

## CONSTRUÇÃO DE PROTÓTIPO DE BANCADA PARA ESTUDOS FLUIDODINÂMICOS NA GRANULAÇÃO EM DISCO ROTATIVO DE FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS

GUILHERME C. OLIVEIRA<sup>1</sup>, GUSTAVO F. SANTOS<sup>1</sup>, KÁSSIA G. SANTOS<sup>1</sup>,  
JOSÉ L. VIEIRA NETO<sup>1\*</sup>;

<sup>1</sup>Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia Química.

\*e-mail: jose.neto@uftm.edu.br

**RESUMO** - Os fertilizantes são importantes pois cooperam na produção mundial das culturas, fornecendo alimento, forragem e fibra para uma população global em expansão. A baixa eficiência no emprego de fertilizantes causa riscos ambientais, como eutrofização da água, degradação da fertilidade do solo além de implicações para saúde humana e do ecossistema. Com isso a granulação surge como alternativa para melhorar a eficiência, reduzindo os riscos ambientais e facilitando o seu transporte. O objetivo deste trabalho foi construir um protótipo de granulador a disco giratório para realizar a granulação de um fertilizante organomineral. Para tal, utilizou-se uma mistura de 16g de fertilizante TSP (Superfosfato triplo) e 4 g de borra café. Foram utilizados 7,5 ml de uma solução de melaço de cana de açúcar (33% m/m) como líquido ligante. Após a construção do protótipo de bancada, foi implementado um planejamento fatorial  $3^2$  (9 experimentos), a fim de estudar o efeito da rotação do disco (rpm) e do grau de inclinação ( $^\circ$ ) sobre a granulação. Os resultados mostraram que a máxima fração útil (FU) de grânulos entre 3 e 8mm (FU=0,4) foi obtida operando em uma rotação de 45 rpm, com uma inclinação do disco de  $50^\circ$ .

### INTRODUÇÃO

O uso adequado de fertilizantes minerais é um dos principais fatores para promover a segurança alimentar global nos tempos atuais. A maior parte dos fertilizantes vêm de matérias-primas de ocorrência natural que contêm minerais que são explorados ou extraídos em várias localidades (Reetz, 2017).

Dentre os nutrientes o Nitrogênio é o mais importante e limitado, sendo a ureia a fonte mais comum na maioria dos cultivos agrícolas. Todavia, fertilizantes a base de ureia pura exibe eficiência muito baixa devido perdas de N por lixiviação, desnitrificação e volatilização (Saha et al., 2017).

A baixa eficiência no uso de fertilizantes provoca riscos ambientais, como eutrofização da água, degradação da fertilidade do solo além de implicações para saúde humana e do ecossistema. Isso resultou no aumento da

busca para melhorias na eficiência de aplicação de fertilizantes no solo, sendo que fertilizantes de liberação lenta com revestimentos de material orgânico atraem muitos pesquisadores pelo mundo. Como exemplos disso temos o biochar, polipeptídeo, polissacarídeo, alginato de sódio, carboximetilamido, celulose e lignina, todos são modificados ou usados diretamente para preparar fertilizantes de eficiência aprimorada. A aplicação de materiais naturais como revestimento de fertilizantes causa menos poluição ambiental e desperdício de energia, assim, são conhecidos como fertilizantes ambientalmente corretos (Cui et al., 2020).

Um dos principais fatores na fabricação de fertilizantes é o tempo de vida de prateleira que ocorre por higroscopia dos grânulos que influencia a propensão a endurecer. Todos fertilizantes são higroscópicos e irão absorver umidade acima de uma umidade específica conhecida como umidade relativa crítica

(CRH). Acima do CRH a umidade é absorvida causando a tendência a aglomeração que após muito tempo irá resultar em severa incrustação (Albadarin et al., 2016).

Durante a granulação em disco ou tambor além do processo de aglomeração, ocorre o efeito de impacto entre os grânulos, causando a desintegração dos grânulos recém formados. Esse efeito do impacto retarda a cinética do processo aumentando o gasto de energia na unidade. O granulador de disco gira o disco inclinado em um ângulo de 40-60 graus, em torno do seu eixo. Como resultado da rotação do disco e sobre influência de forças de atrito, inércia e gravidade o material granular circula no disco e conseqüentemente é granulado como resultado da adição de um líquido umedecedor (Lawinska et al, 2020a,b).

Um fertilizante orgânico granulado deve usar materiais finamente moídos para melhorar a solubilidade/taxa de decomposição, ser composta de uma mistura homogênea de materiais, conter menos de 18% de umidade e ter tamanho de um grânulo consistente, ou seja, 1 a 4 mm de diâmetro. O produto deve ter resistência da quebra/esmagamento de 15 a 35 N para sobreviver o transporte, manuseio e aplicação. Um fator crítico para granulação de materiais não pegajosos é a adição de um aglutinante (bentonita, amidos, látex, melaço, cálcio, sulfato de sódio, silicatos e lignossulfonatos) (Prasai et al., 2017).

Apesar da existência de estudos sobre mecanismos de granulação e a influência das propriedades do ligante no processo, não há modelo universal, ou seja, para cada estudo são analisadas as condições ideais para o estudo. Uma condição para o sucesso na obtenção de grânulos duráveis que atendam aos requisitos dos clientes é a seleção do líquido de ligação apropriado para o processo. No caso de muitos materiais de granulação fina (calcário, dolomita, pó de giz), o uso de água como líquido aglutinante não se obtém produtos com propriedades de resistência desejada precisando dessa forma usar outros ligantes como soluções aquosas de açúcares (Obraniak & Gluba, 2017).

A granulação de fertilizantes inorgânicos com materiais orgânicos traz benefícios em rendimento das culturas e saúde do solo em comparação com os materiais inorgânicos e

orgânicos isolados. O uso de grânulos organominerais demonstrou reduzir as perdas de nutrientes e aumentam significativamente a produtividade e absorção de N nas culturas (Saha et al., 2018).

A granulação é utilizada para fertilizantes por 3 principais razões, melhoria do aspecto físico do fertilizante com respeito a estocagem, pois elimina ou reduz problemas de empedramento e compactação; melhoria nas propriedades físicas dos materiais facilitando aplicação e dosagem de fertilizantes no campo; redução ou eliminação dos níveis de poeiras nas unidades de produção e ensaque, e na aplicação no campo. No contexto de faixa granulométrica desejada, para granulação por aspersão sempre irá resultar em granulometrias mais finas devido a isso é considerado a reciclagem a quente de finos e grossos. Na granulação de TSP em condições ideais, para granulação de 1 tonelada de TSP-Grão, há o consumo de 200 a 210 kg/t de vapor e de 40 a 45 kg/t de água. Mesmo nas condições ideais, a eficiência de incorporação não passa de 50%.

Outro exemplo que evidencia a importância do processo de granulação em fertilizantes se trata do retorno da cinza de biomassa para o campo como fertilizante pode equilibrar a entrada e perda de vários nutrientes no solo, o que é muito importante para a sustentabilidade do ecossistema, devido à alta produção de alimentos e rápido esgotamento de nutrientes no solo. Transformar cinza de energia em briquete (cinza granulada, pellet, tablet) tem várias vantagens, fornece melhor manuseio, reduz custo de transporte e armazenamento e retarda liberação de nutrientes. A frequência da fertilização pode ser reduzida com o uso de fertilizantes de liberação lenta. (Zhang et al., 2018).

Este trabalho visou construir um protótipo de granulador a disco giratório para realizar a granulação de fertilizante organomineral, TSP (Superfosfato triplo) com borra de café. Foi implementado um planejamento fatorial  $3^2$ , para avaliar o efeito da rotação do disco e do ângulo de inclinação do disco, sobre a formação de grânulos na faixa útil ( $3 < dp < 8$  mm), grossos e finos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Para o trabalho em questão foram utilizados TSP em pó (passante na peneira de 50 mesh) e borra de café, obtida como resíduo de cafeterias. O material ligante foi uma solução de 33% (m/m) de melação de cana de açúcar em água.

### Construção do Protótipo

Para o suporte era necessário encontrar um suporte que fornecesse a possibilidade de alteração do ângulo operacional uma vez que o ângulo se trata de uma das variáveis do processo. Com isso foi selecionado um suporte de mini ventilador de mesa, na qual removeu-se o ventilador para o uso do suporte como mostra a figura 1-a. O motor, por sua vez, precisava atender uma rotação na faixa 30-60 rpm, pois esses parâmetros consistiam em outra variável do estudo. Foi adquirido um micro motor DC 12v 100 rpm que possuía um dimmer para regular a rotação desejada (figura 1-b). Já o disco, era necessário que este suportasse a rotação e armazenasse o fertilizante a ser granulado. Com isso foi selecionado uma panela de alumínio de dimensões de diâmetro externo de 15 cm e interno 11,5 cm. O motor foi acoplado à panela utilizando um flange, que foi preso ao eixo do motor e soldado no centro da panela, conforme mostra a figura 1-c.

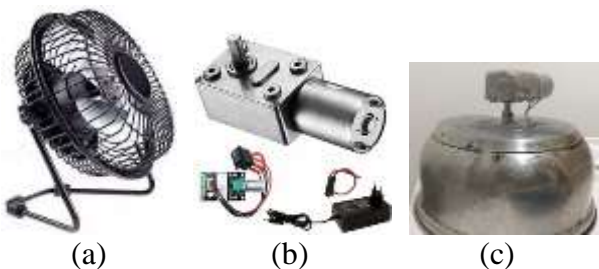


Figura 1: Componentes usados na confecção do protótipo: (a) suporte com ajuste de angulação (min-ventilador de mesa); (b) Micro Motor Dc 12v 100rpm, com variação de rotação; (c) panela acoplada ao motor por meio de uma flange 5mm.

Para ligar panela e motor ao suporte, utilizou-se uma pequena chapa de ferro e cola instantânea “superbonder”. Assim o protótipo finalizado e utilizado nos testes de granulação pode ser visualizado na Figura 2.



Figura 2: Configuração final do protótipo, com regulagem de inclinação e rotação.

### Experimentos de Granulação no Disco Giratório

A mistura a ser granulada foi composta de 16g de TSP e 4 g de biomassa. Em cada teste de granulação, cerca de 7,5 mL da solução contendo o ligante foi aspergida no disco. Assim, considera-se uma massa seca total de 23 g, contabilizando o melação.

Um planejamento fatorial  $3^2$  (com 2 réplicas no ponto central) foi utilizado para estudar o efeito da rotação do disco ( $\omega = 30, 45$  e  $60$  rpm) e do ângulo de inclinação do disco ( $I = 40^\circ, 50^\circ$  e  $60^\circ$ ), sobre a formação de grânulos na faixa útil ( $3 < d_p < 8$  mm), grossos ( $d_p > 8$  mm) e particulado fino ( $d_p < 3$  mm).

As Equações (1) e (2) apresentam, a codificação dos fatores rotação e inclinação, respectivamente. Os resultados foram analisados estatisticamente empregando o teste *t-Student*, com significância de 15%, visto que o erro experimental do teste foi alto.

$$X_1 = \frac{\omega - 40rpm}{15rpm} \quad (1)$$

$$X_2 = \frac{I - 50^\circ}{10^\circ} \quad (2)$$

O procedimento experimental adotado no teste de granulação iniciava com a limpeza do disco, em seguida se ajustava o ângulo de inclinação com a ajuda de um transferidor. O motor era então ligado e ajustada a rotação com o auxílio do *dimmer* e um tacômetro, até alcançar o valor de rotação definido pelo

planejamento experimental. Após as calibrações, a mistura de pós era inserida no disco e iniciava-se o experimento com a adição de duas borrfifadas de solução ligante a cada 15s, até completar a adição de 7,5 mL da solução ligante. A granulação ocorreu num tempo fixo de 10 min, para todos os testes.

Ao final da granulação, todo o pó foi removido, pesado e levado pra estufa para obter a umidade final dos grãos. O rendimento de granulação ( $\eta$ ) foi definido como a razão entre a massa dos grânulos ao final do experimento e a massa de sólidos total alimentada.

Após o tempo na estufa era necessário obter a massa seca dos grânulos e finos obtidos e posteriormente tirar uma foto com as partículas obtidas em cada amostra, para análises dos fatores de forma (arredondamento, alongamento e esfericidade) empregando o software ImageJ (Cremasco, 2012).

Em seguida, foi realizado o peneiramento dos grânulos de cada teste para a obtenção da distribuição granulométrica. Para tal, empregou-se peneiras com aberturas de 6,30 mm; 5,60 mm; 4,00 mm; 3,35 mm, 2,80 mm e o fundo. As partículas retidas na peneira de 6,3 mm foram medidas com paquímetro, a fim de selecionar quais estavam acima de 8 mm e sua massa foi aferida. A partir dos dados de peneiramento, foi ajustado os parâmetros do modelo GGS, para representar a distribuição granulométrica do material. O parâmetro K deste modelo equivale ao  $d_{100}$ , que corresponde ao maior diâmetro de partícula encontro na amostra (Cremasco, 2012).

Portanto, de posse da fração mássica retida em cada faixa de tamanho, foi calculada a fração mássica de grânulos analisadas como resposta neste planejamento, a saber fração útil (FU, para partículas entre 3 e 8 mm), fração de grossos (FG, com  $dp > 8\text{mm}$ ) e fração de finos (FF,  $dp < 3\text{mm}$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Análise Granulométrica dos Grânulos

A Figura 3 mostra os grânulos dentro do granulador de disco, ao final de cada experimento. Observa-se que algumas

condições se destacam por ter granulado quase todo o pó, como os experimentos 3, 5 e 6.



Exp 1 ( $\omega=30\text{ rpm}$  e  $I=40^\circ$ )



Exp 2 ( $\omega=30\text{ rpm}$  e  $I=50^\circ$ )



Exp 3 ( $\omega=30\text{ rpm}$  e  $I=60^\circ$ )



Exp 4 ( $\omega=45\text{ rpm}$  e  $I=40^\circ$ )



Exp 5 ( $\omega=45\text{ rpm}$  e  $I=50^\circ$ )



Exp 6 ( $\omega=45\text{ rpm}$  e  $I=60^\circ$ )



Exp 7 ( $\omega=60\text{ rpm}$  e  $I=40^\circ$ )



Exp 8 ( $\omega=60\text{ rpm}$  e  $I=50^\circ$ )



Exp 9 ( $\omega=60\text{ rpm}$  e  $I=60^\circ$ )

Figura 3: Imagens dos grânulos ao final de cada experimento.

As análises de imagem das partículas mostraram que não houve efeito significativo das condições de granulação sobre a forma das partículas, que apresentaram alongamento entre 1,283 e 1,64 e esfericidade entre 0,67 e 0,8. Um dos motivos que podem ter levado a isto



pode ser pela adição do ligante ter sido realizada via aspersão manual. Após o peneiramento, obteve-se a quantidade de massa retida em cada peneira é possível obter a fração mássica em cada peneira e, portanto, a fração mássica acumulativa,  $X$ , que mostra a fração em massa de partículas com diâmetro menor que a dimensão característica  $D$  (dimensão da peneira). A partir das distribuições granulométricas do peneiramento, foram ajustados os parâmetros do modelo GGS ( $K$  e  $m$ ), como mostra a Tabela 1. A coluna %VC indica o quão próximo da velocidade crítica cada experimento ocorreu.

Tabela 1: Dados obtidos para o ajuste de modelo GGS.

Teste	Fatores		Parâmetros: modelo GGS ( $X=(D/K)^m$ )			
	$\omega$ [rpm] (X1)	$I$ [°] (X2)	<b>K</b>	<b>m</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	%VC
Exp 1	30 (-1)	40°(-1)	<b>20,238</b>	0,341	0,997	46,6
Exp 2	30 (-1)	50°(0)	12,337	0,271	0,997	30,00
Exp 3	30 (-1)	60°(+1)	14,455	0,685	0,894	27,30
Exp 4	45 (0)	40°(-1)	<b>24,051</b>	0,614	0,989	69,90
Exp 5	45 (0)	50°(0)	12,384	0,718	0,988	45,00
Exp 6	45 (0)	60°(+1)	14,115	1,309	0,985	40,90
Exp 7	60 (+1)	40°(-1)	<i>8,327</i>	0,293	0,994	<i>93,20</i>
Exp 8	60 (+1)	50°(0)	12,061	0,348	0,997	60,10
Exp 9	60 (+1)	60°(+1)	9,839	0,203	0,995	54,50

Em negrito tem-se as condições dos testes que geraram as maiores partículas, que são o experimento 1 (a 30 rpm e 40°) e o experimento 4 (a 45 rpm e 40°), indicando que esta inclinação tende a formar partículas maiores. Contudo, a outra condição de 40° a 60 rpm, em itálico, formou partículas bem finas. Isto pode ser justificado pelo fato de que nesta condição, a rotação de 60 rpm correspondia 93,2% da velocidade crítica de centrifugação. Nesta condição, quase todas as partículas eram cascadeadas em toda área do disco, fazendo com que a granulação não ocorresse de forma satisfatória, sendo necessário raspar o disco com frequência, o que gerou uma grande quantidade de finos no Exp. 7.

### Efeito Da Rotação e Ângulo De Inclinação Do Disco Sobre a Granulação

A tabela 2 apresenta os valores de porcentagem de sólidos recuperados ou rendimento ( $\eta_T$ ), rendimento mássico ( $R_m$ ) na faixa útil (3 a 8 mm) como mostra a Equação (3), fração útil (FU), fração de grossos (FG), fração de finos (FF).

$$R_m = \eta_T \times FU \quad (3)$$

Tabela 2: Resultados obtidos pela distribuição de tamanho:  $\eta_T$ ,  $R_m$ , FU, FG e FF.

Teste	Respostas da Granulação				
	$\eta_T$ [%]	$R_m$ [%]	FU	FG	FF
Exp 1	81,391	14,732	0,181	0,300	0,519
Exp 2	83,174	19,795	0,238	0,104	0,658
Exp 3	76,957	20,624	0,268	0,253	0,476
Exp 4	77,957	13,331	0,171	0,517	0,312
Exp 5	81,130	34,561	0,426	0,279	0,282
Exp 6	77,957	29,935	0,384	0,551	0,065
Exp 7	79,304	22,760	0,287	0,015	0,699
Exp 8	81,174	19,888	0,245	0,147	0,608
Exp 9	83,261	18,068	0,217	0,033	0,751

A porcentagem de sólidos recuperados foi obtida por meio razão entre a quantidade de sólidos secos (grão ou finos) com a massa total de sólidos secos inicial que é a mesma para todos os experimentos. O rendimento mássico por sua vez foi obtido por meio da razão entre a soma das massas da faixa de 3 a 8 mm com a massa total de sólido secos inicial.

Observou-se visualmente que para a inclinação de 40°, independentemente da rotação, a granulação foi bem prejudicada produzindo altas quantidades de grânulos muito grandes ou de finos.

Os experimentos na rotação de 30 e 60 rpm geraram uma grande quantidade de finos, pois as baixas rotações não forneciam uma velocidade suficiente para que a granulação acontecesse, enquanto altas rotações levavam para condições mais próximas do regime de centrifugação, no regime de catarateamento, o que espalhou o pó causando a adesão das partículas na parede do disco, sendo removidas pelo raspador.

É válido apontar que o procedimento experimental possui um erro experimental

muito elevado devido ao processo de atomização ter sido realizado manualmente tornando a precisão na adição do ligante bem complicada. Isso resulta na formação de grânulos grandes quando há um excesso de ligante em uma partícula ou a não granulação por falta de ligante em outros grãos.

Por meio do software *Statistica*, adotando a rotação (rpm) e inclinação (I) como as variáveis  $X_1$  e  $X_2$  do sistema fator no comportamento do sistema, adotando  $p < 0,15$ . Através desta análise estatística, foi observado que para a porcentagem de sólidos recuperados que tanto a inclinação como a rotação (rpm) não produziram nenhuma influência significativa. A fração útil, principal resposta do teste, apresentou valores entre 0,1 e 0,43. A resposta FU foi significativamente influenciada pela rotação (termo quadrático) e pela inclinação (termos linear e quadrático), sendo também influenciada pela interação entre os fatores.

As Figuras 4 a 6 apresentam as superfícies das respostas de fração útil (FU), fração de grossos (FG) e fração de finos (FF), em função de  $X_1$  e  $X_2$ .

A figura 4 mostra que há uma região de máximo, próxima à condição do ponto central. Ou seja, obteve-se uma maior quantidade de grânulos na faixa desejada de tamanho ao se trabalhar com rotação de 45 rpm e uma inclinação de 50°. No entanto, o ajuste do modelo mostra que os ângulos de 60° para rotação de 45 rpm também conduziram a bons resultados, sendo interessante investigar futuramente uma inclinação de 55°.

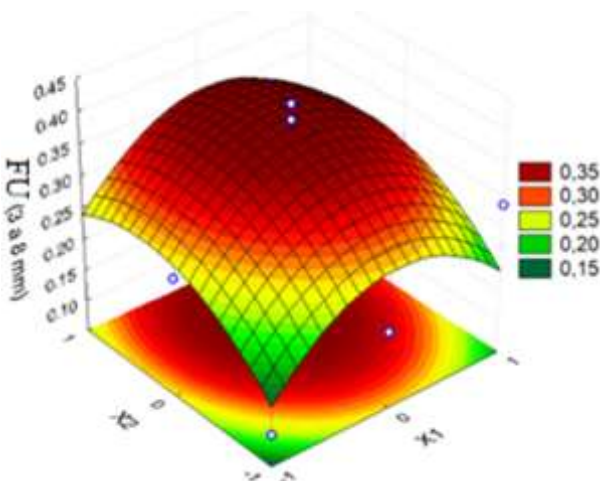


Figura 4: Superfície de resposta dos efeitos de  $X_1$  e  $X_2$  sobre a fração útil (FU).

A fração de grossos (FG), por sua vez, foi influenciada pela rotação (termo linear e quadrático) e pelo termo quadrático da inclinação. Através da superfície de resposta (figura 5), observa-se a formação de um ponto de sela. Os experimentos em condições extremas (-1 e 1) de inclinação apresentam altas taxas de produção de grânulos grandes, enquanto a rotação na condição central (45 rpm) produz maior número de grânulos maiores. As condições experimentais com menor formação de sólidos grossos correspondem aos testes com maior formação de finos, realizados a 30 e 60 rpm, independente da inclinação do disco.

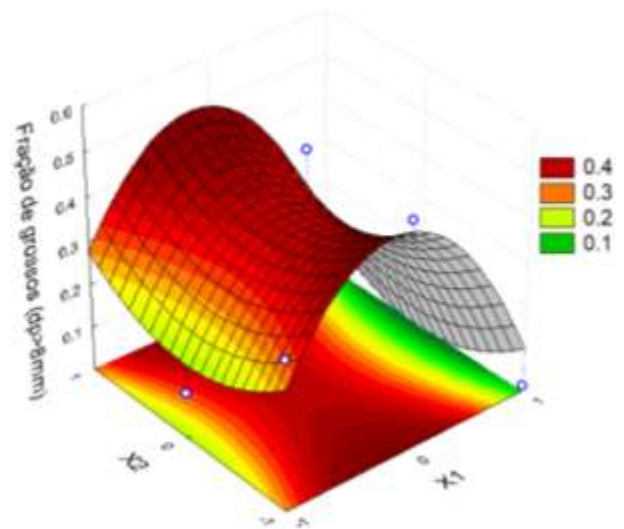


Figura 5: Superfície de resposta dos efeitos de  $X_1$  e  $X_2$  sobre a fração de grossos (FG).

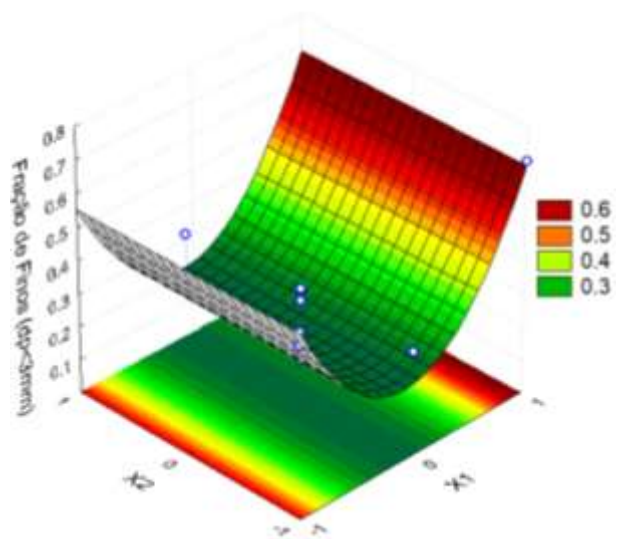


Figura 6: Superfície de resposta dos efeitos de  $X_1$  e  $X_2$  sobre a fração de finos (FF).

Através da análise da superfície de resposta da figura 6, podemos ver que apenas a rotação influenciou a formação de finos, e que a condição de menor formação de finos engloba o ponto central que é a condição em que houve a maior produção de grânulos na faixa de tamanho desejada.

Ambas as frações de grossos e finos são resultados indesejados e existem algumas possíveis soluções para o seu excesso de produção, como a automatização do sistema de atomização. Outra sugestão é a adição de reciclo ao sistema para que os grânulos maiores sejam quebrados e junto aos finos passar pelo processo de granulação novamente.

### CONCLUSÕES

O trabalho realizou com sucesso a construção de um protótipo para a granulação de um fertilizante organomineral.

Os resultados demonstraram que a granulação ocorreu em diferentes condições estudadas. Foi possível encontrar a faixa na qual o protótipo apresenta os melhores resultados de granulação do fertilizante, para formação de grânulos entre 3 e 8 mm: inclinação entre 50 e 60° e a rotação de 45 rpm.

Os ângulos de inclinação de 40°, quando em baixas e moderadas rotações conduzem à formação de partículas muito grandes, enquanto em altas rotações ocorre catarateamento do pó, aumentando a fração de finos. Porém, há a existência de vários pontos de melhoria como a automatização do sistema de atomização, evitando assim erros experimentais como a não uniformidade da adição de ligante no sistema. Outro ponto de melhoria seria a possibilidade de realização de reciclo de grânulos grossos e finos, aumentando assim o rendimento, a eficiência e a fração útil do processo.

### REFERÊNCIAS

ALBADARIN, A. B., LEWIS T. D., WALKER, G. M. (2016), Granulated polyhalite fertilizer caking propensity. *Powder Technology*, Vol 308. p.193-199.

CREMASCO, M. A. (2012), Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos. Editora Blücher, São Paulo.

CUI, Y., XIANG, Y., XU, Y., WEI, J., ZHANG, Z., LI, L. (2020), Poly-acrylic acid grafted natural rubber for multi-coated slow-release compound fertilizer: Preparation, properties and slow-release characteristics. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol 146, p.540-548.

LAWINSKA, K., SZUFA, S., MODRZEWSKI, R., OBRANIAK, A., WEZYK, T., ROSTOCKI, A. et al. (2020-a), Obtaining Granules from Waste Tannery Shavings and Mineral Additives by Wet Pulp Granulation. *MDPI Molecules*, Vol 25, p.5419.

LAWINSKA, K., SZUFA, S., OBRANIAK, A., OLEJNIK, T., SIUDA, R., KWIAATEK, J. et al. (2020-b), Disc Granulation Process of Carbonation Lime Mud as a Method of Post-Production Waste Management. *MDPI Energies*, Vol 13, p.3419.

OBRANIAK, A., GLUBA, T. (2017), The effect of disaccharide concentration in a liquid binder on the mechanisms and kinetics of disc granulation. *Chemical and Process Engineering*, Vol 38(2). p.295-306.

PRASAI, T. P., WALSH, K. B., MIDMORE, D. J., JONES, B. E. H., BHATTARAI, S.P. (2017), Manure from biochar, bentonite and zeolite feed supplemented poultry: Moisture retention and granulation properties. *Journal of Environmental Management*, Vol XXX, p.1-7.

REETZ, H. F. (2018), Fertilizantes e o seu uso eficiente; tradução: Alfredo Shied Lopes - UFPA. Disponível em: <https://www.ufpa.br/dcom/wp-content/uploads/2018/03/Fertilizantes-e->

seu-uso-eficiente-WEB-Word-Ouubro-2017x-1.pdf. Acesso em: 06/12/2021.

SAHA, B. K., ROSE, M.T., WONG V. N. L., CAVAGNARO, T. R., PATTI A. F. (2017). Hybrid brown coal-urea fertiliser reduces nitrogen loss compared to urea alone. *Science of the Total Environment*, Vol 601-602. p.1496-1504.

SAHA, B. K., ROSE, M. T., WONG V. N. L., CAVAGNARO, T. R., PATTI A. F. (2018), A slow-release brown coal-urea fertilizer reduced gaseous N loss from soil and increased silver beet yield and N uptake. *Science of the Total Environment*, Vol 649. p.793-800.

ZHANG, Z., HE, F., ZHANG, Y., YU, R., LI, Y., ZHENG, Z. (2017), Experiments and modelling of potassium release behavior from tablet biomass ash for better recycling of ash as eco-friendly fertilizer. *Journal of Cleaner Production*, Vol 170, p.379-387.