**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Fertilizantes minerais: análise da dinâmica na economia agrícola do
Centro-Oeste brasileiro**

Cristiane Mitie Ogino

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

**Piracicaba
2018**

Cristiane Mitie Ogino
Engenheira Agrônoma

**Fertilizantes minerais: análise da dinâmica na economia agrícola do Centro-Oeste
brasileiro**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JOÃO GOMES MARTINES FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Economia
Aplicada

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Ogino, Cristiane Mitie

Fertilizantes minerais: análise da dinâmica na economia agrícola do Centro-Oeste brasileiro / Cristiane Mitie Ogino. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. . - - Piracicaba, 2018.

101 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Fertilizantes minerais 2. Centro-Oeste brasileiro 3. Produtividade agrícola 4. SVAR I. Título

DEDICATÓRIA

A minha família,
em especial
aos meus pais,
à *batchan* Ayako Ogino,
ao *ditchan* Shigueru Ogino,
e ao tio Auro Ogino.

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito à minha família, em especial, à minha mãe, Alice Ogino, ao meu pai, Hermes Ogino, à minha irmã, Beatriz Ogino, ao meu irmão, Gabriel Ogino, e às tias Isabel, Lúcia e Aurora.

Agradeço ao prof. João Gomes Martines Filho por me orientar, pelos ensinamentos, pela paciência, pelo conselhos, pelo incentivo e por toda ajuda, sempre.

Agradeço a todos os professores com quem tive aula, em especial à Prof.^a Mirian Bacchi, ao Prof. Alexandre Nunes e ao Prof. Humberto Spolador, por suas sugestões na qualificação. Aos professores da banca de defesa Prof. Geraldo Costa Junior, Prof.^a Mirian Bacchi e Prof.^a Nataliya Popova.

Agradeço, também, a todos os colegas de departamento por toda a ajuda, pois sei que foram muitas, e sempre pude contar com todos.

Agradeço, em especial, aos amigos que tive a honra de conhecer: Diego Botássio, Jaqueline Gelain, Josimar Jesus, Nathália Oliveira e Taís Menezes. Muito obrigada por toda ajuda na área de Economia, pelas conversas, pelo apoio emocional. Em suma, por toda a amizade.

Agradeço à Lu Cipriano por todo carinho que tive na biblioteca. Agradeço à Aline e à Claudi na secretaria. E à dona Mirian no departamento.

Agradeço ao Rafael Jacomini, à Mirian Souza e à Nicole Castro pela disponibilidade e colaboração para realizar a dissertação.

Agradeço à D. Teresinha e à D.Toshie pela moradia.

Agradeço aos amigos Gleica Graviel, Gleydson Motta, Tadeu Botti,...

Agradeço à CAPES.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS.....	10
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1. FERTILIZANTES.....	17
2.2. CARACTERÍSTICAS DOS MACRONUTRIENTES PRIMÁRIOS.....	19
2.3. DEMANDA DA PLANTA POR NUTRIENTES	24
2.4. CONTEXTO ECONÔMICO DOS FERTILIZANTES MINERAIS NO BRASIL.....	27
2.5. RELAÇÃO ENTRE A AGRICULTURA E OS FERTILIZANTES MINERAIS NO CENTRO-OESTE	31
2.6. TRABALHOS PUBLICADOS SOBRE O TEMA	33
2.7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ECONÔMICA	36
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3.1. MATERIAL	41
3.2. MÉTODOS	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1. PROPRIEDADES DA RAIZ UNITÁRIA E DE COINTEGRAÇÃO DAS VARIÁVEIS	57
4.2. RESULTADO DO MODELO VAR ESTRUTURAL	64
4.3. MATRIZ DE RELAÇÕES CONTEMPORÂNEAS E DECOMPOSIÇÃO DA VARIÂNCIA DO ERRO DE PREVISÃO.....	64
4.4. ANÁLISE DAS FUNÇÕES IMPULSO RESPOSTA	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
REFERÊNCIAS	89
ANEXO	95

RESUMO

Fertilizantes minerais: análise da dinâmica na economia agrícola do Centro-Oeste brasileiro

Os fertilizantes minerais apresentam-se como um dos insumos contribuidores para o aumento da produtividade no Brasil desde os anos de 1980, diante da limitada expansão da área agrícola, e são considerados como poupadores de terra. No entanto, por serem provindos de recursos naturais escassos, extraídos viávelmente (econômico e físico) de limitados locais do mundo, e dependerem altamente de energia para a síntese, fazem com que a produção agrícola seja sensível aos impactos de oferta e demanda pelos fertilizantes. A exemplo do ocorrido em 2008/2009, em que a elevação dos preços dos fertilizantes reduziu sua quantidade de consumo e houve alteração no mercado das *commodities* agrícolas. Diante disso, objetivou analisar a dinâmica econômica entre os fertilizantes minerais com o mercado agrícola da região Centro-Oeste (CO), onde apresenta o maior consumo de fertilizante minerais e concentra a maior produção agrícola do país. Para análise, considerou-se as variáveis como a quantidade consumida de fertilizantes e o poder de compra ponderado à produtividade (poder de compra p.p.) no CO, e o preço do fertilizante específico. Empregou-se a metodologia de séries temporais, mais especificamente o modelo Autorregressivo Vetorial Estrutural (SVAR), para cada macronutriente primário, ou seja, os fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos. Tal modelo permitiu estimar as respostas das variáveis endógenas aos impactos positivos tanto das demais variáveis como de si próprio. Os resultados mostram que a quantidade consumida como sendo a variável mais endógena, com a maior participação do poder de compra p.p. do que seus preços, além da própria variação para os três modelos. Diferentemente dos preços que se apresentaram mais exógenos, cuja contribuição própria foi mais de 90%, também para os três modelos. Por conseguinte, nas análises dos impactos determinou-se a maior sensibilidade de variação entre o impacto no poder de compra p.p. sobre a quantidade consumida do fertilizante para os três modelos. Ao serem comparados, obtiveram a ordem decrescente das elasticidades igual a 0,65; 0,58; e 0,48, respectivamente aos fertilizantes $N > P_2O_5 > K_2O$, sequência esta conferida pela atuação agrônômica dos nutrientes no solo da região e nas culturas. Já a menor sensibilidade de variação ocorreu entre o poder de compra p.p. sobre o choque nos preços dos fertilizantes, resultado esse esperado, devido os fertilizantes serem um dos insumos necessários para o aumento de produtividade. Assim, reconhece-se a relação positiva entre os três tipos de fertilizantes minerais e a produção no Centro-Oeste pelas demandas dos fertilizantes se apresentarem inelásticas à variação dos preços dos fertilizantes.

Palavras-chave: Fertilizantes minerais; Centro-Oeste brasileiro; Produtividade agrícola; SVAR

ABSTRACT

Mineral fertilizers: analysis of the dynamics in the agricultural economy of Central-West Region of Brazil

Mineral fertilizers are one of the contributor inputs to increase productivity in Brazil since the 1980s, given the limited expansion of the agricultural area, and are considered land-savers. However, because they are derived from scarce natural resources, viably extracted (economically and structurally) from limited locations of the world, and highly dependent on energy for synthesis, they make agricultural production sensitive to the impacts of supply and demand. As in 2008/2009, when the increase in fertilizer prices reduced its quantity of consumption, there were changes in the agricultural commodities market. The present dissertation aims to analyze the economic dynamics between mineral fertilizers and the agricultural market of the Central-West region, where the highest mineral fertilizer consumption is presented and the largest agricultural production in the country is concentrated. For the analysis, we considered some variables, such as the quantity of fertilizers consumed, and the purchasing power weighted by productivity, as well as the price of the specific fertilizer. The time series methodology, more specifically the Autoregressive Structural Vector Model (SVAR), was used for each primary macronutrient, that is, the nitrogen, phosphate and potassium fertilizers. This model allowed us to estimate the responses of the endogenous variables to the positive impacts of the other variables as well as of themselves. The results found the quantity consumed as being the most endogenous variable, with the greater participation of weighted purchasing power than its prices, besides its own variation for the three models. Differently from the prices that presented more exogenous, whose own contribution was more than 90% also for the three models. Therefore, in the analysis of the impacts, it was determined the greater sensitivity of variation between the amount of fertilizer consumed on the shock in purchasing power for three models. When compared, they obtained the decreasing order of elasticities equal to 0.65; 0.58; and 0.48, respectively, to $N > P_2O_5 > K_2O$ fertilizers, a sequence that is conferred by the agronomic performance of the nutrients in the soil of the region and in the crops. On the other hand, the lower sensitivity of variation occurred between purchasing power over the shock of fertilizer prices, a result expected, because fertilizers are one of the inputs needed to increase productivity. Thus, the positive relation between the three types of mineral fertilizers and the production in the Central-West by the demands of the fertilizers are inelastic to the variation of the fertilizer prices.

Keywords: Mineral fertilizers; Central-West Region of Brazil; Agricultural productivity; SVAR

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área total plantada mundial e Brasil	18
Figura 2 – Consumo dos específicos fertilizantes e produtividade agrícola no Brasil	18
Figura 3 – Fluxograma da cadeia de produção de fertilizantes.....	23
Figura 4 – Fatores que influenciam a produtividade das culturas.....	24
Figura 5 – Relação entre produção e insumo, e mudanças de produtividades.....	25
Figura 6 – Produção de nutrientes no Brasil	27
Figura 7 – Evolução dos preços de importação dos fertilizantes no Brasil em dólares	28
Figura 8 – Evolução do índice de paridade relacionado a produção agrícola no Brasil	30
Figura 9 – Total de fertilizantes consumidos por regiões	32
Figura 10 – Consumo dos específicos fertilizantes e produtividade agrícola no Centro-Oeste	32
Figura 11 – Evolução do poder de compra ponderado pela produtividade no CO brasileiro..	45
Figura 12 – Evolução das quantidades consumidas de fertilizantes no CO brasileiro	46
Figura 13 – Evolução dos preços de importação dos fertilizantes no Brasil em reais/Kg.....	47
Figura 14 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, da quantidade consumida de fertilizante nitrogenado, e do preço do fertilizante nitrogenado, a impulso da sua própria variável	72
Figura 15 – Função impulso resposta acumulada da quantidade consumida de fertilizante nitrogenado ao impulso no poder compra ponderado pela produtividade e no preço do fertilizante nitrogenado.....	73
Figura 16 – Função impulso resposta acumulada do poder compra ponderado pela produtividade ao impulso na quantidade consumida de fertilizante nitrogenado e no preço do fertilizante nitrogenado.....	74
Figura 17 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, da quantidade consumida de fertilizante fosfatado, e do preço do fertilizante fosfatado, a impulso da sua própria variável.....	75
Figura 18 – Função impulso resposta acumulada da quantidade consumida de fertilizante fosfatado ao impulso no poder compra ponderado pela produtividade e no preço do fertilizante fosfatado.....	76
Figura 19 – Função impulso resposta acumulada do poder compra ponderado pela produtividade ao impulso na quantidade consumida de fertilizante fosfatado e no preço do fertilizante fosfatado	77

- Figura 20 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, da quantidade consumida de fertilizante potássico, e do preço do fertilizante potássico, a impulso da sua própria variável 78
- Figura 21 – Função impulso resposta acumulada da quantidade consumida de fertilizante potássico ao impulso no poder compra ponderado pela produtividade e no preço do fertilizante potássico 79
- Figura 22 – Função impulso resposta acumulada do poder compra ponderado pela produtividade ao impulso na quantidade consumida de fertilizante potássico e no preço do fertilizante potássico..... 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das variáveis utilizadas.....	42
Tabela 2 – Culturas a serem utilizadas para compor a produção total da região Centro-Oeste.....	43
Tabela 3 – Resultados do teste de Dickey e Pantula para a hipótese nula de duas raízes unitárias nas séries das variáveis do modelo do fertilizante nitrogenado.....	57
Tabela 4 – Resultados do teste DF-GLS para a hipótese nula de uma raiz unitária nas séries das variáveis do modelo do fertilizante nitrogenado.....	58
Tabela 5 – Determinação do número de defasagens do VAR para o modelo do fertilizante nitrogenado.....	58
Tabela 6 – Resultados do teste traço para definir o número de vetores cointegrados para o modelo do fertilizante nitrogenado.....	59
Tabela 7 – Resultados do teste de Dickey e Pantula para a hipótese nula de duas raízes unitárias nas séries das variáveis do modelo do fertilizante fosfatado.....	60
Tabela 8 – Resultados do teste DF-GLS para a hipótese nula de uma raiz unitária nas séries das variáveis do modelo do fertilizante fosfatado.....	60
Tabela 9 – Determinação do número de defasagens do VAR para o modelo do fertilizante fosfatado.....	61
Tabela 10 – Resultados do teste traço para definir o número de vetores cointegrados para o modelo do fertilizante fosfatado.....	61
Tabela 11 – Resultados do teste de Dickey e Pantula para a hipótese nula de duas raízes unitárias nas séries das variáveis do modelo do fertilizante potássico.....	62
Tabela 12 – Resultados do teste DF-GLS para a hipótese nula de uma raiz unitária nas séries das variáveis do modelo do fertilizante potássico.....	62
Tabela 13 – Determinação do número de defasagens do VAR para o modelo do fertilizante potássico.....	63
Tabela 14 – Resultados do teste traço para definir o número de vetores cointegrados para o modelo do fertilizante potássico.....	63
Tabela 15 – Estimativa da matriz de coeficiente das relações contemporâneas.....	65
Tabela 16 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do poder de compra ponderado pela produtividade.....	66
Tabela 17 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do consumo de fertilizante nitrogenado.....	66

Tabela 18 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do preço do fertilizante nitrogenado	66
Tabela 19 – Estimativa da matriz de coeficiente das relações contemporâneas	67
Tabela 20 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do poder de compra ponderado pela produtividade	68
Tabela 21 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do consumo de fertilizante fosfatado.....	68
Tabela 22 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do preço do fertilizante fosfatado	68
Tabela 23 – Estimativa da matriz de coeficiente das relações contemporâneas	69
Tabela 24 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do poder de compra ponderado pela produtividade	70
Tabela 25 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do consumo de fertilizante potássico.....	70
Tabela 26 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do preço do fertilizante potássico	70
Tabela 27 – Elasticidades acumuladas das quantidades consumidas do específico fertilizante ao impulso no poder de compra p.p.	81
Tabela 28 – Elasticidade acumuladas das quantidades consumidas do específico fertilizante ao impulso nos respectivos preços.....	81
Tabela 29 – Elasticidades acumuladas do poder de compra p.p. ao impulso nas quantidades consumidas dos específicos fertilizantes.....	82
Tabela 30 – Elasticidades acumuladas do poder de compra p.p. ao impulso nos preços dos específicos fertilizantes	83

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é caracterizado por ter a atividade agrícola como um dos pilares da sustentação econômica do país, com a participação do setor de 5,35% do PIB total em 2016 (WORLD BANK, 2017) impulsionada, em especial, pelas *commodities* agrícolas. Dentre as regiões brasileiras mais produtivas, destaca-se o Centro-Oeste (CO), por concentrar 39,4% da produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017). Dentre os eventos que contribuíram para este feito foi a modernização da agricultura, iniciada em meados de 1960 (ALVES; CONTINI; HAINZELIN, 2005).

Atualmente, a agricultura faz uso da integração de diferentes tecnologias para o aumento da produtividade, como: a irrigação; sementes melhoradas geneticamente; máquinas e implementos de alto desempenho; agricultura de precisão; sistema de plantio direto consolidado; insumos químicos e biológicos com diferentes mecanismos de ação, entre outras (LOPES; GUILHERME, 2000; COELHO, 2005). Junto a tais tecnologias, também vieram os efeitos opostos, muitos deles comprometendo a produção – também como consequência do não cumprimento das recomendações das boas práticas agrícolas –, a exemplos das alterações climáticas, da restrição de água potável, das resistências de pragas e doenças, perda da estrutura dos solos por compactação ou erosão, e demais problemas.

Em meio a esses fatores, encontram-se os fertilizantes minerais, caracterizados como insumo poupador da terra que proporcionou o aumento produtivo frente à limitação da área agricultável. Porém, devido ao elevado consumo e perdas nos sistemas agrícolas¹, agravadas por tratar-se de um recurso natural escasso, com extração viável em poucas localidades no mundo – e altamente dependente de energia para sua síntese à luz dos conhecimentos atuais –, os fertilizantes expõem a agricultura a possíveis riscos, considerando tanto o lado da demanda quanto, mais ainda, da oferta pelo insumo.

Caso esse iminente na agricultura do Brasil, cuja produção interna de fertilizantes apresenta-se insuficiente para manter a produtividade agrícola, importa cerca de 70% de N, 50% de P₂O₅, e mais de 90% K₂O do total consumido nos últimos anos (ANDA, 2017).

A última desordem associada aos fertilizantes minerais ocorreu entre 2008 e 2009, quando a elevação dos seus preços acarretou, mundialmente, na queda do consumo desse bem econômico. As explições para este aumento dos preços deu-se pela combinação de fatores

¹. As perdas dos nutrientes do sistema agrícola ocorrem por diferentes processos, como o carreamento superficial, a erosão, a fixação no caso do fósforo, a lixiviação, a volatilização no caso da ureia, e a desnitrificação biológica, quando aplicados de maneira inadequada às recomendações agronômicas (VITTI et al., 2005).

relacionada à oferta e demanda, a julgar pela alta dos preços de energia, como ocorrido em 1970, e aumento da demanda mundial por fertilizantes minerais devido à alta dos preços das *commodities* agrícolas o que incentivou o aumento da produtividade.

Tal fato renovou a atenção da segurança alimentar, já que o uso dos fertilizantes minerais é considerado item imprescindível, visto que fornecem alguns dos nutrientes essenciais à planta. Uma vez que em condições de exportação de nutrientes do sistema agrícola através das colheitas requer para a reposição e/ou maior dosagens desses para manter e/ou aumentar da produtividade, encontrado isso, em alta concentração e teor definido de nutrientes nos fertilizantes minerais (LOPES; GUILHERME, 2000).

Dado isso, a presente dissertação tem como objetivo geral analisar e quantificar como os impactos tanto no lado da oferta como do lado da demanda do mercado de fertilizantes minerais influenciam o mercado agrícola – considerando os nutrientes de maior exigência da planta, ou seja, o nitrogênio, o fósforo e o potássio. Assim, buscam-se as relações entre as variáveis preço e quantidade consumida do fertilizante mineral, como também poder de compra ponderado pela produtividade – essa última indicando o mercado agrícola do CO, por compor-se da produtividade agrícola e do índice de paridade do poder de compra do produtor. Considerou-se cada tipo de fertilizante separadamente para comparar as elasticidades resultantes.

Como o Brasil possui uma diversidade de condições ambientais e climáticas, restringiu-se o estudo apenas à região Centro-Oeste, a fim de maior entendimento entre as características particulares do local – tal como tipo de solo e clima predominante – e das culturas para a adoção do uso de fertilizantes minerais. Utilizando séries de 1986 a 2015.

Ademais, constatou-se que o Centro-Oeste é a região com o maior consumo de fertilizantes minerais, estabelecendo-se nessa posição pela primeira vez em 2003, quando houve o “boom” das *commodities* agrícolas, e permanecendo nela desde 2010 até o presente momento (VIEIRA FILHO; GASQUES, 2016). Por conseguinte, os fertilizantes minerais são um dos fatores proporcionadores para a região liderar, também, a maior produção agrícola desde a safra de 2011/2012. O que faz com que essa região seja a mais sensível aos possíveis choques internacionais relacionadas aos fertilizantes minerais, dada à baixa disponibilidade no Brasil..

As hipóteses que conduzem a análise da dinâmica entre os fertilizantes e o mercado agrícola do Centro-Oeste foram:

- A quantidade demandada do fertilizante seja a variável mais endógena, pela demanda ser determinada em função do próprio preço, dos preços dos demais insumos, e do preço do produto agrícola;
- O preço dos fertilizantes seja a variável mais exógena, por ter sido utilizado o preço de importação como *proxy* do preço ao produtor, cuja determinação se baseia na oferta e demanda pelo insumo internacionalmente.
- Ao partir da teoria econômica de maximização do lucro, além de definir as variáveis a serem empregadas nos modelos permitiu-se a determinação de alguns resultados possíveis, como a indicação de qual será o sentido da variação de acordo com determinado impacto. Porém, as magnitudes das variações não foram indicadas, visto que dependem das particularidades dos dados observados— e, assim, foi exatamente o que se pretendeu buscar através do estudo. Portanto, devem ser conferidos entre a teoria e a prática econômica os seguintes pontos:
 - Variação negativa entre o impacto positivo do preço do fertilizante sobre a quantidade consumida do fertilizante;
 - Variação negativa entre o impacto positivo do preço sobre o poder de compra ponderado pela produtividade.
- Por último, supõe-se que para as relações não determinadas através da teoria, porém embasadas na atuação dos fertilizantes minerais no sistema de produção agrícola, devem-se considerar os seguintes:
 - Variação positiva entre o impacto positivo da quantidade consumida do fertilizante sobre o poder de compra ponderado pela produtividade;
 - Variação positiva entre o impacto positivo do poder de compra ponderado pela produtividade sobre a quantidade consumida dos fertilizantes.

Portanto, além dessa secção introdutória, o presente estudo é constituído pelas seguintes partes: secção 2, responsável pela revisão da literatura e onde se encontram as subsecções 2.1 (contextualização da utilização dos fertilizantes no Brasil), 2.2 (caracterização dos macronutrientes primários e da disponibilidades dessas no Brasil e no mundo), 2.3 (relação dos nutrientes com a produtividade agrícola), 2.4 (descrição e justificação de como ocorre a interferência no mercado de fertilizantes e mercado agrícola), 2.5 (contextualização da utilização dos fertilizantes na região Centro-Oeste do Brasil), 2.6 (menção de alguns

estudos realizados sobre o tema) e 2.7 (fundamentação das escolhas das variáveis a serem utilizadas através da teoria econômica); secção 3, apresentação do material e metodologia utilizada na pesquisa; secção 4, apresentação dos resultados e discussão destes; e secção 5, considerações finais acerca da pesquisa desenvolvida.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Fertilizantes

O Brasil é um dos países de maior produção agrícola, cujo setor desempenha uma contribuição forte no amparo ao crescimento da economia brasileira com participação da agricultura em 5,45% (WORLD BANK, 2017) e do agronegócio em 19%, diante do PIB total de 2016 (CEPEA, 2017). Embora a literatura sobre a economia agrícola brasileira seja vasta, existem algumas lacunas em relação ao mercado dos fertilizantes ainda não foram preenchidas (MCARTHUR; MCCORD, 2017).

Uma vez que, o aumento da produção decorre de duas possibilidades: ou através do aumento da área, ou aumento da produção por área, sendo essa última relacionada aos desenvolvimentos tecnológicos (ALVES; CONTINI; HAINZELIN, 2005). No Brasil, a área agrícola expandiu-se até o final da década de 1980 seguindo uma tendência de estabilidade (Figura 1). Consequência da limitação de terras propícias para o cultivo, e também envolvimento de questões políticas ambientais. Porém como a produção mostrou-se crescente, a tecnologia é uma das explicações plausíveis (NICOLELLA; DRAGONE; BACHA, 2005).

Historicamente, a explicação do desenvolvimento tecnológico deve-se a algumas políticas determinantes da modernização da agricultura, como o crédito subsidiado, um viabilizador da compra de insumos (agroquímicos e maquinários) no período entre 1965 e 1973, bem como o forte investimento na pesquisa e extensão em ciências agrárias, a exemplo da criação da Embrapa (1973) e de cursos de pós-graduação (ALVES; CONTINI; HAINZELIN, 2005). Por meio dessas políticas, houve incentivo para o uso de fertilizantes minerais – considerados insumos contribuidores para a promoção do aumento da produtividade, juntamente com outras tecnologias dentre as o melhoramento genético, maquinários e agroquímicos (NICOLELLA; DRAGONE; BACHA, 2005).

Figura 1 – Área total plantada mundial e Brasil

Fonte: Gráfico elaborado a partir de dados da FAOSTAT (2017)

A Figura 2 mostra um aumento concomitante entre a demanda por macronutrientes primários e a produtividade, cuja utilização passou de 4,2 milhões de toneladas, em 1980, para 15,1 milhões de toneladas em 2016, ou seja, um consumo médio por hectare de 90,46kg para 202,79 kg (ANDA, 2017), considerando o recorte temporal em questão.

Figura 2 – Consumo dos específicos fertilizantes e produtividade agrícola no Brasil

Fonte: Elaborado a partir dos dados da ANDA (2017), FGV/IBRE (2017), FAOSTAT/FAO (2017) e IBGE (2017)

Caracterizado por incrementar a fertilidade dos solos, o fertilizante ou adubo é definido na legislação brasileira, decreto federal nº 4.954/2004, como “substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais” (MINISTÉRIO

DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA, 2004). Em vista desse conceito geral, especificam os fertilizantes minerais por se constituírem de compostos inorgânicos, incluindo também os compostos orgânicos sintéticos ou artificiais, que apresentam maior concentração de nutrientes se comparados aos fertilizantes orgânicos, exercendo efetivamente a função de fertilizar (LOPES; GUILHERME, 2000). Por outro lado, os fertilizantes orgânicos constituídos de compostos de origem animal e/ou vegetal desempenham o papel principal de condicionante do solo, por melhorar as suas condições físicas e biológicas. No entanto, na parte química, estes possuem menor desempenho, dada a baixa concentração de nutrientes e sua variação conforme o material de origem (LOPES; GUILHERME, 2000).

Por essa razão, confere-se ao fertilizante mineral um eficiente proporcionador da manutenção e/ou aumento da produtividade, ao considerar a questão da nutrição vegetal por estabelecer o equilíbrio dos nutrientes após a colheita. Tal processo é atingido através do reabastecimento dos elementos exportados do sistema agrícola, cujas quantidades necessárias são determinadas pela análise do solo, com base na sucessora cultura (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012).

2.2. Características dos macronutrientes primários

Quanto aos elementos essenciais para o desenvolvimento da planta, tem-se o carbono, o hidrogênio e o oxigênio advindo do dióxido de carbono e da água, que compõem cerca de 90% a 95% do volume da planta, ao juntar com nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio, estes elementos são classificados como macronutrientes, por estarem presentes em grande quantidade na planta (da ordem entre 1,0 a 50,0 g kg⁻¹). Os outros elementos essenciais, porém, exigidos em menores quantidades pelas plantas, são os denominados micronutrientes, como boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco e níquel. Encontra-se também alguns elementos, como cobalto, silício, sódio e selênio, considerados nutrientes benéficos por propiciar o desenvolvimento em algumas espécies de plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2008).

Em relação aos macronutrientes, o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K) se destacam devido suas dosagens na aplicação no sistema agrícola, pois são maiores quando comparadas as dos demais. Levando em consideração as particularidades diante da interação com a planta e o solo, que serão apresentadas a seguir, tais elementos são nomeados

macronutrientes primários, comercializados, geralmente, misturados em diferentes proporções denominados numericamente na ordem NPK (RAIJ, 2011).

Desta forma, a disponibilidade dos nutrientes, especialmente dos macronutrientes primários, é um dos elementos chaves para a segurança alimentar mundial. Ainda que seja imprescindível o aumento da produtividade, tem-se a desvantagem que estes recursos naturais são escassos e localizados em poucas regiões do globo, além do alto índice de desperdício na produção (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012).

2.2.1. Fertilizantes nitrogenados

O nitrogênio é o elemento mais demandado pela planta, pelo fato de concentrar diversos componentes, desde aminoácidos – que constituíram as proteínas participando, sobretudo, como enzimas nos processos metabólicos – até a molécula de clorofila, carboidratos e outros. Assim, trata-se de um elemento fundamental no desenvolvimento e crescimento da planta e, conseqüentemente, para o aumento da produção (RAIJ, 2011).

Uma das vias de entrada do nitrogênio no sistema agrícola é através dos fertilizantes nitrogenados, produzidos a partir do nitrogênio na forma de gás N_2 , da atmosfera e do hidrogênio obtido de combustíveis fósseis, como o gás natural, composto de alta concentração de metano (CH_4). Desenvolvido por Fritz Haber e Carl Bosch, no início do século 20, o processo da síntese da amônia, principal matéria prima dos fertilizantes nitrogenados provenientes de recursos minerais, exige um oneroso custo de produção, por envolver elevado consumo de energia, alta pressão e alta temperatura para a quebra das ligações da molécula de N_2 . Embora haja um alto dispendio na produção, essa técnica foi o marco do início da agricultura moderna, o que se justifica pela impossibilidade de absorção de nitrogênio na forma de N_2 pelas plantas, além da alta exigência vegetal (CANTARELLA, 2007).

Os maiores produtores mundiais de amônia, conseqüentemente de fertilizantes nitrogenados, são a China, Rússia, Índia e Estados Unidos, com participação em 2015, respectivamente, de 33,5%, 8,7%, 7,8% e 6,7%, do total de 149.062 mil toneladas de nitrogênio (ANDA, 2017). Com relação ao Brasil, em 2015 foram produzidas 1.035 mil toneladas de amônia, representando 0,7% da produção mundial. As unidades produtoras estão localizadas em Laranjeiras (SE) e em Camaçari (BA), pela empresa Petrobrás, mas também em Araucária (PR) e na Baixada Santista (SP), através da empresa Fosfertil (FERNANDES; GUIMARÃES; MATHEUS, 2009).

Quanto ao consumo de fertilizantes nitrogenados, o Brasil demandou 3.533 mil toneladas (ANDA, 2017), sendo que dessas, 75% foram importadas no ano de 2016. Os países que exportaram fontes de nitrogênio para o Brasil foram Rússia e Catar (ALICEWEB DA SECEX/MDIC, 2017). Por depender do metano, tanto a Rússia como Catar, incluindo Irã, se apresentam como fornecedores principais e potenciais, por conterem 57% das reservas de gás natural em seus territórios (MARIN et al., 2016).

Apesar do emprego na forma sintética, há outros mecanismos para se obter nitrogênio dos solos agrícolas, como a fixação biológica de nitrogênio, realidade já estabelecida no meio produtivo, em especial nos cultivos de leguminosas iniciado nos anos 1960 por Johanna Döbereiner, como na cultura da soja, no qual quase não se aplica mais nitrogênio. Com encaminhamento para as gramíneas, dentre as culturas está o milho e a cana-de-açúcar (CASSETARI, 2014). Tal processo de fixação é realizado pelas bactérias diazotróficas que reduzem o nitrogênio da atmosfera a amônia, por disporem do complexo enzimático nitrogenase, permitindo o rompimento da ligação de N_2 sem maiores gastos de energia, contribuindo significativamente na economia tanto no custo de produção agrícola como na balança comercial interna (CASSETARI, 2014).

2.2.2. Fertilizantes fosfatados

O fósforo no solo se comporta como uma fonte para a planta, desde que esteja na forma disponível, isso porque há uma grande competição do fósforo entre a planta e o seu meio. Ao aplicar fósforo no solo, facilmente o elemento adere à partícula que lá está presente, em particular nos solos de caráter ácido – geralmente encontrado em solos de formação mais antigas, a exemplo dos presentes no Centro-Oeste brasileiro –, torna inacessível seu nutriente à planta. Apesar da quantidade de fósforo ser menos exigida na planta em relação ao potássio, devido a esta situação há necessidade de aplicação dos fertilizantes fosfatados em maior quantidade (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Ao ser absorvidos pela planta, o fósforo participa na composição de diversas estruturas e processos metabólicos, a exemplo na integração das moléculas armazenadoras de energia (RAIJ, 2011).

No Brasil, em 2015, o consumo de fertilizantes fosfatados foi de 4.401 mil toneladas, quase mil toneladas a mais que os fertilizantes nitrogenados no mesmo período. A produção desses fertilizantes foi de 5.438 mil toneladas, representando 2,7% da produção mundial (ANDA, 2017), sendo o país considerado em 2016 o sexto maior produtor mundial. As

principais localidades de extração da rocha fosfática, matéria prima para a produção de fertilizantes fosfatados, estão em Araxá (MG) e Cajati (SP), pela empresa Bunge Fertilizantes; Catalão (GO) pelas empresas Copebrás e Fosfertil; Pato de Minas (MG) e Tapira (MG) pela empresa Fosfertil; e Angico Dias (BA), Irecê (BA) e Lagamar (MG) pela Galvani (FERNANDES; GUIMARÃES; MATHEYS, 2009).

Mesmo com a considerável produção de fósforo no Brasil, o país produziu em 2016 apenas 45% de fosfatos consumidos (MARIN et al., 2016), importando fósforo de Marrocos e de Israel (ALICEWEB DA SECEX/MDIC, 2017), sendo que Marrocos detém 77% das reservas de rochas fosfáticas mundiais (MARIN et al., 2016).

Em relação aos maiores produtores mundiais de rocha fosfática, destaca-se a China, Estados Unidos, Marrocos e Rússia, com participação em 2015 respectivamente de 41,4%, 13,5%, 13,1% e 5,8% de um total de 200.730 mil toneladas produzida (ANDA, 2017).

2.2.3. Fertilizantes potássicos

A presença de potássio no solo é muito variável de uma região a outra, por depender do material de origem, da composição mineralógica e do grau de intemperismo do solo. Como o potássio somente é liberado na solução do solo quando intemperizado, através de um processo lento e gradual, as quantidades liberadas por esse mecanismo não suprem a demanda das plantas, carecendo de acrescentar o nutriente via fertilizantes (ERNANI et al., 2007), visto que o teor de potássio na planta é apenas inferior em relação ao nitrogênio (RAIJ, 2011).

O potássio atua na planta em inúmeras funções, sendo que um dos papéis fundamentais desse elemento é como ativador de reações enzimáticas e controle osmótico para manutenção da turgência da célula (RAIJ, 2011). O potássio é extraído das rochas potássicas localizadas em limitadas regiões, estando aproximadamente 65% da produção mundial no Canadá, na Rússia e na Bielorrússia (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012). Em 2015, das 39.013 mil toneladas mundiais produzidas, 29,5%, 17,5% e 16,4% foram, respectivamente, do Canadá, da Rússia, e Bielorrússia (ANDA, 2017).

No Brasil, a produção de matérias-primas a base de potássio em 2015 foi de 279 mil toneladas, representando 0,7% da produção mundial, com consumo de 5.162 mil toneladas (ANDA, 2017). Ou seja, para suprir a demanda interna, faz-se necessário a importação de mais de 90% do elemento devido à ausência de jazidas potássicas, pois o único local de produção instalado no Brasil encontra-se em Taquari-Vassouras (SE), da Vale S.A (FERNANDES; GUIMARÃES; MATHEUS, 2009). Em 2016, os principais países

exportadores desses fertilizantes para o Brasil foram Canadá e Bielorrússia (ALICEWEB DA SEDEX/MDIC, 2017).

2.2.4. Cadeia produtiva de fertilizantes

A cadeia produtiva da fabricação de fertilizantes, representada na Figura 3, envolve 5 etapas: (I) a extração do mineral; (II) a produção de matérias-primas básicas; (III) a produção de produtos intermediários; (IV) a produção de fertilizantes básicos; (V) a mistura de fertilizantes e formação de grânulos complexos (VALOR ANÁLISE SETORIAL, 2008).

Figura 3 – Fluxograma da cadeia de produção de fertilizantes

Fonte: VALOR ANÁLISE SETORIAL (2008) adaptado do BNDS

De acordo com a Figura 3, a produção de fertilizantes inicia-se com a obtenção da matéria-prima, na qual necessita ser extraído do recurso natural (I) – no caso do fósforo e do potássio das rochas minerais, e do nitrogênio da indústria petroquímica. Com a matéria-prima (II) obtida, sintetizam-se os produtos intermediários (III), que serão misturados conforme o composto que se quer obter, ou seja, o fertilizante básico (IV). Dado o fato de cada cultura ter as exigências distintas de cada nutriente, as empresas especializadas do setor de fertilizantes finais (V) produzem diferentes misturas com proporção de NPK adequadas as demandas.

Os três primeiros segmentos (I, II e III), no Brasil, atuam em um mercado concentrado, representado pelas empresas Vale Fertilizantes, Petrobrás e Anglo American. No entanto, nos segmentos (IV) e (V) há um maior número de empresas que desenvolvem, a

partir dos compostos básicos, diferentes tecnologias de formulações para tornar o uso dos nutrientes mais eficientes, sendo as quatro principais Heringer, Mosaic, Yara e Fertipar (CRUZ et al., 2017).

2.3. Demanda da planta por nutrientes

Há diversos fatores que afetam a produção agrícola, no entanto, conforme apresentado por Vitti et al. (2005), os principais, em ordem decrescente, são o solo, o clima, o genótipo, as plantas invasoras, as doenças e as pragas, conforme ilustrado na Figura 4.

O solo apresenta-se como a base para o desempenho da produtividade, uma vez que possui “[...] a obrigatoriedade de apresentar todas as características físicas, químicas e biológicas desejáveis para a cultura” (VITTI et al., 2005, p. 5). Em seguida, encontra-se o clima, que proporciona as “[...] condições necessárias para o desenvolvimento e produção” (VITTI et al., 2005, p. 5). Já a genética, é responsável por “[...] indicar as características que a planta necessita para bom desenvolvimento da produtividade, sendo as características variam conforme a variedade escolhida” (VITTI et al., 2005, p. 6). No topo, encontram-se as plantas invasoras, doenças e pragas, que limitam as culturas a expressarem seus potenciais produtivos.

Figura 4 – Fatores que influenciam a produtividade das culturas
Fonte: Vitti et al., (2005)

Baseado nisso, ao restringirem esses fatores somente a parte da nutrição vegetal, tem-se que consumo de nutrientes pelas plantas está relacionado a uma série de

considerações, desde a característica formulação dos fertilizantes a aspectos relacionados ao sistema solo-planta-atmosfera. Por consequência, cada região e planta necessitam de quantidades distintas de nutrientes a serem aplicados, cujo uso tanto pela planta, como na forma da adubação, tornam-se complexos (MALAVOLTA; PIMENTEL-GOMES; ALCARDDE, 2000). Ademais, constantemente há avanços da tecnologia com relação à adubação, cuja quantidade demandada por fertilizantes pode se modificar ao longo do tempo, possibilitando maior produção com menores dosagens (LOPES; GUILHERME, 2000).

Teoricamente, a relação do aumento da produção, representada na Figura 5 com a curva de produção Y e insumo X , pode ser concedida por dois caminhos: um relacionado ao deslocamento na curva, ao longo do ponto B a C, ou seja, sobre a função de produção Y_1 , onde o aumento do insumo X_1 para X_2 causa o aumento da produção; ou através do deslocamento da curva, do ponto B para D, ou seja, a uma mudança da função de produção de Y_1 para Y_2 , representando uma alteração na tecnologia (GASQUES et al., 2004).

Figura 5 – Relação entre produção e insumo, e mudanças de produtividades
Fonte: Gasques et al. (2004)

No entanto, ao aumentar o uso de fertilizantes (X_1 para X_2) é importante considerar o aumento da produção (B para C), além da viabilidade econômica, visto que para cada acréscimo sucessivo de fertilizantes, a produção é menor, seguindo um comportamento curvilíneo caracterizado como “Lei dos Rendimentos Decrescentes”, também “Lei do Mínimo” ou “Lei de Liebig”, posta por Justus Von Liebig (1803-1873) – considerado pai da agricultura moderna, o primeiro a sustentar que o desenvolvimento da planta é estabelecido pelos elementos contidos no solo (KREUZ; LANZER; PARIS, 1995).

A “Lei do Mínimo” é quando algum nutriente essencial à planta está presente em quantidade inferior ao necessário e, assim, a produção será limitada por essa, não importando o quanto se acrescenta de outro nutriente. Tal fato exige o balanço e equilíbrio entre os nutrientes, visto que o aumento de determinado nutriente, em excesso, pode levar ao decréscimo da produção por fitotoxidez, apesar de ser muito difícil a ocorrência relacionada aos macronutrientes primários (KREUZ; LANZER; PARIS, 1995). Posto isso, a planta processa os insumos semelhantes a qualquer outra indústria, com a diferença de ser exposta diretamente ao meio externo, pois conforme a teoria econômica, no curto prazo a limitação do aumento produtivo deve-se aos fatores de produção fixos.

Quanto às mudanças tecnológicas desenvolvidas, que tem aumentado o uso eficiente de fertilizantes minerais como um todo (B para D), cita-se na literatura: o melhoramento genético, ao selecionar e modificar plantas com melhor desenvolvimento radicular no sistema, possibilitando maior absorção de nutrientes nas camadas inferiores do solo; o sistema de irrigação, disponibilizando água para a liberação dos nutrientes na solução do solo em períodos de maior exigência cultural; a agricultura de precisão, corrigindo as áreas carentes de nutrientes através da variação das quantidades de adubos, conforme o tipo de solo e a cultura na mesma aplicação, evitando dosagens dispensáveis; plantio direto consolidado, cujos restos de cultura ao decomporem disponibilizam os nutrientes remanescentes e melhoram a estrutura do solo para formação das raízes; novas formulações de fertilizantes, a exemplo dos fertilizantes organominerais que contêm tanto compostos orgânicos como inorgânicos atuando na melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, permitindo que as plantas consigam reter os nutrientes de forma mais eficiente; entre outras inovações (LOPES; GUILHERME, 2000; COELHO, 2005).

Além dessas mudanças tecnológicas, citam-se as práticas culturais que aperfeiçoam o uso eficiente dos nutrientes no solo, como: análise de solo e plantas; adoção de um sistema de produção adequado, com espaçamento e densidade conforme a cultura e a localidade; preparo adequado do solo; controle da erosão do solo; manejo da acidez do solo e salinidade; redução de deficiências hídricas; entre outras ações.

Ademais para a cultura possa expressar o potencial produtivo da cultura deve-se monitorar e controlar as plantas invasoras, doenças e pragas.

Mesmo com tais avanços tecnológicos e melhoria das práticas agrícolas, desde que haja a exportação de nutrientes pela colheita e necessidade de aumento da produtividade, não se dispensa a aplicação dos nutrientes (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012), e “ [...] em

função disso, a demanda por fertilizantes varia de maneira quase diretamente proporcional à produção agrícola” (CRUZ et al., 2017, p.152).

2.4. Contexto econômico dos fertilizantes minerais no Brasil

O Brasil apresenta-se como o quarto maior mercado consumidor de fertilizantes do mundo, cuja demanda representou 7,9% da utilização global em 2014, ficando atrás apenas da China, Índia e Estados Unidos, tendo estes, respectivamente, participação de 25,4%, 14,3% e 11,5% do consumo mundial de 177.028 mil toneladas de nutrientes no mesmo ano (ANDA, 2017). Diante disso, e do fato do Brasil ser um país essencialmente agrícola, a produção depende da importação de, aproximadamente, 75% nitrogênio, 65% de fósforo e mais de 90% de potássio, na média dos últimos dez anos, tornando crítica a autossuficiência alimentar e a expansão agrícola (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012).

De acordo com a Figura 6, que apresenta a produção interna dos macronutrientes, nota-se que a produção dos três elementos se mantém relativamente constante nos últimos anos (FAOSTAT/FAO, 2017; ANDA, 2017). As principais barreiras são o alto custo e indisponibilidade de reservas minerais consideráveis, tornando um desafio o aumento da capacidade produtiva tanto pelos setores públicos quanto pelos privados (MARIN et al., 2016).

Figura 6 – Produção de nutrientes no Brasil
Fonte: FAOSTAT/FAO (2017); ANDA (2017)

Essa dependência do Brasil à importação deixa o país vulnerável as possíveis oscilações no abastecimento internacional de fertilizantes, influenciando também o mercado de produção agrícola – dado que a maior parcela do custo de produção das culturas é

designada aos fertilizantes, a exemplo das culturas de grão no Centro-Oeste brasileiro, cuja participação dos fertilizantes se deu em torno de 30% nos últimos anos (CONAB, 2017). De acordo com Gnutzmann e Spiewanowski (2014), desde 2007/2008 os preços dos produtos alimentares vêm subindo, demonstrando ligação ao aumento dos preços dos fertilizantes. Segundo Babula e Sumwaru (1992), o aumento nos preços dos fertilizantes está correlacionado à alta dos preços de petróleo, por depender da energia provinda dessa fonte para sua síntese. Tal fato pode ser observado na Figura 7, nos elevados preços da importação de fertilizantes em 1973, período em que houve a crise do petróleo no Oriente Médio, causada pelo conflito egípcio-israelense, que afetou o fornecimento do petróleo usado como arma de guerra (MADUREIRA, 2014).

Embora a variação de energia influencie outros segmentos da cadeia produtiva agrícola, como no transporte e no funcionamento de máquinas, acarretando na alteração dos preços dos produtos finais, Gnutzmann e Spiewanowski (2014) isolaram o impacto da atuação desses efeitos para eliminar o problema de regressão espúria. Ao capturar apenas o impacto do preço dos fertilizantes, constataram que, no ano de 2008, 42% a 51% na variação positiva sobre os preços de fertilizantes levam ao aumento de 12% a 21% nos preços dos alimentos, período em que houve pico no preço dos fertilizantes.

Figura 7 – Evolução dos preços de importação dos fertilizantes no Brasil em dólares

Nota: Deflacionado com IPA-Americano para o ano de 2016. Fonte: FAOSTAT/FAO (2017), Aliceweb da Sedex/MDIC(2017), ANDA (2017) e BLS (2017)

Com relação às elucidações para o pico de preço dos fertilizantes entre o final do ano de 2007 e 2008, Gnutzmann e Spiewanowski (2014) dizem que se deve a cartelização. Baseada na intensa concentração da indústria de matéria-prima dos adubos, a sobrecarga do cartel foi de, aproximadamente, 50% sobre a explicação do aumento dos preços, e apesar da

crise energética de 2007/2008 ter influenciado nos preços, de fato, não atingiriam tal aumento se não fosse a cartelização implícita.

Diferentemente, Wenyuan (2009) considera o aumento acentuado dos níveis de preços dos fertilizantes minerais em 2007 e 2008 se deu a uma combinação de fatores do lado da oferta e da demanda por fertilizantes.

No lado da oferta, o aumento do preço dos fertilizantes minerais derivou-se da alta volatilidade no preço da energia, em virtude da crise energética de 2007/2008 (WENYUAN, 2009), uma vez que a síntese dos fertilizantes exige intenso consumo de energia (OTT, 2012). Quanto ao lado da demanda, uma das justificativas foi o aumento da procura mundial – com propósito de ampliar a produção agrícola – causado pelo crescimento da economia, com destaque para os países em desenvolvimento, a exemplo da China e Índia (WENYUAN, 2009), e também pelo crescimento da população mundial, cuja taxa apresenta-se 1,18% ao ano (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Porém, independentemente disso, no ano de 2008 houve o atípico pico pelo aumento da demanda dos agricultores, em resposta aos elevados preços das *commodities* agrícolas internacionais, em decorrência dos problemas climáticos (WENYUAN, 2009). De acordo com Ott (2012), citam-se as secas e inundações da Austrália; a seca na Ucrânia; o tempo frio e úmido na época da formação da lavoura de milho nos EUA; a inundação da Tailândia; entre outros. Os fatores acima levantados evidenciam a importância dos fertilizantes no aumento da produtividade, ademais as inter-relações entre os preços do produto com o insumo.

Considerando, nos últimos anos, a expressiva variação dos preços das *commodities* agrícolas (FUGLIE, 2015) no Brasil, de acordo com a Figura 8 – em que se exhibe a evolução do índice de paridade, ou seja, o poder de compra do produtor por unidade de produto agrícola – observa-se um pico em 2012, mantendo em um patamar acima dos anos anteriores a 2011.

Tal fato resulta na motivação dos agricultores a produzir mais, além de ocasionar perturbações em outros fatores da cadeia produtiva agrícola, como incentivos às pesquisas para o desenvolvimento de matérias genéticas com alto potencial produtivo, expansão da área irrigada, desenvolvimento de novos manejos culturais mais eficientes, entre outros. Ao tratarem dos fertilizantes, Nicoletta, Dragone e Bracha (2005) identificaram a presença de correlação positiva entre os preços dos produtos agrícolas e a compra de fertilizantes no mercado brasileiro.

Figura 8 – Evolução do índice de paridade relacionado a produção agrícola no Brasil

Nota: Deflacionado com IGP-DI para o ano de 2016. Fonte: FGV/IBRE (2017) e IPEADATA (2017)

Diante do exposto, nota-se que a dependência de fertilizantes não é apenas técnica, mas também econômica, devido ao alto preço dos fertilizantes causarem um efeito direto na produção e no preço dos alimentos (GNUTZMANN e SPIEWANOWSKI, 2014). O que, agrava ainda mais a situação devido às crises de cunho econômico, que são, geralmente, difíceis de prever, e cujas medidas para contrapor as consequências a um curto prazo são custosas, sendo imprescindível a existência de políticas estratégicas (FUGLIE, 2015). E com as expectativas de crescimento da população e da renda, as exigências de aumento da produtividade continuarão a exercer pressão sobre a demanda por fertilizantes (WENYUAN, 2009).

Como a volatilidade de preços difere entre os nutrientes N, P_2O_5 e K_2O , cada qual com variáveis de mercado próprias, cujo preço do nitrogênio tende a ser mais volátil do que o preço de fósforo e potássio, evidenciam-se particularidades no comércio destes nutrientes (WENYUAN, 2009). Dentre elas, os avanços tecnológicos são causadores de possíveis mudanças no consumo entre os nutrientes, a exemplo da fixação biológica de nitrogênio por microorganismo de vida livre ou associados às raízes de leguminosas e algumas gramíneas, capazes de reduzir o nitrogênio atmosférico em amônio, diminuindo, assim, a aplicação de nitrogênios sintéticos (CASSETARI, 2014); dos fertilizantes revestidos por polímeros, promotores da liberação gradual e controlada dos nutrientes, como no caso do fósforo, contendo sua perda pelo processo de absorção nos solos ácidos, disponibilizando-o na solução do solo por mais tempo e implicando em menor gasto (GAZOLA et al., 2013); assim como, também, polímeros para dispor o potássio controlado, reduzindo a sua lixiviação no solo, principal via de perda (YAO et al., 2014).

2.5. Relação entre a agricultura e os fertilizantes minerais no Centro-Oeste

Após a década de 1970, a produção agrícola no Centro-Oeste brasileiro iniciou sua expansão, decorrente da elevação dos preços das terras na região sul e pela criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em 1973. A EMBRAPA foi a instituição responsável pela promoção do desenvolvimento agrícola por intermédio das adaptações dos conhecimentos tecnológicos externos para as condições tropicais. Dentre as tecnologias, a correção do solo foi essencial para possibilitar produção nos solos da região, onde a maior parte é recoberta sobre vegetação de cerrado (VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017).

Os solos do cerrado têm como uma de suas características naturais a baixa fertilidade, que está relacionada à acidez elevada e trata-se de principal responsável pela liberação do íon alumínio - elemento tóxico a diversas plantas- e acarretar na alta fixação de fósforo. Porém, esse cenário mudou com as aplicações de corretivos como o calcário, que neutralizam o alumínio e estabelecem o pH adequado, gerando condições para que as culturas se desenvolvam e, juntamente ao uso dos fertilizantes minerais, suprimiram a carência de nutrientes a fim de preparar o solo da região para a produção agrícola (BROCH; RANNO, 2008). Tal fato vem sendo observado com a evolução do Centro-Oeste na produção agrícola do Brasil, nos últimos 20 anos.

À vista disso, e alinhado às outras tecnologias, como a escolha da genética da semente, a topologia da região adequada à mecanização, o sistema de irrigação, condições climáticas favoráveis, agroquímicos, entre outros, possibilitou-se ao Centro-Oeste os recordes de alta produtividade agrícola desde a safra 2011/2012, através do maior volume de produção de cereais, leguminosas e oleaginosas (CONAB, 2017).

De acordo com a Figura 9, um ano antes do Centro-Oeste liderar a posição nacional de maior produção, em 2010, essa região ultrapassou Sul e Sudeste, apresentando-se, desde então, como a região de maior consumo do país, com o aumento do uso de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos em 1.454%, 633% e 884%, respectivamente, entre 1990 e 2015.

Figura 9 – Total de fertilizantes consumidos por regiões
Fonte: ANDA (2017)

A Figura 10 ilustra a evolução da produtividade no Centro-Oeste juntamente à trajetória da quantidade consumida dos três tipos de fertilizantes. Assim, apresenta-se a produção das principais culturas na safra de 2015/2016 de 75 milhões de toneladas, isto é, 40,8% da produção nacional, com projeção para a safra de 2016/2017 para 94 milhões de toneladas. Desta forma, constata-se um aumento de 25,2% na produção da região, sobressaindo a Mato Grosso, que liderou como maior produtor de grãos, com participação projetada para 24,6% do total da produção interna (IBGE, 2017).

Figura 10 – Consumo dos específicos fertilizantes e produtividade agrícola no Centro-Oeste
Fonte: Elaborado a partir dos dados da ANDA (2017), FGV/IBRE (2017) e IBGE (2017).

O consumo total de fertilizantes na região, em 2015, foi de 4,5 milhões de toneladas, desses 20,51% de fertilizantes nitrogenados, 36,92% de fertilizantes fosfatados e 42,57% de fertilizantes potássicos, o que representou 34,94% do total consumido no Brasil (ANDA, 2017).

2.6. Trabalhos publicados sobre o tema

O termo “demanda por fertilizantes”, segundo Shields (1976), apresenta problemas de definição, tornando a interpretação confusa. Para o autor, a demanda por fertilizantes pode ser interpretada de duas formas: a primeira refere-se a “demanda efetiva”, caracterizada pela quantidade que irá ser comprada no mercado em determinado período, baseado em tratamentos estatísticos e matemáticos dos dados históricos e que, por vezes, inclui o parecer daquele que o estima; a segunda, termo indistintamente usado, refere-se à necessidade de nutrientes requerida por uma específica cultura para atingir um determinado nível de produção, o que originará a curva de resposta à adubação (produção versus quantidade de nutriente) de acordo com os resultados de experimentações agrônômicas. Essas duas definições geram resultados bastante diferentes, no entanto, o presente trabalho abordará a demanda que se refere apenas à primeira acepção.

Estabelecido isso, na literatura encontram-se diversos estudos relacionados à demanda “efetiva” por fertilizantes, tendo como um dos pioneiros Griliches (1958). Tal autor é responsável por formular um modelo de ajuste parcial em função dos preços reais e das quantidades defasadas da aplicação de adubos – essa última variável para captar o ajuste proporcional da quantidade do “desequilíbrio” de nutrientes ocorridos em cultivos passados, influenciando a demanda presente por fertilizantes nos Estados Unidos. Em seguida, outros estudos envolvendo diferentes variáveis e métodos econométricos foram realizados, dentre eles de Carman (1979), Mahmood (1995), Tenkorang e Lowerber-Deboer (2009), no âmbito internacional, e de Cibantos e Landon (1974), Pescarin (1974), Ogasawara, Kulaif e Fernandes (2010), entre outros, em âmbito nacional.

Carman (1979) e Mahmood (1995) estimaram a demanda efetiva de fertilizantes a partir da função de produção Cobb-Douglas, sendo essa derivada da função lucro, constituindo-se das variáveis produção agrícola e das características técnicas de produção como as quantidades e preço dos fertilizantes. No trabalho de Carman (1979) utilizou este método para três tipos de fertilizante em 11 estados do oeste dos EUA determinando que ao aumentar a quantidade demandada dos fertilizantes eleva-se o preço dos produtos agrícolas,

assim como o do preço fertilizante. Enquanto, Mahmood (1995) utilizando a mesma metodologia para determinar os fatores que influenciam a demanda dos fertilizantes em Bangladesh, o qual encontrou que apenas os preços dos fertilizantes afetam a decisão de compra desse insumo, apresentando a demanda elástica ao preço próprio.

Já Tenkorang e Lowerber-Deboer (2009) utilizou o modelo econométrico estrutural simples para fazer previsão da demanda efetiva global de fertilizantes no longo prazo. Esta metodologia proporciona a estimação simultânea de múltiplas equações, em que as variáveis atuantes como variável independente em uma relação pode ser variável dependente em outra, permitindo estimar assim múltiplas e inter-relacionadas. Os resultados encontrados foram que a região Ásia representa cerca de 40% da demanda mundial da previsão de 2030, e a África subsaariana com o menor consumo cerca de 1,1%.

Já no âmbito nacional há diversos estudos analisando a demanda de fertilizantes. Os principais trabalhos consultados relacionados foram de:

Cibantos e Landon (1974) estimaram demanda efetiva de fertilizante tota NPK para o Estado de São Paulo através do modelo de regressão logarítmica múltipla e do modelo de ajustamento de Nerlove, no período de 1949 a 1971. Os dois modelos utilizaram como variáveis independentes: consumo total de fertilizantes, índice de preços dos fertilizantes, de preços das culturas, de área cultivada, e de rendimento das culturas. A diferença entre elas é que o modelo tradicional de demanda relaciona apenas a regressão das variáveis mencionadas, já no ajustamento de Nerlove pressupõe a presença de uma mudança do uso de fertilizantes entre períodos através de uma dada proporção, ou seja, adiciona um peso da variável dependente do período anterior. Os resultados determinaram que o modelo de ajustamento de Nerlove proporcionou melhor estimativa, além de constatar a demanda do fertilizante inelástica ao preço no curto-prazo, e elástica no longo-prazo.

Pescarin (1974) estimou a demanda efetiva de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos no Estado de São Paulo, através de modelos de regressões logarítmicas múltiplas no período de 1948 a 1972 para 16 culturas empregando as mesmas variáveis utilizadas por Cibantos e Landon (1974), diferenciando desse por separar os fertilizantes pelos macronutrientes primário. Constando-se que os três tipos de fertilizantes possuem demanda pelo insumo relativamente inelástica ao preço tanto no curto como no longo-prazo, com exceção dos fertilizantes nitrogenados que resultou apenas no longo-prazo em uma demanda ligeiramente mais elástica.

Nicolelle et al. (2005) estimou a equação de demanda efetiva por fertilizantes NPK no Brasil, considerando o período de 1970 a 2002, utilizando como variáveis independentes o

preço dos fertilizantes, crédito rural, área cultivada para as 38 principais culturas e o índice de preços recebidos. Para analisar a demanda de longo-prazo aplicou o teste de cointegração, para verificar se os desvios de equilíbrio de longo-prazo eram estacionários, para poder estimar a demanda pelo método dos mínimos quadrados ordinário sem gerar relações espúrias. Os resultados encontrados foram que para análise de longo-prazo os fertilizantes apresentam a demanda inelástica às variações de preço do fertilizante e do volume de crédito rural, porém a demanda elástica ao preço recebido pelos agricultores.

Ogasawara et al.(2010) estimou a demanda efetiva de longo-prazo para fertilizantes NPK, enxofre, rocha fosfática e potássio, através do modelo auto-regressivo integrado de média móvel, utilizando série histórica das variáveis consumos de cada item dividido pelo PIB, estes defasados, traçando uma estimação para três diferentes cenários do PIB (frágil, vigoroso e inovador) para 2010 a 2030. Resultados mostraram que todos apresentam um crescimento até 2030 no mínimo duplicados.

Tais estudos fornecem distintas análises sobre a demanda por fertilizantes, no entanto, os coeficientes estimados apresentam uma semelhança quanto à determinação por se basearem apenas no período referente das observações dos dados, não utilizando outras situações. Com os surgimentos de outras técnicas metodológicas de estimação, permitiu-se que diferentes cenários fossem analisados, possibilitando a descrição dos efeitos dinâmicos frente a algum choque.

Em relação aos estudos envolvendo os fertilizantes minerais, para análise da dinâmica de possíveis instabilidades em determinada variável, uma vez que as apreensões sobre as ofertas e demanda por N, P_2O_5 e K_2O comprometem a segurança alimentar, algumas literaturas no âmbito mundial foram consultadas.

Dentre elas, destaca-se a de Mergos e Stoforos (1997), que motivados a reduzir o uso de fertilizantes na agricultura, dado a alta poluição causada quando o excesso de nutrientes é arrastado para além do sistema agrícola, empregaram o modelo de correção de erros e testes de cointegração, com propósito de encontrar mecanismo de políticas para reduzir a demanda por fertilizantes na Grécia. Assim, determinaram respostas significativas dos choques, em que impacto positivo nos preços dos fertilizantes reduziu a demanda por fertilizantes e impacto positivo nos preços dos produtos agrícolas aumentou a demanda por fertilizantes— sinais esses esperados pela teoria da maximização do lucro.

Pautados por outras questões, em especial pelas reservas de combustíveis fósseis, como gás natural e petróleo, e das rochas fosfáticas estarem se esgotando rapidamente, Brunelle et al. (2015) construíram diferentes cenários de preços para os fertilizantes até 2050.

Tal projeção foi possível através de simulações das condições de oferta dos fertilizantes, empregando o modelo de equilíbrio geral e projetando um aumento dos preços dos fertilizantes de mais de 0,8% para 3,6%. Ao testarem esses preços com o modelo de equilíbrio parcial, constataram reduções da produtividade das culturas de 6% a 13%, de 2005 a 2050, o que, para compensar essa queda, necessitaria de uma área adicional de 100 a 240 milhões de hectares.

Apesar de indicarem que os preços dos fertilizantes influenciam na demanda por esse insumo, provocando redução da produtividade, Brunelle et al. (2015) limitaram o estudo ao não considerar nas projeções dos preços dos fertilizantes as possíveis mudanças do lado da demanda. Uma vez que, de acordo com Ott (2012), têm-se os preços dos fertilizantes derivados das interações entre oferta e demanda, a exemplo do preço das *commodities*; do custo de produção; da taxa de câmbio do dólar norte-americano; do crescimento populacional; do desenvolvimento econômico; e da disponibilidade dos recursos naturais mundiais.

Ao analisar a relação entre os preços dos fertilizantes e das *commodities* agrícolas, o estudo realizado por Ott (2012) obteve, ao empregar modelos de séries temporais e o teste de causalidade de Granger, relação positiva com o preço das *commodities*, afetando os preços dos fertilizantes e não o contrário. Diferentemente, Etienne, Trujillo-Barrera e Wiggins (2016), ao investigarem as interações dinâmicas para com dados mais específicos, ou seja, entre os preços da amônia e do milho, apesar de encontrarem a mesma influencia obtiveram volatilidades dos preços da amônia também influenciando os preços das *commodities*. Esse resultado demonstra que os preços da amônia afeta os preços do milho e vice-versa, positivamente no curto prazo, não havendo uma orientação unidirecional de causalidade. Apesar dos resultados divergentes, estes determinaram a necessidade de considerar as influências da oferta e, inclusive, da demanda.

2.7. Fundamentação teórica econômica

De um modo geral, os produtos agrícolas apresentam-se em um mercado de concorrência perfeita, em especial os caracterizados como *commodities*, considerados exemplos típicos desse mercado em diversas literaturas (REIMER, STIEGERT, 2006). Tal mercado apresenta as seguintes particularidades: a existência de muitos compradores e vendedores; as empresas produzem produtos indiferenciados; há plena informação pelos consumidores sobre os preços de todos os vendedores no mercado; o preço é a principal ferramenta para a decisão de escolha dos consumidores de produtos, já que não apresenta

diferenciação significativa do produto entre os produtores; e os produtores possuem igualdade de acesso aos recursos (NICHOLSON; SNYDER, 2012).

Assim, a produção agrícola, como qualquer empresa de concorrência, pode-se aplicar à teoria da firma, cujo comportamento será brevemente tratado nessa seção, conforme a explicação de Silberberg e Suen (2000).

A função de produção pode ser representada, genericamente, por:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Onde f é interpretada como a condução tecnológica, y a quantidade produzida das *commodities* agrícolas, e x as quantidades de demandas pelos diferentes insumos.

Diante dessa função de produção (1), determina-se a função objetiva para a maximização do lucro da empresa, dada como:

$$Max.: \pi = p \cdot f(x_1, x_2, \dots, x_n) - w_1 \cdot x_1 - w_2 \cdot x_2 - \dots - w_n \cdot x_n \quad (2)$$

Em que π é o lucro a ser maximizado, p é o preço do produto agrícola, w é o preço do insumo em subscrito.

As condições de primeira ordem necessárias para a maximização do lucro (2) são:

$$\pi_i = \frac{\partial \pi}{\partial x_i} = p \cdot f_i - w_i = 0, \text{ com } i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

E as condições de segunda ordem suficientes são:

$$\pi_{ii} < 0, \pi_{jj} < 0 \text{ e } \pi_{ii} \cdot \pi_{jj} - \pi_{ij}^2 > 0, \text{ com } i \neq j$$

Como $\pi_{ij} = p \cdot f_{ij}$, essas condições de segunda ordem podem ser resumidas por:

$$f_{ii} < 0, f_{jj} < 0 \text{ e } f_{ii} \cdot f_{jj} - f_{ij}^2 > 0 \quad (4)$$

Os dois primeiros resultados das condições do sistema (4) demonstram algebricamente a “lei dos rendimentos decrescentes”, ou seja, dado um nível de insumos, a produção marginal é decrescente. Com relação à terceira condição, a diminuição da produção marginal decorre da mudança em um fator afetar os produtos marginais dos outros fatores, assim como o próprio produto marginal.

Dada essas condições, tem-se a função demanda por um insumo, x_i , em função dos preços:

$$x_i = x_i^*(p, w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (5)$$

Ao substituir as quantidades de demandas (5) na condição de primeira ordem (3), a fim de realizar uma análise de estática comparativa, produz a seguinte identidade:

$$p \cdot f_i(x_1^*(w_1, w_2, \dots, w_n, p); x_2^*(w_1, w_2, \dots, w_n, p); \dots; x_n^*(w_1, w_2, \dots, w_n, p)) - w_i \equiv 0 \quad (6)$$

Por ser uma identidade, essa (6) pode ser diferenciada em relação aos preços do próprio insumo, w_i , encontra-se após efetuando as devidas operações:

$$\frac{\partial x_i^*}{\partial w_i} = \frac{f_{jj}}{p(f_{ii} \cdot f_{jj} - f_{ij}^2)} \quad (7)$$

Utilizando operações semelhantes, no entanto com os preços de outros insumos, w_j , tem-se:

$$\frac{\partial x_i^*}{\partial w_j} = \frac{-f_{ij}}{p(f_{ii} \cdot f_{jj} - f_{ij}^2)} \quad (8)$$

Mediante as condições estabelecidas em (4), pode-se determinar que (7) possui sinal negativo, isto é, um aumento positivo nos preços do insumo, o que causa a redução do consumo desse mesmo insumo. Já sobre (8) não se pode afirmar nada, pois o sinal de f_{ij} varia de acordo com o produto final e sua evolução tecnológica no tempo, não sendo definida matematicamente, resultando, assim, em uma correspondência específica entre os insumos e o determinado produto agrícola. Porém, a seguinte relação de reciprocidade entre os insumos sempre é encontrada:

$$\frac{\partial x_i^*}{\partial w_j} = \frac{\partial x_j^*}{\partial w_i}$$

Com o procedimento idêntico de diferenciação, encontra-se a relação entre a demanda por um insumo com o preço do produto, dada por:

$$\frac{\partial x_i^*}{\partial p} = \frac{-f_i \cdot f_{jj} + f_j \cdot f_{ij}}{p(f_{ii} \cdot f_{jj} - f_{ij}^2)} \quad (9)$$

Nenhuma implicação refutável também pode ser estabelecida por depender, do mesmo modo que a (8), no entanto, a única restrição é que não pode haver simultaneamente todos os insumos com $\frac{\partial x_i^*}{\partial p} < 0$, visto que um aumento absoluto do preço não pode conduzir a uma menor utilização de todos conjuntamente.

Consequentemente, pode-se expressar a função oferta, que maximiza o lucro, y^* , com relação as quantidades dos insumos empregados dado por:

$$y^* = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (10)$$

Substituindo dentro da (10) as funções de demanda expressas em relação aos preços (5), tem-se:

$$y^* \equiv f(x_1^*(p, w_1, w_2, \dots, w_n), x_2^*(p, w_1, w_2, \dots, w_n), \dots, x_n^*(p, w_1, w_2, \dots, w_n))$$

Ao diferenciar a função y^* com relação à p , encontra-se:

$$\frac{\partial y^*}{\partial p} = \frac{-f_i^2 \cdot f_{jj} + 2f_{ij} \cdot f_{ii} \cdot f_j - f_j^2 \cdot f_{ii}}{p(f_{ii} \cdot f_{jj} - f_{ij}^2)} \quad (11)$$

Como o denominador da expressão acima é positivo, dada a condição de segunda ordem, e numerador também positivo, pela propriedade da concavidade da curva de nível de produção (convexa a origem), tem-se essa relação positiva. Isto é, quando o preço do produto aumenta, o produtor tende a produzir mais a fim de aproveitar os preços elevados, justificando também o porquê não pode haver simultaneamente todos os insumos com $\frac{\partial x_i^*}{\partial p} < 0$.

Também é possível derivar as relações de reciprocidade entre a função de oferta e a função demanda do insumo, dada por:

$$\frac{\partial y^*}{\partial w_i} = -\frac{\partial x_i^*}{\partial p} \quad (12)$$

O sinal dessa expressão é indeterminado, porém, a reciprocidade entre as relações é válida.

Diante da função de oferta ótima, pode-se substituir essa na função objetiva (2), obtendo-se:

$$\pi^*(p, w_1, w_2, \dots, w_n) = p \cdot y^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) - w_1 \cdot x_1^* - w_2 \cdot x_2^* - \dots - w_n \cdot x_n^*$$

Onde π^* é a função lucro que resulta no seu máximo, em função dos preços do produto e dos insumos.

Ao diferenciar a função de lucro máximo, em relação ao preço de um determinado insumo, obtém-se a seguinte análise comparativa:

$$\frac{\partial \pi^*(p, w_i, \dots, w_n)}{\partial w_i} = (p \cdot f_i - w_i) \cdot \frac{\partial x_i^*}{\partial w_i} + \dots + (p \cdot f_n - w_n) \cdot \frac{\partial x_n^*}{\partial w_i} - x_i$$

Pela condição de 1ª ordem (3), todos os termos em parentes são iguais à zero, portanto, a equação se torna:

$$\frac{\partial \pi^*(p, w_1, w_2, \dots, w_n)}{\partial w_i} = -x_i(p, w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (13)$$

E ao diferenciar a função de lucro máximo, em relação ao preço do produto (p), encontra-se:

$$\frac{\partial \pi^*(p, w_1, w_2, \dots, w_n)}{\partial p} = f(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) \quad (14)$$

Essas duas últimas equações são conhecidas como Lema de Hotelling. A interpretação sobre (13) indica que, para manter a quantidade de insumos empregados, a variação positiva do preço de um insumo causa, em relação ao lucro, uma variação negativa. Diferentemente, em (14) a variação positiva do preço do produto resulta na variação positiva do lucro para manter a produção constante.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

À luz da teoria econômica, brevemente relatada na seção anterior, a quantidade de demanda por macronutrientes primários, contidos nos fertilizantes minerais, pode ser expressa em função das seguintes variáveis:

$$x_z = x_z^*(p, w_z, w_b)$$

Em que x_z é a quantidade demandada por macronutriente maximizadora do lucro, com o subscrito z igual a N, P_2O_5 ou K_2O , em função: do preço do produto agrícola p , refletido pelo índice de preços recebidos (IPR); preço do respectivo macronutriente, w_z ; e o preço dos demais insumos, w_b , correspondido pelo índice de preços pagos das lavouras (IPP).

Assim, a quantidade demandada por outros insumos também será em função dos preços:

$$x_b = x_b^*(p, w_z, w_b)$$

Onde x_b^* é a quantidade ótima dos demais insumos a serem utilizados na produção agrícola. Dentre esses outros insumos, encontram-se na produção agrícola as sementes, a água, os nutrientes e a área de plantio, como componentes básicos.

Logo, a função oferta da produção é dado por:

$$y^* = f(x_z^*(p, w_z, w_b), x_b^*(p, w_z, w_b))$$

Em que se adotou y^* como a quantidade agrícola produzida.

Como existem dados observados da quantidade demandada por fertilizantes, x_z^* , e da quantidade produzida, y^* , ao substituir na função objetivo, obtém-se a função de máximo lucro:

$$\pi^*(x_z^*, y^*, p, w_z, w_b) = p \cdot y^* - w_z \cdot x_z^* - w_b \cdot x_b^*(p, w_z, w_b)$$

Apresentando a análise comparativa análoga à teoria, e mesmo se dividir todas as variáveis da função de máximo lucro pela área de plantada, não há alteração algébrica, alterando somente a interpretação, dado que a quantidade produzida (y^*) passa a ser produtividade (y^{**}).

Determinadas as variáveis necessárias para captar a relação do fertilizante com o mercado agrícola, a fim de reduzir o número de variáveis na análise e com a intenção de

preservar maior grau de liberdade – apesar de causar perdas de algumas relações – agrupou-se as variáveis produtividade (y^{**}), preço dos demais insumos (w_b) e preço do produto final (p), transformando as em índice de paridade do poder de compra do produtor ponderado pela produtividade, ou seja:

$$y^{**} \cdot \frac{p}{w_b} = y^{**} \cdot \frac{IPR}{IPP} = \pi'$$

Onde $\frac{p}{w_b} = \frac{IPR}{IPP}$ é o índice de paridade, e π' é o poder de compra ponderado pela produtividade agrícola. Essa última variável faz alusão ao rendimento da produção, pois quando os preços pagos sobem bem mais do que os preços recebidos, ainda assim a produção pode ser compensadora, caso a produtividade for maior, sendo o contrário verdadeiro.

Portanto, reduziu-se a análise em três variáveis, resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição das variáveis utilizadas

Variável	Descrição
π'	Poder de compra ponderado pela produtividade agrícola, em reais por hectare
x_z^*	Quantidades de nutrientes consumidos, em toneladas
w_z	Preços dos fertilizantes, em reais

Nota: z refere-se ao nutriente específico (N, P₂O₅ e K₂O); e as variáveis apresentam-se em logaritmos.

Embora as análises teóricas de estática comparativa permitam indicação de alguns resultados sobre o sinal da variação de um choque no curto prazo, não fornecem a intensidade da variação nem a dinâmica do mercado, exigindo modelos econométrico como complemento, a exemplo das análises de séries temporais.

3.1.1. Descrição dos dados

As séries das variáveis (Tabela 1) utilizadas foram: anuais, compreendendo o período de 1986 até 2015, perfazendo 30 observações; da região do Centro-Oeste brasileiro, compondo dos estados de Goiás², Mato Grosso, e Mato Grosso do Sul; e empregadas na forma de logaritmo com propósito de reduzir a variância entre os dados, além de possibilitar a interpretação dos coeficientes estimados na forma de elasticidades.

². Apesar de Tocantins ter sido emancipado de Goiás no ano de 1989, como a sua contribuição no consumo de fertilizante começou a ser registrado após 1995, até então agrupada com GO e DF, e dada à pequena participação, com 2,18% do total do Centro-Oeste em 1995 (ANDA, 1995), não houve desconto da parcela de TO nas variáveis de GO.

A obtenção desses dados foi realizada do seguinte modo:

3.1.1.1. Poder de compra ponderado pela produtividade agrícola

Utilizada como *proxy* do lucro, o poder de compra do produtor ponderado pela produtividade foi determinado da seguinte forma:

$$\frac{Y}{A} \cdot \frac{IPR}{IPP} = \pi'$$

Onde Y é quantidade de produção agrícola em reais, A é a área de produção total em hectare, IPR é o índice de preços recebidos das lavouras, IPP é o índice de preços pagos das lavouras, e π' é o poder de compra do produtor ponderado pela produtividade agrícola em reais por hectare.

Os dados de produção (Y), ao nível da região Centro-Oeste, foram obtidos por intermédio dos anuários do IBGE (1986, 1987, 1988 e 1989) e do site do IBGE (2017).

As culturas empregadas para representar o consumo de fertilizantes da região Centro-Oeste foram determinadas com base no Valor Bruto de Produção (VBP) das culturas temporárias e permanentes, presentes na base de dados no site do IBGE (2017) no período de 1990 a 2015, dos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás, selecionando as culturas de maior participação no VBP. Obtiveram uma participação de cerca de 80% da VBP as culturas da soja, do algodão, do milho e da cana-de-açúcar, representados na Tabela 2.

Como as unidades das quantidades produzidas são diferentes, a produção agrícola da região do Centro-Oeste foi transformada em valor de produção real, com o propósito de reduzir o viés da soma de unidades de produção heterogêneas (CASTRO, 2014).

Tabela 2 – Culturas a serem utilizadas para compor a produção total da região Centro-Oeste

Mato Grosso		Mato Grosso do Sul		Goiás	
Cultura	Participação da VBP(%) 1990 à 2015	Cultura	Participação da VBP(%) 1990 à 2015	Cultura	Participação da VBP(%) 1990 à 2015
Soja	61,94	Soja	49,79	Soja	43,29
Algodão	14,15	Cana-de-açúcar	18,54	Cana-de-açúcar	17,09
Milho	12,17	Milho	18,37	Milho	16,21
Cana-de-açúcar	3,92	Algodão	3,55	Algodão	4,75
Demais culturas	7,83	Demais culturas	9,75	Demais culturas	18,65

Fonte: Elaborado a partir de dados do IBGE (2017)

O processo metodológico, segundo Spolador (2006) e Castro (2014), é dado primeiramente a partir do cálculo dos preços reais de cada produto, obtido a partir do IPR mensal

divulgado pela FGV/IBRE (2017), entre o período de 1986 a 2015. Com base no valor monetário dos preços do ano de 2015 para a transformação dos índices em valores monetários – esses em seguida deflacionados referente ao IGP-DI (IPEADATA, 2017), com o período base o último mês da série –, determinarm-se os valores dos preços, auferidas as médias para cada produto e por período da seguinte forma:

$$Pm_i = \frac{\sum_{t_0}^t P i_t}{(t - t_0) + 1}$$

Onde Pm_i é o preço médio da cultura i no período entre o ano t_0 a t , e $P i_t$ é o preço médio da cultura i no ano t .

Para determinar o valor de produção real de cada cultura, multiplicou-se as quantidades produzidas de cada cultura da série pelo seu respectivo preço médio. Ao transformar em valores de produção, pode-se somar os diferentes produtos para obter o valor de produção total, expresso como:

$$VP_t^k = \sum_i Pm_i \cdot Q_{i,k,t}$$

Sendo VP_t^k o valor da produção total, no ano t , no local k e $Q_{i,k,t}$ é a quantidade produzida pela cultura i , no estado k , no ano t .

Isso é possível pois, de acordo com Spolador (2006), ao se calcular a média de preços anuais de um longo período de tempo, removem-se as oscilações de preços causadas por possíveis reduções de oferta do produto, resultando no aumento de preço ou o contrário, o aumento da oferta do produto resultando na redução de preço.

Existem outras técnicas de soma de quantidades de produtos com unidades diferentes, como o método empregado por Tenkorang e Lowerber-Deboer (2009), em que utilizaram a quantidade de calorias conforme a categoria da cultura, e as quantidades necessárias de calorias pela população. Esta técnica enfatiza as taxas de crescimento populacional relativas ao consumo de calorias *per capita*, em vez da produção agrícola efetiva.

Assim como a produção, a área plantada, A , no âmbito da região Centro-Oeste (Tabela 2) foi adquirida nos anuários da Produção Agrícola Municipal do IBGE (1986, 1987, 1988 e 1989) e site do IBGE (2017), no período de 1986 a 2015. O índice de preços recebidos das lavouras (IPR) e o de preços pagos das lavouras (IPP) mensais, entre o período de 1986 a 2015, foram adquiridos na FGV/IBRE (2017) e deflacionados segundo o IGP-DI, com base em dezembro de 2015 (IPEADATA, 2017). Para obter o IPR e IPP de cada ano, efetuou-se a média mensal.

A Figura 11 representa a evolução do poder de compra ponderado à produtividade do Centro-Oeste, ofertada pela alta dos preços das *commodities* no mercado internacional e com pico em 2012 (FUGLIE, 2015).

Figura 11 – Evolução do poder de compra ponderado pela produtividade no CO brasileiro
Fonte: Dados da pesquisa.

3.1.1.2. Quantidades de nutrientes consumidos

Os dados de consumo anual de cada nutriente (N, P_2O_5 e K_2O) em toneladas, presentes nos fertilizantes, foram adquiridos a partir dos boletins da ANDA, dos anos de 1987 a 2016. No entanto, nesta fonte são apresentadas as “quantidades de nutriente entregues ao consumidor final”, assim, supõe-se, para fins de análise, que todas as toneladas entregues foram consumidas no respectivo ano.

Na figura 12, observa-se a evolução da quantidade de fertilizantes consumidos no Centro-oeste, em que é possível notar uma aparente tendência de crescimento em 2010, com maior consumo de fertilizantes potássicos, seguido dos fertilizantes fosfatados e nitrogenados. Embora o nitrogênio seja o nutriente mais exigido pelas plantas, devido à fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas, faz com que haja boa economia do nitrogênio sintético, provocando a menor quantidade demandada entre as três. Porém, para outras culturas que não conseguem fixar nitrogênio e/ou não tem como rotação de culturas plantas capazes de fixar nitrogênio, a demanda de fertilizante nitrogenado apresenta-se como a maior em relação aos outros fertilizantes.

Figura 12 – Evolução das quantidades consumidas de fertilizantes no CO brasileiro
Fonte: Dados da pesquisa.

3.1.1.3. Preços dos fertilizantes

Os dados relativos aos preços importados dos fertilizantes foram obtidos na FAO/FAOSTAT (2017), período de 1986 a 2014, e no sistema AliceWeb da Secex/MDIC (2017), de 2015. Não foram utilizados os preços dos fertilizantes em nível do consumidor agrícola pela indisponibilidade dos dados para o período de tempo requerido. Ademais, os preços importados refletem os preços internos, devido a maior parcela do consumo interno vir do exterior, e por não haver intervenção do governo no controle dos preços nem na oferta de subsídios de importação. Por consequência, supõe-se que o preço importado afetará a decisão de compra do produtor agrícola.

Por não dispor dos preços dos nutrientes no ano de 2015, empregou-se a mesma metodologia para a determinação do preço pela FAO/FAOSTAT (2017), baseada nos produtos de seis dígitos da nomenclatura do Sistema Harmônico de Designação e de Codificação de Mercadorias, que contém 31 tipos de adubos. No entanto, para compor os preços dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, respectivamente, a FAO/FAOSTAT (2017) emprega nove, três e três produtos. Na Tabela A do anexo constam os códigos e nome dos específicos fertilizantes empregados.

Como os preços utilizados são para cada quilograma de nutrientes contido nos fertilizantes, deve-se saber a quantidade importada de cada um. Assim, utilizou-se os dados da (FAO/FAOSTAT, 2017) para os anos de 1986 a 2014, e do ANDA (2016) para o ano de 2015. Uma vez que os preços estão apresentados em US\$FOB/Kg, esses foram convertidos em reais, utilizando a Taxa de Câmbio Efetiva Real de Importação, construída a partir do

deflator Índice de Preço ao Produtor Amplo (IPA-EP-DI), considerando os principais países parcelas comerciais do Brasil, elaborada pelo IPEA (2017).

A Figura 13 representa a evolução dos preços de importação dos fertilizantes no Brasil, em reais por quilogramas, a ser utilizada como *proxy* para o preço pago pelos produtores agrícolas.

Figura 13 – Evolução dos preços de importação dos fertilizantes no Brasil em reais/Kg
Fonte: Dados da pesquisa.

3.2. Métodos

O presente estudo utilizou a metodologia de séries temporais, devido aos dados disponíveis se encontrarem indexados no tempo, tornando uma técnica adequada para se explorar. Foram estimados modelos para cada um dos seguintes nutrientes, constituintes dos fertilizantes minerais: nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O).

Dentre os métodos de séries temporais existentes, e com o propósito de analisar a dinâmica entre os fertilizantes e a economia agrícola do Centro-Oeste brasileiro, empregou-se o modelo Autorregressão Vetorial Estrutural (SVAR).

De acordo com Enders (2010), o modelo Autorregressão Vetorial (VAR) foi elaborado, fundamentalmente, para estimar as trajetórias das variáveis endógenas atribuídas a um choque não antecipado, ainda que possa ser usado para previsão. Diferentemente do VAR, o SVAR, proposto por Sims e Bernanke, em 1986, consiste em uma forma alternativa de modelar os choques, possibilitando a análise de outros cenários embasados na teoria econômica.

Apesar dos conceitos de modelagem de séries temporais serem bem estabelecidos, a seguir serão apresentadas, sucintamente, as etapas do modelo e os respectivos testes que foram utilizados no *software* R.

3.2.1. Modelo Autorregressão Vetorial Estrutural (SVAR)

O O modelo SVAR é representado na forma compacta, conforme apresentado por Enders (2010):

$$A_0 x_t = \alpha + \sum_{i=1}^p A_i x_{t-i} + \varepsilon_t \quad (15)$$

Onde p é a ordem de defasagem; ε_t é o vetor, $n \times 1$, de inovações (choques) estruturais serialmente e mutualmente não correlacionadas; A_0 , A_i e α são matrizes, $n \times n$, de coeficientes a serem estimados; e x_t é vetor das variáveis, isto é, $x_t = (\pi', x_z^*, w_z)$.

Ao pré-multiplicar a equação 1 por A_0^{-1} , resulta na forma reduzida dada por:

$$x_t = A_0^{-1} \alpha + \sum_{i=1}^p A_0^{-1} A_i x_{t-i} + e_t$$

Em que e_t é o resíduo estimado na forma reduzida, podendo ser expressa por:

$$e_t = A_0^{-1} \varepsilon_t$$

Onde A_0^{-1} será a matriz que irá impor as restrições teóricas à estrutura, assumindo-se, assim, que as variáveis não responderam a todos os choques contemporaneamente das diferentes variáveis especificadas.

Diferentemente do VAR, cujo requisito é que todos os elementos acima da diagonal principal sejam zero, havendo a necessidade de $\frac{(n^2-n)}{2}$ restrições, sendo n o número de variáveis, e de forma que o sistema seja exatamente identificado, o VAR Estrutural não necessariamente precisa da estrutura triangular. A imposição dessa estrutura triangular, em que ordena os choques de forma simples, limita a realização da adequada análise econômica, por apresentar uma estrutura recursiva para as relações contemporâneas entre as variáveis (ENDERS, 2010).

Sims e Bernanke, em 1986, ao elaborarem o VAR Estrutural, permitiram que a imposição de restrições à dinâmica fosse de acordo com as relações econômica, não exigindo uma ordenação específica. Por outro lado, as restrições do VAR Estrutural são difíceis de ordenar, cujas inferências estruturais são suposições e, muitas vezes, o ordenamento exige

conhecimento do mercado, além da necessidade das restrições serem plausíveis à teoria econômica (HAMILTON, 1994).

Assim, supõem-se as seguintes relações contemporâneas:

- A quantidade consumida do fertilizante responde contemporaneamente ao choque do poder de compra ponderado pela produtividade. Como o poder de compra ponderado pela produtividade origina-se da variação do índice de preço recebido sobre o índice de preço pago, e da variação da produtividade, presume-se uma relação positiva entre essas duas com a quantidade consumida de fertilizantes.

Sob a condição de que os fertilizantes minerais sejam os insumos promotores da resposta mais rápida para o aumento da produção, ao comparar com outras tecnologias (CAMARGO, 2012), tem-se que quanto maior for o índice de preço recebido em relação ao índice de preço pago, ocasiona-se um aumento do uso de fertilizantes minerais no mesmo ano. Tal consideração, somada aos resultados da pesquisa de Nicolella, Dragone e Bacha (2005), da correlação positiva entre o consumo de fertilizantes e o poder de compra, fez supor uma relação positiva. Muito embora a equação (9) da secção 2.7 não garanta nenhuma implicação refutável do sinal da variação do preço do produto, dada a variação da quantidade de insumo consumida, constando apenas a existência de uma relação contemporânea. Já ao considerar a produtividade, espera-se apresentar, também, uma relação positiva com a quantidade consumida contemporaneamente, devido ao aumento da produção causar a extração elevada de nutrientes do sistema agrícola, exigindo a reposição desses nutrientes no mesmo ano³ para a sucessora cultura (MALINGREAU; EVA; MAGGIO, 2012), a fim de manter e/ou aumentar a produção;

- Também supôs a influência contemporânea da quantidade consumida de fertilizante em relação ao choque no preço do próprio insumo. Dadas às considerações apresentadas na equação (7), considera-se que variações positivas no preço causem variações negativas na demanda de fertilizantes.

³. No Centro-Oeste brasileiro, as culturas de 1ª safra: a colheita ocorre entre fevereiro e abril, e o plantio da próxima cultura entre outubro e dezembro. Já as culturas de 2ª safra: a colheita ocorre entre junho e agosto, e o plantio da próxima cultura entre dezembro e março. Ou seja, geralmente no mesmo ano em que há a colheita da cultura, ocorre também o plantio da sucessora cultura (CONAB, 2017).

Logo, os erros na forma reduzida, $\mathbf{e}_t$, podem ser decompostos nos seguintes componentes:

$$\mathbf{e}_t \equiv \begin{bmatrix} \mathbf{e}_t^{\Delta\pi'} \\ \mathbf{e}_t^{\Delta x_z^*} \\ \mathbf{e}_t^{\Delta w_z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \alpha_{21} & 1 & \alpha_{23} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}_t^{\text{Choque no poder de compra do produtor}} \\ \boldsymbol{\varepsilon}_t^{\text{Choque no consumo de fertilizante}} \\ \boldsymbol{\varepsilon}_t^{\text{Choque no preço dos fertilizantes}} \end{bmatrix}$$

Ou seja, para a imposição das restrições, necessita que os elementos da matriz sejam iguais a zero quando não há impacto imediato esperado de um determinado choque. Assim, se estabelecem as funções impulso-resposta, as quais buscam investigar a evolução do efeito de um choque não antecipado tanto nela própria, como no restante das variáveis, mesmo que contemporaneamente não sofra impacto.

De acordo com Enders (2010), Sims, no ano de 1989, possibilitou representar a forma reduzida do VAR também na forma de vetores de média móvel, dada por:

$$\mathbf{x}_t = \varphi(B)\mathbf{e}_t$$

Ao incorporar $\mathbf{e}_t = \mathbf{A}_0^{-1}\boldsymbol{\varepsilon}_t$ na equação acima tem se:

$$\mathbf{x}_t = \varphi(B)\mathbf{A}_0^{-1}\boldsymbol{\varepsilon}_t = \theta(L)\boldsymbol{\varepsilon}_t$$

Onde $\theta(L) = \sum_{i=0}^{\infty} \theta_i L_i$, em que cada θ_i é uma matriz $n \times n$ de parâmetros do modelo estrutural. Essa última equação têm a resposta $\mathbf{x}_{t+1}$ para $\boldsymbol{\varepsilon}_t$ dado por θ_i , cuja sequência de θ_i , onde $i = 0, 1, 2, \dots, n$, representa a resposta dinâmica da variável a cada um dos choques.

Com o intuito de compreender a proporção de movimento de uma variável a um choque nela própria versus o choque em outras variáveis, calcula-se a decomposição da variância do erro padrão de previsão, expressa em (16). Demonstra-se essa decomposição a seguir:

Se $E_{t-j}(\mathbf{x}_t)$ é o valor esperado de $\mathbf{x}_t$ e com base nas informações disponíveis no instante $t - j$, o erro de previsão é:

$$\mathbf{x}_t - E_{t-j}\mathbf{x}_t = \sum_{i=0}^{j-1} \theta_i \boldsymbol{\varepsilon}_{t-1}$$

Dado que, no instante $t - j$, envolvem-se todos os ε ocorridos no momento, e antes do tempo $t - j$, sendo ε do futuro igual a zero, tal fato proporciona momentos em que os choques estejam correlacionados em uma série de tempo. Assim, as variâncias de erro de previsão para a série individual são os elementos da diagonal da matriz, representados por:

$$E \left[\mathbf{x}_t - E_{t-j}(\mathbf{x}_t) \right] \left[\mathbf{x}_t - E_{t-j}(\mathbf{x}_t) \right]' = \sum_{i=0}^{j-1} \theta_i \Sigma_{\varepsilon} \theta_i'$$

Se θ_{ivs} é o elemento da matriz θ_i na posição (v, s) e σ_s é o desvio padrão do choque $S(S = 1, \dots, n)$, a variância de previsão j -períodos à frente da variável v -ésima é:

$$E \left[\mathbf{x}_t - E_{t-j}(\mathbf{x}_t) \right]^2 = \sum_{i=0}^{j-1} \sum_{s=1}^n \theta_{ivs}^2 \sigma_s^2$$

Onde $v = 1, 2, \dots, n$.

Através disso, a função de decomposição da variância (FDV) que resulta na porcentagem da variância de erro padrão de previsão para a variável v a j -períodos à frente é:

$$FDV(v, k, j) = \frac{\sum_{i=0}^{j-1} \theta_{ivk}^2 \sigma_k^2}{\sum_{i=0}^{j-1} \sum_{s=1}^n \theta_{ivs}^2 \sigma_s^2} \cdot 100 \quad (16)$$

3.2.2. Estacionariedade das séries

O ajustamento do modelo de séries temporais acima (3.2.1), requer-se previamente que as séries das variáveis sejam estacionárias, a fim de evitar possíveis relações espúrias. Para isso, é necessário aplicar o teste de raiz unitária, com intuito de examinar se a média e a variância são constantes, bem como se a covariância depende somente do intervalo de tempo, assegurando que a autocorrelação entre os erros sejam iguais à zero. Assim, se garante que as variáveis relevantes, mas não consideradas no modelo, tenham suas influências captadas pelas variáveis defasadas das que, de fato, foram utilizadas, não prejudicando a modelagem.

Primeiramente, utilizou-se o teste de Dickey e Pantula (1987) para testar a presença de duas raízes unitárias, pois, na maioria dos casos, não ultrapassam de duas. A pressuposição

requerida para esse teste é que a série seja gerada por um processo de autorregressão de ordem p , AR(p).

O teste Dickey e Pantula é aplicado de forma sequencial. A primeira etapa é estruturada para testar duas raízes contra uma raiz, dada a partir da seguinte equação:

$$\Delta^2 x_t = \rho_1 \Delta x_{t-1} + \rho_2 x_{t-1} + e_t \quad (17)$$

Em que X é a série de tempo da variável analisada, e_t é o termo do erro aleatório, no qual $e_t \sim \text{ruído branco } (0, \sigma_e^2)$, e os coeficientes ρ_1 e ρ_2 constituídos por: $\rho_1 = \phi_1 \cdot \phi_2 - 1$ e $\rho_2 = -(\phi_1 - 1)(\phi_2 - 1)$, onde ϕ_1 e ϕ_2 são os coeficientes do operador de defasagem. Apresentando a hipótese nula (H_0) igual a duas raízes unitárias, $\rho_1 = \rho_2 = 0$, versus a hipótese alternativa (H_A) de uma raiz unitária, $\rho_1 < 0$ e $\rho_2 = 0$. Caso necessário, à equação 17 podem ser acrescidos termos determinísticos.

Comparando as duas hipóteses, essas se diferenciam mediante ao coeficiente ρ_1 , permitindo que o modelo se ajuste para:

$$\Delta^2 x_t = \rho_1 \Delta x_{t-1} + e_t$$

Em que, caso H_0 não for rejeitado, conclui-se que há 2 raízes, no entanto, se H_0 for rejeitado, prossegue para a segunda etapa.

A segunda etapa analisa a existência de uma ou nenhuma raiz unitária. Como já concluiu que $\rho_1 < 0$, se testa ρ_2 da equação 17. Em que, se testa H_0 indicando a presença de uma raiz unitária, $\rho_2 = 0$, versus H_A para a série estacionária, $\rho_2 < 0$. Caso não rejeite H_0 , a série apresenta uma raiz unitária, porém, se rejeitar H_0 a série é estacionária. Em ambas as etapas o valor crítico para analisar ρ estimado recorreu à estatística τ_u de Fuller (1976).

Considerou-se como sendo o número ótimo de defagens para o teste Dickey e Pantula o valor obtido a partir da análise da função de autocorrelação amostral dos resíduos e também através da análise da significância estatística do coeficiente de maior defasagem.

Caso a série resultar na não significância da presença de duas raízes unitárias, aplicou-se também o teste de raiz unitária, teste DF-GLS, a fim de dar maior robustez na análise das séries, uma vez que o poder do teste DF-GLS é maior que o teste de Dickey e Pantula. A pressuposição necessária para aplicar o teste DF-GLS é que a série seja gerada por um processo de autorregressão de ordem p , AR(p).

O teste DF-GLS proposto por Elliott, Rothenberg e Stock (1996) foi criado a partir da modificação do teste Dickey-Fuller Aumentado (teste ADF), apresentando como avanço o

maior poder do teste. Em decorrência disso, o teste DF-GLS tornou-se indicado para casos em que há poucas observações.

Esse teste baseia-se na seguinte regressão:

$$\Delta x_t = \eta x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \theta_i \Delta x_{t-i} + e_t$$

Com $x_t^d = x_t - \delta_0 - \delta_1 \cdot t$.

Em que δ_0 e δ_1 são os coeficientes determinados da regressão de:

$$\bar{x} = [x_1 - (1 - \bar{\alpha}L)x_2 - \dots - (1 - \bar{\alpha}L)x_T]$$

Sobre:

$$\bar{z} = [z_1 - (1 - \bar{\alpha}L)z_2 - \dots - (1 - \bar{\alpha}L)z_T]$$

Com $z_t = (1, t)'$ e $\alpha = 1 + (\bar{c}/T)$.

De forma análoga ao teste de Dickey-Fuller Aumentado, o teste DF-GLSq pode filtrar a série de uma eventual presença de constante e/ou tendência determinística. Realizada de forma sequencial, primeiramente testou-se o modelo filtrado para tendência, usando para isso o valor de $\bar{c} = -13,5$, com H_0 igual a presença de raiz unitária. Se não rejeitar H_0 , testa-se o modelo filtrado para constante, cujo valor de $\bar{c} = -7$, com H_0 igual a presença de raiz unitária. E caso não rejeitar H_0 , testa-se o modelo filtrado para a tendência e constante, cujo resultado é o mesmo do teste ADF sem tendência e sem constante – utilizando a ordem de defasagem determinada através do Critério de Informação Bayesiano Schwartz (1978), conforme recomendado por Elliott, Rothenberg e Stock (1996).

3.2.3. Ordem de integração das variáveis

Caso as séries sejam não estacionárias e apresentarem a mesma ordem de integração, é necessário analisar se as variáveis são cointegradas, ou seja, se apresentam relações de equilíbrio no longo prazo estabelecido através das combinações lineares entre as variáveis.

Para isso, aplica-se o teste de cointegração de Johansen-Granger, utilizando a estatística λ -traço, elaborado por Johansen (1988), conforme Enders (2010), apresentado a seguir:

$$\lambda_{Traço}(r) = -T^* \sum_{i=r+1}^n \ln(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (18)$$

Onde T^* é o número de observações utilizadas e $\hat{\lambda}$ é os valores estimados das raízes características, valor esse que analisa a convergência das séries, e r é o rank de cointegração.

O teste (18) é realizado de forma sequencial e com a hipótese nula, o número de vetores de cointegração ser menor ou igual a r versus a hipótese alternativa de que seja maior que r , sendo os valores críticos das estatísticas λ -traço obtidos usando a abordagem de Monte Carlo. Caso existir n variáveis, é possível existir no máximo $n-1$ vetor cointegrado (MACKINNON, 1996).

Além da estatística traço, Johansen também propôs a estatística “ λ máximo”, no entanto, como o poder do teste através da estatística traço é maior, limitou-se a usar apenas essa (ENDERS, 2010).

Caso os resultados indicarem nenhum vetor cointegrado, utiliza-se o SVAR nas diferenças. Ao contrário, caso resultar em pelo menos um vetor cointegrado, necessita-se empregar o Modelo de Correção de Erros (ECM).

3.2.4. Modelo de Correção de Erros (VEC)

O Modelo de Correção de Erros (VEC) especifica a dinâmica do curto prazo das variáveis do sistema na estrutura dinâmica de longo prazo, ajustado o VAR, denominado VAR com Correção de Erro ou VAR Cointegrado. Logo, ao ajustar equação 15, tem-se o seguinte VAR com Correção de Erro:

$$A_0 \Delta X_t = \alpha + \Pi X_t + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta X_{t-i} + \varepsilon_t$$

Em que $\Pi = -(I - A_1 - \dots - A_p)$, $\Gamma_i = -(A_{i+1} + \dots + A_p)$ para $i = 1, \dots, \text{até a defasagem } p$. Onde X_t é o vetor com n variáveis (matriz $n \times 1$), A_1 a A_p são as matrizes de parâmetros ($n \times n$) e I é uma matriz identidade ($n \times n$). Apresentando o

posto de Π igual ao número de vetores de cointegração, ou seja, raízes características diferentes de zero.

Mais detalhes desse método encontra-se em Engle e Granger (1987). Realizado isso, procede-se o diagnóstico do modelo, e o restante do desenvolvimento será semelhante ao modelo SVAR

3.2.5. Diagnóstico do modelo

Ao definir o modelo é necessário, antes de continuar a análise, realizar o diagnóstico para assegurar o ajustamento correto do modelo (TSAY, 2013), a qual consiste em verificar se:

- As raízes do modelo estimado estão dentro do círculo unitário, para comprovar se o VAR estimado é estável;
- A normalidade do resíduo usando o teste de Jarque-Bera multivariado, com a hipótese nula dos resíduos apresentarem distribuição normal;
- A autocorrelação dos resíduos usando o teste F de Edgerton-Shukur para as menores defasagens, e o teste Portmanteau para defasagens elevadas, sendo a hipótese nula a não existência de autocorrelação até a ordem de defasagem p .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades da raiz unitária e de cointegração das variáveis

Com o intuito da escolha do modelo mais adequado para os três tipos de fertilizantes, aplicaram-se testes para a verificação da estacionariedade da série e para a análise das relações de longo prazo entre as variáveis. Os resultados de cada modelo encontram-se a seguir.

4.1.1. Fertilizante nitrogenado

Demonstram-se na Tabela 3 os resultados do teste de Dickey-Pantula (1987) para a verificação da presença de duas raízes unitárias, em que se pode rejeitar da hipótese nula de duas raízes unitárias para todas as variáveis em nível de 1% de significância.

Tabela 3 – Resultados do teste de Dickey e Pantula para a hipótese nula de duas raízes unitárias nas séries das variáveis do modelo do fertilizante nitrogenado

Série	Componente determinista	Nº de defasagens	Estatística do teste	Valores críticos ¹		Resultado da significância de H0
				5%	1%	
Consumo de fertilizante nitrogenado	Tendência	0	-4,982	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	0	-5,065	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	0	-3,905	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***
Preço do fertilizante nitrogenado	Tendência	1	-6,215	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	1	-6,319	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	1	-6,440	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***
Poder de compra ponderado pela produtividade	Tendência	0	-6,355	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	0	-6,465	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	0	-5,887	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***

Nota: ***denota significância de 1%; ¹valores críticos obtidos em Mackinnon (1996)

Fonte: Dados da pesquisa.

Dada à rejeição da hipótese de duas raízes unitárias, testou-se a presença de uma raiz unitária por meio do teste de DF-GLS, proposto por Elliott, Rothenberg e Stock (1996), recomendado para pequenas amostras devido maior poder do teste se comparado com outras versões do teste de Dickey-Fuller Aumentado, assim como ao teste de Dickey-Pantula.

Os resultados do teste DF-GLS apresentam-se na tabela 4. Ao comparar a estatística do teste com os valores críticos, os resultados do teste mostram a presença de uma raiz unitária para todas as séries, ou seja, integradas de ordem 1.

Tabela 4 – Resultados do teste DF-GLS para a hipótese nula de uma raiz unitária nas séries das variáveis do modelo do fertilizante nitrogenado

Série	Componente determinista	Nº de defasagens	Estatística do teste	Valor crítico ²		Resultado da significância de H0
				5%	1%	
Consumo de fertilizante nitrogenado	Tendência	4	-2,271	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1) ***
	Constante	4	-0,627	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1) ***
	Nenhum ¹	1	2,623	-1,950	-2,620	Não rejeita H0: I (1) ***
Preço do fertilizante nitrogenado	Tendência	4	-1,720	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1) ***
	Constante	4	-1,010	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1) ***
	Nenhum ¹	3	-0,119	-1,950	-2,620	Não rejeita H0: I (1) ***
Poder de compra ponderado pela produtividade	Tendência	4	-2,203	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1) ***
	Constante	4	-0,884	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1) ***
	Nenhum ¹	2	1,883	-1,950	-2,620	Não rejeita H0: I (1) ***

Nota: ***denota significância de 1%; ¹ na ausência de termos deterministas, o teste DF-GLS é equivalente ao teste ADF (1981); ² valores críticos obtidos em Mackinnon (1996).

Fonte: Dados da pesquisa

Como as séries apresentaram a mesma ordem de integração, aplicou-se o teste de cointegração, a fim de constatar a existência de relações de longo prazo entre as variáveis. Primeiramente, determinou-se o número ótimo de defasagens das 3 variáveis conjuntamente pelo modelo VAR, identificando-se para os quatro critérios empregados (Tabela 5) a presença de 1 defasagem, cuja escolha foi baseada no menor valor dentre as defasagens.

Tabela 5 – Determinação do número de defasagens do VAR para o modelo do fertilizante nitrogenado

Nº de defasagens	Critérios utilizados para a seleção			
	AIC	HQ	SC	FPE
1	-10,843*	-10,681*	-10,258*	1,970E-05*
2	-10,575	-10,291	-9,551	2,674E-05
3	-10,348	-9,943	-8,886	3,694E-05
4	-10,236	-9,709	-8,335	5,026E-05
5	-10,242	-9,593	-7,902	7,242E-05

Nota: * ordem sugerida pelo critério; AIC = critério de Akaike; HQ = critério de Hannan e Quinn; SC = critério de Schwarz; e FPE = erro de previsão final.

Fonte: Dados da pesquisa

Com a identificação de 1 defasagem, aplicou-se o teste da estatística traço, desenvolvido por Johansen, para analisar o número de vetor de cointegração. Para tanto, verificou-se, *a priori*, a possibilidade da inclusão da constante dentro do vetor de cointegração, através do teste de razão de verossimilhança, o qual apresentou as constantes não significativas, não o incluindo (Tabela B - Anexo).

Assim sendo, com o teste da estatística traço realizado de forma sequencial, determinou-se o número de vetor de cointegração igual a zero, como apresentado na Tabela 6, inferindo ausência de relações de longo prazo entre as variáveis.

Tabela 6 – Resultados do teste traço para definir o número de vetores cointegrados para o modelo do fertilizante nitrogenado

Hipótese		Estatística do teste	Valores críticos ¹		Resultado da significância
Nula	Alternativa		5%	1%	
$r = 0$	$r > 0$	29,68	31,52	37,22	Não rejeita H0***
$r \leq 1$	$r > 1$	12,01	17,95	23,52	Não rejeita H0***
$r \leq 2$	$r > 2$	0,32	8,18	11,65	Não rejeita H0***

Nota: r é o rank de cointegração; ¹ valores críticos obtidos em Osterwald-Lenun (1992).

Fonte: Dados da pesquisa.

Diante disso, estabeleceu-se o modelo VAR Estrutural nas diferenças como o modelo mais indicado ao mercado do fertilizante nitrogenado. Na Tabela C do Anexo, encontram-se os resultados do diagnóstico do modelo estimado, o qual apresentou resíduos com distribuição normal e ausência de autocorrelação, ou seja, ruído branco, constatando-se adequado.

4.1.2. Fertilizante fosfatado

Em relação às variáveis do modelo dos fertilizantes fosfatados, o teste de Dickey e Pantula, apresentado na Tabela 7, também constatou a ausência de duas raízes unitárias para todas as variáveis e seus respectivos componentes determinísticos, em nível de 1% significância.

Tabela 7 – Resultados do teste de Dickey e Pantula para a hipótese nula de duas raízes unitárias nas séries das variáveis do modelo do fertilizante fosfatado

Série	Componente determinista	Nº de defasagens	Estatística do teste	Valores críticos		Resultado da significância de H0
				5%	1%	
Consumo de fertilizante fósfatado	Tendência	0	-4,997	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	0	-5,097	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	0	-4,575	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***
Preço do fertilizante fosfatado	Tendência	0	-7,614	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	0	-7,754	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	0	-7,812	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***
Poder de compra ponderado pela produtividade	Tendência	0	-6,355	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	0	-6,465	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	0	-5,887	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***

Nota: ***denota significância de 1%; valores críticos obtidos em Mackinnon (1996).

Fonte: Dados da pesquisa.

Em seguida, ao realizar-se o teste DF-GLS, constatou-se que todas as variáveis apresentaram 1 ordem de integração (Tabela 8).

Tabela 8 – Resultados do teste DF-GLS para a hipótese nula de uma raiz unitária nas séries das variáveis do modelo do fertilizante fosfatado

Série	Componente determinista	Nº de defasagens	Estatística do teste	Valor crítico		Resultado da significância de H0
				5%	1%	
Consumo de fertilizante fósfatado	Tendência	4	-1,993	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1)***
	Constante	4	-0,496	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1)***
	Nenhum ¹	1	1,778	-1,950	-2,62	Não rejeita H0: I (1)***
Preço do fertilizante fosfatado	Tendência	4	-2,067	-3,19	-3,770	Não rejeita H0: I (1)***
	Constante	4	-1,990	-1,950	-2,64	Não rejeita H0: I (1)***
	Nenhum ¹	1	-0,695	-1,95	-2,620	Não rejeita H0: I (1)***
Poder de compra ponderado pela produtividade	Tendência	4	-2,203	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1)***
	Constante	4	-0,884	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1)***
	Nenhum ¹	2	1,883	-1,950	-2,620	Não rejeita H0: I (1)***

Nota: ***denota significância de 1%; ¹ na ausência de termos deterministas, o teste DF-GLS é equivalente ao teste ADF (1981); ² valores críticos obtidos em Mackinnon (1996).

Fonte: Dados da pesquisa.

Dado que todas as variáveis possuem a mesma ordem, realizou-se o teste de cointegração utilizando 1 defasagem, resultado determinado por três critérios a indicarem os menores valores nessa ordem, apesar do critério de Akaike apresentar o menor valor com 2 defasagens, conforme observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Determinação do número de defasagens do VAR para o modelo do fertilizante fosfatado

Nº de defasagens	Critérios utilizados para a seleção			
	AIC	HQ	SC	FPE
1	-10,114	-9,952*	-9,529*	4,085E-05*
2	-10,125*	-9,841	-9,101	4,198E-05
3	-9,703	-9,297	-8,240	7,043E-05
4	-9,464	-8,936	-7,562	1,088E-04
5	-9,408	-8,759	-7,068	1,668E-04

Nota: * ordem sugerida pelo critério; AIC = critério de Akaike; HQ = critério de Hannan e Quinn; SC = critério de Schwarz; e FPE = erro de previsão final.

Fonte: Dados da pesquisa

No teste de cointegração com 1 defasagem, sem a constante dentro do vetor de cointegração, por não se mostrar significativo (Tabela D - Anexo), o resultado apresentou zero vetores cointegrados, como consta na Tabela 10. Logo, semelhante ao fertilizante nitrogenado, as variáveis empregadas não apresentam relações de longo prazo.

Tabela 10 – Resultados do teste traço para definir o número de vetores cointegrados para o modelo do fertilizante fosfatado

Hipótese		Estatística do teste	Valores críticos ¹		Resultado da significância
Nula	Alternativa		5%	1%	
$r = 0$	$r > 0$	26,73	31,52	37,22	Não rejeita H0***
$r \leq 1$	$r > 1$	9,69	17,95	23,52	Não rejeita H0***
$r \leq 2$	$r > 2$	1,35	8,18	11,65	Não rejeita H0***

Nota: r é o rank de cointegração; ¹ valores críticos obtidos em Osterwald-Lenun (1992)

Fonte: Dados da pesquisa

Estabelecendo o modelo VAR Estrutural nas diferenças como o mais adequado, os testes de diagnósticos do modelo apresentaram resíduos com distribuição normal e ausência de autocorrelação, como o pretendido, aceitando-o. Na Tabela E do Anexo, encontram-se os valores dos resultados do diagnóstico.

4.1.3. Fertilizante potássico

Nas variáveis incorporadas no modelo dos fertilizantes potássicos, o teste de Dickey e Pantula mostrou a rejeição da hipótese da presença de duas raízes unitárias para todas as séries das variáveis, bem como para os respectivos componentes deterministas incorporados,

representados na Tabela 11. Embora a estatística do teste para a série de preços dos fertilizantes não rejeite a hipótese nula nas séries com tendência e constante, por apresentarem os coeficientes dos componentes deterministas não significativos, decidiu-se por rejeitar a hipótese de duas raízes.

Tabela 11 – Resultados do teste de Dickey e Pantula para a hipótese nula de duas raízes unitárias nas séries das variáveis do modelo do fertilizante potássico

Série	Componente determinista	Nº de defasagens	Estatística do teste	Valores críticos		Resultado da significância de H0
				5%	1%	
Consumo de fertilizante potássico	Tendência	0	-5,121	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	0	-5,196	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	0	-4,330	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***
Preço do fertilizante potássico	Tendência	4	-1,796 ¹	-3,568	-4,297	Não rejeita H0: I(2)***
	Constante	4	-1,850 ²	-2,964	-3,670	Não rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	5	-5,852	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***
Poder de compra ponderado pela produtividade	Tendência	0	-6,355	-3,568	-4,297	Rejeita H0: I(2)***
	Constante	0	-6,465	-2,964	-3,670	Rejeita H0: I(2)***
	Nenhum	0	-5,887	-1,952	-2,644	Rejeita H0: I(2)***

Nota: ***denota significância de 1%; ¹ e ² coeficiente da tendência e da constante não foi significativo respectivamente, rejeitando H0; valores críticos obtidos em Mackinnon (1996)

Fonte: Dados da pesquisa

Subsequentemente, examinou-se o teste DF-GLS, em que foram constatadas todas as séries integradas de ordem 1, conforme detalhado na Tabela 12.

Tabela 12 – Resultados do teste DF-GLS para a hipótese nula de uma raiz unitária nas séries das variáveis do modelo do fertilizante potássico

Série	Componente determinista	Nº de defasagens	Estatística do teste	Valor crítico		Resultado da significância de H0
				5%	1%	
Consumo de fertilizante potássico	Tendência	4	-1,850	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1)***
	Constante	4	-0,227	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1)***
	Nenhum ¹	1	2,231	-1,950	-2,62	Não rejeita H0: I (1)***
Preço do fertilizante potássico	Tendência	4	-2,077	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1)***
	Constante	4	-0,896	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1)***
	Nenhum ¹	2	-0,482	-1,950	-2,620	Não rejeita H0: I (1)***
Poder de compra ponderado pela produtividade	Tendência	4	-2,203	-3,190	-3,770	Não rejeita H0: I (1)***
	Constante	4	-0,884	-1,950	-2,640	Não rejeita H0: I (1)***
	Nenhum ¹	2	1,883	-1,950	-2,620	Não rejeita H0: I (1)***

Nota: ***denota significância de 1%; ¹ na ausência de termos deterministas, o teste DF-GLS é equivalente ao teste ADF (1981); ² valores críticos obtidos em Mackinnon (1996).

Fonte: Dados da pesquisa.

Diante desses resultados, foi testada a existência de relações de longo prazo entre as variáveis com o teste traço. Primeiramente, determinou a defasagem das variáveis conjuntamente através do modelo VAR. Na Tabela 13, indica-se para dois critérios, de Akaike e de Hannan e Quinn, 5 defasagens, já para o critério de erro de previsão final, apontou-se 3 defasagens, e para o critério de Schwarz 1 defasagem. Assumiu-se, então, a defasagem indicada no critério de Schwarz, por esse critério ser parcimonioso com o número de variáveis independentes, preservando o pouco número de graus de liberdades, além de dar um bom ajuste ao modelo.

Tabela 13 – Determinação do número de defasagens do VAR para o modelo do fertilizante potássico

Nº de defasagens	Critérios utilizados para a seleção			
	AIC	HQ	SC	FPE
1	-10,669	-10,507	-10,084*	2,344E-05
2	-10,676	-10,392	-9,653	2,417E-05
3	-10,727	-10,322	-9,265	2,528E-05*
4	-10,593	-10,066	-8,692	3,518E-05
5	-11,948*	-11,298*	-9,607	1,316E-05

Nota: * ordem sugerida pelo critério; AIC = critério de Akaike; HQ = critério de Hannan e Quinn; SC = critério de Schwarz; e FPE = erro de previsão final.

Fonte: Dados da pesquisa

Com a determinação de uma defasagem, empregou-se o teste de cointegração sem a constante dentro do vetor, devido a não significância, representado na Tabela F do Anexo. O resultado do teste traço (Tabela 14) indicou zero vetor de cointegração, isto é, a ausência de relações de longo prazo entre as variáveis.

Tabela 14 – Resultados do teste traço para definir o número de vetores cointegrados para o modelo do fertilizante potássico

Hipótese		Estatística do teste	Valores críticos ¹		Resultado da significância
Nula	Alternativa		5%	1%	
$r = 0$	$r > 0$	25,89	31,52	37,22	Não rejeita H0***
$r \leq 1$	$r > 1$	9,02	17,95	23,52	Não rejeita H0***
$r \leq 2$	$r > 2$	1,28	8,18	11,65	Não rejeita H0***

Nota: r é o rank de cointegração, ¹ valores críticos obtidos em Osterwald-Lenun (1992)

Fonte: Dados da pesquisa

Consequentemente, o modelo resultante foi VAR Estrutural nas diferentes, semelhante aos outros dois modelos mencionados. O diagnóstico desse modelo encontra-se na Tabela G do Anexo. Em suma, o modelo mostrou-se adequado por apresentar resíduo com distribuição normal e ausência de autocorrelação.

4.2. Resultado do modelo VAR Estrutural

A fórmula considerada para os três tipos de fertilizantes foram o VAR Estrutural nas diferenças⁴. Ao representar matricialmente na forma reduzida, generalizou-se como:

$$\begin{bmatrix} \Delta\pi'_t \\ \Delta x_{z,t} \\ \Delta w_{z,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ a_{30} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\pi'_{t-1} \\ \Delta x_{z,t-1} \\ \Delta w_{z,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_t^{\Delta\pi'} \\ e_t^{\Delta x_z^*} \\ e_t^{\Delta w_z} \end{bmatrix}$$

Onde Δ significa as séries nas diferenças. Dada à significância do termo determinístico, inclui-se a matriz de constantes como o modelo a apresentar-se nas diferenças – essa matriz, na realidade, trata-se da tendência.

A configuração do modelo com a matriz de correlações contemporânea, para o lado direito da igualdade, facilita a interpretação por tornar a compreensão das relações dos sinais direta.

Dadas essas especificações, foi possível analisar os resultados das próximas secções.

4.3. Matriz de relações contemporâneas e decomposição da variância do erro de previsão

4.3.1. Fertilizante nitrogenado

No modelo do fertilizante nitrogenado, os coeficientes das relações contemporâneas, representadas na Tabela 15, indicaram sinal positivo para influência do poder de compra p.p. sobre a quantidade consumida desse fertilizante no Centro-Oeste brasileiro, conforme o esperado e estabelecido na secção 3.2.1. Porém, o coeficiente do preço do fertilizante apresentou-se positivo e não significativo, o que não era o esperado, uma vez que na teoria

⁴. Ao realizar o teste Zivot-Andrews (1992) para identificar a presença de quebra estrutural, esse resultou para os três tipos de fertilizantes mudanças de intercepto e tendência no ano de 2002 na série das quantidades consumidas, adicionando no modelo, já nas diferenças, as variáveis binárias: pulso e degrau, respectivamente, para captar as mudanças. Uma das justificativas da possível presença dessa uma quebra se deve ao boom das *commodities* agrícolas, durante 2000 a 2011, devido ao crescimento da demanda dos mercados emergentes, como a China (VIEIRA FILHO; GASQUES, 2016). No entanto, ao comparar as estatísticas entre o modelo com e sem a quebra, a última apresentou melhores resultados. Assim, optou por um modelo sem quebra estrutural.

econômica, um aumento positivo nos preços do insumo causa a redução do consumo, matematicamente demonstrado na Equação 7.

Tabela 15 – Estimativa da matriz de coeficiente das relações contemporâneas

Influência		Coefficiente estimado	p-Valor
Do	Sobre		
Poder de compra ponderado pela produtividade	Consumo de fertilizante nitrogenado	0,4649***	0,0065
Preço do fertilizante nitrogenado	Consumo de fertilizante nitrogenado	0,0236	0,7780

Nota: ***denota significância de 1%.

Fonte: Dados da pesquisa

Ao realizar a decomposição da variância do erro de previsão, apresentada nas tabelas 16, 17, e 18, para cada variável os seguintes resultados foram determinados:

O poder de compra p.p. do Centro-Oeste brasileiro possui o erro de previsão explicado em grande parte pela própria variância, embora sofra certa influência da quantidade consumida de nitrogênio (cerca de 4%), e quase nada do preço do fertilizante nitrogenado (aproximadamente 1,25%). Diante disso, houve coerência com resultados da secção anterior, uma vez que o poder de compra p.p. mostrou-se não influenciar nenhuma variável contemporaneamente, fato esse explicado pelo poder de compra p.p. de um ano ser obtido da atividade agrícola realizada do ano anterior (Tabela 16). Já nos períodos subsequentes ao impacto, a quantidade consumida do fertilizante explica aproximadamente 4% da variação do poder de compra p.p., mais do que o preço do fertilizante, que explica 1,249%.

Tabela 16 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do poder de compra ponderado pela produtividade

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_N^*	w_N
1	,137	100	0	0
2	0,142	95,161	3,688	1,151
3	0,143	4,839	3,941	1,219
4	0,143	94,770	3,989	1,241
	0,143	94,758	3,994	1,248
6	0,143	94,756	3,995	1,249
7	0,143	94,756	3,995	1,249
8	0,143	94,756	3,995	1,249
9	0,143	94,756	3,995	1,249
10	0,143	94,756	3,995	1,249

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 17 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do consumo de fertilizante nitrogenado

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_N^*	w_N
1	0,133	22,947	76,812	0,241
2	0,144	22,263	65,219	12,518
3	0,145	22,192	65,054	12,754
4	0,145	22,184	65,03	12,786
5	0,145	22,184	65,029	12,787
6	0,145	22,184	65,029	12,787
7	0,145	22,184	65,029	12,787
8	0,145	2,184	65,029	12,787
9	0,145	22,184	65,029	12,787
10	0,145	22,184	65,029	12,787

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 18 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do preço do fertilizante nitrogenado

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_N^*	w_N
1	0,277	0	0	100
2	0,284	0,656	0,098	99,246
3	0,284	0,814	0,165	99,022
4	0,284	0,845	0,179	98,976
5	0,284	0,850	0,181	98,969
6	0,284	0,851	0,181	98,968
7	0,284	0,851	0,181	98,968
8	0,284	0,851	0,181	98,968
9	0,284	0,851	0,181	98,968
10	0,284	0,851	0,181	98,968

Fonte: Dados da pesquisa

Por sua vez, o consumo de fertilizantes nitrogenados apresentou ser mais endógeno do que as outras duas variáveis, devido ao erro de previsão ser explicado, além da própria influência, pelo poder de compra p.p. e pelo seu preço. Sendo que o poder de compra p.p. apresentou maior contribuição na explicação, em torno de 20%, do que o preço, cuja parcela de explicação representou 12% (Tabela 17);

O preço do fertilizante mostrou-se o mais exógeno entre as três variáveis, resultado esperado, já que o preço utilizado na análise foi da importação, sendo esse um preço dado das relações da economia mundial (Tabela 18).

4.3.2. Fertilizante fosfatado

A matriz de relações contemporâneas do modelo do fertilizante fosfatado, apresentado na Tabela 19, indicou os sinais dos coeficientes de acordo com a teoria econômica estabelecida na seção 3.2.1.

Nela, demonstra-se o coeficiente da influência do poder de compra p.p. sobre a quantidade consumida do fertilizante fosfatado, o que foi positivo e significativo em nível de 1% de significância. Diferentemente do fertilizante nitrogenado, o coeficiente do preço do fertilizante sobre a quantidade de fertilizante fosfatado consumido foi negativo, e embora não seja significativo, esse resultado foi como o esperado, dado que o aumento do preço do insumo reduziu o consumo.

Tabela 19 – Estimativa da matriz de coeficiente das relações contemporâneas

Influência		Coeficiente estimado	p-Valor
Do	Sobre		
Poder de compra ponderado pela produtividade	Consumo de fertilizante fosfatado	0,5703***	0,0051
Preço do fertilizante fosfatado	Consumo de fertilizante fosfatado	-0,0467	0,5316

Nota: ***denota significância de 1%.

Fonte: Dados da pesquisa

Considerando a decomposição da variância do erro de previsão (Tabela 20, 21, e 22) para cada variável, no modelo dos fertilizantes fosfatados, foram encontrados os seguintes resultados:

O poder de compra p.p. do Centro-Oeste brasileiro possui o erro de previsão explicado, além dele mesmo, pelo preço do fertilizante com contribuição aproximada de 14% e uma pequena parcela pela quantidade consumida. Ante ao modelo do fertilizante nitrogenado (aproximadamente 4%), o preço do fertilizante fosfatado contribui mais para a explicação do poder de compra p.p.

Tabela 20 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do poder de compra ponderado pela produtividade

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_{P205}^*	w_{P205}
1	0,130	100	0	0
2	0,141	86,460	1,788	11,752
3	0,143	83,849	1,766	14,385
4	0,143	83,436	1,835	14,729
5	0,143	83,391	1,857	14,752
6	0,143	83,388	1,861	14,751
7	0,143	83,388	1,861	14,751
8	0,143	83,387	1,861	4,751
9	0,143	83,387	1,861	14,751
10	0,143	83,387	1,861	14,751

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 21 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do consumo de fertilizante fosfatado

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_{P205}^*	w_{P205}
1	0,157	22,232	76,646	1,122
2	0,159	21,789	74,929	3,283
3	0,159	21,752	74,724	3,523
4	0,159	21,754	74,707	3,538
5	0,159	21,755	74,707	3,538
6	0,159	21,755	74,706	3,538
7	0,159	21,755	74,706	3,538
8	0,159	21,755	74,706	3,538
9	0,159	21,755	74,706	3,538
10	0,159	21,755	74,706	3,538

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela 22 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do preço do fertilizante fosfatado

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_{P205}^*	w_{P205}
1	0,356	0,000	0,000	100,000
2	0,389	1,066	1,691	97,243
3	0,394	1,486	2,289	96,225
4	0,394	1,565	2,396	96,039
5	0,394	1,573	2,407	96,020
6 ¹	0,394	1,574	2,408	96,019
7	0,394	1,574	2,408	96,019
8	0,394	1,574	2,408	96,019
9	0,394	1,574	2,408	96,019
10	0,394	1,574	2,408	96,019

Fonte: Dados da pesquisa.

O consumo de fertilizantes fosfatados apresentou-se como a variável mais endógena dentre as três utilizadas, também como o modelo do fertilizante anterior, devido ao poder de compra p.p. participar em, aproximadamente, 21,8%, e o preço do fertilizante fosfatado em 3,5% na formação do poder de compra p.p. do Centro-Oeste brasileiro.

Já o preço do fertilizante apresentou-se como o mais exógeno entre as variáveis empregadas, semelhante ao do modelo do fertilizante nitrogenado, o que era de se esperar.

4.3.3. Fertilizante potássico

A matriz de relações contemporâneas do modelo do fertilizante potássico indicou os sinais dos coeficientes de acordo com a teoria econômica, assim como o modelo do fertilizante fosfatado. Encontrando o coeficiente da influência do poder de compra p.p. sobre a quantidade consumida do fertilizante potássico, positiva e significativo em nível de 1% de significância, e o coeficiente do preço do fertilizante sobre a quantidade de fertilizante consumido negativa, embora não seja significativo (Tabela 23).

Tabela 23 – Estimativa da matriz de coeficiente das relações contemporâneas

Influência		Coeficiente estimado	p-Valor
De	Sobre		
Poder de compra ponderado pela produtividade	Consumo de fertilizante potássico	0,5889 ***	0,0019
Preço do fertilizante potássico	Consumo de fertilizante potássico	-0,1075	0,3164

Nota: ***denota significância de 1%

Fonte: Dados da pesquisa

Com relação aos resultados da decomposição da variância do erro de previsão, encontrados (Tabela 24, 25 e 26) no modelo dos fertilizantes potássicos para cada variável, esses indicaram o seguinte:

O poder de compra p.p. do Centro-Oeste brasileiro possui o erro de previsão explicado além dele mesmo, cuja participação, nesse modelo, indicou ser a variável mais exógena. Porém, com o preço do fertilizante potássico influenciando-o em aproximadamente 4,5%, e a quantidade consumida em aproximadamente 1,5%, diferentemente dos resultados dos fertilizantes nitrogenado e fosfatado, cuja variável mais exógena foi o preço do fertilizante.

Em relação ao consumo de fertilizantes fosfatados, esse apresentou como a variável mais endógena entre as utilizadas, assim como nos outros modelos, com maior participação do poder de compra p.p., além dela mesma, de aproximadamente 25%, devido ao preço do fertilizante fosfatado explicar 7,5% da variação do erro.

Semelhante ao poder de compra p.p., a variável preço do fertilizante potássico resultou ser uma variável também exógena, apresentando influência de poder da compra p.p., exibindo uma participação de 6,4%, e da quantidade de 0,1%.

Tabela 24 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do poder de compra ponderado pela produtividade

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_{K20}^*	w_{K20}
1	0,137	0	0	0
2	0,143	94,436	1,466	4,098
3	0,143	93,968	1,577	4,456
4	0,143	93,965	1,577	4,459
5	0,143	93,964	1,577	4,459
6	0,143	93,964	1,577	4,459
7	0,143	93,964	1,577	4,459
8	0,143	93,964	1,577	4,459
9	0,143	93,964	1,577	4,459
10	0,143	93,964	1,577	4,459

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 25 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do consumo de fertilizante potássico

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_{K20}^*	w_{K20}
1	0,159	25,59	71,622	2,788
2	0,163	24,716	68,162	7,122
3	0,164	24,751	67,8	7,449
4	0,164	24,786	67,768	7,446
5	0,164	24,787	67,766	7,447
6	0,164	24,787	67,766	7,447
7	0,164	24,787	67,766	7,447
8	0,164	24,787	67,766	7,447
9	0,164	24,787	67,766	7,447
10	0,164	24,787	67,766	7,447

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 26 – Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série do preço do fertilizante potássico

Período	Desvio Padrão	Decomposição da variância devido a choques em (%)		
		π'	x_{K20}^*	w_{K20}
1	0,247	0	0	100
2	0,261	5,547	0,032	94,421
3	0,262	6,383	0,091	93,526
4	0,262	6,411	0,110	93,479
5	0,262	6,411	0,111	93,478
6	0,262	6,411	0,111	93,478
7	0,262	6,411	0,111	93,478
8	0,262	6,411	0,111	93,478
9	0,262	6,411	0,111	93,478
10	0,262	6,411	0,111	93,478

Fonte: Dados da pesquisa

Nessa secção, os resultados dos três modelos foram coerentes com a teoria, devido grande parte da variância do erro de previsão, nos períodos iniciais do impulso, ser explicada pela própria variação, reduzindo a proporção ao decorrer do tempo (ENDERS, 2010).

4.4. Análise das funções impulso resposta

Para realizar as análises das funções impulso resposta, necessitou-se dos resultados encontrados anteriormente para embasar quais variáveis, de fato, sofrem interferência das outras. Ou seja, considerou-se para análise das respostas apenas as variáveis mais endógenas, além da análise das respostas das variáveis ao próprio choque.

Diante disso, as respostas dos preços dos fertilizantes ao choque nas outras variáveis não foram analisadas, por ter resultado na variável mais exógena, a julgar pelo preço utilizado do insumo e fora o preço de importação – não sofrendo, portanto, influência das outras, as quais fazem menção somente ao Centro-Oeste brasileiro. Ademais, na literatura encontra-se que o preço dos fertilizantes é formado pela interação entre oferta e demanda mundial (WENYUAN, 2009), ou até mesmo por meio da cartelização, dada a alta concentração desse mercado (GNUTZMANN; SPIEWANOWSKI, 2014).

Os impulsos foram aplicados de forma idêntica e igual a um desvio padrão, isso por possuírem unidades de medida diferentes. Com o intuito facilitar a interpretação, considerou-se que um impacto de 10% de variação causa resposta inicial sobre a própria variável de 10%, indicando 100% do choque repassado, ou seja, 1 em decimal (os gráficos das elasticidades acumuladas apresentam-se em decimal). Considerou-se, também, que as elasticidades acumuladas possuem como ponto de referência o período 1, ponto quando houve o impacto, acompanhando-os durante 10 períodos.

A seguir, encontram-se os resultados das funções impulsos respostas. Mais detalhes em relação às elasticidades acumuladas, dado o impacto em cada uma das variáveis, encontram-se no Anexo (Figuras H, I, J).

4.4.1. Fertilizante nitrogenado

A Figura 14 apresenta a elasticidade acumulado no decorrer dos anos de cada uma das variáveis em relação ao próprio impacto. Partindo-se do ponto inicial igual a 1, obtiveram para todas as variáveis utilizadas elasticidades acumuladas positivas.

O poder de compra p.p. e o preço do fertilizante apresentaram impactos relativamente semelhantes, devido ao choque próprio ter maior influência (variável exógena). Dado choque inicial de 10%, no segundo período houve um relativo decrescimento do impacto, resultando nas variações acumuladas de 8,3% e 7,9%, respectivamente. Também, as duas variáveis no terceiro período aumentaram, sendo que o preço do fertilizante nitrogenado

se estabilizou na variação positiva de 8,3%, diferente do poder de compra p.p., que oscilou até se estabilizar no quinto período, com aumento de 9,1%.

Essas oscilações se devem ao ajustamento do mercado relacionado à oferta e à demanda, evidenciando a presença do efeito da teia de aranha (Efeito Cobweb) no mercado agrícola (NICHOLSON; SNYDER, 2012). Haja vista, que durante um período de aumento do poder de compra p.p. se causa o incentivo para que os produtores aumentem a produção, no entanto, no ano seguinte, com o aumento da oferta de produtos, o poder de compra p.p., apesar de manter-se positivo, é reduzido devido a uma possível diminuição dos preços dos produtos agrícolas, até se estabilizar. O mesmo ocorre com o preço do fertilizante, cujo impacto do aumento de preço de um ano faz com que se reduza o consumo de fertilizantes, reduzindo o preço no ano posterior.

Diferentemente, a elasticidade acumulada do consumo, apesar de apresentar menor variação do que as outras variáveis, não apresentou a redução do impacto inicial de 10%, cujo choque estabilizou em 10,4% no terceiro período. Por ter sido considerada uma variável endógena no resultado da decomposição da variância do erro de previsão, o choque na quantidade consumo de fertilizantes faz com que seja ocasionado por impactos de outros fatores, não apenas da variação dele próprio.

Figura 14 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, da quantidade consumida de fertilizante nitrogenado, e do preço do fertilizante nitrogenado, a impulso da sua própria variável

Fonte: Dados da pesquisa

Diante disso, a Figura 15 apresenta a influência do impacto de 10% no poder de compra p.p. e no preço do fertilizante nitrogenado sobre o consumo de nitrogênio.

Constatou-se, através do impacto positivo de 10% no poder de compra p.p., uma elasticidade acumulada positiva do consumo, contemporaneamente com variação de 4,65%,

até se estabilizar em 6,47% no quarto período. Esse sentido da variação do consumo do fertilizante nitrogenado foi conforme o esperado, tanto nas considerações estabelecidas, quando se construiu da matriz de relações contemporâneas (secção 3.2.1), como na característica do fertilizante. Isto é, como o nitrogênio é dos nutrientes propiciadores do aumento da produção, aumento no poder de compra p.p. supõe aumento do consumo desse insumo, embora não tenha uma implicação estabelecida na teoria econômica pela gama de insumos influenciadores possíveis.

Já a contribuição do choque positivo de 10% no preço do fertilizante, apresentou ligeiro aumento do consumo de fertilizantes contemporaneamente com elasticidade acumulada em 0,24%. Porém, no segundo período, reduz-se o consumo para -1,6%, com o ajustamento do mercado oscilando levemente no negativo, até se estabilizar na variação de -1,4%, no quarto período. Também conforme o previsto, devido aumento do preço do fertilizante reduz-se o consumo, conforme mostrado teoricamente na equação 7 (secção 2.7).

Figura 15 – Função impulso resposta acumulada da quantidade consumida de fertilizante nitrogenado ao impulso no poder compra ponderado pela produtividade e no preço do fertilizante nitrogenado

Fonte: Dados da pesquisa

Quanto aos impactos das variáveis sobre o poder de compra p.p., a Figura 16 traz os resultados que indicaram para o aumento de 10% do consumo de fertilizante nitrogenado, o que causa uma elasticidade acumulada de 2,35% no poder de compra p.p, após um ano do impacto, oscilando positivamente em 1,67% a 1,96% até se estabilizar em uma variação positiva de 1,9% no quinto período. Esse resultado apresenta coerência por parte agrônômica, devido ao aumento do consumo de nutrientes aumentar a produção, embora a teoria econômica não apresente uma definição do sentido da variação entre a quantidade de insumo e a produção.

Como a quantidade consumida foi considerada na secção anterior uma variável endógena, há outros fatores que resultam na variação da quantidade consumida, e que podem também variar e influenciar o poder de compra p.p.

Uma delas pode ser o impacto no preço do nitrogênio sobre o poder de compra p.p., pois ao aplicar um choque positivo de 10%, apresentou-se nos períodos subsequentes uma redução na variação acumulada do poder de compra da região Centro-Oeste de $-0,55\%$, $-0,7\%$, $-0,62\%$, estabilizando em $-0,65\%$ no sétimo período. Esse resultado era o esperado, dado a teoria matemática econômica embasada na equação 13 (secção 2.7), que define uma relação negativa. Logo, um impacto negativo do preço, possivelmente, aumentaria o poder de compra p.p.

Figura 16 – Função impulso resposta acumulada do poder compra ponderado pela produtividade de fertilizante nitrogenado e no preço do fertilizante nitrogenado
Fonte: Dados da pesquisa

As análises individuais das respostas, a um impulso de cada variável do modelo do fertilizante nitrogenado, encontram-se nas Figuras H do Anexo.

4.4.2. Fertilizante fosfatado

Assim como nos fertilizantes nitrogenados, as respostas aos impactos relacionados às próprias variáveis do modelo do fertilizante fosfatado apresentaram-se resultados semelhantes. As variáveis poder de compra p.p. e preço do fertilizante fosfatado apresentaram impactos positivos advindo dos próprios choques, apesar de haver redução nas variações acumuladas do impacto inicial de 10% nos períodos subsequentes.

De acordo com os resultados da Figura 17, o impacto na própria variável do poder de compra p.p. aumentou o valor da variável progressivamente, porém, as variações acumuladas

de crescimento diminuíram, passando de 10% para 8,8%, e, em seguida, para 8,7%, 8,9% até se estabilizar em um aumento de 8,8% no quinto período a frente do impacto. Já em relação ao choque próprio da variável preço do fertilizante fosfato, esse apresentou aumento nas variações acumuladas, no entanto, a taxa de aumento variou mais lentamente do que o poder de compra p.p., pois do impacto inicial de 10% passou para 6%, 7,2% até 7% no quarto período. Diante disso, o preço do fertilizante fosfatado apresentou menor variação de aumento quando comparado ao poder de compra p.p.

Quanto às respostas do poder de compra p.p. ao impacto positivo, de 10% na própria variável, apresentou-se no período subsequente uma redução na variação acumulada em 9,9%, oscilando para variações acima do impacto inicial no terceiro período, com variação de 10,02% e 10%, estabilizando na variação positiva de 10,01%. Porém, como no caso dos fertilizantes nitrogenados, a quantidade consumida de fertilizante fosfatado é uma variável endógena, logo, seu aumento está relacionado, além dela mesma, a outros fatores.

Figura 17 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, da quantidade consumida de fertilizante fosfatado, e do preço do fertilizante fosfatado, a impulso da sua própria variável

Fonte: Dados da pesquisa

Um desses fatores de aumento do consumo pode ser resultante do aumento do poder de compra p.p., pois de acordo com a Figura 18, o impacto de 10% no poder de compra p.p. resulta no aumento contemporâneo do consumo do fertilizante fosfatado de 5,7%, oscilando em 6%, 5,7% e 5,9%, até se estabilizar na taxa de 5,8%. Essa oscilação, como visto anteriormente, refere-se ao ajustamento do mercado. Tal como no fertilizante nitrogenado, a resposta foi o esperado, conforme as considerações da secção 3.2.1 para a construção da matriz de relações contemporâneas; e como macronutriente, o aumento do poder de compra

p.p. incentiva o produtor a aumentar o consumo desse nutriente, a fim de ampliar a produção com a expectativa de obter ganhos frente ao período positivo.

Contrariamente, mas conforme o esperado, quanto ao poder de compra p.p., um impacto positivo de 10% no preço do fertilizante fosfatado causa variação acumulada negativa em seu consumo. Contemporaneamente, o consumo reduz para 0,5%, e posteriormente para -1,1% e -0,9%, estabilizando na taxa de redução de 1% no quarto período, conforme representado na Figura 18.

Figura 18 – Função impulso resposta acumulada da quantidade consumida de fertilizante fosfatado ao impulso no poder compra ponderado pela produtividade e no preço do fertilizante fosfatado

Fonte: Dados da pesquisa

Na Figura 19, apresentam-se os resultados dos impactos das variáveis consumo e preço dos fertilizantes fosfatados sobre o poder de compra p.p., indicando estar de acordo com o aguardado. Demonstram-se os mesmos sentidos das variações acumuladas das respostas dos fertilizantes nitrogenados, diferenciando somente nas magnitudes.

Devido ao impacto de 10% no consumo de fertilizante fosfato, também aumentar o poder de compra p.p., porém, com a elasticidade de acumulada de 1,4% após o impacto, apesar de contemporaneamente não houver resposta. Em seguida, as variações oscilaram para 1,6% e 1,3%, estabilizando no quinto período na variação positiva de 1,4%. Assim como mencionado, no caso do fertilizante nitrogenado, aumento do consumo de fertilizante aumento a produtividade, aumentando o poder de compra p.p.

Como a variável consumo mostrou ser endógena, outros fatores podem ser refletidos em seu impacto de consumo, como o preço do fertilizante fosfatado. Já que o impacto de 10% no preço do fertilizante fosfatado sobre o poder de compra p.p., essa última apresentou uma taxa de variação acumulada negativa, logo no período subsequente ao choque de -1,4%,

oscilando em $-0,7\%$, $-0,9\%$ e $-0,8\%$, até estabilizar em $-0,9\%$, estando em concordância com o esperado e estabelecido na equação 7 (secção 2.7).

Figura 19 – Função impulso resposta acumulada do poder compra ponderado pela produtividade ao impulso na quantidade consumida de fertilizante fosfatado e no preço do fertilizante fosfatado

Fonte: Dados da pesquisa

As análises individuais das respostas a um impulso de uma determinada variável, presente no modelo do fertilizante fosfatado, encontram-se nas Figuras I do Anexo.

4.4.3. Fertilizante potássico

Considerando os fertilizantes potássico, apresenta-se na Figura 20 a resposta de cada variável ao próprio impacto para dez períodos a frente, em que todos os resultados dos impactos do aumento de 10% indicaram variações acumuladas positivas.

No caso da resposta do poder de compra p.p., e do preço do fertilizante potássicos aos próprios choques, esses indicaram respostas semelhantes no sentido da variação, sendo que o poder de compra p.p. resultou em uma taxa de variação acumulada um pouco maior ao comparar com o preço do fertilizante potássico. Dadas as consequências em um ano posterior ao choque de 10% sobre a variável poder de compra p.p., a resposta da própria variável indicou uma variação positiva no segundo período de 8,19%, oscilando para 8,1% e 8,24%, até manter na variação positiva de 8,2% no quinto período. Em relação ao choque de 10% no preço do fertilizante potássico, notou-se variação positiva de 7,7% no segundo período, oscilando em 7,73% e 7,68%, mantendo em 7,8% no quinto período.

Essa semelhança entre as respostas das duas variáveis se deve aos resultados, na decomposição histórica do erro de previsão, indicarem-nas como variáveis exógenas, apresentando o poder de compra p.p. ligeiramente mais exógena.

Figura 20 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, da quantidade consumida de fertilizante potássico, e do preço do fertilizante potássico, a impulso da sua própria variável

Fonte: Dados da pesquisa

Em relação ao impacto positivo de 10% na própria variável do consumo de fertilizantes potássicos, esse apresentou variação acumulada positiva, sendo que o efeito do impacto permaneceu aumentando quase na mesma proporção, por resultar no segundo período variação de 10,01%, oscilando em 9,37% e 9,83%, e mantendo no quinto período em diante no aumento de 9,86%. Como encontrado anteriormente, o consumo de fertilizantes potássicos foi o mais endógeno, logo, o impacto em sua variável pode ser relacionado a outros fatores.

Uns dos fatores que podem ter influenciado o consumo do fertilizante potássico, como o identificado na decomposição histórica da variância do erro de previsão, foram as outras duas variáveis. Com participação de 25% na explicação da demanda do fertilizante potássico no Centro-Oeste, o poder de compra p.p., quando impactado em 10%, causa uma variação acumulada positiva de 5,89% contemporâneo, reduzindo a taxa de aumento para 5,17% e 4,67%, até manter-se na taxa de aumento de 4,9% no quarto período (Figura 21). Com participação de 7,5% sobre a explicação no consumo de fertilizante potássico, o preço do respectivo fertilizante, ao sofrer impacto de 10%, interfere negativamente na demanda desse insumo, que contemporaneamente já apresenta redução de 1,08%, oscilando na variação acumulada de -2,47%, -2,07%, -2,09% e mantendo no quinto período na variação de -2,11% (Figura 21). Os resultados, dado as justificativas semelhantes dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados, foram esperados.

Figura 21 – Função impulso resposta acumulada da quantidade consumida de fertilizante potássico ao impulso no poder compra ponderado pela produtividade e no preço do fertilizante potássico

Fonte: Dados da pesquisa

Na Figura 22, exibem-se os resultados dos impactos das variáveis consumo e preço dos fertilizantes potássicos sobre o poder de compra p.p. Apesar de considerada uma variável exógena, as respostas do poder de compra p.p. a respeito dos sinais das variações acumuladas foram semelhantes às encontradas nos fertilizantes nitrogenados e fosfatados.

A resposta do poder de compra p.p. dada ao choque de 10% no consumo de fertilizante fosfatado não ocasionou nenhum impacto contemporaneamente. Já no ano seguinte, houve aumento do poder de compra p.p., o que era de se esperar, embora o impacto do consumo dos fertilizantes fosse explicado por outras variáveis, por se tratar de uma variável endógena.

Figura 22 – Função impulso resposta acumulada do poder compra ponderado pela produtividade ao impulso na quantidade consumida de fertilizante potássico e no preço do fertilizante potássico

Fonte: Dados da pesquisa

Contrariamente ao choque de 10% do preço do fertilizante potássico, em que apresentou variações negativas sobre o poder de compra p.p., com variação no segundo período $-1,17\%$, oscilando em $-0,81\%$ e $-0,85\%$, até manter-se na variação de $-0,86\%$. Tal resultado foi previsto devido aos aumentos dos preços dos insumos reduzirem, a curto prazo, a lucratividade dos produtores, como evidenciado matematicamente na equação 13.

As análises individuais das respostas, a um impulso de uma variável presente no modelo do fertilizante potássico, encontram-se nas Figuras J do Anexo.

4.4.4. Comparação dos resultados das elasticidades acumuladas

Ao comparar os resultados das elasticidades acumuladas, quanto às quantidades consumidas dos três tipos de fertilizantes, devido impulso no poder de compra p.p. (Tabela 27), verificou-se que todos os nutrientes apresentaram variações positivas e com poucas diferenças entre os valores. Fato esse possivelmente explicado pela “lei do mínimo”, isto é, o desenvolvimento vegetal pode ser limitado ao nutriente que estiver mais deficitado, havendo o requisito de encontra-lo com proporções semelhantes.

Apesar dessa pouca diferença, encontrou-se uma ordenação dos valores em consonância com as especificações agronômicas. Como o nitrogênio é o nutriente mais exigido pela planta, por estar em diversas estruturas, além de participar em todos os processos metabólicos por meio das enzimas requer para o aumento da produtividade maior investimento desse nutriente, o que pode ser constatado ao comparar com os outros macronutrientes, com elasticidade acumulada de 0,647 após o ajustamento do mercado.

O fósforo é o segundo nutriente com maior elasticidade acumulada ao choque no poder de p.p., considerado 0,584, apesar de ser menos exigido pela planta, ao se comparar ao potássio, a alta fixação do fósforo nos solos ácidos da região Centro-Oeste explica esse resultado. Assim, constata-se o consumo de fertilizante potássico com a menor elasticidade acumulada entre as outras duas, com 0,488 após o ajustamento.

Tabela 27 – Elasticidades acumuladas das quantidades consumidas do específico fertilizante ao impulso no poder de compra p.p.

Período	Consumo de N	Consumo de P ₂ O ₅	Consumo de K ₂ O
1	0,465	0,570	0,589
2	0,641	0,600	0,517
3	0,644	0,575	0,467
4	0,646	0,588	0,493
5	0,647	0,583	0,487
6	0,647	0,584	0,488
7	0,647	0,584	0,488
8	0,647	0,584	0,488
9	0,647	0,584	0,488
10	0,647	0,584	0,488

Fonte: Dados da pesquisa

Já a comparação das respostas dos consumos de fertilizantes ao impulso no preço específico, apresentou concordância com a literatura. Dado que o preço de importação dos fertilizantes foi utilizado como *proxy* do preço ao produtor agrícola, tem-se a maior elasticidade acumulada negativa no fertilizante potássico, -0,210, motivo esse possivelmente causado pelo potássio ser o elemento de maior dependência externa, importando mais de 90% do total utilizado. Logo, um choque no preço reduz muito o seu consumo (Tabela 28).

Em seguida, apresenta-se o fertilizante nitrogenado com a maior variação negativa, -0,14, conforme os dados da ANDA (2017), apesar de contemporaneamente o aumento do preço ter resultado na variação positiva, como visto na secção 4.3.1. Entre os três macronutrientes, o nitrogênio situa-se no meio tanto na produção interna como na importação.

Com menor elasticidade acumulada negativa encontra-se o consumo dos fertilizantes fosfatados, -0,095. Como o Brasil apresenta uma extração considerável da rocha fosfatada, com produção aproximada de 2,7% do total mundial de 2016 (ANDA, 2017), a variação do preço de importação causa pouco impacto no consumo dos fertilizantes fosfatados no Centro-Oeste.

Tabela 28 – Elasticidade acumuladas das quantidades consumidas do específico fertilizante ao impulso nos respectivos preços

Período	Consumo de N	Consumo de P ₂ O ₅	Consumo de K ₂ O
1	0,024	-0,047	-0,108
2	-0,160	-0,113	-0,247
3	-0,132	-0,090	-0,207
4	-0,142	-0,096	-0,209
5	-0,140	-0,095	-0,211
6	-0,141	-0,095	-0,210
7	-0,140	-0,095	-0,210
8	-0,140	-0,095	-0,210
9	-0,140	-0,095	-0,210
10	-0,140	-0,095	-0,210

Fonte: Dados da pesquisa

Na comparação das respostas do poder de compra, dada ao impulso nas quantidades de fertilizantes consumidas no Centro-Oeste brasileiro, para todos os fertilizantes demonstrou-se o aumento do poder de compra p.p. conforme o esperado. Como mencionado anteriormente, a variação do poder de compra p.p. está relacionada à alteração na produtividade e/ou alteração do índice de paridade. Porém, como houve o aumento dos nutrientes no solo, a justificativa mais consistente está relacionada à alteração da produtividade, uma vez que os estudos agrônômicos indicam que o incremento dos macronutrientes no solo são um dos fatores responsáveis pela elevação da produção (Tabela 29).

Ademais, o modelo do fertilizante nitrogenado apresentou maior resposta do poder de compra, e o fertilizante potássico a menor. Tais resultados concordam com os obtidos quando se aplica um impulso no poder de compra, ou seja, o impulso contrário, evidenciando a reciprocidade positiva entre os choques e a manutenção da ordem ($N > P_2O_5 > K_2O$), conforme a proporção requerida pela maioria das plantas e características do solo – mesmo que, para o fertilizante potássico, o poder de compra p.p. tenha resultado na variável mais exógena.

Tabela 29 – Elasticidades acumuladas do poder de compra p.p. ao impulso nas quantidades consumidas dos específicos fertilizantes

Período	Poder de compra ponderado pela produtividade no modelo		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0,000	0,000	0,000
2	0,235	0,137	0,129
3	0,167	0,156	0,092
4	0,196	0,126	0,095
5	0,186	0,143	0,096
6	0,190	0,136	0,096
7	0,189	0,138	0,096
8	0,189	0,138	0,096
9	0,189	0,138	0,096
10	0,189	0,138	0,096

Fonte: Dados da pesquisa

Na comparação das elasticidades acumuladas do poder de compra p.p., dado um choque nos preços dos fertilizantes, todas apresentaram variações negativas, o que era o esperado, dado a teoria econômica da maximização do lucro indicado na equação 13 (seção 2.7). Os resultados apresentados na tabela 30.

Embora a intensidade da variação não tenha resultado como o esperado, por supor que o potássio iria apresentar maior variação entre os três macronutrientes, uma vez que se utilizou o preço de importação, porém, o fósforo apresentou elasticidade acumulada semelhante ao potássio de -0,086 no equilíbrio. Um dos motivos que pode ter contribuído para

esse resultado é a maior influência do preço no poder de compra p.p. do fertilizante fosfato (14,75%), em comparação ao fertilizante nitrogenado (1,25%) e potássico (4,46%). Outra razão pode estar relacionada ao fato do poder de compra p.p. ter dado como uma variável exógena no modelo do fertilizante fosfatado, não sendo influenciada por outra variação.

Em relação a menor variação, o fertilizante nitrogenado apresentou-se a menor alteração na resposta, o que pode ser resultado da compensação do preço do fertilizante nitrogenado pelo aumento na produção, resultando, conseqüentemente, na baixa variação do poder de compra p.p.

Tabela 30 – Elasticidades acumuladas do poder de compra p.p. ao impulso nos preços dos específicos fertilizantes

Período	Poder de compra ponderado pela produtividade no modelo		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0,000	0,000	0,000
2	-0,055	-0,135	-0,117
3	-0,070	-0,066	-0,081
4	-0,062	-0,092	-0,085
5	-0,066	-0,085	-0,086
6	-0,065	-0,086	-0,086
7	-0,065	-0,086	-0,086
8	-0,065	-0,086	-0,086
9	-0,065	-0,086	-0,086
10	-0,065	-0,086	-0,086

Fonte: Dados da pesquisa

Diante da comparação dos resultados, pode-se verificar concordância tanto em relação às bases agronômicas quanto econômicas, além de mostrar os fertilizantes minerais como um dos insumos proporcionadores do aumento da produtividade no Centro-Oeste brasileiro (Tabela 27 e 29). No entanto, dado a pouca disponibilidade dessas fontes minerais no Brasil, em especial para os fertilizantes potássicos, causam com que o Brasil fique em risco iminente a possíveis oscilações no mercado desse insumo, o que afetariam a produção agrícola interna. Estas oscilações, como encontrados nos resultados, causados pelo aumento do preço dos fertilizantes impedir a compra do insumo (Tabela 28), e reduzir o poder de compra p.p. (Tabela 30)

Diante disso, é necessário políticas de longo-prazo que investam e promovam pesquisas em tecnologia no setor, como fontes alternativas de nutrientes. E, políticas estratégicas de abastecimento de fertilizantes minerais a fim de assegurar a produção agrícola interna.

Ademais, como os fertilizantes minerais apresentaram como um dos insumos bases, esse também pode ser empregados como um indicador de como será a produção agrícola. Isto é, por exemplo, caso os fertilizantes minerais apresentem aumento do preço, pode-se prever consequências no poder de compra p.p. por alterar o preço do produto agrícola e a produtividade, permitindo antecipar possíveis medidas a fim de minimizar as consequências dos choques.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica dos fertilizantes minerais no desenvolvimento do mercado agrícola do Centro-Oeste brasileiro, através da previsão do comportamento das variáveis durante dez períodos a frente de um determinado impacto. Foram estimados modelos para os fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, considerando através da teoria da maximização do lucro as variáveis: poder de compra ponderado pela produtividade na região CO; quantidade consumida do específico fertilizante na região CO; e preço do determinado fertilizante.

Diante das condições estabelecidas, encontraram-se o modelo Autorregressão Vetorial Estrutural nas Diferenças como o mais adequado para os três tipos de fertilizantes, não apresentando, portanto, vínculo de longo prazo entre respectivas variáveis.

Conforme a análise econômica, as relações contemporâneas supostas foram duas, e uma delas mostra que variações positivas no preço dos insumos resultam na redução da quantidade demandada dos insumos, desde o momento do impacto. Fato esse, encontrado nos modelos dos fertilizantes fosfatados e potássicos, cujo aumento de 10% dos preços resultou na redução da demanda de $-0,46\%$ e $-1,07\%$, respectivamente, embora não tenha sido significativo. Tal fato não ocorreu nos fertilizantes nitrogenados, que obteve a variação positiva de $0,23\%$, não significativo.

Mesmo a teoria econômica não definindo o sentido da variação, outra suposição estimada foi acerca do impacto do poder de compra p. p. sobre a quantidade consumida, uma vez que a demanda de um insumo depende do grau de desenvolvimento tecnológico em que se encontra na sociedade local, presumindo-se, para o caso dos fertilizantes, relações positivas contemporaneamente. A atuação dos macronutrientes primários nas plantas, uns dos elementos essenciais, é apresentada na literatura como os insumos substitutos da terra. Essa hipótese foi aceita para os três fertilizantes, visto que os impactos de 10% no poder de compra causam mudanças positivas de $4,65\%$, $5,70\%$ e $5,89\%$ no consumo dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, respectivamente.

Ao definir as relações contemporâneas, foi possível analisar as respostas das variáveis quanto aos impactos das outras variáveis, além delas próprias. No entanto, como os três modelos apresentaram-se, na decomposição da variância do erro padrão de previsão da variável “preço” do fertilizante (preço importado como *proxy* do preço pago pelo produtor), como os mais exógenos – resultado esperado pelo preço ser determinado pela lei da oferta (limitado a poucos locais) e demanda mundial –, optou-se por não analisar a resposta.

De maneira contrária ao preço, a quantidade consumida apresentou-se como variável mais endógena, com contribuição de 12,78% do preço e 22,18% do poder de compra p.p. para os fertilizantes nitrogenados; 3,54% do preço e 21,76% do poder de compra p.p. para os fertilizantes fosfatados; e 7,45% do preço e 24,79% do poder de compra p.p. para os fertilizantes potássicos, após o ajustamento do mercado. Em vista disso, atribui-se a maior explicação pelo poder de compra p.p., ou seja, a variação da produtividade e/ou do índice de paridade melhor contribui na determinação do consumo dos fertilizantes, além da variação própria, não indicando, porém, que os preços para a aquisição do insumo sejam irrelevantes.

Já ao considerar o poder de compra p.p. no CO, embora apresentado mais de 90% da própria variável explicando a variação nos modelos dos fertilizantes nitrogenados e potássicos, analisaram-se as influências dos impactos para essa variável também. Para os fertilizantes fosfatados, o poder de compra p.p. apresentou participação de 14,75% do preço e de 1,86% da quantidade consumida, sofrendo, assim, certa influência das outras variáveis. Consequentemente, foram identificadas as alterações dos impactos nas variáveis acerca da quantidade consumida e do poder de compra.

Para o modelo dos fertilizantes nitrogenados, as elasticidades estimadas com o impacto do preço foram de $-0,16$ sobre a quantidade consumida, e $-0,06$ sobre o poder de compra p.p. Para o modelo dos fertilizantes fosfatados, as elasticidades obtidas pelo impacto dos preços foram de $-0,10$ sobre a quantidade consumida e $-0,09$ sobre o poder de compra p.p. E para o modelo dos fertilizantes potássicos, as elasticidades obtidas do choque no preço dos fertilizantes potássicos foram de $-0,21$, sobre a quantidade consumida, e $-0,09$, sobre o poder de compra.

Tais levantamentos demonstram que o preço altera as duas outras variáveis negativamente, apresentando a quantidade consumida e variando mais do que o poder de compra p.p., decorrente da menor influência dos preços na variável poder de compra, como visto anteriormente. O presente fato pode ser explicado pela alta dos preços dos fertilizantes, bem como pela redução do seu emprego na agricultura, acarretando na diminuição da produtividade, de modo que haja menos produtos no mercado. Para controlar esse desequilíbrio de oferta, aumentam-se os preços dos produtos, promovendo o maior índice de paridade para que compense a baixa produtividade. Assim, o poder de compra p.p. não tem grandes variações ao comparar com a quantidade consumida desse insumo.

Considerando as elasticidades identificadas pelo impacto da quantidade no consumo dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, foram de 0,19; 0,14 e 0,10;

respectivamente, sobre o poder de compra p.p. de cada modelo, fato justificável pelo aumento da nutrição do solo elevar a produtividade agrícola.

Já as elasticidades do impacto da quantidade consumida dos fertilizantes sobre a própria variável apresentou para os modelos dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados, a taxa de variação da quantidade consumida mantida após o impacto inicial, sendo que no modelo dos fertilizantes potássicos houve decréscimo dessa taxa de apenas 1%, diferente das outras variáveis, cuja taxa de variação tende-se à reduzir ao decorrer do tempo. Tal resultado, possivelmente, é promovido pelos surtos de crescimento favoráveis associadas aos ciclos econômicos.

Com relação às elasticidades do impacto do poder de compra p.p. foram de 0,65; 0,58; e 0,48 sobre o consumo dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, respectivamente. Uma das explicações para esse resultado pode também ser associada ao momento econômico positivo, incentivando maior consumo de fertilizantes de modo a aumentar a produção, e/ou pelo aumento da produtividade de um ano, relacionada às condições agrônômicas propícias para o cultivo causarem maior exportação dos nutrientes do sistema, havendo a necessidade de reposição nos solos para sucessora cultura.

Em suma, pode-se verificar a correspondência positiva entre a produtividade agrícola do CO e a quantidade consumida de fertilizantes minerais, por ter determinado: a demanda inelástica ao preço próprio e a maior influência do poder de compra p.p. sobre a quantidade consumida dos respectivos tipos de fertilizantes – mesmo com pouco número de observação, restringindo a análise com três variáveis.

Através desses resultados, se reforça o papel das pesquisas em tecnologias para minimizar as perdas e a dependência do uso dos fertilizantes minerais, especialmente no caso da produção agrícola, por depender fortemente das condições naturais para sua produção (em que os choques são imprevisíveis), e por se tratar de *commodities* agrícolas. Um impacto tanto na oferta quanto na demanda da produção agrícola mundial está em variar a decisão do investimento em agricultura em outros países, tendo como consequência, também, a influência nos mercados dos insumos, como os fertilizantes. No caso dos fertilizantes minerais, por terem o petróleo como principal fonte de energia, crises nesse setor comprometem a estabilidade desse mercado, assim como outras crises de cunho econômico, considerando que as reservas minerais com capacidade de extração estão localizadas em limitados países.

Como esse estudo contemplou somente a região do Centro-Oeste brasileiro, tem-se como sugestão para futuros estudos a análise da dinâmica entre o mercado agrícola e os

fertilizantes minerais nas demais regiões, cujas estimativas podem variar, considerando as diferenças das condições edafoclimáticas, da atividade agrícola e de recursos de infra e subestruturas das regiões.

REFERÊNCIAS

- ALVES, E.; CONTINI, E.; HAINZELIN, E. Transformações da agricultura brasileira e pesquisa agropecuária. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 22, n. 1, p. 37-51, 2005.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO NACIONAL DE ADUBOS (ANDA). **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: ANDA, 1987-2017.
- BABULA, R. A.; SOMWARU, A. Agricultural Chemical and Fertilizer Prices. **Agribusiness**, v. 8, n. 3, p. 243-252, 1992.
- BROCH, D.L.; RANNO, S.K. Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja. In: **Tecnologia de produção de soja e milho 2008/2009**. Maracajú, MS, Fundação MS, 2008, p.5-36.
- BRASIL. Banco Central do Brasil – BCB. **Inferências nacionais a partir dos indicadores regionais - Julho 2017**. Disponível em: < <http://www.bcb.gov.br/pt-br>>. Acesso em: 1 out. 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Decreto Federal nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004**. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 7 abr. 2017.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC. **Secretaria de Comércio Exterior – SECEX. ALICEWEB**. Disponível em: <<http://www.aliceweb.desenvolvimento.gov.br>>. Acesso em: 28 abr. 2017.
- BRUNELLE, T.; DUMAS, P.; SOUTY, F.; DORIN, B.; NADAUD, F. Evaluating the impact of rising fertilizer prices on crop yields. **Agricultural economics**, v. 46, n. 5, p. 653-666, 2015.
- BUENO, R.S. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning , 2008. 299p.
- BUREAU OF LABOR STATISTICS – BLS. **Inflation & Prices**. Disponível em: < <https://www.bls.gov/data/#prices>>. Acessado em: 8 mai. 2017.
- CAMARGO, M. S. A importância do uso de fertilizantes para o meio ambiente. **Pesquisa & Tecnologia**, v.9, n.2, Dez. 2012. Disponível em <www.apta regional.sp.gov.br>. Acesso em: 4 de set. de 2017.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 6, p.375-470.
- CARMAN, H. F. The demand for nitrogen, phosphorous and potash fertilizer nutrients in the Western United States. **Western Journal of Agricultural Economics**, p. 23-31, 1979.
- CASSETARI, Al. S. **Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas**. 2014. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

- CASTRO, N.R. **O impacto de variáveis climáticas sobre o valor da produção agrícola – análise para alguns estados brasileiros**. 2014. 97 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. PIB-Agro CEPEA-USP/CNA. Disponível em: < <http://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib/>>. Acessado em 20 ago. 2017.
- CIBANTOS, J.S.; LARSON, D. W. A demanda para fertilizantes em um país em desenvolvimento: o caso de São Paulo, Brasil, 1948-71. **Revista de Administração Empresarial**. v.14, n.5, p.46-53, 1974.
- COELHO, A. M. Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. **Agricultura**, v. 1518, n. 4277, p. 46, 2005.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Grãos Safra 2016/17**. Brasília, v. 4, n. 12, p. 1-158, set. de 2017.
- CRUZ, A. C.; PEREIRA, F. S.; FIGUEIREDO, V.S. Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: Avaliação do potencial econômico brasileiro. Indústria química. **BNDS Setorial**, v. 45, p. 137-187, 2017.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008, cap.1, p. 2-7.
- DICKEY, D. A.; PANTULA, S.G. Determining the Order of Differencing in Autoregressive Processes. **Journal of Business & Economic Statistics**, Washington, v. 5, n.4, p.455-461, 1987.
- ELLIOTT, G.; ROTHERNBERG, T. J.; STOCK, J. H. Efficient test for na autorregressive unit root. **Econometrica**, Oxford, v.64, n.4, p.813-836, 1996.
- EMBRAPA CERRADO. **Solo do Cerrado**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_14_911200585231.html>. Acessado em: 03 abr. 2017.
- ENDERS, W. **Applied Econometric Time Series**. 3rd ed. Danvers: Wiley, 2010. 544 p.
- ENGLE, R. F.; GRANGER, W. J. Co-integration and Error Correction: representation, estimation and testing. **Econometrica**, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987.
- ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 9, p.551-594.
- ETIENNE, X. L.; TRUJILLO-BARRERA, A.; WIGGINS, S. Price and volatility transmissions between natural gas, fertilizer, and corn markets. **Agricultural Finance Review**, v. 76, n. 1, p. 151-171, 2016.

- FERNANDES, E.; GUIMARÃES, B. A.; MATHEUS, R. R. Principais empresas e grupos brasileiros do setor de fertilizantes. **BNDES Setorial**, n. 29, p. 203-227, 2009.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The statistic division** – FAOSTAT. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/>>. Acessado em: 24 de mar. 2017.
- FUGLIE, K. Accounting for growth in global agriculture. **Bio-based and applied economics**, v. 4, n. 3, p. 201-234, 2015.
- GASQUES, J. G.; BASTOS, E. T.; BACCHI, M. P.; CONCEIÇÃO, J. C. Condicionantes da produtividade da agropecuária brasileira. **Revista de Política Agrícola**, v. 13, n. 3, p. 73-90, 2004.
- GAZOLA, R.N.; BUZETTI, S; DINALLI, R.P.; TERIXEIRA FILHO, M.C.M.; CELESTRINO, T.S. Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 6, p. 876-884, dez. 2013.
- GNUTZMANN, H.; SPIEWANOWSKI, P. Did the Fertilizer Cartel Cause the Food Crisis? Demographischer Wandel, **International Trade and Development**, v.19, n.19, 2014.
- GRILICHES, Z. The demand for fertilizer: An economic interpretation of a technical change. **Journal of Farm Economics**, v. 40, n. 3, p. 591-606, 1958.
- HAMILTON, J.D. **Time Series Analysis**. New Jersey: Princeton University Press, 1994. 799 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **SIDRA**. Produtividade Agrícola Municipal. Disponível em:< <https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 5 mai. 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Produtividade Agrícola Municipal**: Culturas temporárias. Rio de Janeiro Fundação: IBGE, 19086-1989.
- INTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA DA FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS - FGV/IBRE. **FGVdados**. Disponível em: <<http://portalibre.fgv.br/>>. Acesso em: 3 abr. 2017.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEADATA. **Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna**. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acessado em 7 mai. 2017.
- JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journal of Economic Dynamics and Control**, North-Holland, v.12, p. 231-254, 1988.
- KREUZ, C.; LANZER, E. A.; PARIS, Q. Funções de produção Von Liebig com rendimentos decrescentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 95-106, 1995.

- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: Aspectos agronômicos**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 2000. 72p.
- MACKINNON, J.G. Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. **Journal of Applied Econometrics** n.11, p. 601–618, 1996.
- MADUREIRA, N.L. Waiting for the Energy Crisis: Europe and the United States on the Eve of the first Oil Shock. **Historical Social Research/Historische Sozialforschung**, p. 70-93, 2014.
- MAHMOOD, Md A. A. Fertilizer demand in Bangladesh. **Bangladesh Journal of Agricultural Economics**, v. 18, n. 2, 1995.
- MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDDE, J. **Adubos e adubações**. São Paulo, SP. Nobel, 2000. 200 p.
- MALINGREAU, J.P.; EVA, H.; MAGGIO, A. NPK: Will there be enough plant nutrients to feed a world of 9 billion in 2050? **Foresight and Horizon Scanning Series. JRC70936, Joint Research Centre of the European Commission**, 2012.
- MARIN, F. R.; PILAU, F.G.; SPOLADOS, H.F.; OTTO, R. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016.
- MCARTHUR, J.W.; MCCORD, G.C. Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. **Journal of Development Economics**, v.127, p. 133-152, 2017.
- MERGOS, G.J.; STOFOROS, C. E. Fertilizer demand in Greece. **Agricultural Economics**, v. 16, n. 3, p. 227-235, 1997.
- NICHOLSON, W.; SUNDYDER, C. **Microeconomic theory: basic principles and extensions**. 11. ed. Mason, Ohio : South-Western Cengage Learning, 2012. 758 p.
- NICOLELLA, A. C.; DRAGONE, D.S.; BACHA, C.J.C. Determinantes da demanda de fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2002. **Revista de Economia e sociologia rural**, v. 43, n. 1, p. 81-100, 2005.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, N. F. Fósforo. In: **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, cap. 7, p.471-550.
- OGASAWARA, E.; KULAIF, Y.; FERNANDES, F.R.C. A Indústria brasileira de fertilizantes (cadeia NPK, enxofre, rocha fosfática e potássio): projeções de 2010 a 2030. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, p. 145-168, 2010.
- OSTERWALD-LENUM, M. A Note with Quantiles of the Asymptotic Distribution of the Maximum Likelihood Cointegration Rank Test Statistics. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**. v.55, n. 3, 461–472, 1992.

- OTT, H. Fertilizer markets and their interplay with commodity and food prices. **Report for the European Commission Joint Research Centre**. Brussels, 2012. 36 p.
- PESCARIN, R. M. C. **Relações estruturais da demanda de fertilizantes no Estado de São Paulo**, 1974. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais Rurais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1974.
- PROFETA, G.A.; BRAGA, M.J. Poder de mercado na indústria brasileira de fertilizantes NPK (04-14-08), no período de 1993-2006. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 4, p. 837-856, 2011.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutriente**. Piracicaba, SP, Internacional Planta Nutrition Institute, 2011. 420p.
- REIMER, J. J; STIEGERT, K. Imperfect competition and strategic trade theory: Evidence for international food and agricultural markets. **Journal of Agricultural & Food Industrial Organization**, v. 4, n. 1, 2006.
- SHIELDS, J. T. Estimating fertiliser demand. **Food Policy**, v. 1, n. 4, p. 333-341, 1976.
- SILBERBERG, E., SUEN, W., 2001. **The Structure of Economics: A Mathematical Analysis**. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill/Irwin, 2000. 688p.
- SPOLADOR, H.F.S. **Impactos dinâmicos dos choques de oferta e demanda na agricultura brasileira**. 2006. 108 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.
- TENKORANG, F.; LOWENBERG-DEBOER, J. Forecasting long-term global fertilizer demand. **Nutrient cycling in agroecosystems**, v. 83, n. 3, p. 233, 2009.
- TSAY, R.S. **Multivariate Time Series Analysis: with R and financial applications**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2013. 522 p.
- UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS AND POPULATION DIVISION (NAÇÕES UNIDAS). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. **Working Paper, No. ESA/P/WP. 241**. p. 66, 2015.
- VALOR SETORIAL. **Análise Setorial: Indústria de Fertilizantes**. São Paulo, ago. 2008.
- VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil**. Brasília, Instituto de Pesquisa Economia Aplicada - IPEA, 2017.
- VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília, Instituto de Pesquisa Economia Aplicada - IPEA, 2016.
- VITTI, G. S.; QUEIROZ, F. E. C.; OTTO R.; QUINTINO, T. A. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Bebedouro, SP, 2005. 78 p. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Nutricao+cana+GVitti_000fh3r3vzp02wyiv80rn0etnmc6zamd.pdf>. Acesso em: 15 abr.2017.

WORLD BANK. **World Development Indicators**. Disponível em: <<http://databank.worldbank.org/data/>>. Acessado em: 8 de ago. 2017.

WENYUAN, H. Factors contributing to the recent increase in US fertilizer prices, 2002-08. **Electronic Outlook Report from the Economic Research Service**, n. AR-33, 2009.

YAO, Y.; HAMADA, E.; SATO, K.; AKIYAMA, T.; YONEYAMA, T. Identification of the major constituents of fused potassium silicate fertilizer. **ISIJ international**, v. 54, n. 4, p. 990-993, 2014.

ZIVOT, E.; ANDREWS, D.W.K. Further Evidence on the Great Crash, the Oil-Price Shock, and the Unit-Root Hypothesis. **Journal of Business & Economic Statistics**, Washington, v.10, n. 3, p. 251-270, 1992.

ANEXO

Tabela A – Código dos fertilizantes utilizados para a elaboração dos preços importados de 2015 e 2016 conforme o tipo do fertilizante

Tipo do fertilizante e descrição	Código HS	Nome do fertilizante
Fertilizante mineral nitrogenado (excluindo o nitrato de sódio)	310210	Ureia, mesmo em solução aquosa
	310221	Sulfato de amônio
	310229	Outros sais duplos e misturas de sulfato e nitrato de amônio
	310230	Nitrato de amônio, mesmo em solução aquosa
	310240	Misturas de nitrato de amônio com carbonato de cálcio ou com matérias inorgânicas desprovidas de poder fertilizante
	310260	Sais duplos e misturas de nitratos de cálcio e amônio
	310270	Cianamida cálcica
	310280	Misturas de ureia com nitrato de amônio, em solução aquosa ou amoniacal
	310290	Outros adubos ou fertilizantes minerais ou químicos nitrogenados, incluídas as misturas
Fertilizante mineral fosfatado	310310	Superfosfatos
	310320	Escórias de desfosforação
	310390	Outros adubos ou fertilizantes minerais ou químicos fosfatados
Fertilizante mineral potássico	310420	Cloreto de potássio para uso como fertilizante
	310430	Sulfato de potássio
	310490	Outros adubos ou fertilizantes minerais ou químicos potássicos

Fonte: FAOAST/FAO (2017)

Tabela B – Matriz PI do modelo do fertilizante nitrogenado: Constante dentro do vetor de cointegração

	π'	x_N^*	w_N	Constante ¹
π'_{t-1}	-3,67	0,149	-0,051	1,108
	(-1,977)	(1,899)	(-0,516)	(2,083)
$x_N^*_{t-1}$	0,241	-0,098	-0,128	-0,552
	(1,331)	(-1,280)	(-1,317)	(-1,064)
w_N_{t-1}	-0,682	0,363	-0,668	1,147
	(-2,322)	(2,916)	(-4,232)	(1,361)

Nota: Entre parênteses encontra o desvio padrão; e ¹H0: coeficiente da constante = 0, com distribuição *qui-quadrado*

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela C – Modelo do fertilizante nitrogenado: Teste de diagnóstico

Diagnóstico	Teste	Estatística	Distribuição aproximada	p-Valor	Conclusão
Normalidade	JB	3,384	$\chi^2(6)$	0,759	Não rejeita H0: Resíduos com distribuição normal
Autocorrelação	PT.adjusted-6	42,58	$\chi^2(45)$	0,575	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	PT.adjusted-9	82,112	$\chi^2(72)$	0,195	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	PT.adjusted-12	112,03	$\chi^2(99)$	0,175	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	ES-1	1,379	F (9 — 46)	0,226	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	ES-2	1,119	F (18 — 45)	0,367	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação

Nota: JB = teste de Jaque-Bera; PT adjusted-n = Teste de Portmanteau ajustado para amostras pequenas; ES = Teste de Edgerton-Shukur; n=número de defasagem. Fonte: Dados da pesquisa

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela D – Matriz PI do modelo do fertilizante fosfatado: Constante dentro do vetor de cointegração

	π'	$x_{p_2 o_5}^*$	$w_{p_2 o_5}$	Constante ¹
π'_{t-1}	-0,216 (-1,322)	0,075 (0,843)	-0,078 (-1,227)	0,693 (2,296)
$x_{p_2 o_5 t-1}^*$	0,254 (1,496)	-0,196 (-2,112)	-0,058 (-0,873)	0,668 (2,126)
$w_{p_2 o_5 t-1}$	-0,842 (-2,194)	0,396 (1,884)	-0,523 (-3,489)	1,051 (1,480)

Nota: Entre parênteses encontra o desvio padrão; e ¹H0: coeficiente da constante = 0, com distribuição *qui-quadrado*.

Fonte: Dados da pesquisa

Tabela E – Modelo do fertilizante fosfatado: Teste de diagnóstico

Diagnóstico	Teste	Estatística	Distribuição aproximada	p-Valor	Conclusão
Normalidade	JB	4,669	$\chi^2(6)$	0,587	Não rejeita H0: Resíduos com distribuição normal
Autocorrelação	PT.adjusted-6	42,916	$\chi^2(45)$	0,561	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	PT.adjusted-9	67,891	$\chi^2(72)$	0,615	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	PT.adjusted-12	88,445	$\chi^2(99)$	0,768	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	ES-1	1,374	F(9 — 46)	0,228	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	ES-2	1,203	F(18 — 45)	0,299	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação

Nota: JB = teste de Jaque-Bera; PT adjusted-n = Teste de Portmanteau ajustado para amostras pequenas; ES = Teste de Edgerton-Shukur; n=número de defasagem.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela F – Matriz PI do modelo do fertilizante potássico: Constante dentro do vetor de cointegração

	π'	$x_{K_2O}^*$	w_{K_2O}	Constante ¹
π'_{t-1}	-0,274 (-1,508)	0,096 (1,022)	0,064 (0,686)	0,916 (1,775)
$x_{K_2O}^*_{t-1}$	0,276 (1,391)	-0,188 (-1,842)	0,021 (0,207)	0,413 (0,734)
$w_{K_2O}_{t-1}$	-0,225 (-0,767)	0,242 (1,609)	-0,424 (-2,813)	-1,364 (-1,642)

Nota: Entre parênteses encontra o desvio padrão; e ¹H0: coeficiente da constante = 0, com distribuição *qui-quadrado*.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela G – Modelo do fertilizante fosfatado: Teste de diagnóstico

Diagnóstico	Teste	Estatística	Distribuição aproximada	p-Valor	Conclusão
Normalidade	JB	10,576	χ^2 (6)	0,102	Não rejeita H0: Resíduos com distribuição normal
Autocorrelação	PT.adjusted-6	49,994	χ^2 (45)	0,282	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	PT.adjusted-9	71,418	χ^2 (72)	0,497	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	PT.adjusted-12	93,576	χ^2 (99)	0,635	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	ES-1	1,603	F (9 — 46)	0,143	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação
Autocorrelação	ES-2	1,546	F(18 — 45)	0,118	Não rejeita H0: Ausência de autocorrelação

Nota: JB = teste de Jaque-Bera; PT adjusted-n = Teste de Portmanteau ajustado para amostras pequenas; ES = Teste de Edgerton-Shukur; n=número de defasagem.

Fonte: Dados da pesquisa

H. NITROGÊNIO

Figura H.1 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante N e do preço do fertilizante N, a impulso no poder de compra ponderado pela produtividade - Modelo do fertilizante nitrogenado

Fonte: Dados da pesquisa

Figura H.2 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante N e do preço do fertilizante N, a impulso no consumo de fertilizante N - Modelo do fertilizante nitrogenado

Fonte: Dados da pesquisa

Figura H.3 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante N e do preço do fertilizante N, a impulso no preço do fertilizante N - Modelo do fertilizante nitrogenado

Fonte: Dados da pesquisa

I. FÓSFORO

Figura I.1 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante P₂O₅ e do preço do fertilizante P₂O₅, a impulso no poder de compra ponderado pela produtividade - Modelo do fertilizante fosfatado
Fonte: Dados da pesquisa

Figura I.2 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante P₂O₅ e do preço do fertilizante P₂O₅, a impulso no consumo de fertilizante P₂O₅ - Modelo do fertilizante fosfatado
Fonte: Dados da pesquisa

Figura I.3 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante P_2O_5 e do preço do fertilizante P_2O_5 , a impulso no preço do fertilizante P_2O_5 - Modelo do fertilizante fosfatado

Fonte: Dados da pesquisa

J. POTÁSSIO

Figura J.1 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante K_2O e do preço do fertilizante K_2O , a impulso no poder de compra ponderado pela produtividade - Modelo do fertilizante potássico

Fonte: Dados da pesquisa

Figura J.2 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante K_2O e do preço do fertilizante K_2O , a impulso no consumo de fertilizante K_2O - Modelo do fertilizante potássico

Fonte: Dados da pesquisa

Figura J.3 – Função impulso resposta acumulada do poder de compra ponderado pela produtividade, do consumo de fertilizante K_2O e do preço do fertilizante K_2O , a impulso no preço do fertilizante K_2O - Modelo do fertilizante potássico

Fonte: Dados da pesquisa