

GRANULAÇÃO DE FOSFOGESSO

L.L. CARVALHO⁽¹⁾, T.S.CARRIJO⁽²⁾, K. CARVALHO⁽³⁾ e H.M. HENRIQUE⁽⁴⁾

^{(1), (2) e (4)} Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química

⁽³⁾ Agronelli Insumos Agrícolas

E-mail para contato: ⁽¹⁾ leonardocarvalho.equi.ufu@gmail.com, ⁽²⁾ taynacarrijo@hotmail.com
e ⁽³⁾ kenedy.carvalho@agroindustria.agr.br, ⁽⁴⁾ humberto@ufu.br

RESUMO – O gesso agrícola ou fosfogesso é um subproduto da produção de ácido fosfórico gerado em larga escala, uma vez que se obtém aproximadamente 4,5 kg de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ /kg de ácido fosfórico produzido. Atualmente o fosfogesso é largamente utilizado na agricultura como condicionador de solos. No entanto, sua elevada umidade, cerca de 35% em massa, dificulta sua aplicação no solo e aumenta os custos de logística na sua comercialização e aplicação em solo. Visando atenuar os custos de logística e facilitar o seu manuseio, o presente trabalho tem como objetivo de realizar prospecções sobre formas de se granular o fosfogesso. Por conseguinte, será avaliada a utilização do material *in natura* e calcinado; três tipos de aglutinantes (bentonita, cimento e cal calcítica), bem como suas razões mássicas (10% e 20%) e três tipos de ligantes (ácido sulfúrico, polímero e água).

1. INTRODUÇÃO

O solo é um produto resultante de fatores como tempo, clima e relevo, tendo características marcantes relacionadas à intensidade de cada um destes fatores. Os solos que se encontram em clima quente e com altas precipitações possuem o pH próximo de 5,5, ou seja, são ácidos.

Solos ácidos geralmente apresentam teores de alumínio e manganês que podem ser tóxicos às plantas, prejudicando seu desenvolvimento e reduzindo os rendimentos. Os problemas da toxidez de alumínio normalmente começam quando o pH apresenta-se abaixo de 5,5, alcançando o valor máximo de Al trocável em pH 4,1 (Primavesi, 2002).

O cálcio tem basicamente quatro funções no solo: a de corrigir o pH, ou seja, ocupar os lugares vazios do complexo de troca; neutralizar o alumínio e o manganês tóxicos; ser agente floculante do solo, contribuindo com melhor agregação e, por último, ser nutriente (essencial) para as plantas (Portz, 2008). O gesso agrícola é subproduto da fabricação do ácido fosfórico, que é necessário à produção de superfosfato triplo e fosfatos de amônio. Devido à grande quantidade com que é produzido, isto é, para cada tonelada de P_2O_5 produzida na forma de ácido fosfórico obtém-se 4,5 toneladas de fosfogesso, seu acúmulo tornou-se um problema mundial da indústria de fertilizante (Lopez *et al*, 2010).

O fosfogesso tem sido usado em solos ácidos para melhorar o ambiente radicular das plantas e na recuperação de solos afetados por sais. Ele pouco afeta o pH do solo, não mais do que 0,3 unidades, mesmo quando aplicado em doses elevadas (Meurer, 2004). Para solucionar problemas com transporte e manuseio e minimizar perdas na aplicação é que se opta por

granular o fosfogesso. Outra questão é o fato de representar uma solução sustentável, pois também preserva o bem estar do agricultor (que não vai aspirar ao pó fino) que manipula o produto na forma sólida granular (Lopez *et al*, 2010).

Com o intuito de facilitar a aplicação e reduzir custos de logística na comercialização e distribuição, esse trabalho teve o enfoque na determinação e estudo de possíveis formas de se se empregar aglutinantes como bentonita, cal calcítica e cimento, bem como ligantes (ácido sulfúrico 20%, polímero 50% e água) na granulação do gesso agrícola, avaliando a dureza do seu grânulo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O gesso agrícola empregado na granulação apresentou 14% de cálcio (Ca) e 17% de enxofre (S), foi fornecido pela empresa Agronelli Insumos Agrícolas e foi produzido pela Vale Fertilizantes S/A no complexo industrial de Uberaba/MG. Utilizou-se como aglutinante: bentonita, cimento e cal calcítica e como agente ligante usou-se ácido sulfúrico 20% em massa, polímero 50% em massa e água.

2.2 Análise de Dureza dos Grânulos

Para a análise de dureza selecionou-se 10 grânulos uniformes de cada ensaio com auxílio de peneiras com granulometria entre 3,00 e 3,35 mm e realizou-se a medição com auxílio de um bastão de vidro e balança semi-analítica. O grânulo era submetido a compressão com bastão no prato da balança até o momento de sua ruptura. Neste momento era realizado o registro da leitura na balança.

2.3 Procedimento Experimental

Alguns ensaios foram realizados com o fosfogesso calcinado e outros com fosfogesso *in natura*. Logo, para obtenção do material calcinado, o gesso agrícola foi calcinado em uma mufla a 300° C por três horas e, posteriormente, colocado no dessecador para resfriar até a temperatura ambiente.

A unidade de granulação utilizada foi um granulador de pratos de 50 cm de diâmetro dotado de motor elétrico de ½ CV e tensão 220 V. Para pulverização da solução ligante dispunha-se de borrifadores com capacidade de 500 mL. Assim, definiu-se a angulação da do granulador e regulou-se a vazão dos pulverizadores, a fim de minimizar quaisquer diferenças. Em seguida, inseriu-se o fosfogesso previamente homogeneizado com o aglutinante. Com equipamento em funcionamento, iniciou-se a aspersão da solução ligante até que a granulação fosse concluída. O processo de granulação de cada ensaio durou, em média, vinte minutos. Após granulado, o material seguiu para uma estufa a 100° C por 24 horas, para que toda umidade fosse retirada. Com o material frio, peneirou-se utilizando peneiras com diâmetro granulométrico entre 3,00 e 3,35 mm, e, selecionou-se os grânulos para a análise de dureza.

2.4 Planejamento Experimental

Determinou-se que as variáveis relevantes do estudo seriam tipo do material, tipo do aglutinante, razão mássica e solução ligante. Estas foram avaliadas em um planejamento experimental detalhado na Tabela 1. Posteriormente analisou-se os dados obtidos.

Tabela 1 – Planejamento Experimental

Ensaio	Fosfogesso	Aglutinante	Razão mássica (aglutinante/fosfogesso)	Solução Ligante
1	<i>In natura</i>	Bentonita	10%	Ác. Sulfúrico 20%
2			20%	Polímero 50%
3		Cimento	10%	Ác. Sulfúrico 20%
4			20%	Polímero 50%
5		Cal calcítica	10%	Ác. Sulfúrico 20%
6			20%	Polímero 50%
7	Calcinado	-	-	Água
8		Bentonita	10%	Água

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

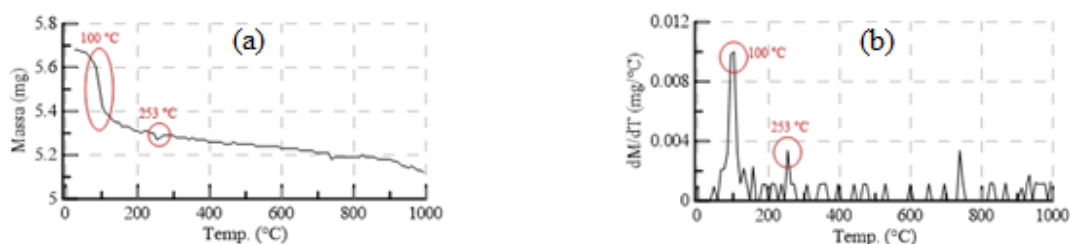
3.1 Caracterização Química do Fosfogesso

Uma amostra do fosfogesso foi submetida a ensaios de determinação química, segundo Instrução Normativa nº 28 de 31 de julho de 2007 do Ministério da Agricultura que aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos. Encontrou-se, em composição mássica, 32,5% de CaO, 44% de SO₃, 0,65% de P₂O₅, 1,20% F, 0,50% de SiO₂, 0,10% Fe₂O₅, 0,10% de Al₂O₃ e 19% de água de cristalização. Essa análise revela que o principal constituinte do fosfogesso é o CaSO₄, que o mesmo possui água de cristalização e quantidade significativa de flúor.

3.2 Análise Termogravimétrica do Fosfogesso

Uma análise termogravimétrica (ATG) do fosfogesso foi realizada com o intuito de identificar a temperatura ou faixa de temperatura em que a água de cristalização se desprende do cristal de CaSO₄. Esta análise é uma técnica destrutiva na qual se monitora a variação da massa de uma amostra em função da temperatura ou do tempo em um ambiente de temperatura e atmosfera controladas. Seu princípio de funcionamento é analisar a perda de massa da amostra com o aumento de temperatura. A Figura 2 mostra o resultado do ATG e DTG do fosfogesso.

Figura 2 – Análise Termogravimétrica do fosfogesso com taxa de aquecimento de 10°C/min:
a) ATG e b) DTG



O resultado final da ATG mostrado na Figura 2a é mostrado na forma de um gráfico cuja abscissa é referente à temperatura (T) em °C e a ordenada é a massa (M) da amostra em mg. Pode-se observar uma região com perda abrupta de massa em torno de 100 °C que revela a perda de umidade (água livre), uma região extensa de perda mais suave de massa (com queda linear) que vai de 100 a 800 °C e uma terceira região com perda de massa um pouco mais significativa do que a anterior, que situa-se entre as temperaturas de 800 a 1000 °C. Na Figura 2b foi possível estimar o ponto no qual, provavelmente, houve a temperatura de eliminação da água de hidratação. Esta temperatura foi de aproximadamente 253 °C. Os demais picos se referem, provavelmente, à eliminação de outros compostos presentes no fosfogesso, como por exemplo, residuais de ácidos fluorídricos, fluossilício e fosfórico. Para a obtenção do fosfogesso calcinado, adotou-se então a temperatura de 300 °C, a qual, pela análise de ATG garante eliminação da água de hidratação e outros compostos voláteis e ao mesmo tempo permite uma calcinação economicamente viável em uma aplicação industrial.

3.3 Granulação e Ensaio de Dureza do Gesso Agrícola *In Natura*

Na etapa de granulação, a adição da solução ligante foi efetuada até o ponto em que se observou a formação de grânulos consistentes, tomando somente o cuidado para não empelotar a amostra. A Tabela 2 traz as quantidades das soluções ligantes empregadas para as granulações do fosfogesso. Foram testadas amostras de fosfogesso com a adição de 10% e 20% em massa de aglutinantes (bentonita, cimento e cal calcítica).

Tabela 2 – Quantidade em massa de soluções ligantes para granulações do fosfogesso.

Quantidade de Solução Ligante							
Aglutinante		Bentonita		Cimento		Cal calcítica	
Razão Mássica		10%	20%	10%	20%	10%	20%
Solução Ligante	H ₂ SO ₄ (g)	112,72	115,11	106,01	114,63	141,20	658,65
	Polímero (g)	57,54	69,45	69,48	51,84	92,95	81,03

O material granulado obtido em cada caso foi seco em estufa a 100 °C por 24 h. Após essa etapa, o material foi separado utilizando peneiras com diâmetro granulométrico entre 3,00 e 3,35 mm. Escolheu-se, então, dez grânulos para o teste de dureza. A Tabela 3 mostra os resultados.

Tabela 3 – Resultados dos Ensaio de Dureza dos Grânulos do Gesso Agrícola *in natura*.

Média da Dureza dos grânulos (g)							
Aglutinante		Bentonita		Cimento		Cal calcítica	
Razão Mássica		10%	20%	10%	20%	10%	20%
Solução Ligante	H ₂ SO ₄ (g)	139,5	93,5	103,5	126,3	124,4	64,3
	Polímero (g)	213,0	225,0	207,0	130,7	132,0	67,1

Com relação à bentonita, o melhor resultado foi encontrado com polímero 50% nas amostras de fosfogesso contendo 10% e 20% de bentonita, sendo a média 213g e 225 g de dureza, respectivamente. Já no teste com ácido sulfúrico 20% como solução ligante obteve-se durezas muito baixas, donde se conclui que o ácido sulfúrico como aglutinante mostrou-se ineficiente. Em ambos os casos a dureza alcançada não foi satisfatória. Com relação ao cimento, o ensaio de dureza foi significativo empregando-se polímero 50% nas amostras de fosfogesso contendo 10% desse aglutinante, sendo a média 207g de dureza. Entretanto, a dureza da amostra contendo 20% de cimento foi baixa. Utilizando ácido sulfúrico 20%, a dureza encontrada foi insatisfatória para ambas as amostras. Quanto à cal calcítica, a média de dureza encontrada em ambas as soluções ligantes nas duas amostras também foram baixas e insuficientes.

3.4 Granulação e Ensaio de Dureza do Gesso Agrícola Calcinado

O fosfogesso calcinado foi obtido pela calcinação em forno mufla a 300° C por três horas e, posteriormente, colocado no dessecador para resfriar até a temperatura ambiente. Objetivando uma possível aplicação industrial para esse caso, testou-se aqui a granulação somente com água, evitando o uso de polímeros ou do ácido sulfúrico que agregariam mais custos ao processo. Durante a manipulação das amostras calcinadas e não calcinadas, pode-se observar uma maior capacidade de aglutinação do que o fosfogesso calcinado em relação ao fosfogesso *in natura*. Então, realizou-se uma granulação sem aglutinante e outra com bentonita, já que esta despontou como melhor aglutinante do que cimento e cal calcítica. Para a granulação do fosfogesso calcinado sem aglutinante, a quantidade mássica de água utilizada como solução ligante foi de 430 g e para a granulação do fosfogesso calcinado com bentonita foi utilizada 460 g de água. Os grânulos provenientes das amostras foram secos em uma estufa a 100 °C por 24 h. Após essa etapa, o material foi separado utilizando peneiras com diâmetro granulométrico entre 3,00 e 3,35 mm. Dez grânulos foram escolhidos para o teste de dureza. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos.

Tabela 4 – Resultados dos Ensaio de Dureza dos Grânulos do Gesso Agrícola Calcinado.

Dureza dos grânulos (g)		
	Média	Desvio Padrão
CaSO₄	832,0	282,3
CaSO₄ + 10% bentonita	686,0	346,5

Comparando-se a média da dureza e o desvio padrão do fosfogesso calcinado sem aglutinante com o gesso calcinado com 10% de bentonita, concluiu-se que ambos apresentaram semelhança de dureza com uma leve vantagem da primeira com relação à segunda. No que concerne ao teste anterior, concluiu-se que a granulação do gesso calcinado apresentou maior dureza do que a granulação do fosfogesso *in natura*. A água sendo a solução ligante mostrou-se eficiente e, claro, economicamente mais viável. Com base nesses dados, abrem-se novas possibilidades de estudo, testando-se novas soluções ligantes assim como outros aglutinantes.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo testar diferentes maneiras de granular fosfogesso. Conclui-se que com base nos resultados experimentais a bentonita se mostrou promissora como agente aglutinante no caso do fosfogesso *in natura* e se mostrou indiferente na calcinação do fosfogesso calcinado. Observou-se também que houve um efeito positivo na dureza com a incorporação de polímero como agente ligante.

Com relação ao fosfogesso calcinado observou-se um aumento significativo da dureza dos grânulos mesmo utilizando somente água como agente ligante. Neste caso conclui-se que não é necessário o uso de agentes aglutinantes.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a empresa **Agronelli Insumos Agrícolas** pelo fornecimento de amostras de gesso agrícola.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COUTO, A.G.; GONZÁLEZ ORTEGA, G; PETROVICK, P.R. Granulação. Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas, Faculdade de Farmácia, UFRGS. Caderno de Farmácia, v. 16, n. 1, p. 13-20, 2000.
- LÓPEZ R. P., NIETO J. M., COTO I. L., AGUADO J. L., BOLÍVAR J. P., M., Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): from phosphate rock to the environment, 2010.
- MEURER, E.J. Fundamentos de química do solo. 2ª edição Porto Alegre, Ed. Gênese, 290p. 2004.
- PIRES R.F., SOUZA D.L. e VIEIRA NETO J.L, Estudo Experimental Para Avaliar A Granulação De Fertilizantes À Base De Fosfogesso Em Um Disco Rotativo. Fortaleza. 2016.
- PORTZ, A. O Gesso na Agricultura Brasileira. In: LAPIDO-LOUREIRO. F.E. et al, Eds. FERTILIZANTES: agroindústria & sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. Págs 485-491.
- PRIMAVESI, A. Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais, Ed. Nobel, São Paulo. 2002. 549p.