


Briquetagem de finos de calcário usando aglomerantes farmacêuticos, alimentícios e inorgânicos

Eduardo Nunes de Magalhães ^{1,2} 

André Carlos Silva ^{1*} 

Elenice Maria Schons Silva ¹ 

Resumo

O reaproveitamento de resíduos é essencial na sustentabilidade do planeta. Dentre os resíduos destacamos os calcários agrícolas classificados granulometricamente como filler. O presente trabalho testou aglomerantes farmacêuticos, alimentícios e inorgânicos, capazes de produzir briquetes que suportassem, no mínimo, 75 quedas de 1,2 m e tempo mínimo de dissolução em água a 25 °C de 8h apresentando menor custo (em dólares por grama) do aglomerante. O objetivo é que esse briquete produzido com calcário filler e aglomerante tenha a possibilidade de ser utilizado como adubo organomineral. O aglomerante mais promissor foi a goma xantana, que produziu briquetes capazes de suportar até 300 quedas de 1,2 m, 11h40min de dissolução em água a 25 °C, com custo de US\$ 0,078/g.

Palavras-chave: Aglomerantes farmacêuticos; Aglomerantes alimentícios; Aglomerantes inorgânicos; Briquetagem; Reaproveitamento de finos.

Pharmaceutical, food and inorganic binders in the production of limestone briquettes

Abstract

Reusing waste is essential for the sustainability of the planet. Among the waste, we highlight agricultural limestone classified granulometrically as filler. The present work tested pharmaceutical, food and inorganic binders, capable of producing briquettes that withstood at least 75 drops of 1.2 m and a minimum dissolution time in water at 25 °C of 8 h, presenting a lower cost (in dollars per gram) of the binder. The objective is that this briquette produced with limestone filler and binder has the possibility of being used as organomineral fertilizer. The most promising binder was xanthan gum, which produced briquettes capable of withstanding up to 300 drops of 1.2 m, 11.67 h of dissolution in water at 25 °C, at a cost of US\$ 0.078/g.

Keywords: Pharmaceutical binders; Food binders; Inorganic binders; Briquetting; Fines reuse.

1 Introdução

Os estudos sobre corretivos, fertilizantes e condicionadores de solo sempre foram relevantes, mas nos últimos anos vêm ganhando grande destaque devido a necessidade de produção cada vez maior de alimentos para uma população de 8 bilhões de pessoas, somadas a desmobilização das cadeias produtivas advindas da pandemia COVID-19 e a conflitos como Rússia- Ucrânia. Logicamente isso gera uma pressão sobre o meio ambiente e o planeta, porém se considerarmos que estes recursos são escassos e que o Brasil é altamente dependente, uma vez que a maior parte dos fertilizantes químicos brasileiros são importados, o tema

se torna ainda mais inadiável. Uma das formas da pesquisa auxiliar o assunto é buscar a excelência na eficiência do uso dos fertilizantes principalmente macronutrientes como fósforo, potássio e nitrogênio devido ao volume demandado pelas culturas [1].

É notório que a Ciência dos Materiais busca de forma diligente aproveitar os mais diferentes resíduos, no entanto tem optado por polímeros sintéticos que são caros, além de produzir um passivo ao solo devido sua origem inorgânica. Um método pouco explorado no desenvolvimento de fertilizantes e condicionadores de solo é a briquetagem

¹Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral, LaMppMin, Universidade Federal de Catalão, UFCAT, Catalão, GO, Brasil.

²Instituto Federal do Triângulo Mineiro, IFTM, Patos de Minas, MG, Brasil.

*Autor correspondente: ancarsil@ufcat.edu.br



de finos, porém com grande potencial, haja vista, a grande quantidade de resíduos que possuímos na matriz produtiva brasileira incluindo a atividade minerária. Um dos processos de briquetagem que possui grande destaque é o de compressão direta, ou seja, aquele onde a massa é comprimida dentro de moldes com carga e tempos variáveis dependendo do material e dos objetivos, sendo muito conhecida na mineração [2] e na agricultura [3] sendo inclusive o principal processo de produção nas indústrias farmacêuticas [4] e alimentícias [5]. Independentemente do processo de aglomeração torna-se imprescindível o uso de incipientes, sejam eles aglomerantes, desmoldantes ou umectantes. Nesse aspecto a indústria alimentícia e farmacêutica apresenta grande destaque, haja vista a enorme quantidade de seus produtos produzidos pela aglomeração de finos. Isso é graças ao alto investimento em pesquisas na busca por características desejáveis aos seus produtos e ao grande valor agregado, criando a possibilidade de uso dessas tecnologias em outras áreas como a mineração [4,5].

Um destes produtos é o sorbitol, considerado um excelente umectante, plastificante e agente estabilizador. Trata-se de um sólido higroscópico, branco, inodoro e cristalino. Possui algumas vantagens como o fato de alta estabilidade química a temperatura ambiente. Assim como o sorbitol, a glicerina tem ampla utilização na indústria farmacêutica principalmente nas formulações de supositórios, anestésicos, xaropes, antissépticos e antibióticos. Esses materiais também são empregados como excipientes na fabricação de alimentos, usado como aglomerantes na fabricação de filtros de cigarro, na produção de dinamites e fabricação de tintas [6].

Assim como os aglomerantes farmacêuticos, tem-se na indústria alimentícia excelentes opções como as gomas, dentre as quais pode-se citar a goma xantana um polissacarídeo produzido pela bactéria *Xanthomonas campestris*, solúvel em água, que mantém as propriedades reológicas, em altas ou baixas temperaturas [7], bastante disseminada devido o seu custo e disponibilidade no mercado [8], tendo na indústria alimentícia um uso da ordem de 1% do produto final [9]. Já a goma guar é obtida através da planta *Cyamopsis tetragonoloba* muito utilizada na alimentação animal e no processamento industrial por possuir alta

solubilidade em água e capaz de formar hidrogéis [10] utilizado em alimentos na concentração de 1% [11,12].

Já a goma arábica ou goma acácia obtida pelo exsudato dos troncos e dos ramos da *Acácia Senegal (Linne)* é bastante utilizada na preparação de suspensões, emulsões, e aglomerante na produção de comprimidos convencionais, principalmente devido suas características de hidrossolubilidade, formando uma camada aderente na fabricação de drágeas.

Outro importante material é a gelatina obtida por hidrólise parcial do colágeno oriundo da pele de suíno, couro e ossos de bovino [13] com excelentes propriedades reológicas de aglutinação e formação de géis [14] proporcionando uma gama maior de aplicação em diferentes concentrações.

Em termos de concentração, Hayakawa et al. [15] verificaram que a concentração que proporcionou os melhores resultados na concentração de géis foi de 0,5 a 1%. Na aglomeração de fertilizantes, corretivos e condicionadores de solo além do estudo do melhor aglomerante é imprescindível o conhecimento químico de cada um deles. Vários estudos já comprovaram que o uso de corretivos agrícolas como o calcário é essencial para melhorar o aproveitamento dos fertilizantes e alcançar maior produtividade das culturas exploradas [16,17]. A ideia desenvolvida é justamente utilizar o calcário filler (pó de calcário) juntamente com um aglomerante para produzir um briquete capaz de suportar, no mínimo, 75 quedas de 1,2 m e tempo mínimo de dissolução em água a 25 °C de 8h apresentando menor custo (em dólares por grama) e que tenha empregabilidade como adubo organomineral. Outra premissa, foi a escolha do aglomerante que fosse biodegradável, não sintético, de fácil aquisição e com custo justificável perante aqueles existentes no mercado.

2 Metodologia

Os insumos utilizados no presente trabalho, bem como seu fornecedor, podem ser vistos na Tabela 1. Os aglomerantes e o adubo líquido foram adquiridos comercialmente e testados em laboratório apenas para verificação das garantias mínimas estabelecidas, não sendo encontrado diferenças superiores a 1% para nenhum deles.

Tabela 1. Insumos utilizados

Insumos	Tipo	Fabricantes/Fornecedores
Sorbitol	Farmacêutico	Valdequímica Produtos Químicos LTDA
Gelatina	Alimentício	Gelita do Brasil LTDA
Glicerina	Alimentício	Farmax LTDA
Glucose	Alimentício	2 Rodas Industrial LTDA
Goma guar	Alimentício	Doramus Alimento LTDA
Goma xantana	Alimentício	Leve Croc LTDA
Goma arábica	Alimentício	TCA LTDA
Gesso	Inorgânico	-
Adubo líquido (Vitan)		Satis Indústria e Comércio LTDA
Calcário agrícola dolomítico	Inorgânico	Cala Calcário Lagamar LTDA

A Figura 1 apresenta o custo de cada insumo. É possível notar que o calcário agrícola era o segundo insumo mais barato utilizado no trabalho, mais caro apenas que o gesso. O calcário utilizado foi classificado como dolomítico com 11,25% de óxido de magnésio e com 94,29% do material passante em malha de 0,3 mm. Já o gesso apresentou 98,32% de material passante 0,15 mm. Os aglomerantes testados foram de origem farmacêutica (sorbitol e glicerina), alimentícia (glucose, goma quar, goma xantana, goma arábica) e um inorgânico (gesso de construção). Variou-se os aglomerantes em 6 níveis (0,25; 0,50; 1,00; 1,25; 1,50 e 2,00 g) fixando-se a massa de calcário em 10 g e o volume de adubo líquido adicionado em 8 ml. Os insumos foram homogêneos manualmente por 10min (até atingir completa homogeneidade da mistura) com umidade controlada em 8%. Como o controle da umidade deve levar em conta a quantidade de água presente em cada material foi determinado esse parâmetro pelas metodologias preconizadas para o calcário e adubo líquido conforme Brasil [18] e para aglomerantes farmacêuticos e alimentícios segundo IAL [19].

A briquetadeira utilizada foi a do tipo prensa hidráulica, suas características estão apresentadas no estudo de Barros [20], sendo utilizada carga apenas conformativa limitada a 20 kgf. Após a conformação, os briquetes foram armazenados por 48 horas na sombra e à temperatura ambiente para sua cura. Na sequência foram realizados os testes de dissolução em água a 25 °C [21] e teste de queda (também conhecido como *shatter test*) [22]. Todos os testes foram realizados em triplicatas, garantindo que o coeficiente de variação entre as repetições fosse sempre menor que 15%.

Um teste estatístico do tipo análise de variância (ANOVA) foi aplicado aos resultados de modo a verificar se o tipo de aglomerante e a sua dosagem eram significativos no tempo de dissolução em água e na resistência à queda dos briquetes, com limite de confiança de 95%. Posteriormente uma otimização numérica foi realizada de modo a maximizar tanto o tempo de dissolução em água quanto a resistência à queda dos briquetes para uma dosagem de aglomerante variando de 0,25 a 2,00 g. Para tal, foi utilizado o software Design-Expert 13 © da Stat-Ease.

3 Resultados e discussões

Os resultados obtidos para os testes de dissolução em água e queda são apresentados na Figura 2. Nota-se que tanto os aglomerantes farmacêuticos estudados quanto o gesso de construção apresentaram resultados inferiores para a dissolução em água e para a resistência à queda. O sorbitol suportou no máximo 11 quedas e aproximadamente 2 minutos em água a 25 °C até sua diluição. Acredita-se que estes resultados sejam devidos ao fato do sorbitol ser um álcool de açúcar muito estável e quimicamente não reativo, sendo necessária alta compressão para promover a aderência de partículas finas, como é o caso da produção de comprimidos farmacêuticos. Desta forma, a aplicação de

uma carga conformativa, como no presente trabalho, seria insuficiente para promover a aglomeração dos finos de calcário. A glicerina apresentou valores inferiores ao sorbitol, o que pode estar ligado ao fato desta ser composta por glicerol, o que lhe confere grande solubilidade em água e natureza higroscópica [23,24]. Os piores resultados foram obtidos para o gesso de construção, um aglomerante inorgânico e quimicamente inativo [25,26]. O gesso utilizado nos experimentos era hemi-hidrato do tipo β , ou gesso comum, diferindo-se do gesso tipo α pelo método de calcinação e de produção, que pode ser por via seca ou úmida.

Acredita-se que a adoção do gesso tipo α poderia produzir briquetes com resistências diferentes, mas não se espera valores superiores aos obtidos para os aglomerantes farmacêuticos [27].

Os aglomerantes alimentícios testados apresentaram resultados superiores aos disponíveis na literatura [20,28]. Nesses trabalhos, os briquetes de calcário suportaram um limite máximo de 20 quedas e um tempo de dissolução máximo de 4min30s, classificando-os como de baixa resistência, não havendo ganho significativo quanto à liberação lenta dos nutrientes contidos no calcário [29].

Os resultados obtidos com a goma xantana para o teste de queda foram superiores a todos os aglomerantes testados, chegando a suportar 310 quedas (para uma massa de aglomerante adicionada de 2,0 g). Infere-se que o resultado pode ser devido a goma xantana ser formada por unidades repetidas de pentassacarídeos unidos por duas unidades de glicose, uma unidade de ácido glucurônico e duas unidades de manose, além de grupos piruvato e acetil que combinados criam uma estrutura química bastante estável e quimicamente ativa.

Essa estabilidade e afinidade química conferem à goma xantana alta compatibilidade com produtos diversos tais como ácidos, bases, sais, solventes, enzimas, surfactantes e conservantes levando a um aumento na resistência mecânica e dissolução do briquete produzido [30]. O melhor resultado para a dissolução em água foi obtido para a gelatina que suportou até 20 horas até sua completa dissolução em água a 25 °C. A gelatina, assim como todas as proteínas, é composta por L-aminoácidos unidos por ligações peptídicas.

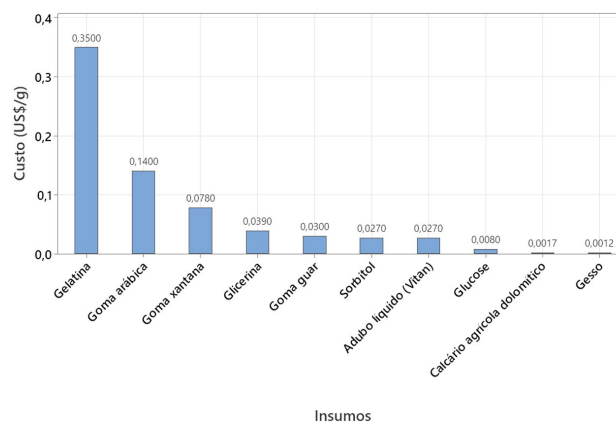


Figura 1. Custo dos insumos usados no presente projeto (US\$/g).

A gelatina é formada inicialmente por cadeias primárias, com aproximadamente 1.050 aminoácidos, em seu processo de consolidação. Na sequência são formadas três cadeias secundárias em forma de espiral (tríplice hélice) [31]. A superposição de vários helicóides triplos formam as fibras de colágeno sendo posteriormente estabilizadas por meio de ligações cruzadas, que formam uma estrutura de rede tridimensional. É justamente essa estrutura a responsável pela insolubilidade do colágeno, que através

do aquecimento entre 30-35 °C sofre uma forte hidrólise parcial, sendo transformado em colágeno solúvel, resultando na gelatina ou no colágeno hidrolisado [32]. Quando ocorre o resfriamento, o colágeno volta a se tornar insolúvel. Desta forma, acredita-se que a explicação para o longo tempo de dissolução em água da gelatina seja devido à insolubilidade do colágeno em temperatura ambiente. Contudo, as suas fracas ligações peptídicas podem ser responsáveis pela baixa resistência à queda [33].

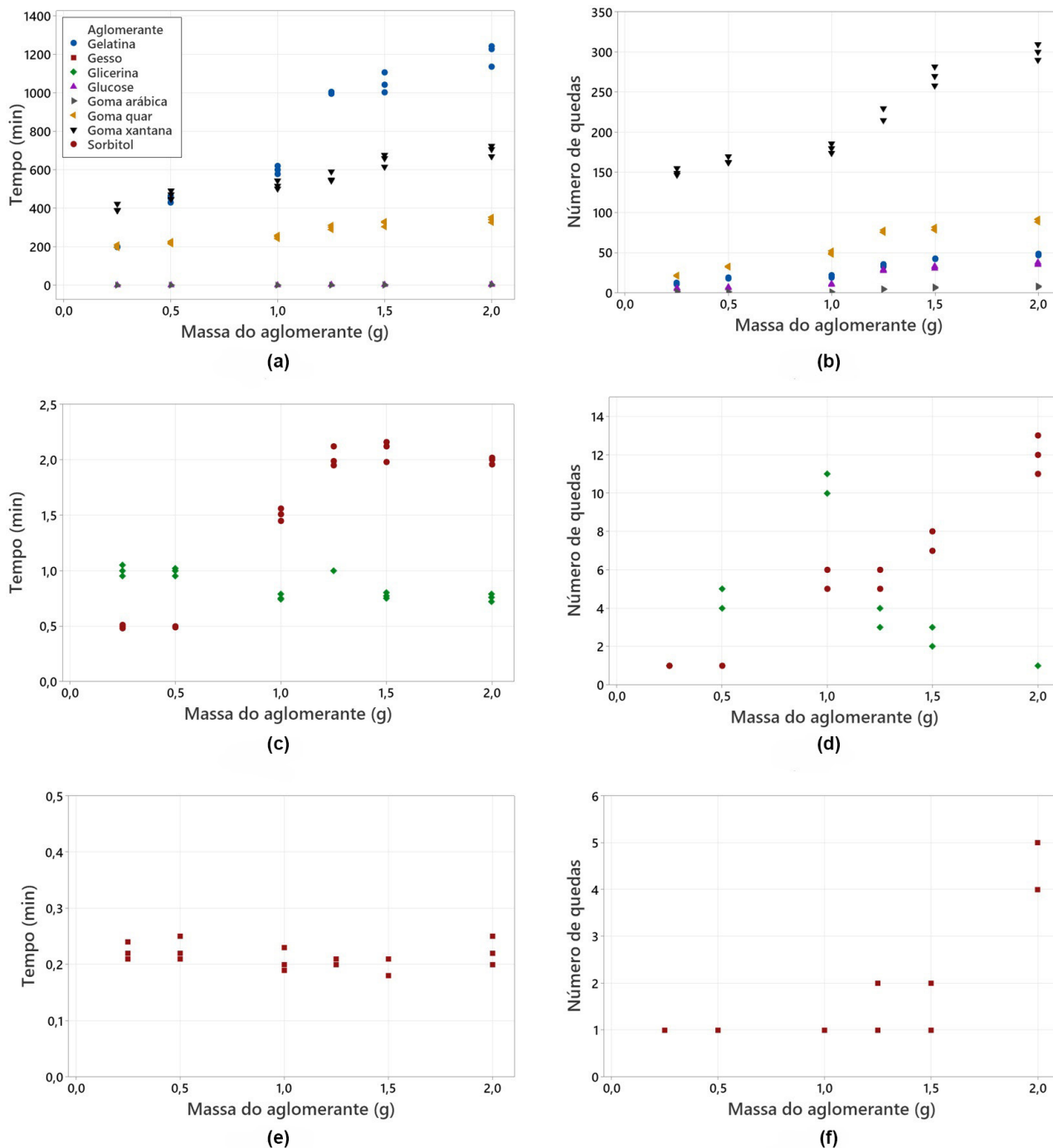


Figura 2. Resultados obtidos para o tempo de diluição dos briquetes em água e número de quedas para os aglomerantes alimentícios (a, b), farmacêuticos (c, d) e inorgânico (e, f).

A glicose apresentou número de quedas ligeiramente inferior à gelatina e baixa dissolução (3min30s em média, Figura 2). Esses resultados podem estar ligados ao fato de a glicose possuir grupos poliálcoois e aldeídos, apresentando alta reatividade principalmente com a água [34]. Desta forma, a glicose apresenta excelente ligação química ao calcário. Porém alta solubilidade em água já que são dois grupos com grande afinidade pela água. Contudo os resultados no teste de queda foram relativamente baixos, suportando um máximo de 38 quedas.

A goma arábica apresentou os piores resultados dentre os aglomerantes alimentícios, mas superior aos aglomerantes farmacêuticos e ao gesso de construção civil testados. A goma arábica trata-se de um composto complexo que possui caráter ligeiramente ácido. A goma arábica é composta por glicoproteínas, polissacarídeos e os seus sais associados de cálcio, magnésio e potássio [35], sendo seu principal composto o ácido arábico (ou arabina), um polissacarídeo ramificado. Esse composto é formado por uma D-galactose (1,3) ligada a (1,6) Larabinose, Lrhamnose e ácidos D-glucorônicos. As proteínas formadas são conhecidas por arabinogalactanos, ricas em hidroxiprolina [36]. Essas características conferem à goma arábica um caráter tanto hidrofílico quanto hidrofóbico. Esse caráter hidrofóbico vem provavelmente das cadeias de polipeptídeos hidrofóbicos, sendo absorvidos e prendendo as moléculas de água na sua superfície. Já os blocos de carboidratos provocam a inibição na floculação e coalescência pelo fenômeno da repulsão eletrostática e estérica [37,38].

Finalmente, a goma guar mostrou-se um interessante aglomerante quanto à dissolução em água e o teste de

queda (Figura 2). Contudo, os resultados obtidos foram inferiores à goma xantana. Acredita-se que tais resultados estejam ligados as características espessantes, estabilizantes e de alta viscosidade da goma guar quando hidratada com água em temperatura ambiente [38], como o ocorrido no presente trabalho. Desta forma, é possível que a goma guar não tenha sido ativada, ou tenha sido apenas parcialmente ativada, e com isso não produziu os resultados desejados no presente trabalho. Por se tratar de uma galactomana, uma das principais características da goma guar é a formação de dispersões altamente viscosas quando hidratada com água fria, gerando propriedades pseudoplásticas não tixotrópicas compatíveis com um fluido não-newtoniano, o que leva ao aumento exponencial da viscosidade com o aumento da concentração da goma em água fria [39].

Para a análise de variância dos resultados obtidos foi adotado um modelo polinomial de quinto grau para modelar os resultados das duas respostas (dissolução em água e resistência à queda). Tal modelo foi adotado uma vez que era o modelo que melhor se ajustava aos dados experimentais, com ajuste (R^2) acima de 98%.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados para os testes de dissolução dos briquetes em água à 25 °C e resistência à queda, respectivamente. Termos não significativos foram omitidos (p -valor > 0,05) e removidos do modelo. É possível notar que para ambos os testes a massa e o tipo do aglomerante interferiram nos resultados obtidos, bem como as interações entre os dois parâmetros em graus mais altos (4 °C e 5 °C).

Os resultados da otimização numérica podem ser vistos na Tabela 4, para desejabilidade acima de 0,25.

Tabela 2. Análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o tempo de dissolução dos briquetes em água à 25 °C

Fonte	F-valor	p-valor
Modelo	396,13	< 0,0001
A - Massa do aglomerante	646,25	< 0,0001
B - Aglomerante	1855,89	< 0,0001
AB	300,72	< 0,0001
A ²	6,39	0,013
A ² B	5,47	< 0,0001
A ⁴	7,85	0,0061
A ⁴ B	3,26	0,0037
A ⁵	11,40	0,001

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) dos resultados obtidos para o teste de queda à 1,20 m

Fonte	F-valor	p-valor
Modelo	1577,14	< 0,0001
A - Massa de aglomerante	2314,46	< 0,0001
B - Aglomerante	8116,27	< 0,0001
AB	504,83	< 0,0001
A ² B	15,80	< 0,0001
A ³	45,65	< 0,0001
A ³ B	14,93	< 0,0001
A ⁴	29,98	< 0,0001
A ⁴ B	16,85	< 0,0001
A ⁵	11,49	0,001

Tabela 4. Resultados da otimização numérica

Número da solução	Massa de aglomerante (g)	Aglomerante	Tempo de dissolução (min)	Número de quedas	Desejabilidade
1	2,0	G. xantana	700,5	300	0,739
2	0,5	G. xantana	475,4	165	0,451
3	2,0	Gelatina	1196,8	48	0,383
4	2,0	Goma quar	340,4	90	0,281
5	1,5	Goma quar	318,2	82	0,259

É possível notar que o melhor resultado encontrado é para a goma xantana, com massa de aglomerante a ser usada de 2,0 g, sendo esperado que os briquetes suportem mais de 300 quedas e um tempo de dissolução superior a 700 minutos.

4 Conclusões

Testes de briquetagem de finos de calcário agrícola e adubo líquido foram conduzidos com oito aglomerantes diferentes usando-se uma briquetadeira de prensa. Desta forma, briquetes cilíndricos foram conformados, deixados para cura a sombra e posteriormente testados para solubilização em água à 25 °C e testes de queda de 1,20 m de altura. Os melhores resultados obtidos foram para 2,0 g de goma xantana, que suportou em média mais de 300 quedas e 12h em água à 25 °C. No tocante ao custo deste insumo (US\$ 0,078), a goma xantana foi o terceiro mais caro aglomerante testado,

ficando atrás apenas da gelatina (448,72% mais cara) e da goma arábica (179,49% mais cara).

Sugere-se como trabalhos futuros o estudo de outros aglomerantes farmacêuticos, alimentícios e inorgânicos, além de outras condições para aqueles já testados. Como a aglomeração de finos de calcário junto com fertilizantes (sólidos ou líquidos) é uma nova perspectiva científica, acredita-se na briquetagem como uma forma de desenvolvimento de novos materiais para uso agrícola.

Agradecimentos

Os autores agradecem às empresas que forneceram os insumos, imprescindíveis para a realização do presente trabalho, bem como à Universidade Federal de Catalão e ao Laboratório de Modelamento e Pesquisa em Processamento Mineral (LaMPPMin).

Referências

- 1 Alvarez VVH, Novais RF, Barros NF, Catarutti RB, Lopes AS. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez VH, editores. 5ª aproximação – recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais; 1999. p. 25-32.
- 2 Feeco International. The agglomeration handbook. Green Bay: Feeco International; 2018.
- 3 Dias JMC, Santos DT, Braga M, Onoyanma MM, Miranda CHB, Barbosa PFD, et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. Brasília: Embrapa Agroenergia; 2012. 103 p.
- 4 Moreira RF. Farmacotécnica de formas farmacêuticas sólidas. *Fármacos & Medicamentos*. 2007(47):15-23.
- 5 Ascheri JLR, Carvalho CWP. Processo de extrusão de alimentos: aspectos tecnológicos para o desenvolvimento e produção de alimentos para consumo humano. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos; 2008. 82 p. Apostila do Curso de Extrusão Termoplástica de Alimentos.
- 6 Larsen AC. Co-digestão anaeróbia de glicerina bruta e efluente de fecularia [dissertação]. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná; 2009. 55 p.
- 7 Köksel HF. Effects of xanthan and guar gums on quality and staling of gluten free cakes baked in microwave-infrared combination oven [dissertação]. Ankara, Turquia: Department of Food Engineering/Middle East Technical University; 2009.
- 8 Preichardt LD, Vendruscolo CT, Gularte MA, Moreira AS. O papel da goma xantana na qualidade de bolos sem glúten: produtos de panificação aprimorados para pacientes celíacos. *Revista Internacional de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2011;46(12):2591-2597.
- 9 Brasil. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 45, de 3 de novembro de 2010. Dispõe sobre aditivos alimentares autorizados para uso segundo as Boas Práticas de Fabricação (BPF). *Diário Oficial da União*. 2010 Nov 5; Seção 1.
- 10 Mudgil D, Barak S, Khatkar BS. Guar gum: processing, properties and food applications – a review. *Journal of Food Science & Technology*. 2014;51:409-418.

- 11 Karaman S, Kesler Y, Goksel M, Dogan M, Kayacier A. Rheological and some physicochemical properties of selected hydrocolloids and their interactions with guar gum: characterization using principal component analysis and viscous synergism index. *International Journal of Food Properties*. 2014;17:1655-1667.
- 12 Chivero P, Gohtani S, Yoshii H, Nakamura A. Effect of xanthan and guar gums on the formation and stability of soy soluble polysaccharide oil-in-water emulsions. *Food Research International*. 2015;70:7-14.
- 13 Alfavaro AT. Otimização das condições de extração e caracterização da gelatina de pele de tilápia (*Oreochromis urolepis hornorum*) [tese]. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas; 2008. 134 p.
- 14 Granada GG, Zambiasi RC, Mendonça CRB, Silva E. Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de geleias light de abacaxi. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*. 2005;25(4):629-635.
- 15 Hayakawa F, Kazami Y, Ishihara S, Nakao S, Nakauma M, Funami T, et al. Characterization of eating difficulty by sensory evaluation of hydrocolloid gels. *Food Hydrocolloids*. 2014;38:95-103.
- 16 Aula L, Dhillon JS, Omara P, Gwendolyn BW, Kyle WF, William RR. World sulfur use efficiency for cereal crops. *Agronomy Journal*. 2019;111(5):2485-2492.
- 17 Costa CHM. Calagem superficial e aplicação de gesso em sistema plantio direto de longa duração: efeitos no solo e na sucessão milho/crambe/feijão-caupi [tese]. Botucatu: Programa de Pós-graduação em Agronomia/Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”; 2015. 97 p.
- 18 Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Brasília: MAPA; 2017.
- 19 Instituto Adolfo Lutz – IAL. Normas analíticas: métodos químicos e físicos de composição de alimentos. 5. ed. São Paulo: IAL; 2008.
- 20 Barros MR. Caracterização e avaliação da utilização de aglomerantes orgânicos e inorgânicos na aglomeração de finos de calcário [dissertação]. Catalão: Universidade Federal de Goiás; 2016.
- 21 Carvalho EA, Brinck V. Aglomeração – parte I: briquetagem. In: Luz AB, Sampaio JA, França SCA, editores. Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010. p. 681-750.
- 22 Luz AB, Sampaio JA, França SCA. Tratamento de minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2010.
- 23 Abd-Elsamee MO, Abdo ZMA, Elmanylawi MAF, Salim IH. Use of crude glycerin in broiler diets. *Egyptian Poultry Science*. 2010;30:281-295.
- 24 Dozier WA, Kerr BJ, Corzo A. Apparent metabolizable energy of glycerin for broiler chickens. *Poultry Science*. 2008;87:317-322.
- 25 Adrien J, Meille S, Tadier S, Maire E, Sasaki L. *In-situ* X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting. *Cement and Concrete Research*. 2016;82:107-116.
- 26 American Society for Testing and Materials. ASTM C28/C28M-10: standard specification for gypsum plasters. Pennsylvania: ASTM; 2015.
- 27 Borges LEP, Melo EB, Barreto SB, Assis M, Menor EN, Bazante ALS. Caracterização mineralógica/cristalográfica da gipsita do Araripe. In: Sociedade Brasileira de Geologia. Anais do XLI Congresso Brasileiro de Geologia; 2002 Set 15-20; João Pessoa, Brasil. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia; 2002. p. 184.
- 28 Marinho DY. Produção de adubos de liberação lenta utilizando a briquetagem de finos de calcário e melado de cana: estudos iniciais [dissertação]. Catalão: Universidade Federal de Goiás; 2019.
- 29 Machado VJ. Resposta da cultura do milho aos fertilizantes fosfatados e nitrogenados revestidos com polímeros [dissertação]. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia; 2012. 72 p.
- 30 Kiosseoglou A, Papalamprou E, Makri E, Doxastakis G, Kiosseoglou V. Functionality of médium molecular weight xanthan gum produced by *Xanthomonas Campestris* ATCC 1395 in batch culture. *Food Research International*. 2003;36:425-430.
- 31 Abdelhedi O, Jridi M, Nasri R, Mora L, Toldrá F, Nasri M. Rheological and structural properties of *Hemiramphus far* skin gelatin: potential use as an active fish coating agent. *Food Hydrocolloids*. 2019;87:331-334.
- 32 Huang T, Tu Z, Shangguan X, Wang H, Sha X, Bansal N. Rheological behavior, emulsifying properties and structural characterization of phosphorylated fish gelatin. *Food Chemistry*. 2018;246:428-436.
- 33 Gelatin Manufacturers Institute of America. Gelatin handbook. New York: Gelatin Manufacturers Institute of America; 2012..
- 34 Lehninger AL, Cox MM. Princípios de bioquímica. 6. ed. Porto Alegre: ARTMED; 2014.

- 35 Gupta VK, Bechert TE, Deusch NJ, Hariharan M, Price JC. Investigation of potential ionic interactions between anionic and cationic polymethacrylates of multiple coatings of novel colonic delivery system. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 2002;28(2):207-215.
- 36 Gabas VGS, Cavalcanti OA. Influência da adição da goma arábica em filmes isolados de polímero acrílico: estudo das propriedades de intumescimento e de permeabilidade. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*. 2003;39(4):441-448.
- 37 Rodríguez JMB, Flores EA, Lizarazo CM, Bonilla ELAPG, Gutierréz LMX, Carvajal Q. Moisture adsorption isotherms of the borojó fruit (*Borojoa patinoi*. Cuatrecasas) and gum arabic powders. *Food and Bioproducts Processing*. 2015;94:187-198.
- 38 Alam NH, Meier R, Schneider H, Sarker SA, Bardhan PK, Mahalanabis. D. Partially hydrolyzed guar gum-supplemented oral rehydration solution in the treatment of acute diarrhea in children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 2000;31(5):503-507.
- 39 Tuinier R, Tem GE, Kruif CG. The effect of depolymerised guar gum on the stability of skim milk. *Food Hydrocolloids*. 2000;14(1):1-7.

Recebido em: 12 Jun. 2023

Aceito em: 3 Nov. 2023