

III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação

10 a 13 de setembro de 2019 | Naviraí - MS



MODELO GENERALIZADO DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE: Uma proposta via modelagem matemática inteira mista

Matheus Vanzela,

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus Nova Andradina,
matheus.vanzela@ifms.edu.br

Hugo Monteiro Aguiar,

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus Nova Andradina,
hugomonteeiro@gmail.com

RESUMO

Foi proposto um modelo matemático inteiro misto para otimizar a compra de fertilizantes necessários na etapa de correção do solo para plantio. Foram consideradas restrições de compatibilidade entre as fontes e 5 diferentes demandas dos principais nutrientes na etapa de correção, Nitrogênio, Fósforo e Potássio (N-P-K). O modelo foi programado em *Python 3.7* com a biblioteca *PuLP* e resolvido com o *solver* COIN-CBC. Foi apresentado como resultado os dados de saída detalhados por custos totais e volume necessário para 1 hectare. Os resultados preliminares indicam que o modelo é factível, para os 5 testes realizados as soluções diferiram da prática usual pois foram encontradas soluções com mais combinações entre os produtos disponíveis, enquanto que usualmente são utilizadas apenas um produto formulado ou uma combinação entre fontes simples.

Palavras-chave: Modelo Matemático; Gestão de Custos; Aplicação de Fertilizantes.

Este estudo propõe um modelo matemático inteiro misto para aplicação de fertilizantes. Os custos com fertilização nas diferentes culturas estão em torno de 30% dos custos variáveis, segundo o relatório da CONAB (2019). Mesmo com as diferenças regionais o impacto com a fertilização mantém os mesmos níveis em todo país. O efeito do grande dispêndio financeiro, para esta etapa da produção, também vêm sendo discutido em outros países produtores, como observam Fuck e Pelaez (2012) em um trabalho sobre a evolução do preço de commodities no mercado americano. Os autores ainda levantam hipóteses da escalada dos valores gastos com a aplicação de fertilizantes, considerando uma série histórica desde 1997, dentre estes fatores inserem-se características particulares das sementes, como modificação genética, mais utilizadas atualmente. Levando em consideração estas características estratégicas, o produtor não prescinde da aplicação de fertilizantes na cultura de soja, uma vez que a produtividade ficaria comprometida.

As margens operacionais com o cultivo da soja no Brasil são estreitas e de difícil administração, como aponta o relatório do 1º trimestre de 2019 produzido pelo Centro de Pesquisas Agropecuária da Esalq – SP (CEPEA, 2019). Neste documento o CEPEA avança a possibilidade de que a produtividade (sacas/ha) média nacional não seja capaz de cobrir os custos atrelados a produção do grão.

A concentração deste trabalho está na proposição de um modelo matemático inteiro misto para otimização dos custos com a aplicação de fertilizantes. O modelo servirá para apoiar a seleção mais econômica do insumo que atenda as dosagens recomendadas pelos agrônomos após a análise de solo, bem como as restrições de compatibilidade entre as fontes disponíveis.

O MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

Propõe-se um modelo em que a função objetivo minimiza o custo com aplicação de fertilizantes representados pelas variáveis reais X e o número de fontes diferentes na composição do *pool* de matérias primas a serem adquiridas, representado pelas variáveis binárias B . As restrições de compatibilidade foram modeladas de acordo com as recomendações encontradas em Lopes (1989). Para obtenção destas equações utilizou-se como estratégia a inserção de variáveis binárias, que correspondem à utilização ou não de

determinada fonte naquela rodada, esta estratégia foi adaptada da p.167 de Arenales et al. (2011).

Os parâmetros e variáveis do modelo exibido nas equações de 3.1 a 3.5 são:

- o vetor **CustoFert** que armazena o custo de fertilizantes;
- os vetores **NFert**, **PhFerte** e **KFert** representam as garantias, em percentuais, de Nitrogênio, Fósforo e Potássio presentes em cada fonte de fertilizante;
- N**, **P** e **K** são os vetores unitários que armazenam as dosagens de nutrientes necessários, respectivamente, para nitrogênio, fósforo e potássio;
- Os índices foram agrupados por **F**: Fontes de Fertilizantes e **Q₁**: Fontes com restrições de compatibilidade com as fontes de **Q₂**.
- As constantes para representarem valores grandes e pequenos. Os números **Mass = 10⁶** e **epi = 10⁻⁶**;
- As variáveis de decisão presentes no modelo são **X**: Quantidade em Kg de fertilizante e **B**: Variáveis binárias que assumem **0** ou **1** conforme a fonte é escolhida.

Função Objetivo **Z**:

$$Z = \min \sum_{i \in F} (\text{CustoFert}(i) \cdot X(i) + B(i))$$

Garantia das dosagens mínimas de Nitrogênio (**N**), Fósforo (**P**) e Potássio (**K**):

$$\sum_{i \in F} \text{NFert}(i) \cdot X(i) \geq N$$

$$\sum_{i \in F} \text{PhFert}(i) \cdot X(i) \geq P$$

$$\sum_{i \in F} \text{KFert}(i) \cdot X(i) \geq K$$

Restrições que atribuem 1 ou **0** às variáveis binárias **B(i)** conforme a seleção ou não de **X(i)** pelo algoritmo Simplex:

$$X(i) - B(i) \cdot \text{Mass} \leq 0, \quad \forall i \in F$$

Restrições do tipo “se-então” que impedem a aplicação de fontes incompatíveis:

III Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação

10 a 13 de setembro de 2019 | Naviraí - MS



$$\sum_{i \in Q_1} B(i) \leq epl \cdot B_{k'} \quad \forall k \in Q_2$$

Domínio das variáveis:

$$X(i) \in \mathbb{R}_+, B(i) \in \{0,1\}$$

Foram realizados testes preliminares de funcionamento do modelo. O algoritmo foi programado em *Python 3.7* e modelado com a biblioteca *PuLP* do projeto *COIN-OR* um conjunto de ferramentas *open-source* desenvolvidas em conjunto pela comunidade de pesquisa operacional ao redor do mundo. Os testes preliminares foram realizados no intuito de verificar o funcionamento do modelo e a capacidade de previsão de soluções diferentes da prática usual. A partir de entrevistas com agrônomos e produtores de milho e soja da região de Nova Andradina foi levantado que os produtores basicamente optam por fontes simples ou um único formulado comercial.

O vetor **CustoFert** representa o custo de fertilizantes levantados no portal mantido pelo Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo IEA (2019), foram considerados 29 tipos de produtos entre fontes simples e formuladas. As recomendações de dosagens de N, P e K foram obtidas na literatura, citamos os trabalhos de Milanesi (2015). O intervalo de variações dos vetores correspondentes às doses de nutrientes N, P e K foi, respectivamente, **[0,200]**, **[0,160]** e **[0,200]**.

Para entender os resultados obtidos apresenta-se a Tabela 1 que contém os dados de entrada das demandas nutricionais de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (N-P-K), os volumes em kg das combinações avaliadas como mais econômicas pelo modelo e os custos totais para 1 ha. Foram realizados 5 testes nomeados por A, B, C, D e E que servirão para conclusão desta primeira etapa e verificação do funcionamento do algoritmo e da modelagem computacional do modelo.

Tabela 1: Parâmetros entrada e saída do modelo para 5 testes

Testes	A	B	C	D	E
Nutriente	Demanda de entrada para N-P-K em kg				
N	118	81	89	23	194
P	74	96	30	106	146
K	146	191	2	89	44
Produto	Volume em kg				
19-10-19					485
21-0-21	174	386	100	104	5
2-30-10					
4-30-10	88		405	1	827
4-30-16				298	
5-25-25	508	450		19	
Total (R\$)	1151,12	1302,73	721,88	751,67	1982,65

Com estes resultados foi possível perceber que o modelo foi capaz de realizar combinações entre os 29 produtos elencados na matriz de entrada. A diversidade de combinações dos produtos indica que a utilização de modelos matemáticos avaliam com maior economicidade essa escolha, pois é observado que, no cotidiano das propriedades produtoras, os gestores adquirem os fertilizantes optando por um único produto. Assim foi possível concluir que o modelo é factível e deve ser investigado com testes mais robustos e comparações com os custos dispendidos pelos proprietários com a prática atual. Para trabalhos futuros será de grande utilidade atribuir condições estocásticas quanto aos custos dos produtos, visto que os mesmos estão atrelados ao dólar, tendo assim alta volatilidade.

REFERÊNCIAS

- ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- CONAB, C. N. DE A. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília, 2019.
- LOPES, A. S. **Manual de Fertilidade do Solo**. São Paulo, 1989.
- MILANESI, J. H. **Adubação Da Cultura Da Soja Baseada Nos Teores Mínimos De Fósforo E Potássio No Solo**. Dissertação. , p. 73, 2015.
- IEA. Instituto de Economia Agrícola - SP. **Preços médios mensais pagos pela agricultura**. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea_Testes/pagos2.aspx?cod_sis=5>. .