

Título do capítulo	CAPÍTULO 5 FERTILIZANTES: DEPENDÊNCIA EXTERNA E IMPACTO PRODUTIVO
Autor(es)	Cristiane Mitie Ogino José Garcia Gasques
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350530cap5

Título do livro	Agropecuária Brasileira: evolução, resiliência e oportunidades
Organizadores(as)	José Eustáquio Ribeiro Vieira Filho José Garcia Gasques
Volume	1
Série	-
Cidade	Rio de Janeiro
Editora	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea)
Ano	2023
Edição	1a
ISBN	9786556350530
DOI	DOI: http://dx.doi.org/10.38116/9786556350530

© Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea 2023

As publicações do Ipea estão disponíveis para *download* gratuito nos formatos PDF (todas) e EPUB (livros e periódicos). Acesso: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>

As opiniões emitidas nesta publicação são de exclusiva e inteira responsabilidade dos autores, não exprimindo, necessariamente, o ponto de vista do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada ou do Ministério do Planejamento e Orçamento.

É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas.

FERTILIZANTES: DEPENDÊNCIA EXTERNA E IMPACTO PRODUTIVO

Cristiane Mitie Ogino¹

José Garcia Gasques²

1 INTRODUÇÃO

O uso de fertilizantes minerais no Brasil é atendido, em sua maioria, via importação. A dependência externa torna o país vulnerável às oscilações dos preços no mercado internacional. Isso afeta os custos de produção agrícola interna, podendo causar mudanças no planejamento produtivo, que repercutem na quantidade produzida.

Em 2021, observaram-se aumentos nos preços dos fertilizantes minerais semelhantes aos patamares das altas de 2007-2008. Segundo dados da Secretaria de Comércio Exterior (Secex), esse aumento de preços em relação a 2020 foi de 27,26%, de 2,42% e de 18,58% para os fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, respectivamente (Brasil, 2022). O movimento inflacionário continuou em 2022.

As causas dessas altas de preços estão relacionadas à crise de saúde (pandemia da covid-19), assim como à crise geopolítica (conflito do Leste Europeu). A covid-19, doença anunciada como emergência de saúde pública de importância internacional em janeiro de 2020, não afetou o setor de fertilizantes minerais no primeiro momento (Ilinova, Dmitrieva e Kraslawski, 2021). No entanto, o problema sanitário impactou o nível de atividade econômica de vários países, bem como diferentes setores econômicos, tais como os de energia (Mensi, Rehman e Vo, 2021), e como a produção de fertilizante mineral depende fortemente de energia, houve reflexo nos preços de fertilizante porvir.

Somado a isso, a guerra entre Rússia e Ucrânia, declarada em fevereiro de 2022, pressionou ainda mais a elevação dos preços, uma vez que a Rússia é um dos principais países produtores e exportadores de fertilizantes nitrogenados e potássicos no mundo.

1. Pesquisadora do Subprograma de Pesquisa para o Desenvolvimento Nacional (PNPD) no Núcleo de Estudos de Economia Agropecuária (ne2agro) na Diretoria de Estudos e Políticas Regionais, Urbanas e Ambientais do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Dirur/Ipea); engenheira-agrônoma; e doutora em economia aplicada pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP). *E-mail*: <cristianeogino@gmail.com>.

2. Engenheiro-agrônomo; doutor em economia; e técnico de planejamento e pesquisa do Ipea. É coordenador-geral de políticas públicas na Secretaria de Política Agrícola do Ministério da Agricultura e Pecuária (SPA/Mapa). *E-mail*: <jose.gasques@agro.gov.br>.

A apreensão do aumento de preços se evidencia em solos das regiões tropicais, predominantes no Brasil, cujos fatores limitantes para o cultivo estão relacionados à fertilidade da terra. Essas regiões tropicais apresentam solos com alto grau de intemperização, os quais podem ser identificados pelo baixo teor de nutrientes, alta fixação de fósforo, alta acidez e toxicidade por alumínio (Cardoso e Kuyper, 2006). Torna-se essencial o investimento em adubação para que haja aumento de produtividade agrícola (Zonta, Stafanato e Pereira, 2021). Sem uso de fertilizantes não há como aumentar a produção em uma mesma área, já que faltará nutriente para o desenvolvimento da planta (Beckman e Riche, 2015).

Embora haja diferentes tipos de fertilizantes no mercado, o fertilizante mineral se destaca pela maior concentração de nutrientes por matéria e pelo teor mais bem definido. Tais atributos tornam o seu uso no sistema agrícola mais simples. O fertilizante mineral foi um dos insumos que proporcionaram a agricultura intensiva. O seu uso inadequado, no entanto, pode levar à contaminação do meio ambiente.

O Brasil apresenta baixa capacidade produtiva de fertilizantes minerais. Ademais, a produção interna desse insumo não é competitiva, dado o seu alto custo de produção quando comparado a outros países (Brasil, 2021). Como consequência, a produção de fertilizantes minerais é baixa internamente, não sendo suficiente para atender à própria demanda, havendo a necessidade de recorrer ao mercado externo. Nos últimos dez anos, o país importou aproximadamente 80% de nitrogênio, 60% de fósforo e mais de 90% de potássio (FAO, 2022).

Diante da alta dependência externa, a produção agrícola brasileira fica sujeita às condições de preços do mercado internacional. De acordo com dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), os gastos com fertilizantes representam um dos itens principais no custo de produção, em especial das *commodities* agrícolas, o que torna o preço de fertilizantes um dos fatores que levam os agricultores a pensar no modo como irão conduzir os investimentos nas culturas (Conab, 2022).

Perante o exposto, este capítulo procura apontar como o desempenho econômico do mercado agrícola brasileiro é dependente e influenciado pelo mercado de fertilizantes minerais. Para tentar elucidar essa questão, analisou-se a relação de cinco variáveis. Quanto ao mercado agrícola, os elementos utilizados foram área plantada, quantidade agrícola produzida e atratividade de exportação das cinco culturas cujos produtos foram mais exportados, em termos de valores, pelo país, no ano de 2021: soja, cana-de-açúcar, café, milho e algodão. Somente as culturas da soja, cana-de-açúcar e milho representaram mais de 73% do consumo total de fertilizantes no Brasil (Brasil, 2021). As outras variáveis utilizadas na análise

foram em relação ao mercado de fertilizantes: o preço de importação e a quantidade entregue no Brasil.

Os objetivos específicos do estudo foram quantificar o percentual da variância de cada variável que é explicada pela própria variância e pelas demais variáveis consideradas no modelo (decomposição histórica da variância do erro); e verificar o comportamento das variáveis quando ocorrem choques não antecipados em cada uma das variáveis nos diferentes períodos à frente (função impulso-resposta).

Para atender aos objetivos propostos o modelo autorregressivo vetorial estrutural (*structural vector autoregressive* – SVAR), proposto por Sims (1986) e Bernanke (1986), foi empregado. Como o modelo vetorial autorregressivo (VAR) (Sims, 1980), o modelo SVAR permite tratar de forma simétrica todas as variáveis como endógenas e, por compor os modelos de séries temporais, não há problemas de omissão de variáveis relevantes, uma vez que a influência das variáveis omitidas é captada pelas variáveis defasadas, não prejudicando a modelagem. O diferencial do modelo SVAR é a possibilidade de estabelecer relações contemporâneas baseadas na teoria econômica. Mais especificamente, utilizou-se o modelo autorregressivo vetorial estrutural com correção de erros (*structural vector error-correction* – SVEC), devido às variáveis se apresentarem cointegradas.

Os resultados obtidos foram no sentido de verificar, econometricamente, o impacto das variações no mercado de fertilizantes sobre a produção agrícola brasileira. Tem-se como uma das hipóteses que a alta nos preços dos fertilizantes leva à redução da quantidade empregada do insumo no campo, implicando possíveis reduções na totalidade da produção agrícola. Uma alternativa para compensar o impacto da diminuição do uso de fertilizantes seria o aumento da área plantada, ou seja, a agricultura passa de intensiva para extensiva. Ademais, os investimentos na produção também podem ser afetados pela atratividade de preços das culturas.

Na literatura encontram-se poucos estudos que analisam a variação dos preços de insumos agrícolas, como os fertilizantes minerais, no contexto produtivo. Há, no entanto, diversos estudos que exploram as mudanças de preços das *commodities* agrícolas (Beckman e Riche, 2015), visto que entender melhor as implicações econômicas causadas pelos fertilizantes minerais pode tornar possível traçar políticas estratégicas para o setor.

Este capítulo se compõe de mais quatro seções além desta introdução. A seção 2 apresenta uma revisão de literatura sobre a relação entre fertilizantes minerais e a produção agrícola; os aspectos de oferta e demanda por fertilizantes no mundo e no Brasil; e a evolução dos preços do insumo no mercado brasileiro. A seção 3 apresenta os dados e o modelo utilizados. A seção 4 apresenta e discute os resultados analíticos. Na seção 5 estão as considerações finais do estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fertilizantes na produção agrícola

No Brasil, o uso de fertilizantes minerais teve início mais acentuado na década de 1970 junto a outras tecnologias, como defensivos, máquinas e implementos agrícolas, materiais genéticos, entre outros (Gasques *et al.*, 2022). Graças às instituições de pesquisa e de extensão, além de sistemas de créditos, essas tecnologias tiveram a sua introdução bem-sucedida na agricultura brasileira (Vieira Filho e Fishlow, 2017). Um exemplo de instituição de pesquisa é a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Criada em 1973 pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), desenvolve tecnologias voltadas para as condições tropicais (Vieira Filho, 2022).

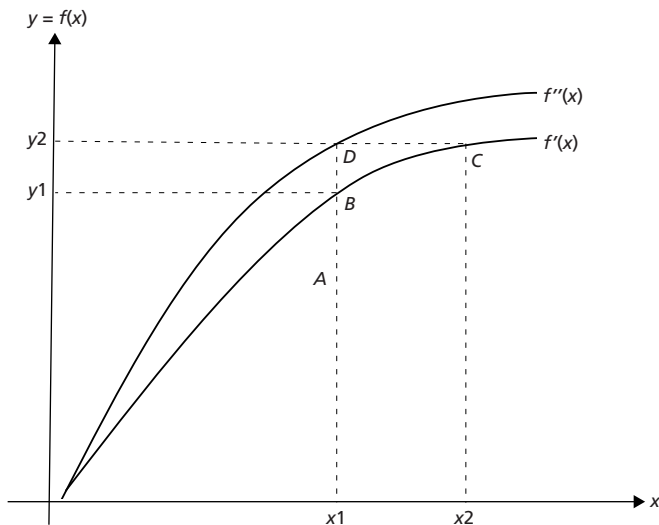
A incorporação das tecnologias na agricultura brasileira propiciou o aumento da produtividade agrícola e da qualidade das lavouras (Vieira Filho e Fishlow, 2017). Em termos numéricos, a produtividade agrícola brasileira apresentou de 1970 a 2020 uma variação percentual de 133%, o que representa uma taxa de crescimento anual médio de 1,71% (FAO, 2022).

Concernente à adubação na agricultura, a aplicação de fertilizantes no campo tem o papel de restabelecer de forma balanceada os nutrientes ao solo, de modo a disponibilizá-los para a cultura. Esse procedimento permitiu que áreas impróprias para o cultivo fossem corrigidas, a fim de atender às necessidades nutricionais da cultura. Cita-se como exemplo o caso do Cerrado brasileiro, onde a correção e a adubação do solo fizeram com que a região se tornasse a maior produtora de grãos do país (Lobato e Sousa, 2004).

Além disso, a adubação impediu o abandono das terras pelo esgotamento do solo em termos químicos. A adubação promoveu a intensificação da agricultura. Essas características definem os fertilizantes como insumo poupador de terra (Ruttan, 2001; Raji, 2011; Brunelle *et al.*, 2015; Sinha *et al.*, 2022).

O acréscimo da produtividade agrícola por meio da adubação pode ser tratado pela teoria microeconômica da produção. Suponha o caso de um produto agrícola y , representado pelas curvas de produção $y = f(x)$, e um único fator de produção, o insumo x , por exemplo, a terra. Ilustrado no gráfico 1, a área abaixo das curvas de $y = f(x)$ é o conjunto de possibilidades de produção; pontos abaixo da curva, como o A , representam pontos de ineficiência produtiva; e pontos sob a curva, eficiência produtiva.

GRÁFICO 1
Relação entre produção, insumo e tecnologia



Elaboração dos autores.

A produção de y pode ser aumentada por duas vias: i) pelo deslocamento na curva do ponto B para o ponto C; ou ii) pelo deslocamento da curva de produção $f'(x)$ para $f''(x)$. No primeiro caso, o aumento da produção, y_1 para y_2 , se dá pelo aumento da quantidade empregada do insumo x , ou seja, por meio do aumento da quantidade de terra, que passou de um montante de x_1 para x_2 . No segundo caso, o aumento da produção, y_1 para y_2 , se dá por meio do progresso tecnológico. Isto é, utilizando a mesma quantidade de terra, x_1 , houve um aumento da produção de B para D graças às inovações tecnológicas, como exemplo, o uso dos fertilizantes minerais.

Entre os nutrientes essenciais para o desenvolvimento da planta, o nitrogênio, o fósforo e o potássio, denominados macronutrientes primários, se destacam por serem exigidos em maiores quantidades no sistema agrícola. A quantidade de nutrientes a ser aplicada depende de diversos fatores. Os principais são a qualidade do solo, a variedade da cultura, as condições agroclimáticas, o sistema de manejo da cultura, as especificações da formulação do fertilizante, e, sobretudo, a viabilidade econômica da aplicação (Hossain e Singh, 2000).

Com relação à viabilidade econômica, estudos observam que o aumento dos preços dos fertilizantes causa a redução da quantidade demandada no Brasil (Ogino *et al.*, 2020) e em diferentes regiões no mundo, tal como se observa na África do Sul (Ogeto e Jiong, 2019), em Bangladesh (Manos *et al.*, 2007), nos Estados Unidos (Williamson, 2011; Acheampong e Dicks, 2012; Etienne, Trujillo-Barrera e

Wiggins, 2016; Xu *et al.*, 2022) e no Malawi (Holden e Lunduka, 2012; Komarek *et al.*, 2017).

O emprego dos fertilizantes depende, também, do retorno que os produtos agrícolas proporcionarão (Barros e Silva, 2008). De acordo com Acheampong e Dicks (2012), em estudo realizado com fertilizantes nitrogenados nas culturas de milho e trigo nos Estados Unidos, a demanda de fertilizantes não é tão sensível aos preços próprios, quando comparado aos preços das culturas.

Ao tratar mais especificamente dos fertilizantes minerais, as vantagens em relação a outros adubos são a relativa simplicidade de manejo e a maior quantidade de nutrientes por matéria, sendo que os teores de nutrientes são mais bem definidos, além de apresentarem garantias mínimas exigidas por lei, com base no tipo do fertilizante (Brasil, 2018). Embora outros fertilizantes apresentem garantias, como os orgânicos e os biofertilizantes, os teores mínimos de nutrientes exigidos são mais genéricos, devido à quantidade do nutriente variar conforme a origem da matéria-prima do adubo (Brasil, 2020).

Apesar dos benefícios da prática de adubação, o uso indiscriminado de fertilizantes, especialmente dos fertilizantes minerais, resulta em problemas ambientais. Há, por exemplo, a contaminação das águas por eutrofização, causada quando os nutrientes em excesso são carregados para fora do sistema agrícola. Tem-se também a degradação do solo, que prejudica o sistema biológico, físico e químico da produção (Ayoub, 1999). Além disso, no processo produtivo de fertilizantes minerais, há muita emissão de poluentes.

Outro inconveniente dos fertilizantes minerais está na questão de a oferta ser restrita a poucos países, como será retratada na próxima subseção.

2.2 Aspectos de oferta e demanda por fertilizantes minerais no mundo e no Brasil

A produção de fertilizantes tem como base os recursos naturais, os quais estão concentrados em determinadas regiões do globo, em especial as fontes das matérias-primas dos fertilizantes fosfatados e potássicos, que se apresentam de forma mais limitada em poucas regiões do mundo (Brasil, 2021). Isso torna os fertilizantes minerais insumos críticos para a agricultura de países dependentes de sua importação.

De acordo com o *Plano Nacional de Fertilizantes 2050* (Brasil, 2021), em 2020, as principais regiões detentoras de rocha fosfática eram o Marrocos e o Saara Ocidental, com 71% de toda a reserva. No que se refere às rochas potássicas, a concentração era no Canadá, em Belarus, na Rússia e na China, que representavam respectivamente 30%, 20%, 16% e 9% do total. Convém destacar

ainda que, no caso dos fertilizantes nitrogenados, a matéria-prima para a produção provém do petróleo e do gás natural. Por sua vez, os maiores países produtores de ureia são China, Rússia e Índia.

Assim, além de poucos países concentrarem grande parte das reservas minerais, as empresas ofertantes de fertilizantes minerais, também, são altamente concentradas (Hernandez e Torero, 2013).

Ainda em relação a 2020, quanto à demanda mundial, o principal país consumidor de fertilizantes era a China, seguida pela Índia, que representavam, respectivamente, 20% e 10 % do total de 246 milhões de toneladas consumidas (FAO, 2022). O terceiro maior país consumidor até 2019 eram os Estados Unidos. No entanto, em 2020, apesar da diferença ser pouca, o Brasil ultrapassou o consumo norte-americano, posicionando-se em terceiro lugar.

Embora o Brasil seja um dos maiores consumidores de fertilizantes minerais, a produção interna não supre as demandas domésticas, sendo preciso importar. No *ranking* mundial de importação de 2020, o país foi o terceiro maior importador de fertilizantes nitrogenados e potássicos, ficando atrás da Índia e dos Estados Unidos, respectivamente – além de ser o maior importador de fertilizantes fosfatados (FAO, 2022).

De acordo com os dados da Secex (Brasil, 2022), de um modo geral, o Brasil tem aumentado a cada ano a quantidade importada de fertilizantes dos macronutrientes primários. Em 2021, foram importadas 14 milhões de toneladas de fertilizantes nitrogenados, 21% da Rússia, 21% da China e 13% do Catar. Entre os fertilizantes básicos contendo nitrogênio, o país importa mais na forma de ureia, 56%, seguida por sulfato de amônio, 25%, e nitrato de amônio, 11%. Com relação aos fertilizantes fosfatados, foram 3,44 milhões de toneladas. Dessa quantidade, 38% vieram do Egito e 27% da China, na forma básica de superfosfatos. Já de fertilizantes potássicos, o Brasil importou 13 milhões de toneladas, sendo 32% provenientes do Canadá, 27% da Rússia e 18,14% de Belarus, na forma básica de cloreto de potássio.

2.3 Evolução dos preços dos fertilizantes minerais no Brasil

O comportamento dos preços dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, ao longo dos anos, apresentou dinâmica não linear. Esse movimento indica que mudanças abruptas nos preços também podem ocorrer no futuro (Elser *et al.*, 2014).

A alta de preços dos fertilizantes minerais de 2022, iniciada em 2021, tem alcançado os patamares do período 2007-2008 (gráfico 2), quando a alta dos preços esteve atrelada à crise energética do petróleo e ao preço das *commodities*,

que aumentou a demanda de fertilizantes para a produção agrícola. Já as últimas altas têm como causas a crise de saúde, com a pandemia de covid-19, e a crise geopolítica, com a guerra entre a Rússia e a Ucrânia.

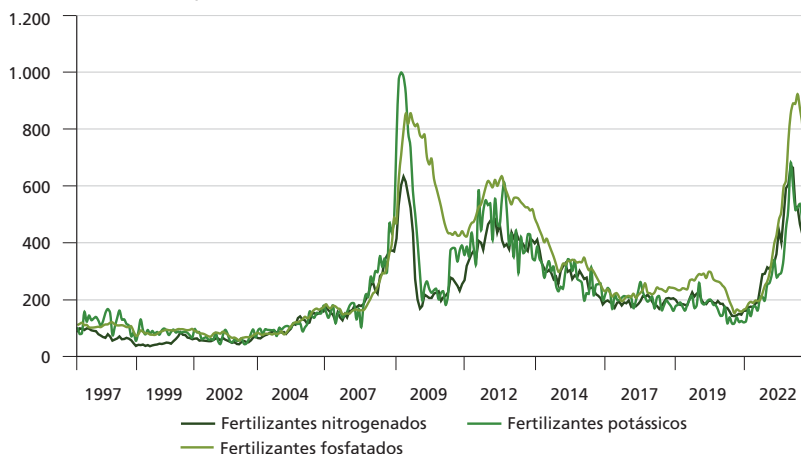
Em um primeiro momento, a pandemia de covid-19 não afetou os preços dos fertilizantes minerais. Apesar das restrições sanitárias impostas para conter a disseminação do coronavírus, não houve interrupção do fluxo estrutural da cadeia de fertilizantes, por serem eles tratados pelos governos como bens essenciais. Assim, os preços acompanharam o ritmo que vinha sendo praticado, (Ilinova, Dmitrieva e Kraslawski, 2021). No entanto, o pós-pandemia impactou outros mercados, cujos efeitos repercutiram nos preços dos fertilizantes minerais durante o ano de 2021 (IFA, 2021).

Um dos mercados afetados foi o de energia, a exemplo da cadeia de petróleo. As restrições da pandemia fizeram com que muitas das atividades econômicas fossem reduzidas de forma repentina. Isso fez com que a demanda de energia diminuísse e, conseqüentemente, os preços também (Cao e Cheng, 2021; Mensi, Rehman e Vo, 2021). Para ajustar o mercado de energia, o setor de petróleo teve de reduzir a produção (Mensi, Rehman e Vo, 2021). No entanto, após a criação das vacinas, em 2021, com o retorno da atividade econômica, a oferta de petróleo não conseguiu acompanhar a demanda, o que encareceu os preços de energia. Como a mercado de fertilizantes minerais depende de energia para a produção, houve, também, aumentos expressivos nos preços dos fertilizantes minerais (Brunelle *et al.*, 2015).

GRÁFICO 2

Evolução dos preços mensais de importação (FOB)¹ dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos (jan./1997-dez./2022)

(Em R\$/tonelada-líquido)



Fonte: Brasil (2022).

Elaboração dos autores.

Nota: ¹ FOB – *free on board* (frete em que o comprador assume todos os riscos e custos com o transporte da mercadoria).

Obs.: Valores convertidos em reais utilizando a taxa de câmbio efetiva real de importação elaborada pelo Ipea. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>.

Somado a isso, a guerra entre a Rússia e a Ucrânia, declarada em 2022, comprometeu ainda mais a inconstância dos preços dos fertilizantes (Ibendahl, 2022). Como já mencionado, a Rússia é um dos principais fornecedores de fertilizantes para o mundo, inclusive para o Brasil, segundo dados da Secex (Brasil, 2022).

A instabilidade dos preços dos fertilizantes minerais afetou o custo de produção agrícola no Brasil. Conforme Conab (2022), os custos com fertilizantes são um dos itens de maior peso no custo total das *commodities* agrícolas do país.

Na tabela 1, encontram-se os gastos com fertilizantes no custo de produção do milho segunda safra, da soja, ambas em Sorriso (Mato Grosso), maior região produtora de grão, e da cana-de-açúcar, em Penápolis (São Paulo), cidade localizada no estado maior produtor dessa cultura –, nas últimas três safras. De acordo com esses dados houve aumento expressivo dos custos com fertilizantes na safra 2022-2023, em comparação às safras anteriores.

Ao comparar as duas últimas safras da tabela 1, as variações do custo por hectare com fertilizantes foram de 130%, 76% e 181% nas culturas de milho segunda safra, soja e cana-de-açúcar, respectivamente. Com relação à participação do fertilizante no custo total, houve aumento de 10,1% e 14,5% da participação nas culturas de milho segunda safra e de cana-de-açúcar, respectivamente. Apesar do custo com fertilizantes ter aumentado na soja, a participação no custo total teve uma leve redução em -3,9%. No caso da soja, quase não se utilizam fertilizantes minerais como de fonte de nitrogênio, uma vez que a fixação biológica se encontra muito bem consolidada na sojicultura.

TABELA 1

Gasto com fertilizantes nas culturas de milho segunda safra, soja e cana-de-açúcar

Cultura	Safra	Fertilizantes			Custo total (R\$)
		Custo por hectare (R\$)	Custo por produto (R\$)	Participação custo total (%)	
Milho segunda safra Sorriso (Mato Grosso)	2022-2023	1.936,18	16,13/60 kg	33,10	5.849,25
	2021-2022	843,37	7,03/60 kg	23,03	3.662,79
	2020-2021	970,93	8,09/60 kg	25,51	3.806,71
Soja Sorriso (Mato Grosso)	2022-2023	2.565,44	42,76/60 kg	33,96	7.553,70
	2021-2022	1.460,55	28,09/60 kg	37,90	3.853,22
	2020-2021	1.285,93	24,73/60 kg	32,49	3.957,69
Cana-de-açúcar Penápolis (São Paulo)	2022-2023	2.416,09	29,55/t	35,63	6.781,58
	2021-2022	859,43	10,52/t	21,18	4.057,91
	2020-2021	1.024,71	12,53/t	19,46	5.266,38

Fonte: Conab (2022).

Obs.: Valores deflacionados pelo Índice Geral de Preços/Disponibilidade Interna (IGP-DI). Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>.

Os choques de preços dos fertilizantes são capazes de mudar os planos de produção agrícola, resultando em possíveis variações da quantidade ofertada de produtos (Manos *et al.*, 2007; Komarek *et al.*, 2017), o que pode comprometer a segurança alimentar (Elser *et al.*, 2014).

Com a expectativa de o crescimento populacional atingir de 8,5 bilhões a 10,4 bilhões de pessoas entre 2030 e 2100 (ONU, 2022), torna-se fundamental a atenção à oferta de alimentos para atender à demanda crescente. Vale lembrar que outras questões também preocupam a produtividade agrícola, desde as alterações edafoclimáticas à iminência de pragas e doenças.

O Brasil tem papel fundamental na produção alimentar mundial. Conforme os dados da FAO (2022), em 2020, o país foi o segundo maior exportador de produtos agrícolas no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Os produtos brasileiros mais exportados foram soja, milho e açúcar.

3 METODOLOGIA

3.1 Dados

Cinco variáveis foram utilizadas para estimação do modelo (quadro 1). Uma das incluídas foi o preço dos fertilizantes minerais NPK (lpr_NPK). Considerou-se o preço de importação (FOB) como *proxy* do preço pago pelo produtor. A *proxy* é possível, porque a maior parcela do consumo é atendida via importação – não existem subsídios do governo destinados à aquisição direta de fertilizantes no país.

De acordo com a teoria da demanda, os preços dos insumos afetam a quantidade consumida, a qual influencia na produção. Logo, a quantidade entregue de fertilizantes ao mercado foi uma das variáveis no modelo (lqt_NPK).

Outro insumo produtivo muito relacionado ao uso dos fertilizantes é a área ($larea$) (Komarek *et al.*, 2017). Na literatura, os fertilizantes são definidos como insumo “poupador de terras”. Logo, a área plantada foi inserida como variável do modelo. Devido a mais de 73% da demanda de fertilizantes serem destinadas ao atendimento das culturas de soja, cana-de-açúcar e milho (Brasil, 2021), incluiu-se a área plantada dessas culturas, somada à cultura do café e do algodão. Os produtos derivados dessas cinco culturas agrícolas, complexo soja, setor sucroalcooleiro, café, cereais (incluindo milho) e fibras, apresentaram os maiores números exportados, em termos de valores, respectivamente, no ano de 2021. Para entender quanto das variáveis mencionadas afetam a agricultura, a quantidade produzida (lqt_prod) foi outra variável empregada do modelo.

Como o investimento na produção depende dos preços dos produtos agrícolas, a variável atratividade foi considerada no modelo. Por abarcar as culturas

com maior destaque na exportação, a atratividade foi composta pelo preço de exportação do produto (em dólar) multiplicado pela taxa de câmbio. A depender dos preços das *commodities* em reais, podem atrair ou repelir os produtores a investir na produção agrícola, com intuito de aumentar ganhos ou evitar perdas. Segundo Barros e Silva (2008), a atratividade é um dos principais fatores que explicam a quantidade exportada.

QUADRO 1
Variáveis utilizadas no modelo

Variável ¹	Descrição	Período	Fonte
larea	Área plantada das <i>commodities</i> agrícolas ² (1 mil ha).	Série anual 1990-2021	IBGE (2022)
lqt_prod	Quantidade produzida das <i>commodities</i> agrícolas ² (1 mil t).	Série anual 1990-2021	IBGE (2022)
lpr_NPK	Preço de importação de fertilizantes minerais NPK (R\$/t). Somaram-se os valores obtidos da divisão do valor FOB (US\$) pelo quilograma líquido de importação dos respectivos fertilizantes, isto é, dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos. E converteu-se dólar para real utilizando a taxa de câmbio efetiva de importação elaborada pelo Ipea. ³	Série anual 1990-2021	Brasil (2022)
lqt_NPK	Quantidade de fertilizantes NPK entregues ao mercado (1 mil t).	Série anual 1990-2021	Anda (1990-2021)
latrat	Atratividade das <i>commodities</i> agrícolas (R\$/t). Valor obtido somando-se os resultados da divisão dos valores FOB (US\$) por quilograma líquido de exportação de cada cultura ² (Barros e Silva, 2008). Converteu-se dólar para reais utilizando a taxa de câmbio efetiva real elaborada pelo Ipea.	Série anual 1990-2021	Brasil (2022)

Elaboração dos autores.

Notas: ¹ Todas as séries de variáveis foram transformadas em logaritmo.

² Somando-se as culturas de soja, cana-de-açúcar, milho, café e algodão.

³ Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br>>.

3.2 Modelo

Como os dados se apresentam indexados no tempo, os modelos de séries temporais tornam-se uma técnica adequada para se explorar. Mais especificamente, o estudo empregou o modelo SVAR ou o autoregressivo vetorial estrutural com correção de erro (SVEC), a depender do teste de cointegração.

A seguir, será apresentada uma breve descrição dos testes e do modelo que foram empregados. Mais detalhes podem ser encontrados em Enders (2015).

O modelo SVAR pode ser representado na forma compacta por:

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

Em que as matrizes α , A_0 e A_i são os coeficientes a serem estimados; $i = 1, \dots, p$, sendo p igual a ordem de defasagens; e x_t o vetor de variáveis empregado; e assume-se que os erros estruturais, ε_t , são ruídos brancos.

Quando pré-multiplicar a equação (1) por A_0^{-1} , tem-se a seguinte equação na forma reduzida:

$$x_t = A_0^{-1}\alpha + \sum_{i=1}^p A_0^{-1}A_i x_{t-1} + e_t \quad (2)$$

Em que e_t é o resíduo estimado na forma reduzida. Esse pode ser expresso por:

$$e_t = A_0^{-1}\varepsilon_t \quad (3)$$

Em que, A_0^{-1} é a matriz que contém as restrições teóricas à estrutura. Diferentemente do modelo VAR, que necessita que todos os elementos da matriz A_0 acima da diagonal principal sejam iguais a zero, o modelo SVAR proposto por Sims (1986) e Bernanke (1986) admite configurar os choques contemporâneos seguindo a teoria econômica. Isso permite uma análise econômica mais adequada.

Supõem-se as relações contemporâneas que se seguem.

- Um impacto no preço de importação de fertilizantes minerais NPK e um impacto na atratividade das *commodities* agrícolas influenciam contemporaneamente a área plantada das *commodities* agrícolas.
- Um impacto na área plantada de *commodities*, um impacto na quantidade entregue de fertilizantes ao mercado e um impacto na atratividade das *commodities* influenciam contemporaneamente a quantidade produzida das *commodities* agrícolas.
- Um impacto na quantidade entregue de fertilizantes ao mercado e um impacto na atratividade das *commodities* influenciam contemporaneamente o preço de importação de fertilizantes minerais NPK.
- Um impacto na área plantada de *commodities*, um impacto no preço de importação de fertilizantes minerais NPK e um impacto na atratividade das *commodities* influenciam contemporaneamente a quantidade entregue de fertilizantes ao mercado.

Com base nas restrições descritas, os erros na forma reduzida e_t podem ser decompostos nos seguintes componentes:

$$e_t \equiv \begin{bmatrix} e_t^{\Delta\text{area}} \\ e_t^{\Delta\text{qt_prod}} \\ e_t^{\Delta\text{pr_NPK}} \\ e_t^{\Delta\text{qt_NPK}} \\ e_t^{\Delta\text{trat}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & a_{1,3} & 0 & a_{1,5} \\ a_{2,1} & 1 & 0 & a_{2,4} & a_{2,5} \\ 0 & 0 & 1 & a_{3,4} & a_{3,5} \\ a_{4,1} & 0 & a_{4,3} & 1 & a_{4,5} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Em que elementos da matriz iguais a zero indicam que não há impacto contemporâneo.

Caso as variáveis apresentem pelo menos um vetor de cointegração, não se utiliza o modelo SVAR, uma vez que ele omite relações relevantes. Em vez de SVAR, utiliza-se o modelo SVEC, que apresenta termo(s) de correção de erro(s), com as séries nas diferenças.

Ao ajustar a equação (2), tem-se a seguinte representação do modelo SVEC:

$$\Delta \mathbf{x}_t = \mathbf{\Pi} \mathbf{x}_{t-p} + \sum_{i=2}^p \mathbf{\Gamma}_i \Delta \mathbf{x}_{t-i+1} + \mathbf{u}_t \quad (5)$$

Com

$$\mathbf{\Gamma}_i = -(\mathbf{A}_{i+1} + \dots + \mathbf{A}_p), \quad (6)$$

Sendo $i = 1, \dots, p - 1$.

$$\mathbf{\Pi} = \mathbf{\alpha} \mathbf{\beta}^T = -(\mathbf{I} - \mathbf{A}_1 - \dots - \mathbf{A}_p) \quad (7)$$

Em que a matriz $\mathbf{\Gamma}$ mede os efeitos transitórios. Assim, $\sum_{i=2}^p \mathbf{\Gamma}_i \Delta \mathbf{x}_{t-i+1}$ representa os fatores de curto prazo. E a matriz $\mathbf{\Pi}$ é posto reduzido, cujos componentes $\mathbf{\alpha}$ e $\mathbf{\beta}$ apresentam dimensão $K \times r$, sendo r o posto de cointegração, que indica quantas relações de longo prazo existem entre as variáveis. A matriz $\mathbf{\alpha}$, caracterizada como a matriz de ajustamento, e a matriz $\mathbf{\beta}$ compõem os coeficientes de longo prazo. Logo, $\mathbf{\Pi} \mathbf{x}_{t-p}$ representa a matriz de longo prazo.

Especificado o modelo, iniciam-se os instrumentos analíticos. Foi analisada a decomposição da variância do erro, que permite indicar a proporção de movimento de cada variável em função de um choque sobre a própria série e sobre as outras variáveis do sistema, e a função impulso-resposta, que mostra o comportamento de uma variável frente ao choque não antecipado dela própria e também das outras variáveis consideradas no modelo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definição do modelo

Os modelos de séries temporais para serem aplicados preceituam que a série seja estacionária para evitar possíveis relações espúrias (Enders, 2015). Uma série é dita estacionária quando a média e a variância são constantes e quando a covariância depende, somente, do intervalo de tempo. Caso a série seja não estacionária, indica-se a presença de pelo menos uma raiz unitária.

O teste de Dickey-Pantula (Dickey e Pantula, 1987) e o teste DF-GLS proposto por Elliott, Rothenberg e Stock (1996) foram empregados para analisar a estacionariedade da série. O primeiro testa a hipótese nula de presença de duas raízes unitárias. Os resultados de todas as séries indicaram a rejeição de duas raízes unitárias para todas as séries em nível. E o teste DF-GLS tem como hipótese nula a presença de uma raiz unitária contra a série ser estacionária. Os resultados do teste DF-GLS, em nível, indicaram que todas as séries analisadas apresentam uma raiz unitária.

Por apresentar característica não estacionária em nível, realizou-se o teste DF-GLS nas séries nas diferenças para verificar a estacionariedade. Todas as séries rejeitaram a hipótese nula para algum dos testes com ou sem componentes determinísticos. Logo, considerou-se que todas as séries são integradas de ordem um.

Como todas as séries apresentaram a mesma ordem de integração, realizou-se o teste de cointegração de Johansen (1988). Esse teste analisa se as variáveis em conjunto apresentam relação de longo prazo. Primeiramente, foi necessário saber o número de defasagens ótimas das variáveis em conjunto. Considerando a defasagem máxima igual a três, o critério de informação Akaike indicou a defasagem ótima igual a três, enquanto pelo critério de informação Hannan e Quinn e de erro de previsão final mostraram dois, e o critério de Schwartz apontou um. O número de defasagem adotado foi dois.

A análise do resultado dos testes de cointegração de Johansen (1988), ajustado para duas defasagens e sem componente determinístico, foi realizada de forma sequencial. Iniciando com o teste da hipótese nula igual a zero, o teste indicou a rejeição da hipótese nula ao nível de significância de 5%. Dada a rejeição, subsequentemente, testou-se a hipótese nula de $r \leq 1$, que indicou a não rejeição da hipótese nula ao nível de significância de 5%. Por conseguinte, determinou-se o número de vetor de cointegração como sendo igual a um. Ou seja, as variáveis apresentaram relações de longo prazo. Dada a presença de pelo menos um vetor de cointegração, o modelo SVEC foi ajustado.

Para verificar se o modelo resultante é adequado, foi necessário realizar o diagnóstico do modelo (Tsay, 2013), que consiste em analisar os seguintes critérios: i) autocorrelação dos resíduos por meio do teste F de Edgerton e Shukur (1999), para menores defasagens, e o teste de Portmanteau, para maiores defasagens; ii) normalidade multivariada dos resíduos por meio do teste de Jarque-Bera; e iii) estabilidade do modelo estimado, que consiste em certificar se as raízes do modelo se encontram dentro do círculo unitário. Os resultados dos testes apresentaram em nível de 5% de significância ausência de autocorrelação dos resíduos e resíduos com distribuição normal e todas as raízes foram menores que um. Diante disso, considerou-se o modelo apropriado.

4.2 Resultados analíticos do modelo

4.2.1 Área plantada

Os resultados da decomposição histórica da variância do erro de previsão da área plantada no Brasil mostram que, entre as variáveis consideradas, grande parte da sua variação, 80%, é explicada por ela mesma. Em seguida, encontram-se a atratividade da *commodity* agrícola e o preço de importação do fertilizante NPK, que são responsáveis por explicar aproximadamente 14% e 4% da variabilidade da área plantada no primeiro momento, respectivamente.

No decorrer do tempo, a variância do erro de previsão da área plantada é explicada menos pela própria variável e mais pela variância do preço de importação do fertilizante NPK. Como pode ser observado na tabela 2, após o décimo período em diante, o preço de importação de fertilizantes explica aproximadamente 50%, enquanto a própria variância explica 40%.

Das variáveis que mais afetaram a variância da área plantada, analisou-se a função impulso-resposta. Isto é, observou-se o comportamento da área plantada frente a choques não antecipados na própria variável, no preço de importação de fertilizantes NPK e na atratividade (gráfico 3).

O comportamento de um choque de 1% na área plantada tem efeitos positivos com a evolução do tempo sobre a própria variável. O choque se estabiliza 0,86% no sexto período.

Com relação ao choque de 1% no preço de importação dos fertilizantes NPK, tem-se uma variação negativa na área plantada entre -0,06% e -0,30%. Uma possível justificativa para esse resultado se deve ao choque positivo no preço dos fertilizantes NPK, que encarece os custos de produção. Como consequência, o produtor busca reduzir o investimento nos fatores produtivos agrícolas como um todo, entre os quais se encontra a área plantada.

Essa relação negativa foi encontrada também por Komarek *et al.* (2017) em Malawi. No entanto, o resultado teve sinal contrário ao encontrado por Brunelle *et al.* (2015). A diferença pode estar no nível de agregação dos dados, já que esses autores consideram a análise globalmente. Um estudo mais específico pode melhorar o detalhamento dos resultados. No Brasil, solos tropicais são predominantes. Uma das características desse solo é o baixo teor de nutrientes. Logo, preços mais altos podem impedir o aumento da área por não haver insumo suficiente para o correto estabelecimento dos nutrientes no processo produtivo.

O choque de 1% na atratividade das *commodities* agrícolas resulta no aumento da área plantada entre 0,04% e 0,06% nos primeiros momentos – o que era de se esperar, já que aumentos na atratividade das culturas encorajam os

produtores a investir no cultivo, sendo a área um dos recursos para a promoção do aumento da produção agrícola. Porém, o aumento ocorre apenas em dois períodos pós-choque. Logo em seguida, a variação aproxima-se do zero.

TABELA 2

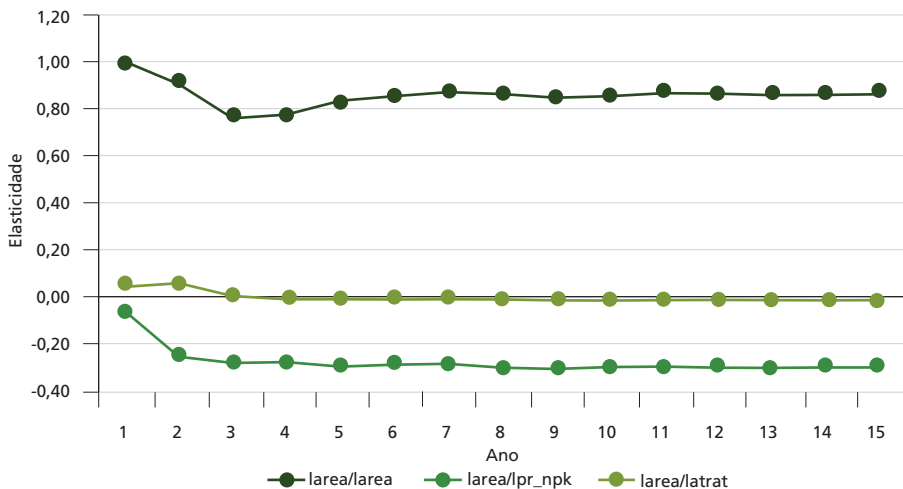
Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série de área plantada da commodity agrícola no Brasil (Em %)

Período	larea	lqt_prod	lpr_npk	lqt_npk	latrat
1	81,87	0,00	3,63	0,00	14,50
2	56,26	2,67	24,36	1,17	15,54
3	49,31	3,89	34,84	1,61	10,35
4	46,54	4,22	40,03	1,21	7,99
5	44,74	4,13	43,45	1,30	6,39
10	41,69	4,91	48,72	1,21	3,47
15	40,58	5,15	50,44	1,20	2,63
20	40,00	5,27	51,30	1,20	2,24

Elaboração dos autores.

GRÁFICO 3

Respostas da área plantada (larea) a choques não antecipados na própria variável (larea), no preço de importação do fertilizante NPK (lpr_npk) e na atratividade (latrat)



Elaboração dos autores.

4.2.2 Quantidade produzida

Os resultados da decomposição histórica da variância do erro de previsão da quantidade produzida indicaram que a maior parte da variância, quase 50%, se deve a ela própria, no primeiro período (tabela 3); e entre as variáveis consideradas pela variância da quantidade consumida de fertilizantes NPK, 31,5%, e pela variância da área plantada, 19,9%.

Após o primeiro período, a explicação da própria variância reduz. Estabiliza-se em torno de 24% após o décimo período, enquanto a variância da quantidade entregue de NPK ao mercado aumenta a partir do quinto período, com contribuição de aproximadamente 46%. Outra variável que aumenta a influência é a atratividade, com a participação de 20% no quinto período.

Por meio da função impulso-resposta verifica-se o comportamento da quantidade produzida das *commodities* agrícolas frente a choques não antecipados na própria variável, na área plantada, na quantidade de fertilizantes NPK entregues ao mercado e na atratividade, isto é, das variáveis que mais ajudaram a explicar a variância da quantidade produzida (gráfico 4). Tem-se que o choque de 1% na quantidade produzida gera uma variação entre 0,81% e 1,05% ao longo do tempo.

O choque de 1% na área plantada causa uma variação inicial positiva de 0,82% na quantidade produzida, e estabilizando para 0,07%. Com isso, identifica-se o produto marginal da área plantada na produção agrícola como sendo positivo. Isso era de se esperar pela área ser um insumo essencial.

Também, identificou-se que o choque de 1% na quantidade de fertilizantes entregues ao produtor aumenta a quantidade produzida inicialmente em 1,73%. Esse aumento estabiliza em 3,31% após o oitavo ano. A maior quantidade de nutrientes empregados na agricultura aumenta a qualidade do solo, o que pode proporcionar aumento da quantidade produzida de produtos agrícolas, caso outros fatores produtivos encontrem-se favoráveis.

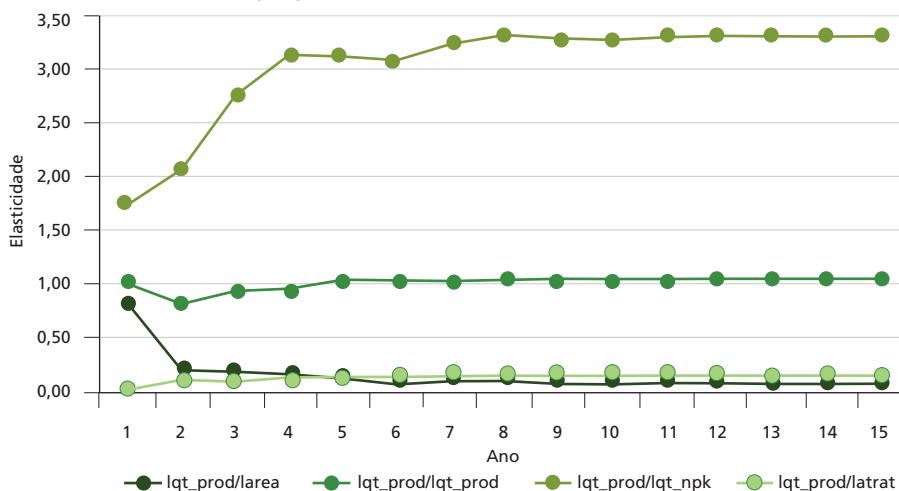
Com relação à atratividade, observa-se que, quando os preços das *commodities* no mercado externo aumentam em 1%, a quantidade produzida se eleva entre 0,01% e 0,14%. O aumento da produção, apesar da variação baixa, se deve ao produtor almejar o aproveitamento das altas dos preços de mercado para poder aumentar a rentabilidade.

TABELA 3
Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série de quantidade produzida da commodity agrícola no Brasil
 (Em %)

Período	larea	lqt_prod	lpr_npk	lqt_npk	latrat
1	19,95	48,20	0,00	31,54	0,32
2	10,05	38,12	0,08	36,36	15,39
3	6,04	33,43	2,69	42,77	15,07
4	3,97	28,92	4,11	45,18	17,82
5	2,94	27,60	4,24	45,76	19,46
10	1,22	24,26	5,83	46,38	22,31
15	0,78	23,21	6,29	46,53	23,20
20	0,58	22,74	6,49	46,59	23,60

Elaboração dos autores.

GRÁFICO 4
Respostas da quantidade produzida (lqt_prod) a choques não antecipados na própria variável (lqt_prod), na área plantada (larea), na quantidade entregue de fertilizante NPK ao mercado (lqt_npk) e na atratividade (latrat)



Elaboração dos autores.

4.2.3 Preço de importação de fertilizantes NPK

Os resultados da decomposição histórica da variância do erro de previsão do preço de importação de fertilizantes NPK revelaram que a quantidade entregue de fertilizantes NPK no mercado brasileiro é a variável que mais contribui para a explicação da variância do preço, com 61,76% no primeiro período (tabela 4).

Isso mostra que a quantidade demandada do Brasil exerce uma pressão sobre os preços dos fertilizantes. No decorrer do período, outra variável que contribui para a variância do preço do fertilizante NPK é a atratividade. No décimo período, a participação foi de aproximadamente 30%.

Por meio da função impulso-resposta analisou-se o comportamento do preço de importação de fertilizante NPK frente a choques não antecipados na própria variável, na quantidade produzida, na quantidade entregue de fertilizante NPK e na atratividade (gráfico 5). Choque de 1% no preço do fertilizante NPK causa oscilação de preços na própria variável entre -0,03 e 0,59%. Essas oscilações ocorrem em função do ajustamento de preços no mercado pós-choque.

Com relação ao choque de 1% na quantidade produzida, os preços dos fertilizantes NPK mostraram variações positivas (gráfico 5). O ano em que ocorreu o choque não apresentou variação de preços, isso pela própria construção do modelo. Mas no ano subsequente houve variação de 1,68%, estabilizando-se em variação de 1,46% no oitavo período pós-choque – um resultado esperado, uma vez que, em anos de altas safras, a exportação de nutrientes do sistema agrícola levados junto às colheitas é alta. Isso faz que, no próximo ano, a demanda de fertilizantes seja elevada para restabelecer os nutrientes no solo, o que pressiona os preços para cima.

O choque de 1% na quantidade entregue de fertilizantes causa variação positiva nos preços dos fertilizantes NPK (gráfico 5). No ano em que ocorre o choque, os preços dos fertilizantes aumentam em 7,96%. Já no segundo ano pós-choque, reduz para 5,44%, e no terceiro ano, para 0,83%. Houve a presença de oscilações até se estabilizar em 4,80% no nono período pós-choque. As oscilações devem-se à oferta e à demanda cíclicas. Tem-se que o Brasil é um dos maiores consumidores de fertilizantes, isso faz com que o choque na demanda do país influencie os preços de importação dos fertilizantes NPK. Ademais, a alta magnitude de resposta dos preços pode ser justificada pela variação da capacidade produtiva de fertilizantes minerais ser limitada no curto prazo; pela existência de poucos substitutos próximos ao insumo; e pela alta concentração do mercado. Esses fatores tornam os preços de fertilizantes sensíveis à variação da demanda.

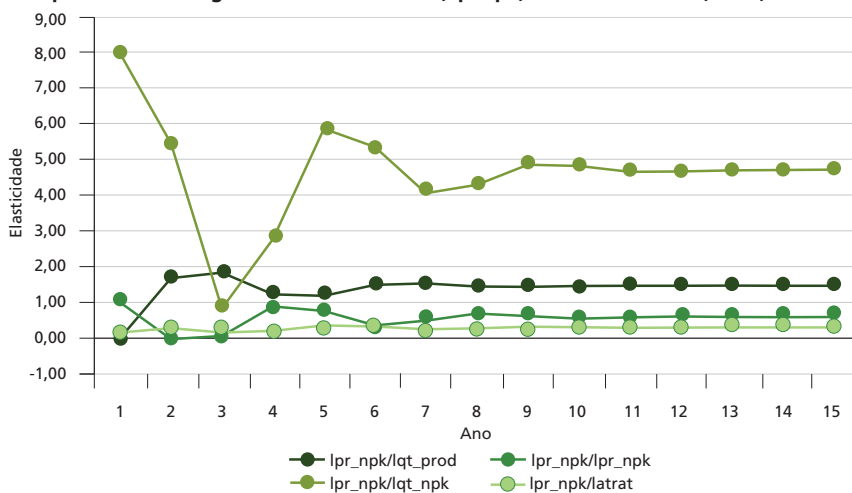
O choque de 1% na atratividade causa no preço do fertilizante NPK variações positivas entre 0,15% e 0,30% (gráfico 5). A atratividade, por ser derivada da multiplicação entre os preços de exportação das *commodities* agrícolas e a taxa de câmbio, é muito influenciada pelo mercado internacional, igual aos preços dos fertilizantes minerais. Assim, atrativos preços de exportação das *commodities* incentivam os produtores de todo mundo a aumentarem a produção. Um dos insumos utilizados para aumentar a produção são os fertilizantes minerais, cujo aumento na demanda pressiona os preços dos fertilizantes para cima.

TABELA 4
Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série de preço de importação de fertilizantes NPK
 (Em %)

Período	larea	lqt_prod	lpr_npk	lqt_npk	latrat
1	0,00	0,00	31,68	61,76	6,56
2	0,03	7,73	19,42	55,52	17,31
3	1,77	14,61	16,80	48,25	18,58
4	1,65	14,30	23,64	41,11	19,30
5	1,19	12,19	22,52	39,64	24,45
10	1,31	13,46	18,56	36,13	30,54
15	1,30	13,75	17,85	34,69	32,40
20	1,28	13,87	17,46	33,98	33,40

Elaboração dos autores.

GRÁFICO 5
Respostas do preço de importação de fertilizantes NPK (lpr_npk) a choques não antecipados na própria variável (lpr_npk), na quantidade produzida (lqt_prod), na quantidade entregue de fertilizante NPK (lqt_npk) e na atratividade (latrat)



Elaboração dos autores.

4.2.4 Quantidade entregue de fertilizantes NPK

A variância do erro de previsão da quantidade de fertilizantes NPK entregue no Brasil é explicada em maior parte pelo preço desse insumo (tabela 5). A representação do preço de fertilizante NPK é de 83,94% no primeiro período e, no decorrer dos períodos, a contribuição do preço reduz um pouco, mas continua

exercendo forte participação na variância da quantidade de fertilizantes NPK entregue. Após o segundo período, outra variável que contribui para a variância da quantidade de fertilizantes NPK entregue é a área, com participação em torno de 20%.

Esse resultado foi diferente do encontrado por Acheampong e Dicks (2012) e por Etienne, Trujillo-Barrera e Wiggins (2016), que identificaram que a quantidade consumida de fertilizantes apresenta maior sensibilidade aos preços das culturas do que os preços próprios. Neste capítulo, o preço das culturas foi representado pela atratividade. Porém, a atratividade não ajudou a explicar muito a variância do erro da quantidade de fertilizantes NPK entregue.

Por meio da função impulso-resposta foi analisado o comportamento da quantidade de fertilizantes NPK entregue frente ao choque não antecipado das variáveis que mais explicaram a sua variação, ou seja, os choques na própria variável, nos preços dos fertilizantes NPK e na área plantada. O choque na própria variável resulta em variações positivas entre 0,28% e 0,60%, com estabilização em 0,52%.

Já o choque de 1% nos preços dos fertilizantes NPK reduz a quantidade de fertilizantes NPK entregue entre -0,72% e -0,38%, estabilizando o choque em aproximadamente -0,48% após o sétimo período pós-choque. A variação é pequena, devido à existência de poucos substitutos de fertilizantes (Beckman e Riche, 2015). O resultado apresentou consistência com a teoria econômica da demanda, em que aumentos dos preços de um produto levam à redução da quantidade demandada por ele. Essa relação negativa foi observada em diversos estudos, porém com magnitudes diferentes (Manos *et al.*, 2007; Williamson, 2011; Acheampong e Dicks, 2012; Holden e Lunduka, 2012; Komarek *et al.*, 2017; Ogeto e Jiong, 2019; Ogino *et al.*, 2020).

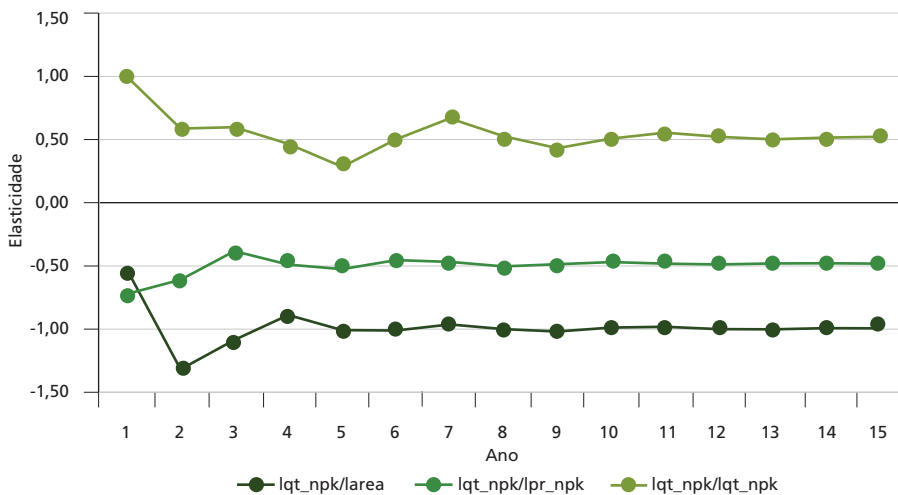
E o choque de 1% na área plantada provoca variação negativa de 0,53% na quantidade de fertilizantes NPK entregue, inicialmente. Nos anos pós-choque, a variação da quantidade apresentou entre -1,32% e -1%. Essa resposta negativa pode ser justificada pelo aumento da área compensar o uso de fertilizantes. Isto é, com o aumento da área, a produção agrícola passa de intensiva para extensiva. Convém lembrar que, na literatura, os fertilizantes são considerados insumos poupadores de terra.

TABELA 5
Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série de quantidade de fertilizantes NPK entregue
 (Em %)

Período	larea	lqt_prod	lpr_npk	lqt_npk	latrat
1	3,89	0,00	83,94	4,95	7,22
2	14,59	0,04	73,79	3,42	8,15
3	18,38	0,04	68,28	3,44	9,87
4	18,89	0,07	69,26	3,20	8,58
5	19,64	0,07	69,77	2,76	7,77
10	22,23	0,05	68,50	2,68	6,55
15	23,14	0,04	68,27	2,61	5,94
20	23,66	0,03	68,11	2,56	5,64

Elaboração dos autores.

GRÁFICO 6
Respostas da quantidade de fertilizante NPK entregue (lqt_npk) a choques não antecipados na própria variável (lqt_npk), na área plantada (larea) e na quantidade entregue de fertilizante NPK (lqt_npk)



Elaboração dos autores.

4.2.5 Atratividade da *commodity* agrícola

O resultado da decomposição histórica da variância do erro de previsão da atratividade indicou que a maior parte é explicada pela própria variância (tabela 6). No primeiro período, 100% da variância é explicada por ela mesma. No decorrer do período, apesar de outras variáveis contribuírem, grande porcentagem da variância

se deve à atratividade. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de um país, apesar de ser grande produtor agrícola e influenciar as cotações de preços, ser um tomador de preços internacionais das commodities agrícolas, como é o caso do Brasil.

Entre as variáveis empregadas no modelo, a atratividade mostrou ser a mais exógena. Por isso, não se analisou a função impulso-resposta, envolvendo essa variável como resposta.

TABELA 6

Decomposição histórica da variância do erro de previsão para a série de atratividade da commodity agrícola
(Em %)

Período	larea	lqt_prod	lpr_npk	lqt_npk	latrat
1	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2	0,08	0,21	0,00	0,88	98,84
3	0,40	0,12	1,54	4,47	93,47
4	0,45	0,14	1,90	7,65	89,86
5	0,64	0,25	1,72	8,32	89,07
10	0,92	0,38	2,53	9,83	86,34
15	0,99	0,42	2,77	10,44	85,38
20	1,03	0,44	2,88	10,72	84,93

Elaboração dos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo do estudo apresentado neste capítulo foi analisar o comportamento do mercado de fertilizantes minerais na produção agrícola brasileira. Em particular, foram analisadas as relações entre as variáveis preço de importação dos fertilizantes minerais, quantidade entregue de fertilizantes, área plantada, quantidade agrícola produzida e atratividade das cinco *commodities* agrícolas mais exportadas durante os anos de 1990 a 2021, por meio do modelo SVEC.

Um dos anseios do estudo estava em verificar a interferência dos preços de fertilizantes minerais na produção agrícola, devido às altas de preços de 2022. De acordo com os resultados da decomposição histórica da variância, observou-se que os preços dos fertilizantes explicam pouco a variância da quantidade agrícola produzida. Encontrou-se, porém, que uma das variáveis que mais explicam a variância da quantidade agrícola produzida é a quantidade entregue de fertilizantes, no caso, entre 31,5% e 46,6%. Ao analisar a função impulso-resposta, constatou-se que um choque de 1% na quantidade entregue de fertilizantes impacta a quantidade produzida em 1,73% contemporaneamente, convergindo em 3,31%. Esses resultados estão de acordo com a teoria microeconômica, ou seja, que a quantidade

produzida de um bem se dá em função das quantidades empregadas de insumo, e a quantidade demandada de um produto se dá em função dos preços do próprio bem e dos produtos relacionados.

Essa última explicação pode ser constatada no resultado da decomposição da variância do erro da quantidade entregue de fertilizantes, que mostrou que o preço dos fertilizantes foi a principal variável que explicou a sua variância, com participação entre 68,11% e 83,94%. Entre as variáveis empregadas no modelo, a quantidade entregue de fertilizantes foi a mais endógena. Por meio da função impulso-resposta, observou-se que o choque de 1% no preço de importação dos fertilizantes minerais impacta negativamente o consumo em -0,72% contemporaneamente, estabilizando em -0,48%.

Outra variável muito relacionada ao uso dos fertilizantes minerais é a área agrícola. Os resultados indicam que o choque de 1% na área plantada leva à redução no consumo de fertilizantes minerais em -0,53% contemporaneamente, estabilizando em -1%. Embora tenha sido encontrada pouca influência da quantidade consumida de fertilizantes minerais sobre a área plantada, 1,25%, encontrou-se que boa parte da variância da área plantada é explicada pela variabilidade do preço dos fertilizantes minerais, entre 3,63% e 50%. Ao analisar o choque dos preços dos fertilizantes minerais sobre a área plantada, observou-se que o impacto de 1% tem efeito negativo na área plantada de -0,06% no momento do choque, estabilizando em -0,30%.

Como todo investimento em determinado insumo se baseia em como está o mercado do produto, considerou-se como uma das variáveis do modelo a atratividade da exportação das *commodities* agrícolas. A atratividade resultou como a variável mais exógena. A atratividade influencia pouco a quantidade entregue de fertilizantes NPK no Brasil, porém explica considerável parcela da variância dos preços dos fertilizantes NPK, entre 6,56% e 33,4%. Choque de 1% na atratividade impacta os preços dos fertilizantes em 0,15% contemporaneamente, estabilizando em 0,30%.

Esses resultados confirmam a necessidade de haver políticas estratégicas para os fertilizantes no Brasil. Não somente dos fertilizantes minerais, mas com os fertilizantes em geral. Sem uma política adequada, os ganhos de produtividade conquistados ao longo dos anos ficam comprometidos. Ademais, reforça-se a importância de cumprir as metas estabelecidas pelo Plano Nacional de Fertilizantes, cujo objetivo é aumentar a competitividade e o fornecimento de fertilizantes (Brasil, 2021).

Uma das limitações do estudo foi considerar na análise apenas as cinco *commodities* agrícolas mais exportadas, soja, cana-de-açúcar, milho, café e algodão. A justificativa para utilizar somente essas se deve a aproximadamente

73% do total de fertilizantes minerais no país serem destinados para atender às três primeiras culturas (Brasil, 2021). No entanto, as variações dos preços dos fertilizantes minerais também interferem em outras culturas tanto direta como indiretamente. De forma indireta, pelos fertilizantes minerais terem como substitutos próximos outros tipos de fertilizantes, como os orgânicos e os organominerais, em que variações de um dos mercados podem alterar o outro, o que provoca possíveis alterações nos mercados de outras culturas, mesmo as que não empregam fertilizantes minerais diretamente.

REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, K.; DICKS, M. R. Fertilizer demand for biofuel and cereal crop production in the United States. *In: ANNUAL MEETING SOUTHERN AGRICULTURAL ECONOMICS ASSOCIATION*, 2012, Birmingham, Alabama. **Proceedings**... Birmingham: SAEA, 2012.

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO NACIONAL DE ADUBOS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**. São Paulo: Anda, 1990-2021.

AYOUB, A. T. Fertilizers and the environment. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 55, n. 2, p. 117-121, 1999.

BARROS, G. S. C.; SILVA, S. F. A balança comercial do agronegócio brasileiro de 1989 a 2005. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, p. 905-935, 2008.

BECKMAN, J.; RICHE, S. Changes to the natural gas, corn, and fertilizer price relationships from the biofuels era. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 47, n. 4, p. 494-509, 2015.

BERNANKE, B. S. Alternative explanations of the money-income correlation. **Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy**, Princeton, v. 25, n.1, p. 44-99, 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018. Ficam estabelecidas as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, registro de produto, autorizações, embalagem, rotulagem, documentos fiscais, propaganda e tolerâncias dos fertilizantes minerais destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, 10 ago. 2018.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, 8 jul. 2020.

_____. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Brasília: SAE, 2021.

_____. Secretaria de Comércio Exterior. **COMEX STAT**: exportação e importação geral. Brasília: Secex, 2022. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em: 5 set. 2022.

BRUNELLE, T. *et al.* Evaluating the impact of rising fertilizer prices on crop yields. **Agricultural Economics**, v. 46, n. 5, p. 653-666, 2015.

CAO, Y.; CHENG, S. Impact of covid-19 outbreak on multi-scale asymmetric spillovers between food and oil prices. **Resources Policy**, v. 74, 2021.

CARDOSO, I. M.; KUYPER, T. W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 116, n. 1-2, p. 72-84, 2006.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de Produção**. Brasília: Conab, 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao>>. Acesso em: 6 jun. 2022.

DICKEY, D. A.; PANTULA, S. G. Determining the order of differencing in autoregressive processes. **Journal of Business and Economic Statistics**, v. 5, n. 4, p. 455-461, 1987.

EDGERTON, D.; SHUKUR, G. Testing autocorrelation in a system perspective testing autocorrelation. **Econometric Reviews**, v. 18, n. 4, p. 343-386, 1999.

ELLIOTT, G.; ROTHENBERG, T. J.; STOCK, J. H. Efficient tests for an autoregressive unit root. **Econometrica**, v. 64, n. 4, p. 813-836, 1996.

ELSER, J. J. *et al.* Regime shift in fertilizer commodities indicates more turbulence ahead for food security. **PLoS One**, v. 9, n. 5, 2014.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. 4th ed. Nova York: Wiley, 2015.

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.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The statistic division – FAOSTAT**. Paris: FAO, 2022. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/>>. Acesso em: 30 jun. 2022.

GASQUES, J. G. *et al.* **Produtividade total dos fatores na agricultura-Brasil e países selecionados**. Brasília: Ipea, 2022.

HERNANDEZ, M. A.; TORERO, M. Market concentration and pricing behavior in the fertilizer industry: a global approach. **Agricultural Economics**, v. 44, n. 6, p. 723-734, 2013.

HOLDEN, S.; LUNDUKA, R. Do fertilizer subsidies crowd out organic manures? The case of Malawi. **Agricultural Economics**, v. 43, n. 3, p. 303-314, 2012.

HOSSAIN, M.; SINGH, V. P. Fertilizer use in Asian agriculture: implications for sustaining food security and the environment. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 57, n. 2, p. 155-169, 2000.

IBENDAHL, G. The Russia-Ukraine conflict and the effect on fertilizer. **AgManager.info**, 8 March 2022. Manhattan: Kansas State University, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produtividade Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 jun. 2022.

ILINOVA, A.; DMITRIEVA, D.; KRASLAWSKI, A. Influence of covid-19 pandemic on fertilizer companies: The role of competitive advantages. **Resources Policy**, v. 71, 2021.

IFA – INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION. **Public summary medium-term fertilizer outlook 2021-2025**. Paris: IFA, 2021.

JOHANSEN, S. Statistical analysis of cointegration vectors. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 12, n. 2-3, p. 231-254, 1988.

KOMAREK, A. M. *et al.* Agricultural household effects of fertilizer price changes for smallholder farmers in central Malawi. **Agricultural Systems**, v. 154, p. 168-178, 2017.

LOBATO, E.; SOUSA, D. M. G. de. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa, 2004.

MANOS, B. *et al.* Fertilizer price policy, the environment and farms behavior. **Journal of Policy Modeling**, v. 29, n. 1, p. 87-97, 2007.

MENSI, W.; REHMAN, M. U.; VO, X. V. Dynamic frequency relationships and volatility spillovers in natural gas, crude oil, gas oil, gasoline, and heating oil markets: implications for portfolio management. **Resources Policy**, v. 73, p. 102-172, 2021.

OGETO, R. M.; JIONG, G. Fertilizer underuse in Sub Saharan Africa: evidence from Maize. **Journal of Agricultural Economics and Development**, v. 7, p. 11-28, 2019.

OGINO, C. M. *et al.* Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o Centro-Oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 1, 2020.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2022.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RUTTAN, V. W. **Technology, growth, and development: an induced innovation perspective**. New York: Oxford University Press, 2001.

SIMS, C. A. Macroeconomics and reality. **Econometrica**, Oxford, v. 48, n. 1, p.1-48, 1980.

_____. Are forecasting models usable for policy analysis? **Quarterly Review**, Minneapolis, v. 10, p. 2-16, 1986.

SINHA, E. *et al.* Implication of imposing fertilizer limitations on energy, agriculture, and land systems. **Journal of Environmental Management**, v. 305, p. 114-391, 2022.

TSAY, R. S. **Multivariate time series analysis: with R and financial applications**. New Jersey: John Wiley and Sons, 2013.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **O desenvolvimento da agricultura do Brasil e o papel da Embrapa**. Brasília: Ipea, 2022. (Texto para Discussão, n. 2748).

VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no Brasil: inovação e competitividade**. Brasília: Ipea, 2017.

WILLIAMSON, J. M. The role of information and prices in the nitrogen fertilizer management decision: new evidence from the agricultural resource management survey. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 36, n. 3, p. 552-572, 2011.

XU, Y. *et al.* Integrated assessment of nitrogen runoff to the Gulf of Mexico. **Resource and Energy Economics**, v. 67, p. 101-279, 2022.

ZONTA, E.; STAFANATO, J. B.; PEREIRA, M. G. Fertilizantes minerais, orgânicos e organominerais. *In*: BORGES, A. L. (Ed.). **Recomendações de calagem e adubação para abacaxi, acerola, banana, citros, mamão, mandioca, manga e maracujá**. Brasília: Embrapa, 2021, cap. 14, p. 263-303.