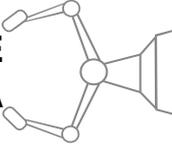


# MODELAGEM MATEMÁTICA PARA UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES NO CULTIVO DE SOJA



**Matheus Vanzela**

matheus.vanzela@ifms.edu.br; Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - IFMS

**Hugo Aguiar Monteiro**

hugomonteeiro@hotmail.com; Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - IFMS

**Luan Barbosa de Moraes**

luan.morais@novaandradina.org; Instituto Federal de Mato Grosso do Sul - IFMS

Recebido em: 04/12/2019

Aceito em: 11/05/2020

**Resumo:** Este artigo levanta as principais características, custos, demandas técnicas e algumas operações envolvidas na produção de soja. A partir deste estudo é 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 foram simuladas diferentes demandas dos principais nutrientes na etapa de correção, Nitrogênio, Fósforo e Potássio (N-P-K). A linguagem de programação utilizada foi Python 3.3.3 com modelagem das equações via PuLP e resolução pelo solver CBC (COIN-OR). Os resultados obtidos diferiram da prática usual, foram encontradas soluções com mais combinações entre as fontes disponíveis, enquanto usualmente são utilizadas uma fonte formulada ou uma combinação entre fontes simples. O modelo foi testado com 105 instâncias de dados, sendo agrupadas em 5 categorias de custos com 21 diferentes combinações de N-P-K. As análises concentraram-se nos custos totais, correlação entre quantidade de fertilizante total e custos, número de fontes selecionadas por instância e tempos computacionais.

**Palavras-chave:** modelagem matemática na agricultura; gestão da produção agrícola; aplicação de fertilizantes; pesquisa operacional.

**Abstract:** *This paper raises the main characteristics, costs, technical demands and some operations involved in the production of soybeans. From this study it is proposed a mixed mathematical model to optimize the purchase of fertilizers needed in the soil correction stage for planting. Nitrogen, Phosphorus and Potassium (N-P-K) were considered to be different compatibility requirements. The programming language used was Python 3.3.3 with modeling of the equations via PuLP and resolution by the CBC solver (COIN-OR). The results obtained differed from usual practice, solutions with more combinations between the available sources were found, whereas a formulated source or a combination between simple sources is usually used. The model was tested in 105 instances of data,*

*being grouped into 5 cost categories with 21 different combinations of N-P-K. The analyzes focused on the total costs, correlation between total fertilizer quantity and costs, number of sources selected per instance and computational times.*

**Keywords:** *mathematical modeling in agriculture; management of agricultural production; application of fertilizers; operational research.*

**Resumen:** *Este artículo plantea las principales características, costos, demandas técnicas y algunas operaciones involucradas en la producción de soja. Con base en este estudio, se propone un modelo matemático mixto para optimizar la compra de fertilizantes necesarios en la etapa de corrección del suelo para la siembra. Se consideraron restricciones de compatibilidad entre fuentes y se simularon diferentes demandas de los principales nutrientes en la etapa de corrección, nitrógeno, fósforo y potasio (N-P-K). El lenguaje de programación utilizado fue Python 3.3.3 con modelado de ecuaciones a través de PuLP y resolución utilizando el solucionador CBC (COIN-OR). Los resultados obtenidos diferían de la práctica habitual, se encontraron soluciones con más combinaciones entre las fuentes disponibles, mientras que generalmente se utiliza una fuente formulada o una combinación entre fuentes simples. El modelo se probó con 105 instancias de datos, que se agruparon en 5 categorías de costos con 21 combinaciones diferentes de N-P-K. Los análisis se centraron en los costos totales, la correlación entre la cantidad total de fertilizantes y los costos, el número de fuentes seleccionadas por instancia y los tiempos de cálculo.*

**Palabras clave:** *modelado matemático en agricultura; gestión de producción agrícola; aplicación de fertilizantes; investigación operativa.*

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados da Embrapa (2016), o Brasil teve, em 2000, aproximadamente, 32,8 milhões toneladas de grãos de soja colhidos de 13,6 milhões de hectares. A cultura do grão teve crescimento, em 2016, tanto em produção quanto em área cultivada, passando a 96,2 milhões de toneladas em 33,1 milhões de hectares. O estado de Mato Grosso do Sul contribuiu com cerca de 7,7% do total da produção nacional, posicionando-o como 5º maior produtor de soja do Brasil. É relevante observar que os 5 maiores estados produtores, Mato Grosso, Goiás, Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul, juntos são responsáveis por mais de 75% de toda produção nacional, sugerindo um impacto regional muito forte na região Centro-Oeste.

Os custos atrelados à produção da soja são diferentes em vários parâmetros, a região produtiva é um dos mais impactantes, pois afeta diretamente a produtividade, em virtude das características geográficas e qualidade do solo, além disso a infraestrutura regional como estradas, mercado consumidor, existência de cooperativas de produção e outros fatores contribuem com a elevação dos custos produtivos. O Ministério da Agricultura por meio da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2017) utiliza diversas metodologias para divulgação dos custos operacionais da produção agrícola em algumas regiões do Brasil. A Tabela 1 mostra os custos variáveis por hectare de soja, apresentados de maneira agregada, gerados via Conab (2017) para o estado de Mato Grosso do Sul na safra de 2017/18.

**Tabela 1:** Itens que impactam o custo variável da produção de soja

Item Custo	Custo Variável/ha (R\$)
Despesas Administrativas	56,05
Defensivos	596,31
Análises técnicas	37,83
Juros de financiamento	52,58
Sementes	213,50
Armazenamento e Transporte	111,80
Maquinário	138,00
Fertilizantes	679,32
Seguridade Social	71,87
<b>SOMA</b>	<b>1.957,26</b>

Fonte: Adaptada de CONAB (2019)

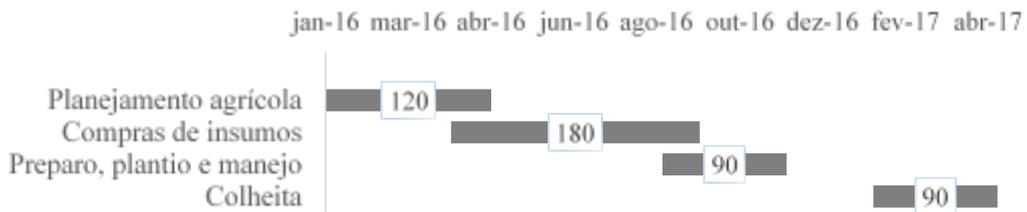
Nota-se a importância dos custos com fertilização, maior que 30% dos custos variáveis. Mesmo com as diferenças regionais o impacto com a fertilização mantém os níveis em todo país. O efeito do grande dispêndio financeiro para esta etapa da produção também vem sendo discutido em outros países produtores, 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 CEPEA (2019) que aventa 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 linear 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.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE PLANTIO DA SOJA

Para simplificação, o processo produtivo da soja será descrito em 4 grandes fases que ocorrem entre dois anos, correspondendo a 1 safra, por isso denomina-se, por exemplo, safra 2016/17. Significa que as atividades ocorreram entre os dois respectivos anos. Na Figura 1, apresentam-se as 4 fases de acordo com seu calendário usual de ocorrência em um gráfico *Gantt*.

**Figura 1:** Programação das atividades de produção da soja safra 2016/17.



Fonte: Autores

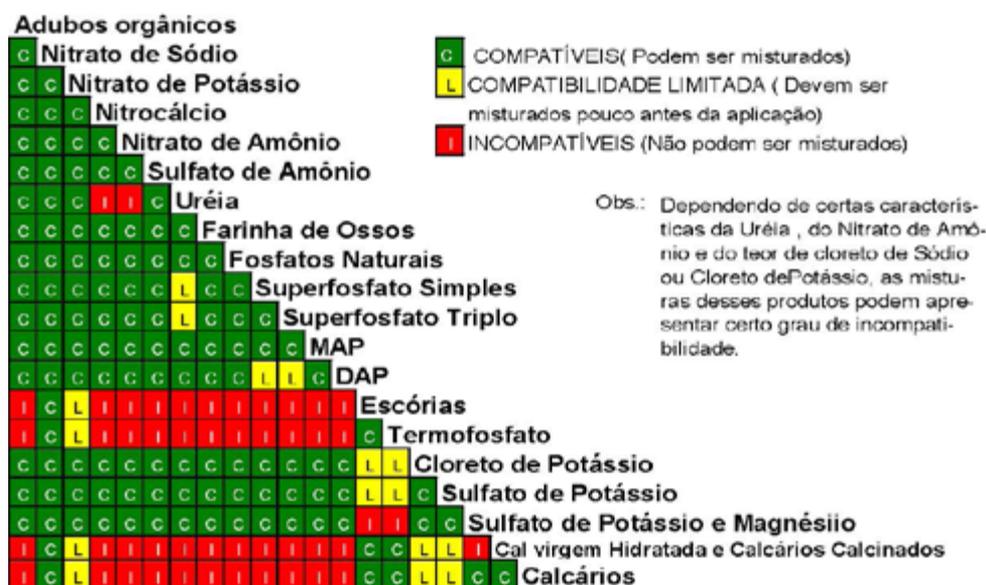
Para facilitar as análises a Figura 1 apresenta cada etapa com a duração aproximada em dias dentro da barra horizontal. O ciclo de produção se inicia no planejamento agrícola (aproximadamente 120 dias) com base no cenário nacional e internacional de commodities, previsões climáticas e custos de produção. Durante o planejamento definem-se a área destinada ao cultivo, as formas de contratação de mão de obra, definição de fornecedores e agrônomos para serviços técnicos. O planejamento agrícola permite estabelecimento de parâmetros essenciais para determinação da compra de insumos, como sementes, defensivos e fertilizantes. Após esta análise que envolve decisões estratégicas e táticas, as fazendas estão prontas para iniciar as etapas operacionais de plantio e colheita. É importante mencionar que na prática agrícola os produtores ainda terão a produção de uma cultura entressafras, em MS geralmente utiliza-se o milho safrinha, dentro da janela temporal exibida na Figura 1, porém não trataremos desta prática.

A proposta apresentada concentra-se na descrição e no planejamento relacionado ao uso dos fertilizantes, que são pré-determinados baseado na análise de solo, realizada durante o planejamento agrícola. Considerando os altos custos deste insumo, já discutido na introdução (Seção 1), grandes produtores têm capacidade ativa na negociação direta com os principais *players* do mercado, o que possibilita a escolha de pacotes de compras mais vantajosos. Os pequenos e médios produtores realizam suas compras nas praças mais próximas das fazendas, acabando por consumir os estoques comerciais, não sendo essa decisão, eventualmente, a mais econômica.

## 2.1. As decisões envolvidas na etapa de fertilização

Após a análise do solo, o agrônomo faz a sugestão de correção do solo baseado na proporção dos 3 principais nutrientes – nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P). Com a proporção sugerida, o produtor precisa fazer a compra dos produtos que podem ser fontes combinadas dos nutrientes ou fontes simples. A forma de combinação destes nutrientes segue uma decisão não muito bem definida e otimizada. Incorre em respeitar algumas restrições de interação entre as fontes e envolve um alto número de combinações possíveis dos nutrientes, esta miríade de possibilidades não é atendida com os produtos comerciais previamente preparados. A Figura 2 mostra a matriz de compatibilidade entre os fertilizantes que será utilizada na proposição do modelo matemático.

Figura 2: Matriz de Compatibilidade entre as fontes de nutrientes



Fonte: Lopes (1989)

As fórmulas, podem ser produzidas na propriedade agrícola, ou adquiridas prontas das fábricas e misturadoras, as quais possuem equipamentos que proporcionam boa uniformidade entre seus componentes. As fórmulas muito concentradas, com soma de N+P+K acima de 50% são difíceis de serem fabricadas, pois as matérias-primas mais disponíveis raramente atingem tais valores. Além do N, P e K, outros nutrientes como o enxofre (S), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e os micronutrientes também podem fazer parte das fórmulas, devendo ser indicadas sua presença e concentração (TRANI; TRANI, 2011).

Dentre as fórmulas formuladas de fertilizantes minerais mais encontradas no comércio citam-se: a) Para semeadura/plantio das culturas: 04-14-08; 08-28-16;

05-30-10; 05-30-15; 04-20-20 e 05-25-25; b) Para aplicação em cobertura (durante o desenvolvimento das culturas): 20-05-20; 20-0-20; 20-05-15; 14-07-28; 12-06-12; 10-10-10 e 15-15-15. Existem duas vantagens técnicas quando da utilização de fórmulas de baixa e média concentração (até 40%), a primeira é a possibilidade de utilizar quantidades maiores dos produtos, exigindo um maquinário mais simples, por exigir menor precisão, a segunda está na composição da fórmula que contém outros nutrientes também relevantes na nutrição de plantas. As fórmulas de alta concentração (acima de 40%) têm como principal vantagem permitir uma economia no frete. Os custos logísticos têm um alto impacto em vários pontos do planejamento produtivo, inclusive na composição dos custos do fertilizante. Apesar de não serem tratados neste trabalho é interessante notar que muitos fretes de escoamento da soja para os portos voltam carregados de fertilizantes, provenientes de importações. Esta característica permite entender as diferentes precificações entre as praças.

A intenção de fazer um planejamento agrícola, pautado na economicidade, visando minimizar o custo na compra do fertilizante, respeitar um conjunto de restrições de compatibilidade entre as fontes de fertilizantes, atendendo as proporções levantadas na análise técnica, coaduna com a proposição de um modelo algébrico que permita apoiar esta decisão gerencial.

### 3. MODELO MATEMÁTICO

Propõe-se um modelo em que: a função objetivo  $Z$  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 a matriz apresentada na Figura 2. 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 de Arenales *et al.* (2011).

Os parâmetros e variáveis do modelo exibido nas equações de 1 a 5 são:

- a) o vetor  $CustoFert$  que armazena o custo de fertilizantes;
- b) os vetores  $NFert$ ,  $PhFert$  e  $KFert$  representam as garantias, em percentuais, de Nitrogênio, Fósforo e Potássio presentes em cada fonte de fertilizante;
- c)  $N$ ,  $P$  e  $K$  são os vetores unitários que armazenam as dosagens de nutrientes necessários, respectivamente, para nitrogênio, fósforo e potássio;
- d) Os índices foram agrupados por  $F$ : Fontes de Fertilizantes e  $Q_1$ : Fontes com restrições de compatibilidade com as fontes de  $Q_2$ .

e) As constantes para representarem valores grandes e pequenos. Os números  $Mass=10^6$  e  $epi=10^{-6}$ ;

f) 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

$$Z = \sum_{i \in F} (CustoFert(i) \cdot X(i) + B(i)) \quad (1)$$

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

$$\sum_{i \in F} NFert(i) \cdot X(i) \geq N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in F} PhFert(i) \cdot X(i) \geq P \quad (3)$$

$$\sum_{i \in F} KFert(i) \cdot X(i) \geq K \quad (4)$$

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

$$X(i) - B(i) \cdot Mass \leq 0, \quad \forall i \in F \quad (5)$$

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

$$\sum_{i \in Q_1} B(i) \leq epi \cdot B_k, \quad \forall k \in Q_2 \quad (6)$$

Domínio das variáveis

$$X(i) \in R_+, B(i) \in \{0, 1\}$$

## 4. METODOLOGIA DOS TESTES

O vetor *CustoFert* representa o custo de fertilizantes levantados nas principais lojas da região de Nova Andradina – MS (entre 2018 e 2019) e no portal mantido pelo IEA (2019). As recomendações de dosagens de N, P e K foram obtidas na literatura (HICKMANN *et al.*, 2017; MILANESI, 2015) que discutem elementos técnicos como pH do solo e níveis regionais de chuvas para a formulação das dosagens, também foram considerados os levantamentos presentes em Resende (2014) que discute quais seriam os intervalos de dosagens mais adequados para altas produtividades do grão de soja.

A partir desta revisão bibliográfica e dos levantamentos in loco, foi possível planejar os testes a serem realizados com o modelo algébrico, definir quais intervalos de variação nas dosagens de N, P e K seriam comumente praticados, bem como compor vetores de custos com valores reais de mercado. Foram utilizadas 29 fontes de fertilizantes (variáveis reais), simples e formuladas, mais recorrentes no mercado. As variações dos vetores correspondentes às doses de nutrientes N, P e K foram, respectivamente, [0,200], [0,160] e [0,200], geradas randomicamente pelo gerador de números pseudoaleatórios Mersenne Twister, presentes na biblioteca SciPy do Python 3.3.3.

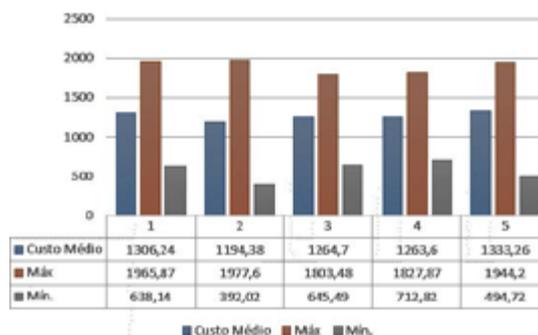
Considerando que custos de fertilizantes flutuam de acordo com a cotação do dólar, foram criados 5 patamares de preços para as matérias primas. Para cada um destes patamares foram geradas 21 diferentes combinações para as demandas de nutrientes (N, P e K), simulando diferentes necessidades de solos, período de plantação e outras estratégias técnicas. Dessa maneira foram geradas 105 (instâncias de testes, permitindo a criação de situações similares à realidade enfrentada no campo.

A modelagem do problema e o código de execução foi escrito em *Python 3.3.3* e sua biblioteca *PuLP*, parte do projeto COIN-OR (2004). O *solver* chamado para resolução do modelo foi a configuração padrão da biblioteca.

## 5. ANÁLISE DE RESULTADOS

Com relação aos custos totais houve pouca variação no custo médio entre cada um dos 5 grupos de instâncias. Porém esses resultados representam o custo por hectare, assim, a depender da área, a diferença entre custos médios de cada simulação será importante. Na Figura 3, apresenta-se o comportamento dos custos totais e os valores médios, máximos e mínimos, atingidos em cada um dos 5 patamares planejados.

**Figura 3:** Resumo dos custos totais



Fonte: Autores.

Nota-se a alta variabilidade com relação aos custos máximos e mínimos, refletindo o impacto desta decisão no planejamento da produção. A alta amplitude dos resultados com os custos totais, por exemplo no grupo 2 é maior que 500%. Guiando assim uma outra possibilidade para esta proposta, que seria a utilização do modelo para geração de cenários de planejamento de plantio. Garantindo maior controle e capacidade de visualizar em quais situações o produtor estaria no cenário de pior e melhor caso.

Na Tabela 2 é apresentado o número de vezes que cada fórmula de fertilizante foi selecionada. A codificação que se inicia com a letra F representa um formulado com as respectivas garantias de N-P-K, respectivamente. A letra T representa o Termofosfato que é uma fonte simples de Potássio.

**Tabela 2:** Número de seleções para cada fonte

Quantidade	Fórmula
83	F-19-10-19
40	F-21-0-21
37	F_5_25_25
27	F_4_30_10
22	F_14_7_28
14	F_2_20_18
8	T_0_17_0
1	F_4_30_16

Fonte: Autores

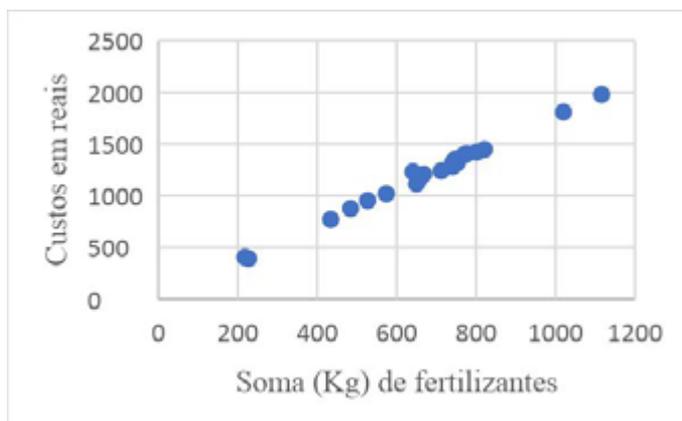
Durante os levantamentos foi percebido que apenas em 5 das 105 instâncias foi utilizada uma única fonte de fertilizante e, em um dos 5 grupos de custos, apareceu como opção a fonte simples de Potássio chamada Termofosfato. A diversidade de combinações das fontes indica que a utilização de modelos matemáticos avalia com maior economicidade a escolha dos produtos, pois é observado que, no cotidiano das propriedades produtoras, os gestores adquirem uma fonte por safra. Também foi verificado que fórmulas mais concentradas foram elencadas com maior frequência. Existe uma dificuldade inerente no cálculo tradicional em avaliar a viabilidade de se utilizar mais de uma fonte, assim produtores e agrônomos simplificam suas decisões escolhendo fontes simples ou uma única fonte formulada.

Apresentam-se, nas Figuras de 4 a 8, o comportamento dos custos totais  $C(x)$  em função do peso de fertilizantes em kg ( $x$ ). As respectivas funções de  $C$  em função de  $x$  foram geradas por regressão linear simples. Os gráficos foram organizados para cada um dos 5 grupos de custos. A correlação observada foi respectivamente, 0,993; 0,997; 0,896; 0,825 e 0,997 para os grupos 1 a 5. Reforçando uma correlação já esperada entre a soma

do peso de fertilizantes planejados pelo modelo e o custo total. Provavelmente quando forem incluídas restrições de logística essa correlação será ainda mais pronunciada. Nota-se nos grupos 3 e 4 uma certa disparidade entre a  $C(x)$  e  $x$  indicando que em determinadas situações haverá um planejamento com volumes de fertilizantes não diretamente relacionados aos custos.

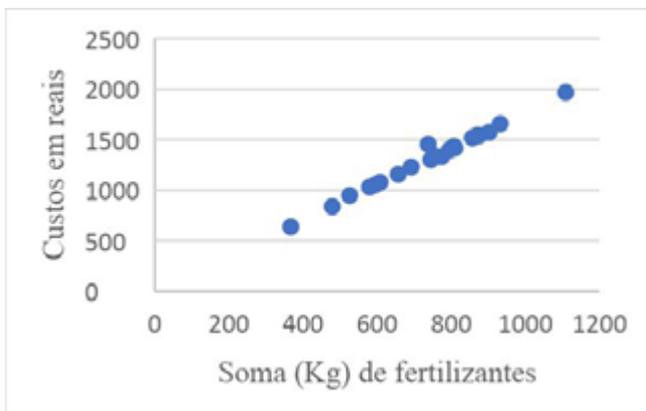
Como última análise citamos os tempos computacionais na execução dos testes, o *solver* utilizado foi o *Coin-OR-Branch-Cut* (CBC), para os grupos de 1 a 5 os tempos foram respectivamente 2,924s; 2,800s; 2,856s; 2,89s; 2,578s.

**Figura 4:** Grupo 2 de custos [ $C(x) = 1,778x$ ]



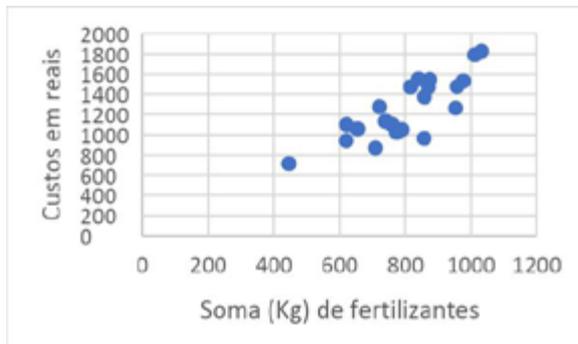
Fonte: Autores

**Figura 5:** Grupo 1 de custos [ $C(x)=1,772x$ ]



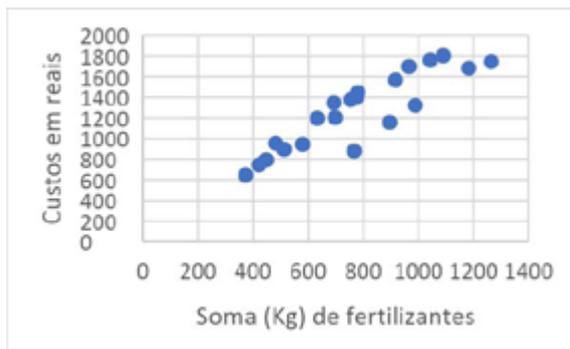
Fonte: Autores

**Figura 6:** Grupo 4 de custos [ $C(x) = 1,575x$ ]



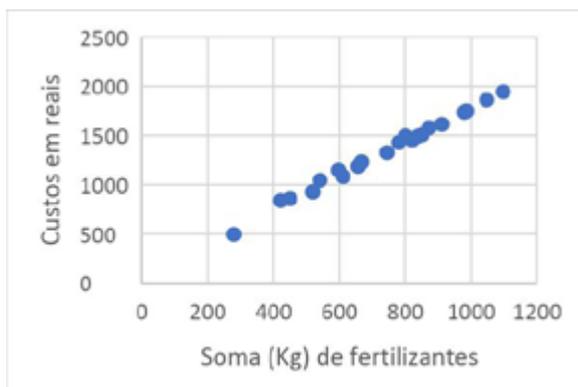
Fonte: Autores

**Figura 7:** Grupo 3 de custos [ $C(x) = 1,589x$ ]



Fonte: Autores

**Figura 8:** Grupo 5 de custos [ $C(x) = 1,802x$ ]



Fonte: Autores

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos resultados do estudo foi a obtenção de um modelo matemático, com variáveis reais e binárias, inédito para apoiar o planejamento da compra de fertilizantes na produção de soja, considerando demandas de nutrientes N-P-K levantadas a partir das análises de solo. Foram inseridas variáveis binárias que permitem a modelagem das restrições de compatibilidade entre as fontes de fertilizantes. Para validar o modelo foram usados dados reais levantados no comércio da microrregião de Nova Andradina, plataformas públicas da Embrapa (2016), do IEA (2019) e da CONAB (2019). Para simular situações reais de análise de solo e gerar valores realísticos de N-P-K aproveitou-se os trabalhos de (HICKMANN *et al.*, 2017) e Resende (2014). Foram gerados 5 grupos com diferentes valores de custos para cada uma das fontes de fertilizantes. Para capturar a melhor maneira de simular essa flutuação de preços utilizou-se o trabalho de Fuck e Pelaez (2012) que discute o impacto dos custos de insumos no preço de commodities. Em cada um dos 5 grupos foram geradas 21 diferentes combinações da demanda de N-P-K, baseado nos critérios propostos em Resende (2014). Totalizaram, portanto, 105 instâncias de dados para testes. A partir dos testes foi possível perceber a diferença das soluções obtidas com o modelo proposto e quanto a prática usual. Foram utilizadas combinações com 2 a 4 opções de fertilizantes em cada saída do modelo enquanto nas propriedades geralmente os produtores adquirem um único produto para atender as necessidades, uma vez que sem uma ferramenta de análise fica impraticável avaliar todas as opções. Foi discutido neste trabalho a correlação linear entre a quantidade de fertilizante utilizado e o custo total, apesar de 3 dos 5 grupos testados encontrarmos correlação praticamente igual a 1, houve duas instâncias que se notou uma menor correlação e maior dispersão dos dados. Este resultado indica que é importante incorporar novas restrições ao modelo, como restrições de logística. Este trabalho também conseguiu capturar uma necessidade dos produtores que é a geração de cenários antes do plantio, esta possibilidade permite que o gestor faça planejamentos de financiamentos, troca de culturas e análise prévia das dificuldades com esta etapa importante do cultivo. O modelo foi proposto para análise de produção de soja, porém ele pode ser facilmente adaptado para outras culturas. Para trabalhos futuros, além das restrições de logística, pretende-se inserir restrições próprias do maquinário de aplicação, granulometria da fonte selecionada, setup de preparação e consideração do número de operações necessárias com giros de tratores durante a aplicação. Também é importante citar que foi desenvolvido um código programado em Python através da biblioteca PuLP, sendo uma ferramenta passível de implementação Web que facilitaria e incorpora um caráter comercial, expandindo a pesquisa para utilização voltada ao usuário final. Por último, as análises de sensibilidade não foram apresentadas neste trabalho, uma vez que a principal contribuição é a proposição do modelo, eventualmente em trabalhos futuros que estejam resolvendo

casos específicos e comparando resultados, a análise de sensibilidade servirá como instrumento importante dentro do aspecto gerencial.

## Referências

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

CEPEA. Centro de Pesquisas Econômicas e Agropecuárias. **Relatórios Agrícolas**. Piracicaba, 2019.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. O comportamento dos preços dos insumos agrícolas na produção de milho e soja. **Compêndio de estudos Conab**, v. 17, p. 63, 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da Agropecuária**. Brasília, 2019.

EMBRAPA. **AGROPENSA - Produção agrícola**. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://bi.sede.embrapa.br/BOE/BI/custom.jsp?i=31799024&u=boetrusted>. Acesso em: 30 jun. 2019.

COIN-OR Foundation. Disponível em: <https://www.coin-or.org>.

FUCK, M. P.; PELAEZ, V. Custos de produção de commodities. **Revista de Política Agrícola**, v. Único, n. 3, p. 65-80, 2012.

HICKMANN, C.; RESENDE, Á. V. DE; SILVA, C. A. Soybean response to NPK fertilization of sowing and potassium at topdressing in soil of improved fertility. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 2, p. 37-48, 2017.

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**. 2015. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

RESENDE, Á. V. **Repensando a adubação NPK em sistemas de alta produtividade de grãos**. FertBio - Fertilidade e biologia do solo: integração e tecnologias para todos. p.28, 2014. Araxá, MG. Disponível em: <https://www.sbcs.org.br/fertbio2014/anais/palestras/apresentacoes/AlvaroVilelaResende.pdf>.

IEA. Instituto de Economia Agrícola. **Indicadores da Agropecuária**. Disponível em: [http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea\\_Testes/pagos2.aspx?cod\\_sis=5](http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea_Testes/pagos2.aspx?cod_sis=5).

TRANI, P. E.; TRANI, A. L. **Fertilizantes: Cálculo de Fórmulas Comerciais**. Instituto Agronômico (IAC), p. 29, 2011. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/>.