPA

Introdução

As novas tecnologias para a transição energética têm demandado cada vez mais a exploração de diversos minerais. O alumínio tem sido um dos materiais de grande exploração e a sua produção gera muitos resíduos, sendo um deles a lama vermelha (LV). Esse resíduo é rico em Fe, Ti, Si e Al, e possui grande potencial para ser aproveitado em soluções ambientais [1]. Os hidrogéis de alginato de sódio (AS) se destacam como uma tecnologia em expansão, com diversas aplicações sendo investigadas. Trata-se de um material biodegradável e com elevado potencial para o encapsulamento de substâncias, cuja estrutura permite processos de adsorção e lixiviação em interação com o meio.

Objetivos

Este trabalho apresenta a obtenção e caracterização de hidrogéis poliméricos de alginato de sódio contendo lama vermelha e avalia a sua toxicidade e seu uso na germinação de sementes.

Metodologia

A Figura 1 apresenta um esquema do preparo do encapsulamento de LV em AS. O reticulado de AS gelifica na presença de cloreto de cálcio, obtendo-se *beads* esféricas com diferentes porcentagens do resíduo (50% e 100%).

Figura 1. Processo de produção dos hidrogéis



O material produzido foi caracterizado quanto às suas propriedades físico-químicas, grau de inchamento e análise de carbono orgânico total (COT). Foi feita também a caracterização por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por espectroscopia de infravermelho (FTIR). A sua lixiviação foi avaliada por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivo (ICP-OES) e foram feitos testes de toxicidade utilizando semente de alface. Os testes de toxicidade foram realizados em duas fases: (i) avaliação da toxicidade da LV na forma de pó, (ii) comparação entre hidrogéis de alginato puro e hidrogéis contendo LV.

Resultados e Discussão

A Figura 2 ilustra as *beads* de AS e hidrogeis contendo LV em duas proporções diferentes (HLV50 e HLV100). O encapsulamento reduz a alcalinidade da LV (pH: 7,05±0,03). O grau de inchamento (Figura 3) das *beads* de As é reduzido de 125% para 100%, quando incorporado LV. A Tabela 1 apresenta o material lixiviado pelo encapsulamento. O índice de germinação para semente de alface (Tabela 2a) alcançou valores entre 100% e 140% para o hidrogel de LV (Figura 4) e 205 (Tabela 2b) para semente de milho (Figura 5).

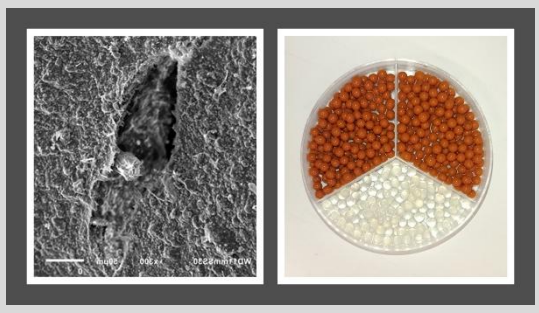


Figura 2. Beads de AS e LV

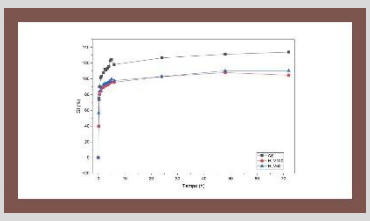


Figura 3. Inchamento

	Al (µg/Kg)	Ca (µg/Kg)	Cr (µg/Kg)	Fe (µg/Kg)	K (µg/Kg)	Mg (µg/Kg)	Na (µg/Kg)
AS	6,71	50,59	---	---	0,017	0,212	0,285
LV	2637,99	5,21	0,22	2,88	22,87	0,14	343,51
HLV	98,14	59,68	---	0,06	---	0,27	9,69

Tabela1. Concentração do material lixiviado

	Germinação	Radícula (mm)	Germinação Relativa (%)	CRR (%)	Indice de Germinação (%)
Controle	8,7±0,6	4,3±0,9	100	100	100
AS	8,7±1,5	5,2±1,4	100	121	121
LV (pó)	8,0±1,0	3,1±0,4	92	71	66
HLV50	7,3±0,6	4,7±0,1	85	110	93
HLV100	10	5,19±0,04	115	121	140

Tabela 2a. *Lactuca Sativa L;*

	Germinação	Radícula (mm)	Germinação Relativa (%)	CRR (%)	Indice de Germinação (%)
Controle	9,3±0,6	7,9±0,7	100	100	100
AS	9,7±0,6	15,0±3,0	104	189	196
LV (pó)	10	11,5±3,9	107	145	155
HLV50	9,3±0,7	12,9±2,9	100	163	163
HLV100	9,7±0,7	16,2±3,4	104	205	205

Tabela 2b. *Zea Mays*



Figura 4. Raízes Alface



Figura 5. Raízes Milho

Conclusões

O encapsulamento de LV em hidrogéis de As, reduz a alcalinidade do resíduo, permite a lixiviação seletiva de alguns elementos químicos e indicam ausência de toxicidade (IG > 80% - semente de alface). O material HLV100 obtido comporta-se como um estimulante a germinação e ao crescimento radicular tanto para as sementes de alface quanto para a sementes de milho. Esses resultados reforçam o potencial dos hidrogéis como alternativa sustentável para o reaproveitamento de resíduos da mineração.

Referências

1FOONG et.al. Chemical Engineering Journal, 526, 171023 (2025)

Agradecimentos

CNPq, PROPe/UNESP e PIBIC/UNESP