

SISTEMÁTICA PARA ATENUAÇÃO DE SEGREGAÇÃO

F. M. C. CARVALHO^{1,2}, J. R. D. FINZER¹, E. U. BUCEK¹

¹ Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

²CASTech/Cinética, Distrito Industrial I – Uberaba - MG

RESUMO – A formação de pilhas cônicas livres, a partir de uma descarga vertical, é uma das principais formas de ocorrência de segregação, fazendo com que as partículas sejam separadas com relação ao seu tamanho. O objetivo deste trabalho consiste na aplicação de uma nova técnica com injeção de uma corrente de ar em escoamento cruzado ao escoamento descendente de material na descarga de um silo para formação da pilha livre. A técnica apresentou uma melhora nos índices de segregação da pilha de 34% em comparação àquela formada sem qualquer técnica de manuseio.

1. A CADEIA PRODUTIVA DO FERTILIZANTE MINERAL

Na cadeia produtiva de fertilizantes inicialmente, há a extração mineral que promove o fornecimento das matérias-primas básicas para a indústria que são a rocha fosfática, o enxofre, o gás natural, subprodutos das refinarias de petróleo e nitrogênio, e rochas potássicas.

A próxima etapa fica à cargo da indústria de fabricação de produtos químicos inorgânicos, que produz as matérias-primas básicas e intermediárias, entre elas, o ácido sulfúrico, o ácido fosfórico e a amônia anidra.

A indústria de fabricação de fertilizantes simples (incluindo aqui as unidades de granulação), fabricam o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (TSP), o fosfato monoamônico (MAP) e o fosfato diamônio (DAP), o nitrato de amônio, o sulfato de amônio, o cloreto de potássio, a ureia, os termofosfatos, a rocha fosfática parcialmente acidulada, entre outros.

Os fertilizantes simples são então enviados para as chamadas misturadoras de fertilizantes a granel, ou simplesmente unidades de mistura, que fazem a mistura física das matérias-primas simples nas chamadas formulações NPK. Aqui se encerra a parte fabril da cadeia produtiva.

As formulações NPK, ou misturas NPK, são então comercializadas pelo setor de distribuição (vendas no atacado, vendas no varejo e logística) para o produtor rural, considerado o consumidor final do produto.

A Figura 1 consiste em um esquema simplificado da cadeia de produção do fertilizante.

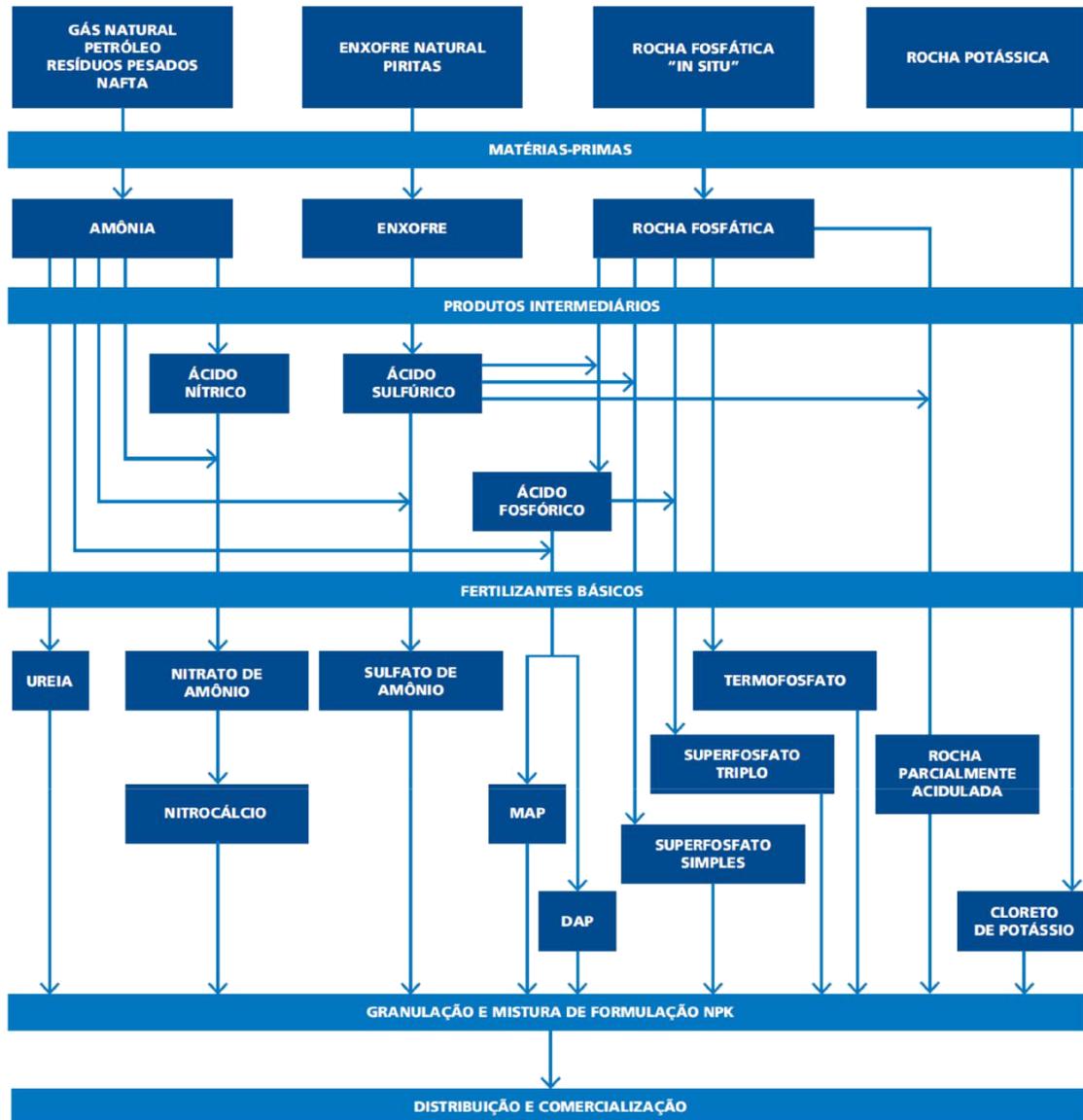


Figura 1 – Cadeia de produção do fertilizante (Dias e Fernandes, 2006).

O objetivo deste trabalho é contextualizar a segregação no ambiente industrial das misturadoras de fertilizantes e propor uma nova técnica de manuseio de sólidos a granel para diminuição do efeito da segregação na formação de pilhas, com deslocamento de partículas por arrasto em uma corrente de ar aplicada no descarregamento aéreo de um silo.

2. SISTEMAS DE MISTURA

A etapa de mistura em batelada consiste, tipicamente, em três fases sequenciais: pesagem e

carregamento de matéria-prima, mistura e descarga do produto final. A Figura 2 consiste no sistema industrial.

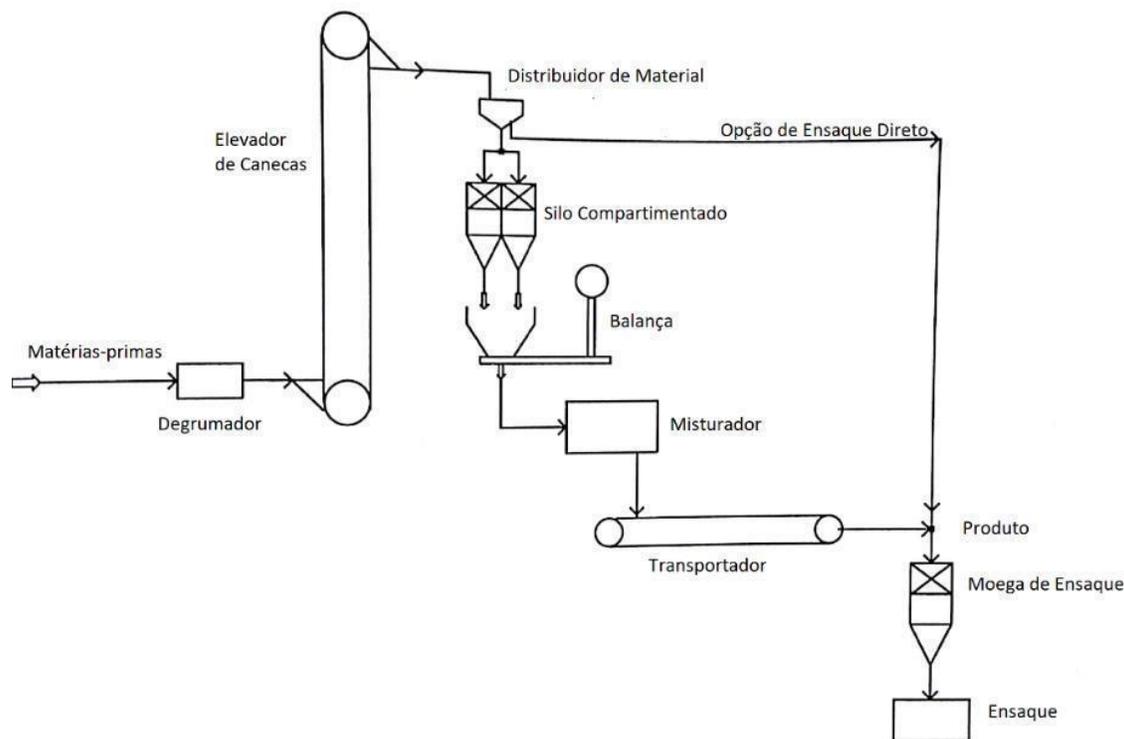


Figura 2 – Fluxograma de uma unidade de mistura NPK a batelada – adaptado (Fertilizer Manual, UNIDO & IFDC).

Numa unidade de mistura contínua, a pesagem, o carregamento, a mistura e a descarga ocorrem de maneira contínua e simultânea, ver a Figura 3. Diferentemente das unidades de mistura em batelada, onde o tempo de mistura é cuidadosamente controlado, no sistema contínuo este tempo não é uniforme e pode ser diretamente afetado pela velocidade do misturador, pela taxa de alimentação, pela geometria e desenho dos equipamentos.

3. QUALIDADE FÍSICA DO FERTILIZANTE

A qualidade física é um importante critério usado pelos consumidores na seleção de um fertilizante específico. A aceitação de um fertilizante no mercado depende não somente do conteúdo nutricional como também na qualidade física. Mesmo que a resposta agrônômica das plantas ao conteúdo nutricional disponível seja a maior razão para justificar o uso dos fertilizantes, a qualidade física é, corriqueiramente, a razão de seleção de um produto em detrimento de outro (IFDC, 1998).

As propriedades físicas de um fertilizante vão determinar e influenciar não somente na resposta agrônômica como no manuseio, transporte, estocagem e, finalmente na aplicação no campo.

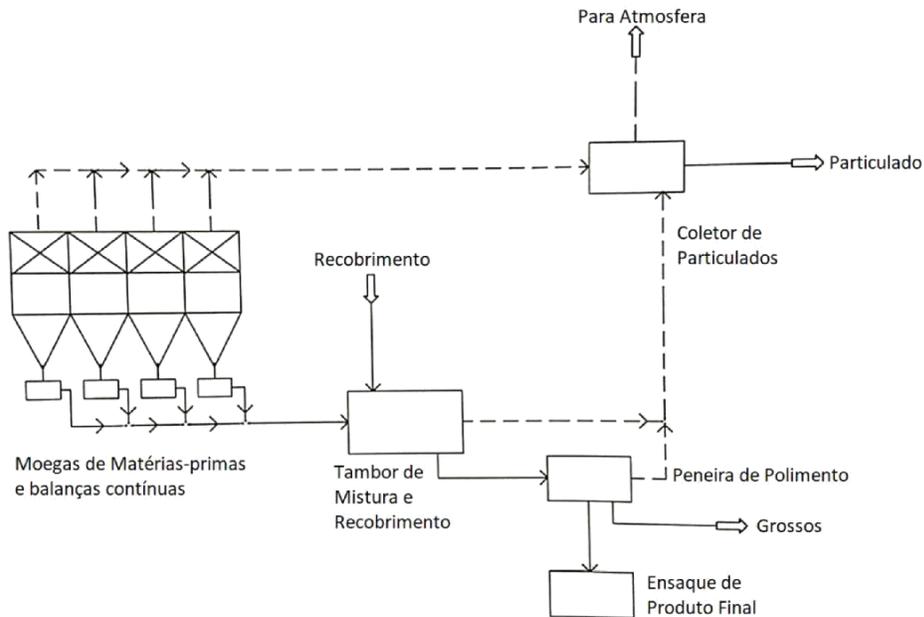


Figura 3 – Fluxograma de uma unidade de mistura NPK contínua (Fertilizer Manual, UNIDO & IFDC).

As propriedades físicas de um fertilizante vão determinar e influenciar não somente na resposta agrônômica como no manuseio, transporte, estocagem e, finalmente na aplicação no campo.

A maioria dos problemas encontrados com fertilizante provavelmente são aqueles resultantes de deficiências em: aglomeração, empoeiramento, escoamento deficitário, segregação e higroscopia excessiva.

Este assunto é tratado com extrema cautela pelos produtores de fertilizantes e muitas empresas desenvolveram aditivos para ajudar a controlar e a garantir a qualidade física, como evitar a higroscopia excessiva, a formação de pó, diminuir a friabilidade e a aglomeração.

3. SEGREGAÇÃO EM GRANÉIS

Processos que dependem de particulados a granel, como é o caso de vários processos químicos, incluindo a mistura de fertilizantes, a homogeneidade do material tratado é fundamental não para a eficiência global da produção, mas, como no caso específico de misturadoras NPK, para o atendimento às legislações vigentes. Conseguir com que pilhas de sólidos a granel se mantenham homogêneas não é uma tarefa trivial, já que é sabido que diferenças de propriedades físicas de partículas propiciam a segregação.

As principais características que influenciam a segregação de uma mistura sólido-sólido são a distribuição granulométrica, o tamanho nominal do grão, a densidade aparente, o ângulo de repouso, a capacidade de escoamento, a resistência a aglomeração, a forma da partícula e a lubrificidade. Hoffmeister (1962) conseguiu comprovar através de experimentos que a característica individual que

mais contribui para a segregação é o tamanho da partícula, ou a distribuição granulométrica presente. A Figura 4 indica as possibilidades de ocorrência de segregação.

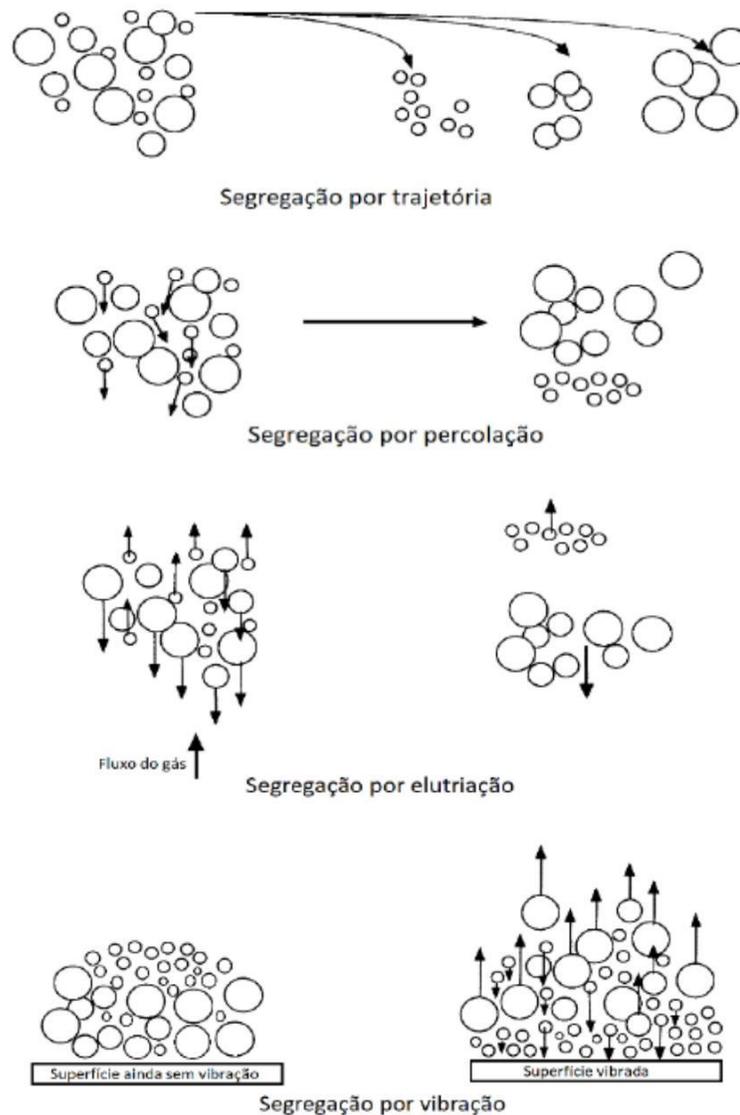


Figura 4 – Tipos de segregação – adaptado (Rhodes, 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Foi construída uma caixa de determinação de segregação compartimentada (Hoffmeister, 1964) com as seguintes características (Figura 5): Caixa de 250 mm de altura, 350 mm de comprimento e 50 mm de largura; o Material: acrílico e aço galvanizado; Parede frontal removível; Parede traseira com slots de 10° de intervalo, possibilitando 9 divisões angulares na caixa (A – I); Carvalho; Finzer e Bucek (2018). A velocidade do ar no bocal de saída foi selecionado em 4 m/s (Carvalho, 2018).

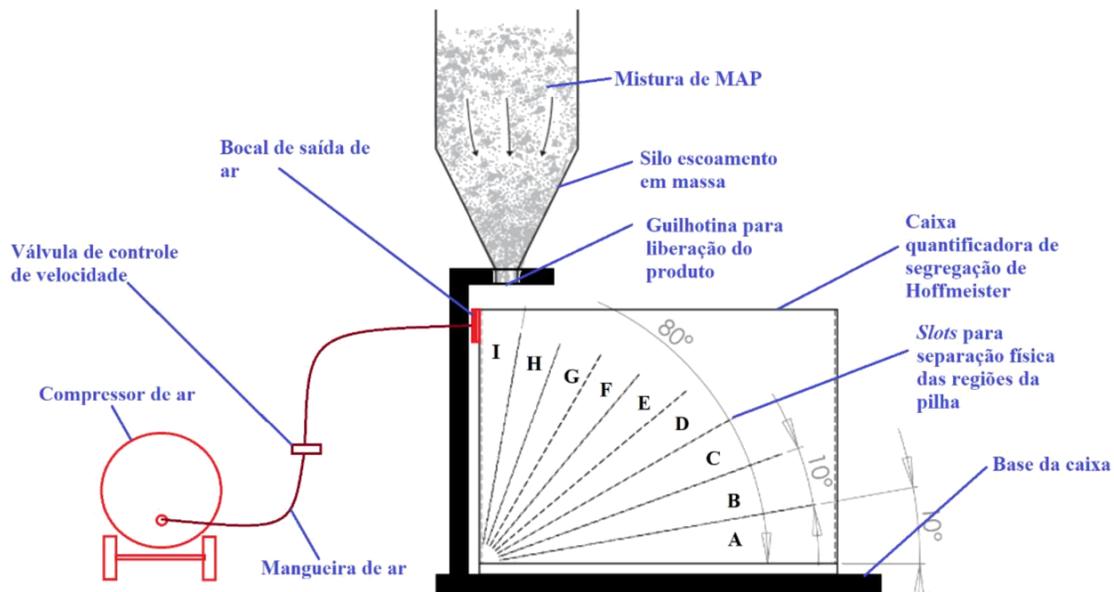


Figura 5 – Modelo de bancada do experimento

Material usado nos experimentos: MAP granulado - tamanhos médios de 2,1 mm e 3,7 mm; peneiras série Tyler: Aberturas: 4,75 mm, 3,35 mm, 2,45 mm e 1,4 mm; balança Gehaka Modelo AG200, resolução 0,0001 g; soprador de ar; bocal de saída de ar de 3 mm x 30 mm; tubulações; Válvula de controle de pressão de ar; anemômetro Highmed Modelo THDLA-500.

A metodologia selecionada para a determinação das esfericidades de cada amostra, que exerce influência no escoamento de partículas, foi descrita pela Equação (1): (Cruz-Matías, 2013). Por quarteramento, 10 partículas de cada amostra foram usadas, Figura 6, as dimensões principais foram quantificadas com paquímetro digital e a esfericidade obtida com uso da Equação (1), sendo **c** o comprimento do eixo menor: **a** e **b** os maiores.

$$\psi = \frac{\left(\frac{c^2}{a \cdot b} \right)^{\frac{1}{3}}}{1}$$



Figura 6 – Determinação da esfericidade (lado esquerdo: Amostra A; lado direito: Amostra B)

O índice de segregação de uma amostra de cada segmento A até I (Figura 5) é quantificado pela

Equação (2), sendo m_2 e m_4 as menores e maiores partículas, respectivamente. o índice de segregação De toda pilha (IP) é dado pela média aritmética dos índices de segregação de cada um dos segmentos (de A até I), Equação (3), sendo n o número de segmentos, no caso igual a nove.

$$I = \frac{|m_2 - m_4|}{m_2 + m_4} \cdot 100 \quad (2)$$

$$I_P = \frac{\sum_A I_i}{n} \cdot 100$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7 indica-se o resultado de um experimento, sendo incluída uma região adicional Z. Foram efetuadas 5 repetições nos experimentos com escoamento livre e 5 repetições com uso da ação do ar em escoamento, os resultados finais são mostrados nas Tabelas 1 e 2. Comparando-se os valores das Tabelas 1 e 2, verifica-se que a ação do escoamento do ar possibilitou um índice de segregação 16,63% menor que aquele apresentado pelo escoamento livre. Contudo, efetuando ajuste das frações mássicas, considerando as contribuições de cada região de A até I, o Índice de segregação se reduz de 34%, o que reflete melhor o resultado final da influência do ar em escoamento (CARVALHO, 2018). As esfericidades das menores e maiores partículas, densidade do MAP $1,73 \text{ g/cm}^3$ foram de 0,85 e 0,88, que são similares, provavelmente, exercem pequena influência na segregação.



Figura 7 – Imagem da obtenção de frações da pilha para medida dos índices de segregação.

Tabela 1 - das pilhas dos experimentos com ação do escoamento do ar com média e desvio padrão.

ÍNDICES DE SEGREGAÇÃO DA PILHA DO GRUPO TESTE							
EXPERIMENTO	1	2	3	4	5	MÉDIA	σ
<i>I_p</i>	11,46%	11,05%	14,04%	13,24%	14,51%	12,86%	1,54%

Tabela 2 - *das pilhas dos experimentos do grupo teste com média e desvio padrão.*

ÍNDICES DE SEGREGAÇÃO DA PILHA DO GRUPO CONTROLE							
EXPERIMENTO	1	2	3	4	5	MÉDIA	σ
<i>Ip</i>	14,44%	17,05%	14,39%	13,89%	17,35%	15,43%	1,64%

6. CONCLUSÃO

A variação no índice global de segregação considerando, em 34% todos os experimentos, usando a correção da contribuição das frações em cada porção dos segmentos de A até I, permite concluir que o uso do recurso de injeção de ar reduz a segregação na formação de pilhas cônicas quando da descarga de silos suspensos, mesmo que o sistema estudado não esteja operacionalmente otimizado.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, F. M. C. A segregação de partículas no contexto das misturadoras de fertilizantes. Dissertação de Mestrado. UNIUBE, Uberaba-MG. 2018. 121 p.
- CARVALHO, F. M. C.; FINZER, J.R.D.; BUCEK, E.U. Força de arrasto do ar na redução da segregação durante a formação de pilhas cônicas de fertilizante MAP granulado. ANAIS do XXII COBEQ-XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. São Paulo.
- CRUZ-MATÍAS, I; AYALA, D. Orientation, Sphericity and Roundness Evaluation of Particles Using Alternative **3D Representations**. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain December 2013.
- DIAS, V. P.; FERNANDES, E., Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, n. 24, p. 97-138, Rio de Janeiro, BNDES, 2006.
- HOFFMEISTER, G.; WATKINS, S. C.; SILVERGER, J.; Bulk Blending of Fertilizer Material: Effect of Size, Shape, and Density on Segregation, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 12, pp. 64-69, 1964.
- RHODES, M. **Introduction to Particle Technology**. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons. 450 p. 2008.
- UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO) and INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER (IFDC). **Fertilizer manual** / editors, Kluwer Academic Publishers: Sold and distributed by IFDC Dordrecht, The Netherlands: Muscle Shoals, AL. 1998.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, à Cinética Sistemas LTDA e à UNIUBE pelo suporte dado à apresentação deste trabalho no II EDEPA – 2018.