

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

JOSÉ EDUARDO RUSSO PERIS

**ANÁLISE DA DEMANDA POR FERTILIZANTES NO BRASIL NO PERÍODO DE
1970 A 2018**

Sorocaba
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS SOROCABA
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

JOSÉ EDUARDO RUSSO PERIS

**ANÁLISE DA DEMANDA POR FERTILIZANTES NO BRASIL NO PERÍODO DE
1970 A 2018**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do título/grau de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientação: Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo

Sorocaba
2021

Peris, José Eduardo Russo

Análise da demanda por fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2018 / José Eduardo Russo Peris -- 2021.
61f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Cassiano Bragagnolo
Banca Examinadora: Mariusa Momenti Pitelli, José César Cruz Junior
Bibliografia

1. Fertilizantes. 2. Demanda. 3. Função impulso-resposta. I. Peris, José Eduardo Russo. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

JOSÉ EDUARDO RUSSO PERIS

ANÁLISE DA DEMANDA POR FERTILIZANTES NO BRASIL NO PERÍODO DE 1970 A 2018

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, para obtenção do título/grau de bacharel em Ciências Econômicas. Universidade Federal de São Carlos.

Sorocaba, 16 de Novembro de 2021.

Orientador:

Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo
Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Examinadora:

Profa. Dra. Mariusa Momenti Pitelli
Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR

Examinador:

Prof. Dr. José César Cruz Junior
Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR

RESUMO

Peris, José Eduardo Russo. *Análise da demanda por fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2018*. 2021. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2021.

O objetivo deste trabalho é o estudo dos determinantes da demanda por fertilizantes no Brasil para o período de 1970 a 2018. A importância deste trabalho dá-se frente um crescimento na produtividade agrícola necessário para o combate à escassez de alimentos causada pelo alto crescimento populacional estimado nos próximos 40 anos, uma vez que o Brasil compõe o *ranking* dos maiores produtores mundiais de alimentos. Para tal, o estudo estima as funções impulso-resposta acumuladas via um modelo de vetores de correção de erros e teste de cointegração de Johansen. Choques na área plantada e no índice de preços recebidos pelo produtor rural apresentaram relações positivas com o consumo de fertilizantes, enquanto o preço dos fertilizantes e o crédito rural apresentaram relações negativas. Choques positivos na área plantada e no índice de preços recebidos pelo produtor rural traduziram-se em aumentos do consumo de 0,9% e 1,0% após 10 períodos. O preço do fertilizante gerou uma diminuição de -1,0% no consumo. O crédito rural, apesar de não significativo, gerou uma diminuição de -0,94% no consumo após 10 períodos.

Palavras-chave: Fertilizantes. Demanda. Cointegração. VECM. Função impulso-resposta.

ABSTRACT

The objective of this work is to study the determinants of demand for fertilizers in Brazil for the period from 1970 to 2018. The importance of this work is given by an increase in agricultural productivity necessary to combat the food shortage caused by the high estimated population growth over the next 40 years, as Brazil comprises the ranking of the world's largest food producers. The study estimates the accumulated impulse-response functions via an error correction vector model and Johansen's cointegration test. Shocks in the planted area and in the price index received by the rural producer showed positive relationships with the consumption of fertilizers, while the price of fertilizers and rural credit showed negative relationships. Positive shocks in the planted area and in the price index received by the rural producer translated into increases in consumption of 0.9% and 1.0% after 10 periods. The fertilizer price generated a -1.0% decrease in consumption. Rural credit, although not significant, generated a -0.94% decrease in consumption after 10 periods.

Keywords: Fertilizer. Demand. Cointegration. VECM. Impulse-response function.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração da cadeia produtiva dos fertilizantes minerais.....	10
Figura 2. Reservas de gás natural no mundo (%) em 2020.....	11
Figura 3. Produção estimada de amônia no mundo (%) em 2020.....	12
Figura 4. Reservas de rocha fosfática no mundo (%) em 2020.....	13
Figura 5. Produção estimada de fósforo no mundo (%) em 2020.....	14
Figura 6. Reservas equivalentes de potássio no mundo (%) em 2020.....	15
Figura 7. Produção estimada de potássio no mundo (%) em 2020.....	15
Figura 8. Consumo de fertilizantes NPK no mundo (%) em 2018.....	16
Figura 9. Evolução do consumo de fertilizantes NPK em países selecionados, em milhares de toneladas, de 1961 a 2018.....	17
Figura 10. Consumo, produção e importação de fertilizantes NPK no Brasil, em milhares de toneladas de nutrientes, de 1961 a 2018.....	18
Figura 11. Consumo e preço de fertilizante NPK no Brasil, 1970 a 2018.....	39
Figura 12. Consumo de fertilizantes NPK e índice de preços pagos ao produtor rural (IPR) no Brasil, 1970 a 2018.....	40
Figura 13. Consumo de fertilizantes NPK e área plantada no Brasil, 1970 a 2018.....	41
Figura 14. Consumo de fertilizantes NPK e crédito rural no Brasil, 1970 a 2018.....	41
Figura 15. Efeito acumulado de um choque na área plantada sobre o consumo de fertilizantes.....	44
Figura 16. Efeito acumulado de um choque no IPR sobre o consumo de fertilizantes.....	44
Figura 17. Efeito acumulado de um choque no preço sobre o consumo de fertilizantes.....	45
Figura 18. Efeito acumulado de um choque no crédito rural sobre o consumo de fertilizantes.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção e importação de fertilizantes no Brasil, em milhares de toneladas de produto, por tipo de fertilizante, 2010, 2015 e 2018.....	20
Tabela 2. Produção, importação e exportação e consumo e percentual do consumo advindo de importações para fertilizantes NPK no Brasil, em milhares de toneladas de nutrientes, de 1961 a 2018.....	21
Tabela 3. Entrega de fertilizantes ao consumidor final em milhares de toneladas de produto, por região do Brasil, 2010 a 2018.....	22
Tabela 4. Entrega de fertilizantes em milhares de toneladas de produto, por cultivo no Brasil, 2010 a 2018.....	23
Tabela 5. Gastos com fertilizantes e defensivos no total de despesas com custeio da lavoura em R\$/ha, para as culturas com maior demanda, 2010 a 2018.....	24
Tabela 6. Relação de troca entre produção da lavoura e fertilizantes para culturas selecionadas no Brasil, em sacos de 60kg por tonelada de fertilizantes para Soja e Milho e em toneladas de cana-de-açúcar por tonelada de fertilizante, 1990 a 2020.....	25
Tabela 7. Trabalhos que abordam a demanda por fertilizante no mundo e elasticidades-preço da demanda por fertilizantes.....	29
Tabela 8. Trabalhos que abordam a demanda por fertilizante no Brasil e elasticidades-preço da demanda por fertilizantes.....	32
Tabela 9. Matriz de correlação entre consumo, preço, IPR, área plantada e crédito rural, Brasil, 1970 a 2018.....	42
Tabela 10. Resultados dos testes ADF para as variáveis do modelo.....	43
Tabela 11. Resultados do teste de cointegração de Johansen com 6 defasagens para as variáveis do modelo.....	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FERTILIZANTE: COMPOSIÇÃO E PROCESSO PRODUTIVO	7
2.1 COMPOSIÇÃO.....	7
2.2 PROCESSO PRODUTIVO.....	8
3. O MERCADO DE FERTILIZANTES: PRODUÇÃO E OFERTA MUNDIAL E O MERCADO NO BRASIL	11
3.1 PANORAMA MUNDIAL DO SETOR DE FERTILIZANTES.....	11
3.2 EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO SETOR E O MERCADO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES.....	17
4. TRABALHOS SELECIONADOS ABORDANDO A DEMANDA POR FERTILIZANTES	26
4.1 ESTUDOS SELECIONADOS ABORDANDO A DEMANDA POR FERTILIZANTES NO MUNDO.....	26
4.2 ESTUDOS SELECIONADOS ABORDANDO A DEMANDA POR FERTILIZANTES NO BRASIL.....	29
5. METODOLOGIA E BASE DE DADOS	33
5.1 ABORDAGEM ECONÔMETRICA.....	33
5.1.1 Teste Dickey-Fuller Aumentado (ADF).....	33
5.1.2 Modelo De Vetores Autorregressivos (VAR).....	34
5.1.3 Função De Impulso Resposta.....	35
5.1.4 Cointegração.....	35
5.1.5 Vetores De Correção De Erros.....	36
5.2 BASE DE DADOS E ESCOLHA DAS VARIÁVEIS.....	36
5.2.1 Consumo De Fertilizantes.....	37
5.2.2 Preço Dos Fertilizantes.....	37
5.2.3 Área Plantada.....	37
5.2.4 Crédito Rural.....	38
5.2.5 Índice De Preços Pagos Ao Produtor Rural (IPR).....	38
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
6.1 OS DETERMINANTES DA DEMANDA POR FERTILIZANTES NO BRASIL.....	39
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47

1. INTRODUÇÃO

Souza et al. (2007) citado por Cella e Rossi (2010) definiram em 2007 os cinco maiores problemas que a humanidade enfrentaria nos próximos cinquenta anos, sendo eles: acesso à água potável, produção e extração de energia, o enfrentamento do aquecimento global, o combate à pobreza e o atendimento à crescente demanda por alimentos. Assim, espera-se que o aumento na produtividade agrícola ajude a atender à crescente demanda por alimentos causada pelo aumento expressivo da população mundial. De acordo com dados da Food and Agriculture Organization (FAO, 2021), a população mundial crescerá para 8,5 bilhões de habitantes em 2030, 9,7 bilhões em 2050 e 10,8 bilhões em 2100, um aumento demográfico de 10%, 24% e 35% respectivamente, frente a 7,8 bilhões de habitantes no ano de 2021.

Somado ao crescimento populacional projetado, faz-se necessário, também, analisar a necessidade de ganhos produtivos devido ao aumento do consumo de alimentos *per capita*. Dados da FAO (2021) mostram que a média de consumo calórico por habitante no mundo cresceu de 2.389 kcal por dia em 1970, para 2.929 kcal por dia em 2021. Além disso, também em estudo publicado pela FAO (2021) estimou-se que o consumo calórico por habitante deve atingir 3.500 kcal por dia nos países desenvolvidos e 3.000 kcal por dia nos países em desenvolvimento. Para que esse cenário se concretize de forma sustentável, a produção agrícola mundial deve aumentar em até 60%, implicando para o Brasil o desafio de atingir esse aumento sem basear-se unicamente no aumento da área cultivada (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012; BRUINSMA, 2003; LOBELL et al., 2009, citado em MARIN *et al.*, 2016).

Com o crescimento econômico mundial, passou-se a consumir em maior escala carne proveniente de animais engordados com soja e milho, fazendo necessário um aumento na produção e produtividade dessas culturas. Ainda, o aumento da demanda global por biocombustíveis, como o etanol produzido a partir das culturas da cana-de-açúcar e do milho, também é fator importante ao analisar a potencial demanda agrícola no Brasil e no mundo (CELLA & ROSSI, 2010).

Alcarde, Guidolin e Lopes (1998) destacam a limitação da produção agrícola devido a fatores como clima, solo, planta, técnicas de manejo e nível de incidência de pragas e doenças, sendo o clima e o solo fatores determinísticos da produtividade agrícola de uma dada região.

O fertilizante é fundamental para o aumento da produtividade, uma vez que exerce impacto direto na produtividade agrícola, corrigindo a concentração de macronutrientes do solo, disponibilizando às plantas os nutrientes necessários para seu desenvolvimento. Em estudo publicado pela International Fertilizer Association (IFA, 2016), estimou-se que o uso do fertilizante é responsável por aproximadamente metade da produção agrícola mundial e que propriedades agrícolas que fizeram uso de técnicas de reposição de nutrientes no solo por meio de fertilizantes obtiveram ganhos de produtividade de até 60% (IFA, 2000). Dados da FAO (2020) demonstram a importância do uso de fertilizantes ao afirmar que, para cada tonelada de fertilizante aplicada em um hectare, sob as técnicas que permitem sua eficiência máxima, equivalem a quatro hectares não submetidos a técnicas de adubação. Marin *et al.* (2016) afirmam que o consumo anual de fertilizantes no mundo deverá crescer 1,8% no período de 2014 a 2024. O crescimento esperado na América Latina é de 3,3% ao ano, destacando o Brasil, Argentina, Colômbia e México como os impulsionadores deste crescimento.

A agricultura é muito importante para a economia brasileira e tem participação expressiva na composição do produto interno bruto (PIB) nacional. Esta importância está diretamente relacionada à vasta extensão do território nacional, grande parte destinada a produção agrícola, com diversidade de climas e diferentes tipos de solo, atrelado à forte demanda composta pelo consumo interno e às exportações, estas principalmente destinadas à China, Europa e países do MERCOSUL. O agronegócio também gera empregos, não só no que diz respeito ao cultivo, mas em centros de pesquisa, setores de comercialização, e em serviços responsáveis pelo armazenamento, transporte e transformação dos produtos. De acordo com dados da Organização Mundial do Comércio (OMC, 2021), o valor combinado de todas as exportações de mercadorias no Brasil em 2019 foi de US\$ 225,3 bilhões. As exportações de produtos agrícolas representaram 40%, ou US\$ 89,1 bilhões desse total, das quais 86% ou US\$ 76,3 bilhões foram de produtos destinados a alimentação. Ainda em OMC (2021), as exportações agrícolas brasileiras representaram em 2019 5% do total de US\$ 1,7 trilhões de toda a exportação do agronegócio internacional. Assim, o Brasil ocupou a posição de terceiro maior exportador de produtos agrícolas no ano de 2019, ficando atrás apenas da União Europeia (36%) e dos Estados Unidos (9%). Além disso, no ano de 2020 o agronegócio representou 26,6% do PIB brasileiro, com participação de 18,5% do

ramo agrícola e 8,1% do ramo pecuário (CEPEA, 2021), o equivalente a R\$ 1,3 trilhões e R\$ 602 bilhões, respectivamente.

O Brasil tem capacidade produtiva instalada para suprir 45% do consumo de fertilizantes fosfatados, 25% dos nitrogenados e 10% dos potássicos. Garantir o aumento da produção nacional é um desafio e também uma condição para garantir a segurança alimentar e a consolidação do país como potência agrícola mundial (MARIN *et al.*, 2016).

Os boletins de monitoramento agrícola elaborados pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para a safra 2020/2021 estimam uma produção de 260,8 milhões de toneladas de grãos, produzidos em 68,8 milhões de hectares (CONAB, 2021, p.9), com a cultura da soja atingindo produção recorde de 135,9 milhões de toneladas e o milho 93,4 milhões de toneladas (CONAB, 2021, p.10). Para a cana-de-açúcar foram produzidas 654,8 milhões de toneladas na mesma safra (CONAB, 2021, p.8). Projeções apontam que na safra 2029/2030 o Brasil deve atingir a marca de 318,3 milhões de toneladas de grãos produzidos, em uma área de 76,4 milhões de hectares (CONAB, 2020, p.14). Evidencia-se então a dependência da produção nacional de grãos em atingir ganhos de produtividade, uma vez que a produção deve crescer 18% associada à um crescimento de 10% da área total na safra 2029/2030.

No Brasil, muitas lavouras ainda são cultivadas empregando-se de métodos tradicionais de gestão, com baixo controle e administração dos custos produtivos. Gonçalves *et al.* (2005) destacam a intensificação no setor rural de propriedades que não adotam métodos de gestão administrativas ou sequer de custos, e que tomadas de decisões sobre o processo produtivo são embasados em informações puramente estimadas, culminando até em potencial subestimação dos resultados da produção, uma vez que o produtor não possui completo domínio sobre os seus custos produtivos. Com o emprego de gestão e controle adequados, atentando-se também com os custos indiretos de produção, a produção agrícola torna-se mais rentável e financeiramente assertiva para o produtor, minimizando desperdícios e má utilização dos fatores de produção, maximizando o lucro da atividade familiar (Gonçalves *et al.*, 2005).

O território brasileiro apresenta grande área agriculturável, com clima favorável, suficiente incidência de radiação solar e temperaturas adequadas, como também boa disponibilidade de água. Porém, apresentam-se também alguns problemas como falta de uniformidade de chuvas, solos com acidez elevada e pobre

em nutrientes. Os solos brasileiros apresentam deficiência do macronutriente fósforo em sua composição, destacando a importância deste mineral para a agricultura brasileira (CELLA & ROSSI, 2010).

A maioria dos solos do território brasileiro possuem limitações de fertilidade natural, com 84% desses solos apresentando problemas com acidez (Amaral *et al.*, 1999). Santos (1999) citado por Nicolella *et al.* (2005) afirma que 40% dos solos do território nacional são latossolos, um tipo de solo com boas características físicas, porém com fertilidade limitada e que esse tipo de solo pode se tornar altamente produtivos sob um manejo tecnificado que consiste em diferentes técnicas sendo uma delas o uso intensivo de fertilizantes, compostos em sua maior parte de macronutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio e de micronutrientes como boro, zinco, silício e outros. Esses nutrientes são utilizados para aumentar a fertilização do solo a fim de atender os níveis exigidos pelos cultivares, tornando-os melhorados e mais produtivos (BACHA, DRAGONE & NICOLELLA, 2005), não sendo o solo capaz de repor totalmente os nutrientes em um curto período, destacando a importância do uso de fertilizantes no fornecimento de nutrientes para os solos e plantas (MACIEL & TUNES, 2021).

Dados do censo agropecuário de 2017 (IBGE, 2017) demonstram que, dos mais de 5 milhões de estabelecimentos agropecuários mapeados, apenas 2,1 milhões utilizaram-se de adubação em suas lavouras. Dos 2,9 milhões de estabelecimentos que não utilizaram fertilizantes, 10% costumam fazer adubação. Assim 2,6 milhões de propriedades agrícolas não tem feito nenhum tipo de adubação, não se beneficiando dos ganhos de produtividade advindos do emprego de técnicas de reposição de nutrientes no solo. Entende-se então que essas propriedades apresentam capacidade de elevação da produtividade, e que a partir da utilização dos fertilizantes, podem cumprir papel estratégico no atingimento da produção futura necessária para atender a demanda do mercado interno e externo brasileiro.

Existem, entretanto, fatores críticos estruturais que podem restringir a capacidade da produção nacional de atingir os níveis estimados de produção e produtividade, limitando a competitividade das *commodities* brasileiras no mercado internacional. Dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2021) mostram que em 2018 foram entregues 35,6 milhões de toneladas de fertilizantes ao consumidor final, das quais 27,5 milhões (77%) foram importadas. O preço deste insumo vem sofrendo aumento expressivo e contínuo no mercado brasileiro,

umentando a sua participação no custeio da lavoura e estreitando a lucratividade das propriedades rurais (CELLA & ROSSI, 2011). Destaca-se a afirmação feita por Friedrich (2012):

“[...] apesar de ser um dos maiores agentes agrícolas do mundo, o Brasil sofre com a elevada dependência externa do fertilizante: além de incorrer em elevado déficit na balança comercial para o produto, há insegurança quanto às políticas de preço e fornecimento, colocando em risco o desafio de aumento em produtividade no campo”. (Friedrich, 2012, p.12)

Tendo em vista o problema apresentado, o objetivo deste estudo é analisar a demanda por fertilizantes no Brasil para o período compreendido entre 1970 e 2018, estimando as elasticidades do consumo com relação aos preços, a área plantada, o crédito rural e o índice de preços recebido pelo produtor. Para tanto, pretende-se empregar uma metodologia econométrica de séries temporais. O período escolhido é limitado a 2018 devido à disponibilidade de dados públicos de pesquisa relacionados ao consumo de fertilizantes NPK, disponíveis na base de dados da International Fertilizer Association (IFA, 2021).

Uma vez ilustrados os benefícios dos fertilizantes na produtividade agrícola, o presente trabalho espera rejeitar a hipótese nula de que a demanda apresente comportamento elástico frente variações nos preços do adubo. Essa afirmação parte do pressuposto que a redução na produtividade da lavoura não produzida sob técnicas de correção de nutrientes do solo incorra em maiores prejuízos se comparadas com a redução das margens de lucro da propriedade agrícola, consequência de um aumento no montante despendido com recursos destinados à adubação dado um aumento no preço do insumo.

Espera-se que a demanda apresente correlação positiva com a variável área plantada uma vez que incrementos de área, *ceteris paribus*, traduzam-se em maior necessidade de uso de fertilizantes.

A disponibilidade de crédito rural e o índice de preços recebidos pelo produtor podem ser entendidos como uma *proxy* da quantidade de recursos financeiros alocáveis para aquisição de fertilizantes, uma vez que a maior disponibilidade de crédito e maiores receitas fazem com que o produtor esteja capitalizado no momento da tomada de decisão de aquisição de insumos produtivos. Portanto, presume-se a existência de correlação positiva entre estas variáveis e a demanda.

Apresentados os tópicos que levaram a construção do presente trabalho, bem como seu objetivo e as hipóteses a serem testadas, este será composto das seguintes

seções: a primeira e segunda seções apresentam a composição dos fertilizantes, evidenciando os maiores produtores e consumidores globais, abordando o tema sob a ótica do mercado brasileiro. A terceira seção tem como objetivo o estudo de trabalhos selecionados já realizados sobre o tema, detalhando a metodologia utilizada e os resultados encontrados, a fim de contextualizar as variáveis aqui consideradas como determinantes da demanda por fertilizantes. A quarta seção foca na metodologia utilizada, ilustrando a teoria econométrica sob qual se apoia o estudo, bem como as variáveis escolhidas e as transformações realizadas. Os resultados do modelo econométrico são apresentados na quinta seção. Por fim, conclui-se o trabalho na sexta seção.

2. FERTILIZANTE: COMPOSIÇÃO E PROCESSO PRODUTIVO

2.1 Composição

A legislação brasileira, no Decreto 86.955 de 18 de fevereiro de 1982, define para fins regulatórios, o fertilizante como sendo uma substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes das plantas.

Os principais nutrientes utilizados para realizar a adequação dos solos produtivos às necessidades nutricionais da produção são os denominados macronutrientes primários, são eles: o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Os macronutrientes secundários, chamados assim por apresentarem menor relevância frente os primários, também exercem papel importante na nutrição vegetal. São compostos pelo enxofre (S), magnésio (Mg) e o cálcio (Ca). Além destes, tem-se os micronutrientes, cloro (Cl), ferro (Fe), zinco (Zn) e cobre (Cu) (MALAVOLTA *et al.*, 2002).

Os três macronutrientes tem papel fundamental na produção vegetal. O nitrogênio é o mineral de maior abundância nos vegetais, constituindo a clorofila e as proteínas das plantas. O fósforo é o agente causador da divisão celular, essencial ao crescimento, fortalecimento das raízes e frutificação. O potássio, além de auxiliar a síntese proteica e de carboidratos, regular o nível de água e glicose, é o que dá aos cultivos a sua resistência a pragas e doenças (FRIEDRICH, 2012).

Kulaif (1999) segrega os fertilizantes minerais em três grupos: os simples, de apenas um composto químico podendo conter um ou mais nutrientes em grânulos separados, sendo os mais comuns o sulfato de amônio, a uréia, o nitrato de amônio, o nitrato de sódio, o superfosfato simples (SSP), o superfosfato triplo (TSP), o termofosfato magnesiano, o cloreto de potássio, o sulfato de potássio, o nitrato de potássio, o fosfato monoamônico (MAP) e o fosfato diamônico (DAP). Os adubos minerais mistos se dão pela combinação de dois ou mais fertilizantes simples, podendo ser classificados como misturados ou complexos, quando há a presença de dois ou mais nutrientes no mesmo grânulo.

No Brasil, os fertilizantes são classificados em nitrogenados, fosfatados ou potássicos, com base no macronutriente primário presente em sua formulação, ou quando o teor de um destes se sobrepõe ao teor dos demais (KULAIF, 1999). Alcarde, Guidolin e Lopes (1998) afirmam também que a categoria mais comumente

utilizada no Brasil são os chamados misturas NPK, que é uma sigla com as representações químicas dos seus componentes nitrogênio, fósforo e potássio. As misturas NPK possuem menor tecnologia no processo produtivo, e conseqüentemente, menores preços finais ao produtor, e são expressas nas porcentagens de cada nutriente presente na mistura, com o percentual restante correspondente a outras substâncias (hidrogênio, carbono e outros) presentes na mistura (FRIEDRICH, 2012). Kulaif (1999) aponta que a indicação da composição química dos fertilizantes é expressa pela fórmula x-y-z, na qual tem-se: i) x indicando o percentual de nitrogênio (N); ii) y indicando o percentual de fósforo, na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5), e iii) z indicando o percentual de potássio, na forma de óxido de potássio (K_2O). Desta forma, 100kg de um adubo comercializado como 10-10-10 é formado por partes iguais de N, P_2O_5 e K_2O .

2.2 Processo produtivo

Franco e Saraiva Neto (2008) dividem a indústria de fertilizantes em três atividades, sendo elas: produção de matéria-prima básica, produção de matérias intermediárias e, por fim, a produção de fertilizantes básicos e misturas. Malavolta *et al.* (2002) detalham a utilização de matérias primas na produção de fertilizantes. Para os materiais nitrogenados, são utilizados o petróleo e o gás natural. Para os fosfatados, utiliza-se enxofre e rocha fosfática e, para os adubos potássicos, a principal matéria prima é a rocha potássica.

O processo de produção tem início na obtenção de matérias primas, desempenhado pela indústria de extração mineral. A atividade extrativista cumpre o papel de alimentar a cadeia produtiva com o gás natural, a nafta e a pirita, que são derivados e resíduos de petróleo e de rochas fosfáticas e potássicas. Esses produtos primários são tratados e transformados em produtos intermediários, como os ácidos sulfúrico e fosfórico e amônia anidra, e nos fertilizantes simples e misturas (LOUREIRO *et al.*, 2009).

Os fertilizantes potássicos são obtidos por processos transformativos de natureza predominantemente física, como britagem, concentração e secagem, utilizando as rochas carnalita e silivita, por apresentarem abundantes quantidades do mineral em sua composição (NASCIMENTO *et al.*, 2008).

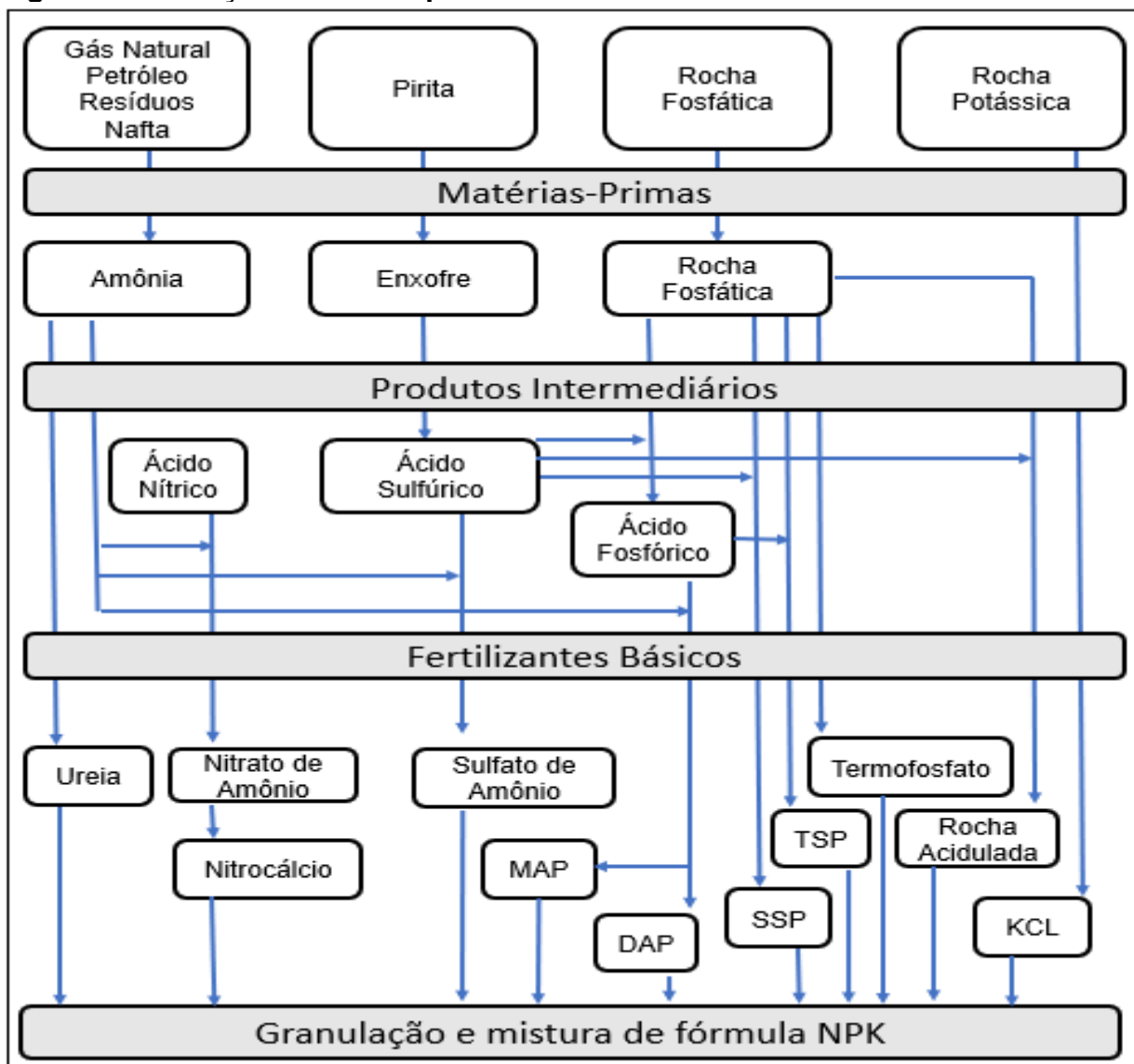
Os adubos nitrogenados são obtidos a partir da amônia anidra, presente no processo produtivo de todos os nitrogenados sintéticos (GONÇALVES *et al.* 2008). A amônia, juntamente com outras matérias-primas intermediárias como os ácidos nítricos e sulfúricos, é utilizada para a produção de fertilizantes simples como a ureia, o nitrato de amônio e o sulfato de amônio. Por fim, indústrias misturadoras combinam matérias-primas e fertilizantes simples para a elaboração das formulações finais (FRANCO e SARAIVA NETO, 2008). A produção da amônia é feita a partir da utilização de petróleo ou gás natural e, portanto, as indústrias produtoras desta matéria-prima comumente estão localizadas nos arredores de refinarias petroquímicas (CELLA e ROSSI, 2010).

Os fertilizantes fosfatados são produzidos a partir de rochas fosfáticas, como a apatita e a fosforita, do enxofre, de gás natural e de derivados de petróleo. Também faz-se uso de matérias-primas intermediárias, como a amônia anidra e os ácidos sulfúrico e fosfórico para a transformação e combinação das matérias-primas e intermediárias em fertilizantes simples como o superfosfato simples, o superfosfato triplo, fosfato monoamônico e fosfato diamônico, termofosfatos e rocha fosfática parcialmente acidulada, e em misturas de um ou mais macronutrientes (KULAIIF, 1999).

Dá-se destaque a extração e transformação do enxofre que, apesar de ser um macronutriente secundário, dispõe papel crucial na produção de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, uma vez que é matéria-prima para a obtenção do ácido sulfúrico (FRIEDRICH, 2012).

A Figura 1 esquematiza de forma visual a combinação dos numerosos processos extrativistas e transformadores desempenhados pela indústria de produção de fertilizantes minerais.

Figura 1. Ilustração da cadeia produtiva dos fertilizantes minerais



Fonte: Elaboração própria, com base em BNDES (2006).

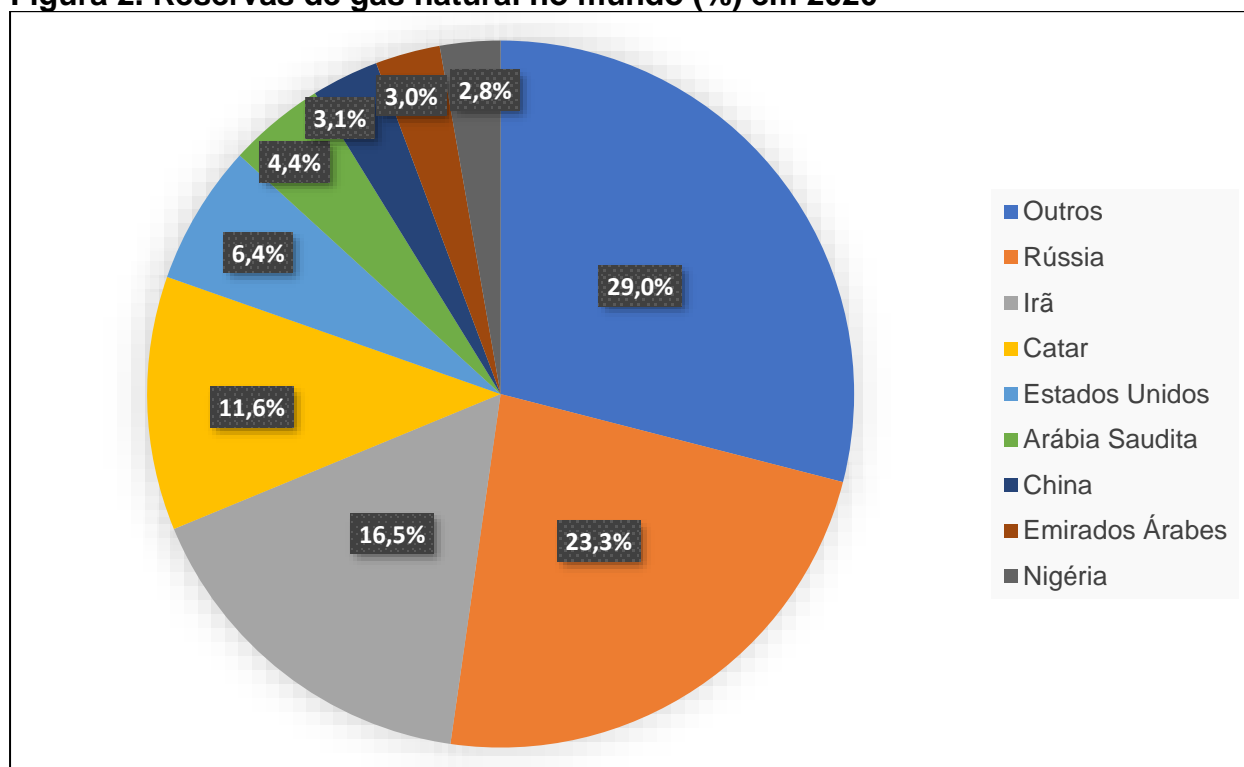
3. O MERCADO DE FERTILIZANTES: PRODUÇÃO E OFERTA MUNDIAL E O MERCADO NO BRASIL

3.1 Panorama mundial do setor de fertilizantes

Uma vez que o processo produtivo de fertilizantes utiliza primariamente recursos minerais em todas as etapas da cadeia de produção, a disposição geográfica das reservas de minérios, bolsões de gás e reservas de petróleo impacta diretamente a oferta de matérias-primas para o processo produtivo (FRIEDRICH, 2012).

Franco e Saraiva Neto (2008) apontam que o uso de gás natural está associado ao processo produtivo de 75% de toda amônia globalmente, destacando a necessidade em abundância desta matéria-prima para fabricação de fertilizantes nitrogenados. Os autores também afirmam que 1,2% do consumo de energia mundial está atrelado à produção de fertilizantes, com os nitrogenados representando 92,5% deste montante.

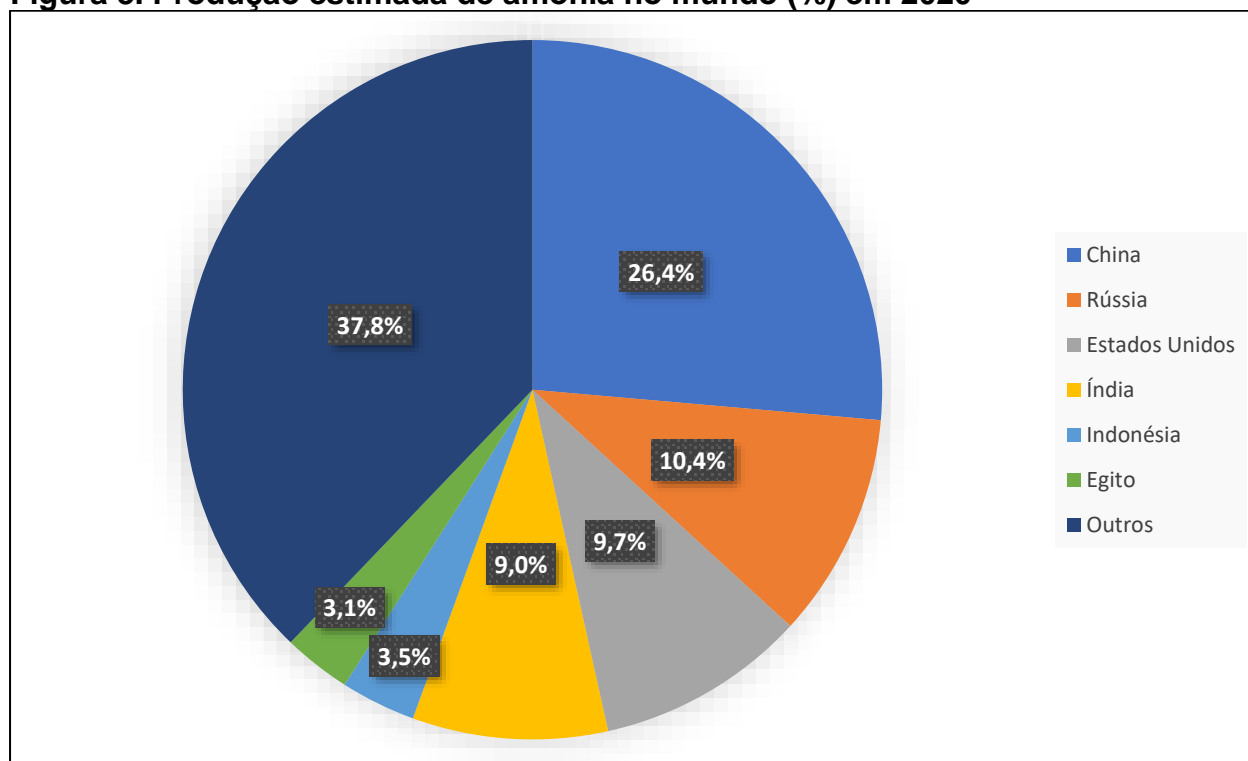
Figura 2. Reservas de gás natural no mundo (%) em 2020



Fonte: U.S. Energy Information Administration – EIA. (2020).

Os dados da U.S. Geological Survey (2021), apresentados pela Figura 2, detalham os países com as maiores reservas de gás natural no mundo em 2020, com a Rússia detendo 47,9 trilhões de m³, seguido pelo Irã (33,8 trilhões m³), Catar (23,8 trilhões de m³) e Estados Unidos (13,1 trilhões de m³). O Brasil ocupa a vigésima posição com reservas da ordem de 369 bilhões de m³ (0,2%).

Figura 3. Produção estimada de amônia no mundo (%) em 2020



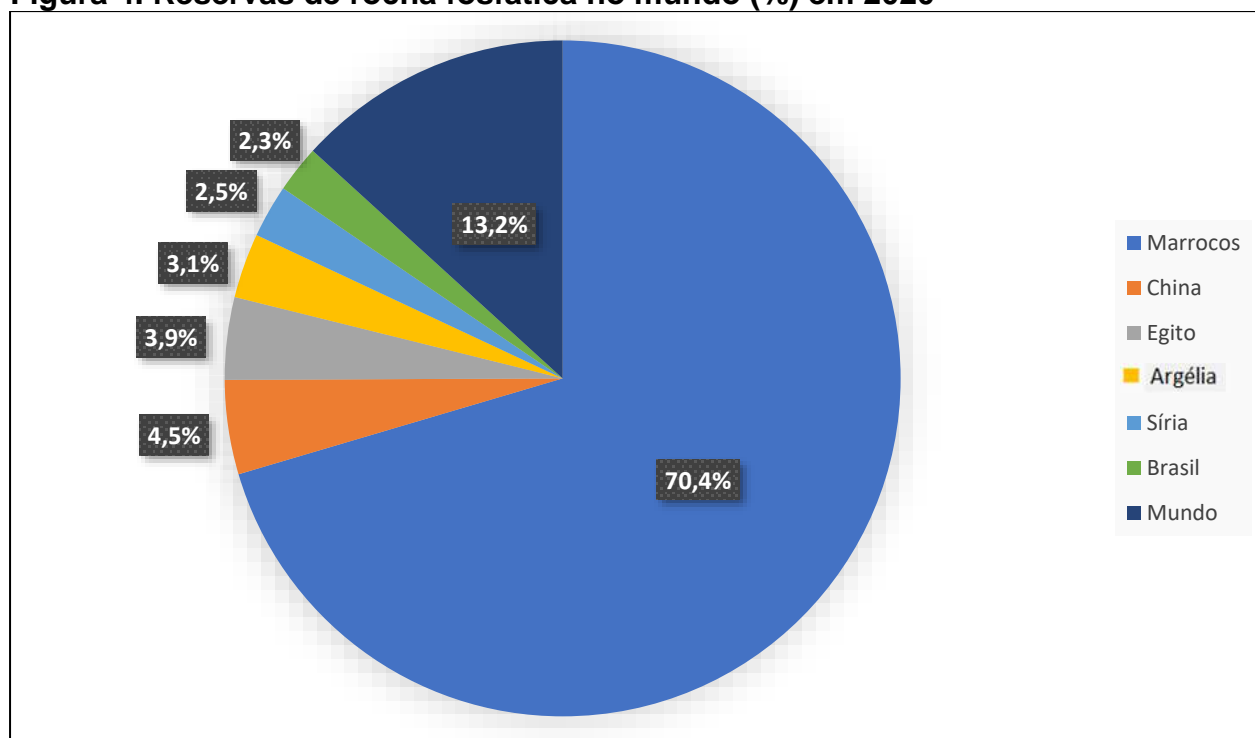
Fonte: U.S. Geological Survey (2021).

A Figura 3 demonstra a participação dos países na produção estimada de amônia em 2020 por meio de dados da U.S. Geological Survey (2021). A China ocupa a primeira posição, com 38 bilhões de toneladas do total de 144 bilhões de toneladas estimadas, seguido pela Rússia (15 bilhões de toneladas), Estados Unidos (14 bilhões de toneladas) e Índia (13 bilhões de toneladas). A China dispõe de limitadas reservas de gás natural, ao passo que é a maior potência produtiva de carvão mundial e, por isso, utiliza-se dessa matéria-prima para a obtenção da amônia (FRANCO e SARAIVA NETO, 2008).

O processo extrativista para a obtenção da rocha fosfática é constituído de diversas fases, com seu início dando-se anteriormente ao processo de desenvolvimento do projeto de mineração, na prospecção e pesquisa geológica dos depósitos minerais e suas especificidades. A fase de lavra e beneficiamento do

minério também é importante etapa do processo, juntamente com a pesquisa tecnológica. Fontes de fosfato economicamente viáveis para extração são encontradas em rochas sedimentares (fosforitos, depósitos de guano e alumino-fosfatados), e em rochas ígneas (fluorapatita, gorceixita, goyazita e rabdofanita) (KULAIF, 1999).

Figura 4. Reservas de rocha fosfática no mundo (%) em 2020



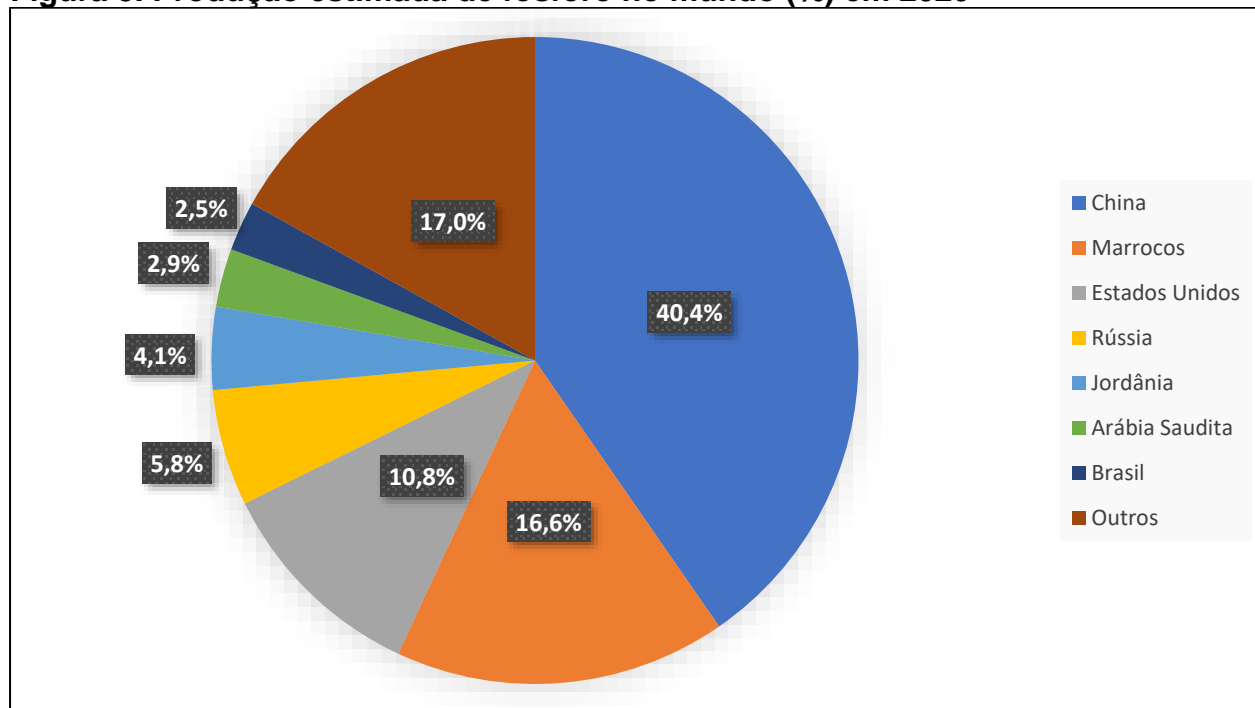
Fonte: U.S. Geological Survey (2021).

A Figura 4 mostra a participação na constituição das 71 bilhões de toneladas em reservas de rocha fosfática no mundo no ano de 2020 por meio de dados do U.S. Geological Survey (2021). É destacada a participação expressiva do Marrocos, que detém 50 bilhões de toneladas, seguido da China (3,2 bilhões de toneladas), Egito (2,8 bilhões de toneladas), Argélia (2,2 bilhões de toneladas) e Síria (1,8 bilhões de toneladas). O Brasil possui a sexta maior reserva do mundo, com 1,6 bilhões de toneladas de rocha fosfática disponíveis, uma participação equivalente à 2% do total.

Ao analisar-se a produção estimada de fósforo no mundo, em 2020, na Figura 5, nota-se que o *ranking* das maiores economias produtoras não segue a mesma ordem das detentoras de reservas de rocha fosfática. Do total estimado de 223 bilhões de toneladas de fósforo produzidas no mundo, a China lidera produzindo um total de 90 bilhões de toneladas, seguida do Marrocos (37 bilhões de toneladas),

Estados Unidos (24 bilhões de toneladas) e Rússia (13 bilhões de toneladas). O Brasil ocupa a sétima colocação, com produção estimada de 5,5 bilhões de toneladas (2%) em 2020.

Figura 5. Produção estimada de fósforo no mundo (%) em 2020

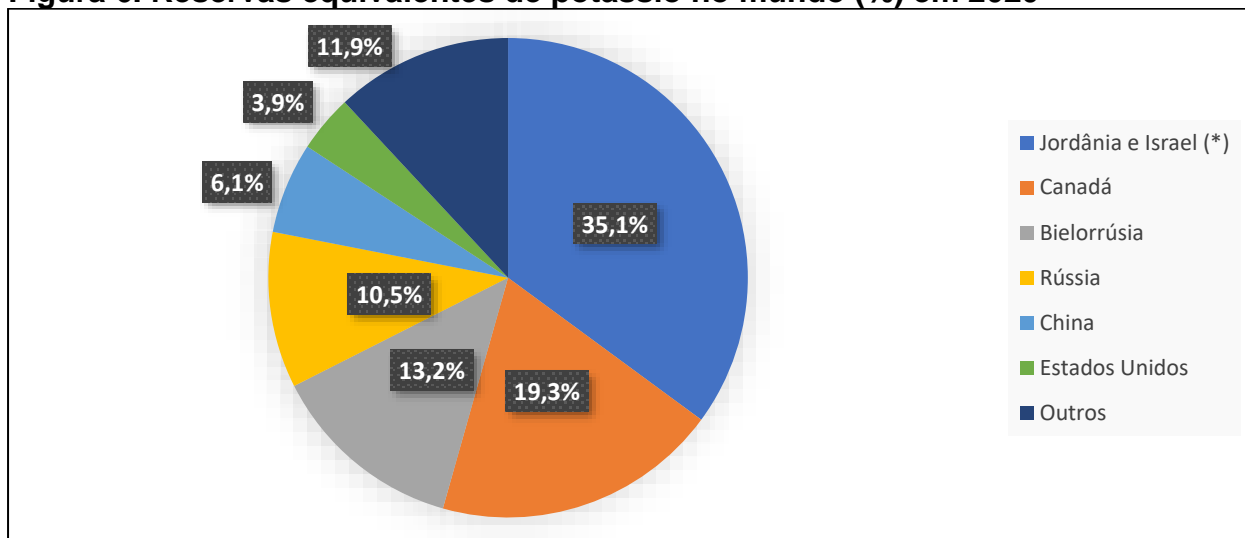


Fonte: U.S. Geological Survey (2021).

O potássio, utilizado no processo produtivo de obtenção dos fertilizantes potássicos, é encontrado em diversas apresentações na natureza, no solo, em rochas, salinas, lagos e oceanos. As matérias-primas mais utilizadas, por possuírem maiores concentrações do nutriente, são a carnilita e a silvita, juntamente com o silicato de potássio (OLIVEIRA, 2007).

Os dados da U.S. Geological Survey (2021) apresentados na Figura 6 delineiam as reservas de potássio disponíveis no mundo. As reservas de Israel e da Jordânia foram combinadas em um único indicador pois ambas as nações extraem potássio diretamente do Mar Morto na forma de cloreto de potássio, com potencial estimado de fornecimento de aproximadamente 2 bilhões de toneladas. Na segunda colocação, o Canadá possui 1,1 bilhões de toneladas, seguido pela Bielorrússia, com 750 milhões de toneladas e a Rússia, com 600 milhões de toneladas em reservas estimadas para o ano de 2020. O Brasil ocupa o décimo terceiro lugar no *ranking*, com reservas de 2,3 milhões de toneladas.

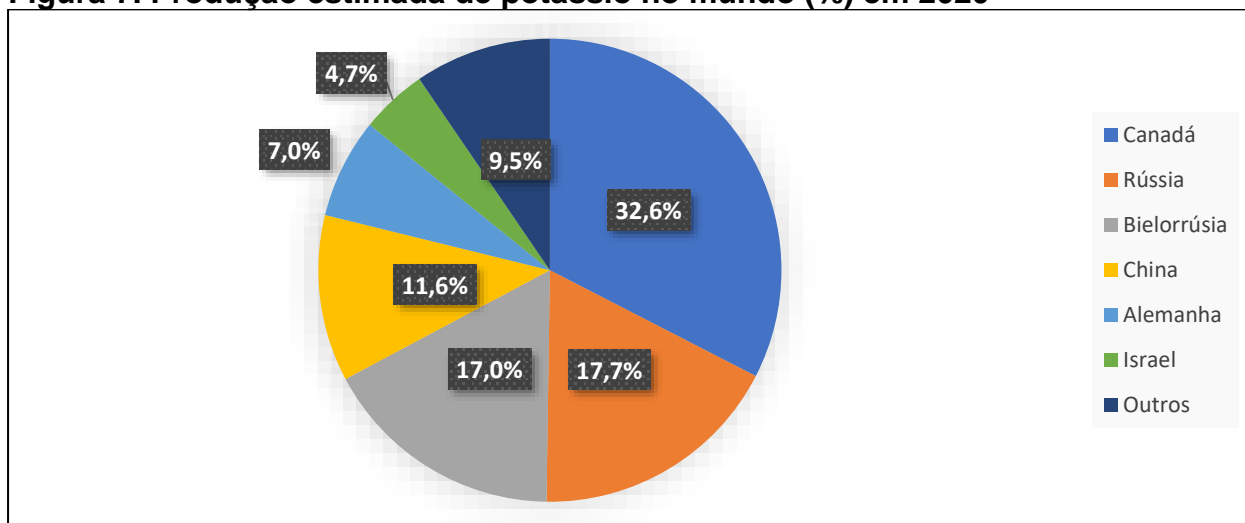
Figura 6. Reservas equivalentes de potássio no mundo (%) em 2020



Fonte: U.S. Geological Survey (2021).

A participação estimada dos países na produção de potássio no mundo em 2020 é apresentada na Figura 7 por meio de dados do U.S. Geological Survey (2021). O Canadá é o maior produtor, com 14 milhões de toneladas estimadas. O segundo maior produtor é a Rússia (7,8 milhões de toneladas), seguido pela Bielorrússia (7,3 milhões de toneladas), com a China (5 milhões de toneladas) e a Alemanha (3 milhões de toneladas) ocupando o quarto e o quinto lugar, respectivamente. Para o Brasil foi estimada uma produção de 250 mil toneladas, uma representatividade de meio ponto percentual na produção mundial total de 43 bilhões de toneladas de potássio.

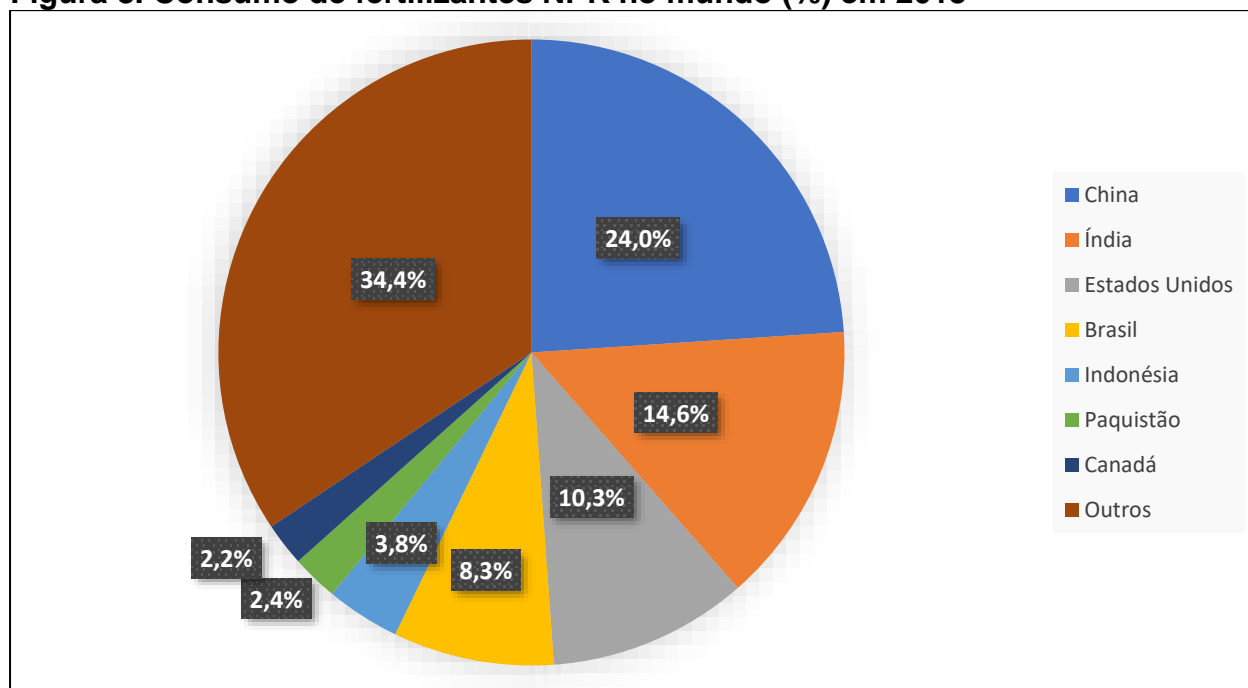
Figura 7. Produção estimada de potássio no mundo (%) em 2020



Fonte: U.S. Geological Survey (2021).

A participação dos maiores consumidores de fertilizantes no mundo em 2018 em relação ao volume de nutrientes, calculada com dados do U.S. Geological Survey (2021), é visualizado na Figura 8. A China foi a economia que mais consumiu fertilizantes, referente à de 44,6 milhões de toneladas do total de 186,5 milhões de toneladas consumidas mundialmente. A Índia ocupa a segunda colocação, com 27,2 milhões de toneladas, seguido dos Estados Unidos (19,2 milhões de toneladas) e do Brasil (15,5 milhões de toneladas). Indonésia (7,1 milhões de toneladas) e Paquistão (4,4 milhões de toneladas) completam o *ranking* dos seis maiores consumidores mundiais. De acordo com Oliveira (2007), o Brasil possui a oitava maior reserva de potássio mundial, localizadas no Amazonas, local de difícil exploração e em Sergipe.

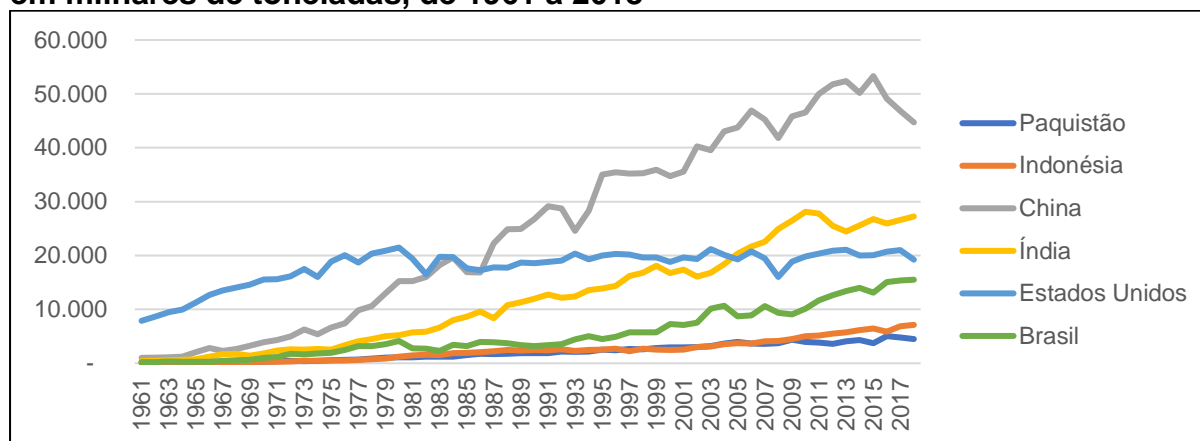
Figura 8. Consumo de fertilizantes NPK no mundo (%) em 2018



Fonte: International Fertilizer Association - IFA (2021).

Torna-se importante notar o fato de que dos seis maiores consumidores mundiais de fertilizantes em 2018, apresentados anteriormente na Figura 8, apenas os Estados Unidos não são classificados como um país em desenvolvimento e somente este apresentava consumo expressivo de fertilizantes no início da década de 60 de acordo com dados da IFA (2021), como mostra a Figura 9.

Figura 9. Evolução do consumo de fertilizantes NPK em países selecionados, em milhares de toneladas, de 1961 a 2018



Fonte: International Fertilizer Association - IFA (2021).

3.2 Evolução histórica do setor e o mercado brasileiro de fertilizantes

O surgimento da indústria de fertilizantes no Brasil acontece em concomitância com o processo de industrialização da década de 40, com as primeiras instalações localizadas nos arredores de portos marítimos em Cubatão (SP) e Rio Grande (RS).

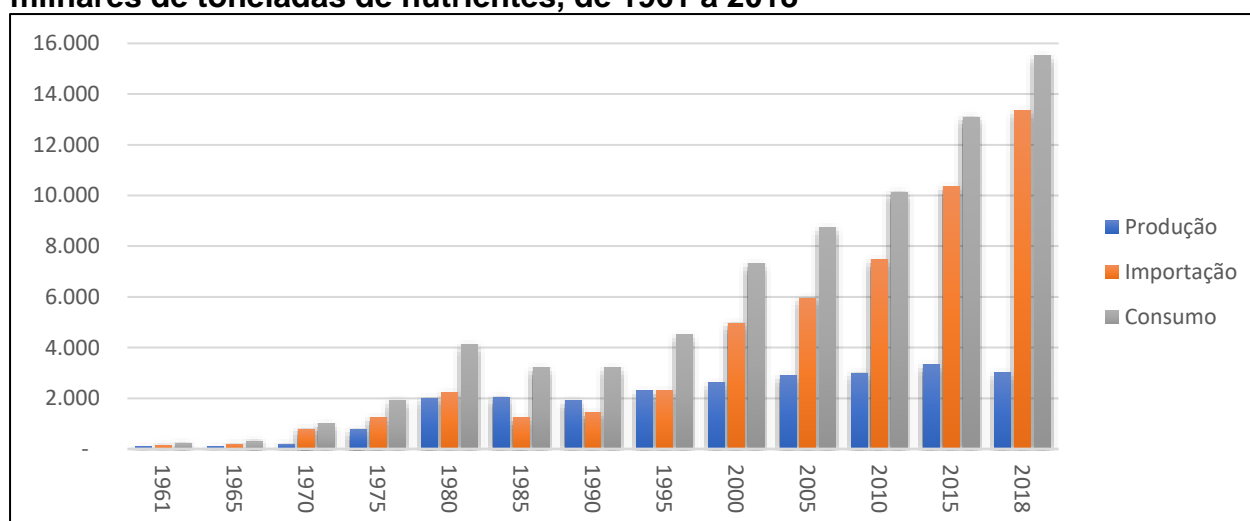
Nesse primeiro período formulava-se somente as misturas NPK com matérias primas importadas, condicionando o mercado brasileiro a esse tipo de formulação, dada a boa adaptação de seu uso no território nacional. Ao final da década de 50 já existiam no mercado interno empresas como a Trevo, fundada em 1930, Quimbrasil, fundada em 1945 e Fertisul, fundada em 1945 (DIAS e FERNANDES, 2006).

Uma vez que a produção nacional de matérias primas era limitada ao fornecimento existente de amônia, ácido nítrico, nitrato de amônio e nitrocálcio, fornecidos pela Petrobrás, e a descoberta de uma mina de fosfato em 1940 em Serrana (SP), durante a década de 60 o fornecimento dava-se majoritariamente via importações (CUNHA, 2017). Ainda na década de 60, foi criado o Sistema Nacional de Crédito Rural (1965), com o intuito de fornecer aos produtores oportunidades de investimento, inclusive em fertilizantes (Friedrich, 2012). No ano seguinte, com o advento do Fundo de Estímulo ao Uso do Fertilizante (FUNFERTIL), o governo brasileiro passa a absorver parcela do custo do fertilizante utilizado no campo, subsidiando a produção mediante juros e comissões (GONÇALVES *et al*, 2008). O FUNFERTIL acabou sendo substituído pelo Fundo Especial de Desenvolvimento Agrícola (FUNDAG) em 1970, com o objetivo de estimular o consumo de fertilizantes concedendo subsídios financeiros aos agricultores (FRIEDRICH, 2012).

A demanda nacional por fertilizantes teve um importante crescimento na década de 70, com o início da utilização de gás natural na produção de ureia e amônia devido a instalação da Nitrofertil nas cidades de Camaçari (BA) e Laranjeiras (SE), consolidando a indústria de nitrogenados no Brasil, conforme demonstrado na Figura 10 com dados da IFA (2021). O consumo de fertilizantes NPK saltou de 1 milhão de toneladas em 1970 para 4,1 milhões de toneladas em 1980, representando um crescimento de 24% na década.

A demanda ainda esbarrava em limitações da cadeia produtiva primariamente importadora, desafiada pelos custos crescentes de importação. Em prol de mitigar esses efeitos sob a oferta e a demanda nacional, o II Plano Nacional de Desenvolvimento instaurou o 1º Programa Nacional de Fertilizantes e Calcário Agrícola (PNFCA, 1974-1980), com investimentos estimados em US\$ 2,5 bilhões, propondo ampliar e modernizar a estrutura produtiva de fertilizantes. Durante o período do programa observou-se uma fase de substituição de importações, estimulando a instalação de diversos complexos industriais voltados ao mercado interno de matérias-primas e fertilizantes. O 1º PNFCA deu origem as unidades de mineração e concentração de rocha fosfática em Tapira (Minas Gerais) e Catalão (Goiás), criou o complexo industrial da Fosfertil em Uberaba (Minas Gerais), instalou unidades de fornecimento de ácidos sulfúrico e fosfórico em Imbituba (SC) e ajudou a criar ao menos sete indústrias de fertilizantes básicos (DIAS e FERNANDES, 2006).

Figura 10. Consumo, produção e importação de fertilizantes NPK no Brasil, em milhares de toneladas de nutrientes, de 1961 a 2018



Fonte: International Fertilizer Association - IFA (2021).

Outros projetos foram concretizados a partir da elaboração do 2º Plano Nacional de Fertilizantes (1987-1995) visando ampliar a capacidade interna de produção de fertilizantes. O 2º PNF ampliou a produção de rocha fosfática em Araxá e Tapira (Minas Gerais), e Jacupiranga (SP), promoveu a instalação de uma unidade de produção de SSP em São Paulo e instalou uma unidade de ácido nítrico em Cubatão (SP) (DIAS e FERNANDES, 2006).

Conforme aborda Friedrich (2012), na década de 90 apenas o setor produtivo tinha à disposição recursos para realizar investimentos, assim, o mercado adaptou-se para fornecer novas maneiras de financiar o produtor rural. Essa adaptação, impulsionada principalmente pelo setor privado, deu-se com a entrada de multinacionais do agronegócio como comercializadoras de grãos e empresas consolidadas globalmente na fabricação e comercialização de fertilizantes. Assim, financiava-se o agricultor com capital privado próprio, enquanto este fornecia garantias de pagamento a dívidas correntes em troca das colheitas futuras. O agricultor também dispunha de novos títulos de crédito que proporcionaram maior agilidade e segurança ao processo de financiamento de sua produção, como a Cédula Produtor Rural instaurada em 1994, e da CPR financeira instaurada em 2001.

De acordo com Saab e Paula (2008), a produção nacional de fosfatados atende cerca de 50% das necessidades do país, com forte dependência da indústria de fertilizantes por importações de enxofre, uma vez que a capacidade produtiva instalada pela Petrobrás atende apenas 7% da demanda interna, com praticamente toda utilização de enxofre na produção de fertilizantes advinda de importações. A oferta de ácido sulfúrico, porém, é suficiente para atender a demanda interna. As reservas de potássio em Taquari/Vassouras-SE eram exploradas pela Companhia Vale do Rio Doce, sendo a única empresa produtora de potássio no país desde 1991. (SAAB e PAULA, 2008). Em 2018, a empresa americana Mosaic S.A. adquiriu parte da divisão de fertilizantes da Vale, incluindo sua produção de fosfatados e potássicos no Brasil, a participação na mina de rocha fosfática de Bayóvar no Peru, com capacidade produtiva de 3,9 milhões de toneladas por ano, e no projeto de potássio canadense, em Kronau (Vale, 2018).

A Petrobrás concluiu em 2020 a transmissão de posse para o arrendamento de suas unidades produtivas de fertilizantes nitrogenados para a Proquigel Química. A unidade Fafen-BA tem capacidade produtiva suficiente para produzir mil e trezentas toneladas de ureia por dia. A unidade da Fafen-SE, também transferida para a

Proquigel, tem capacidade de produzir mil e oitocentas toneladas de ureia por dia, com capacidade de comercializar amônia, gás carbônico e sulfato de amônia (Petrobrás, 2020).

O elo final da produção e comercialização dos fertilizantes abrange as empresas misturadoras, responsáveis por fabricar os fertilizantes formulados, que são comercializados por intermédio dos distribuidores que comercializam o produto ao agricultor. As principais empresas desse setor são a Heringer, Mosaic, Yara e Fertipar (CRUZ, PEREIRA e FIGUEIREDO, 2017).

De todo o consumo interno de fertilizantes no Brasil, aproximadamente 30% é produzido nacionalmente, com o restante da demanda sendo suprida via importações, tornando-a suscetível a condições de fornecimento global e sujeita à gargalos fiscais e estruturais, como a baixa manutenção de estradas e rodovias e também a baixa profundidade e número de equipamentos nos portos para atender picos inesperados de importações. (INÁCIO 2013, citado em AMORIM *et al.*, 2018).

Observando as informações da AMA (2021) na Tabela 1 que apresenta os dados de importação e produção nacional para cada tipo de fertilizante para os anos de 2010, 2015 e 2018, pode-se verificar que o único fertilizante que o Brasil produz significativamente mais do que importa é o superfosfato simples (SSP), que em 2010 apresentou produção nacional dezesseis vezes maior do que a quantidade importada.

Tabela 1. Produção e importação de fertilizantes no Brasil, em milhares de toneladas de produto, por tipo de fertilizante, 2010, 2015 e 2018

	2010		2015		2018	
Produto	Importado	Nacional	Importado	Nacional	Importado	Nacional
SA	1.540	264	1.725	255	2.115	191
Ureia	2.510	815	3.111	1.027	4.877	643
NA	966	251	1.116	288	971	263
SSP	312	5.034	563	4.780	1.030	4.280
TSP	972	886	867	859	908	920
MAP	1.142	1.047	2.340	1.220	3.150	1.221
DAP	368	0	395	0	315	0
KCL	6.158	664	8.325	481	10.010	343
Outros	1.345	379	2.645	205	4.120	308
Total	15.313	9.340	21.087	9.115	27.496	8.169

Fonte: Associação dos Misturadores de Adubo do Brasil – AMA Brasil (2021).

Ainda conforme a Tabela 1, essa relação importação/produção se deteriorou no decorrer da década de 2010, para uma relação de cerca de oito a quatro vezes, para os demais anos apresentados. Para os demais, o Brasil chega a produzir praticamente a mesma quantidade importada de superfosfato triplo (TSP) nos 3 anos apresentados na Tabela 1, ao passo que aparenta grande dependência do restante.

Os dados da IFA (2021) na Tabela 2 demonstram que a produção de fertilizantes NPK no Brasil cresceu aproximadamente 50% ao comparar os anos de 1980 e 2018, ao passo que o consumo apresentou crescimento de 277% no mesmo período. Isto demonstra que mesmo considerando o estabelecimento da indústria em território nacional, a razão entre importação e consumo apresenta deterioração significativa, principalmente a partir da década de 90, mostrando a dependência externa do país no fornecimento de adubos, com 86% do total de fertilizantes consumidos no país para o ano de 2018 sendo importado.

Tabela 2. Produção, importação e exportação e consumo e percentual do consumo advindo de importações para fertilizantes NPK no Brasil, em milhares de toneladas de nutrientes, de 1961 a 2018

Ano	Produção	Importação	Exportação	Consumo	Importação/Consumo
1961	94	144	0	228	63%
1965	97	182	0	290	63%
1970	192	777	0	999	78%
1975	757	1.236	0	1.910	65%
1980	2.008	2.215	4	4.118	54%
1985	2.034	1.224	6	3.194	38%
1990	1.896	1.436	114	3.208	45%
1995	2.288	2.309	103	4.516	51%
2000	2.622	4.963	153	7.302	68%
2005	2.899	5.944	244	8.720	68%
2010	2.995	7.461	210	10.133	74%
2015	3.317	10.337	221	13.096	79%
2018	3.000	13.339	159	15.507	86%

Fonte: International Fertilizer Association - IFA (2021).

Conforme afirmam Cella e Rossi (2010), o mercado brasileiro de fertilizantes é tomador de preços, operando como qualquer outro mercado de *commodities*, com flutuações alinhadas com as variações de oferta e demanda, com preços fornecidos pelo mercado internacional, e conseqüentemente, exposto às volatilidades do mercado externo. Os autores também afirmam a interferência sobre os preços devido

à concentração da demanda nas regiões produtivas distantes, especificamente o centro-oeste, gerando problemas logísticos que corroboram com o aumento no frete e, conseqüentemente, aumentam o preço dos fertilizantes. A distribuição das entregas de fertilizantes ao consumidor final, por região geográfica do Brasil encontra-se na Tabela 3, corroborando com a afirmação do autor ao demonstrar que em 2018. Dos 35,5 milhões de toneladas entregues ao consumidor final, 35% foram na região Centro-Oeste, com 28% na região Sul, seguido pelo Sudeste (23%), Nordeste (11%) e Norte (4%) (IFA, 2021).

Marconato (2012, citado em AMORIM *et al.*, 2018) destaca que a distância percorrida no transporte dos fertilizantes faz com que o frete componha uma significativa parcela de seu preço final, com as incidências de impostos sobre a circulação de mercadorias e também sobre o valor do frete marítimo também contribuindo para o aumento do preço do produto (ABMRA, citado em AMORIM *et al.*, 2018).

Amorim *et al.* (2018) destacam que a maior parte da comercialização e utilização dos fertilizantes (cerca de 60% do volume anual) se dá no segundo semestre devido à sazonalidade causada pelo plantio da safra verão de grãos, com mais da metade da demanda nacional sendo direcionada para as culturas de milho e soja.

Tabela 3. Entrega de fertilizantes ao consumidor final em milhares de toneladas de produto, por região do Brasil, 2010 a 2018

Ano	Sul	Centro-Oeste	Sudeste	Norte	Nordeste	Brasil
2010	6.756	7.283	7.010	465	3.001	24.515
2011	7.552	8.612	8.204	643	3.315	28.326
2012	7.705	9.381	8.155	832	3.463	29.536
2013	8.552	9.845	7.842	1.021	3.440	30.700
2014	8.778	10.535	8.044	1.174	3.678	32.209
2015	8.235	10.251	7.399	1.170	3.146	30.201
2016	9.421	11.648	8.505	1.281	3.228	34.083
2017	9.191	11.793	8.760	1.246	3.448	34.438
2018	9.817	12.523	8.046	1.348	3.772	35.506

Fonte: Associação dos Misturadores de Adubo do Brasil – AMA Brasil (2021).

Boteon e Lacerda (2009), citado por Cella e Rossi (2010), definem em seu estudo os principais fatores que aumentaram o preço dos fertilizantes no Brasil em 2009, sendo eles: as imposições protecionistas da China ao aumentar a tributação

sobre a exportação de matéria prima em 135% a fim de incentivar a oferta local, o aumento do preço do barril de petróleo que encarece o custo do frete e o aumento no consumo de alimentos em países em desenvolvimento, fruto do crescimento econômico mundial.

Heberli *et al.* (2008) apontam como fatores que interferem no mercado dos fertilizantes a sazonalidade dos cultivos e a análise de tendências de mercado, uma vez que são fatores determinantes do início do processo produtivo, que começa com a extração das matérias primas para que se tenha disponível a quantidade necessária a fim de suprir a demanda por produtos finais transformados.

Tabela 4. Entrega de fertilizantes em milhares de toneladas de produto, por cultivo no Brasil, 2010 a 2018

Ano	Soja	Milho	Cana-de-açúcar	Café	Algodão	Outros	Total
2010	8.507	3.792	3.662	1.530	1.266	5.759	24.516
2011	9.602	4.977	4.228	1.863	1.584	6.072	28.326
2012	10.763	5.281	4.232	1.848	1.126	6.287	29.537
2013	11.930	5.422	4.586	1.565	1.104	6.475	31.082
2014	13.028	5.384	4.417	1.743	1.171	6.466	32.209
2015	12.842	4.743	3.926	1.674	995	6.022	30.202
2016	14.562	6.079	4.427	1.911	954	6.150	34.083
2017	14.947	5.619	4.682	2.026	1.137	6.028	34.439
2018	15.478	5.426	4.218	1.712	1.716	6.956	35.506

Fonte: Associação dos Misturadores de Adubo do Brasil – AMA Brasil (2021).

Os dados da AMA (2021), apresentados na Tabela 4, trazem a entrega de fertilizantes para as culturas que mais demandaram o uso desse insumo no Brasil e a evolução do consumo de 2010 a 2018. A cultura da soja é a que mais demanda o insumo, com 35% do total de entregas destinadas a essa cultura no ano de 2010, crescendo para uma representatividade de 44% no ano de 2018, superando em todos os anos observados o consumo somado das outras culturas não especificadas na Tabela 4. As duas outras culturas para quais se destinaram maiores entregas de adubos foram a do milho e a da cana-de-açúcar, com 15% e 12% das entregas destinadas à estas no ano de 2018. Somadas, as três principais culturas demandaram 65% do total de fertilizantes no ano de 2010, saltando para uma participação combinada de 71% do total no ano de 2018.

Tabela 5. Gastos com fertilizantes e defensivos no total de despesas com custeio da lavoura em R\$/ha, para as culturas com maior demanda, 2010 a 2018

Ano	Soja			Milho			Cana-de-açúcar		
	Total	Fert.	Def.	Total	Fert.	Def.	Total	Fert.	Def.
2010	1.452,4	535,3	391,1	1.922,7	888,2	268,7	-	-	-
2011	1.423,5	601,4	259,7	2.135,1	1.044,2	245,8	2.588,1	819,2	260,7
2012	1.485,6	722,4	255,0	2.230,4	1.184,7	278,0	2.316,0	757,7	241,1
2013	1.364,7	674,4	270,8	2.407,9	980,2	292,6	2.890,1	965,1	258,1
2014	2.249,5	875,7	1.038,4	2.320,2	952,1	313,5	2.797,4	886,0	265,2
2015	2.717,5	1.111,8	1.217,0	2.187,6	785,1	540,0	2.395,1	679,6	311,0
2016	2.376,9	906,3	1.097,2	2.095,6	710,1	537,1	2.580,3	808,0	257,5
2017	2.297,3	849,7	1.036,3	2.233,8	712,2	537,7	2.533,2	673,5	377,0
2018	2.096,1	795,8	893,8	2.040,4	680,9	471,1	2.385,5	636,1	308,7

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, (2021). Valores deflacionados para dez/2018 pelo IGP-DI FGV.

¹Soja: custo de produção estimado para produção em Primavera do Leste-MT.

²Milho: custo de produção estimado para produção em Campo Mourão-PR.

³Cana-de-açúcar: custo de produção estimado para produção em Penápolis-SP.

Os dados da CONAB (2021) apresentados na Tabela 5 demonstram as despesas com fertilizantes e defensivos no custeio total da lavoura. O total demonstrado em Reais por hectare agrupam despesas com mão-de-obra fixa e temporária, operações com maquinários e animais, sementes, fertilizantes, defensivos e outras despesas administrativas. No ano de 2018, os gastos com fertilizantes representaram 38%, 33% e 27% do total para as culturas da soja, milho e cana-de-açúcar, respectivamente. Os gastos com outros defensivos mantiveram-se abaixo do despendido com fertilizantes, com exceção da soja que a partir de 2014 apresentou maiores gastos com defensivos na composição do total gasto por hectare no custeio da lavoura.

Tabela 6. Relação de troca entre produção da lavoura e fertilizantes para culturas selecionadas no Brasil, em sacos de 60kg por tonelada de fertilizantes para Soja e Milho e em toneladas de cana-de-açúcar por tonelada de fertilizante, 1990 a 2020

Ano	Soja¹	Milho²	Cana-de-açúcar³
1990	34	33	28
1995	26	33	24
2000	30	32	29
2005	33	45	38
2010	26	52	34
2015	26	58	32
2018	24	47	31
2020	20	31	25
Média	27	41	30

Fonte: Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, (2021).

¹Soja: relação de troca entre sacos de 60kg por tonelada de adubo 04-30-16.

²Milho: relação de troca entre sacos de 60kg por tonelada de adubo 04-14-08.

³Cana-de-açúcar: relação de troca entre toneladas por tonelada de adubo 20-05-20.

Na Tabela 6 são apresentadas as relações de troca observadas para as culturas selecionadas no período de 1990 a 2020 por meio de dados da CONAB (2021). Em média, a relação de troca entre uma tonelada de fertilizantes e sacos de 60kg de soja foi de 27 sacos para uma tonelada do produto, ao passo que se trocou 41 sacos de milho pela mesma tonelada de fertilizante, com 30 toneladas de cana-de-açúcar necessárias para a conversão em uma tonelada de fertilizante.

Para Cruz, Pereira e Figueiredo (2017), a pujança e competitividade do agronegócio somados às restrições estruturais da indústria produtiva são os fatos causadores do déficit estrutural na demanda por macronutrientes no Brasil. Os autores afirmam que:

[...] a abundante produção de resíduos por alguns setores do agronegócio possibilita que os nutrientes presentes nesses rejeitos possam ser reaproveitados, reduzindo, assim, a destinação ambientalmente incorreta e atribuindo maior contorno de economia circular ao agronegócio brasileiro. A produção de resíduos dos setores sucroalcooleiro, bovino, suíno e avicultor de corte poderia suprir, aproximadamente, metade da demanda de macronutrientes brasileira em um cenário hipotético de aproveitamento de todos os resíduos gerados por esses segmentos. Apenas a conversão dos nutrientes presentes nos segmentos que apresentam menos desafios logísticos (sucroalcooleiro, suíno e avicultor de corte) representaria um mercado potencial superior a US\$ 1 bilhão anuais (CRUZ, PEREIRA e FIGUEIREDO, 2017, n.p).

4. TRABALHOS SELECIONADOS ABORDANDO A DEMANDA POR FERTILIZANTES

Esta seção faz uma síntese dos principais estudos publicados no Brasil e no mundo que versam sobre a demanda por fertilizantes. Os trabalhos revisados serão apresentados em ordem cronológica.

4.1 Estudos selecionados abordando a demanda por fertilizantes no mundo

O estudo de Griliches (1958), citado por Friedrich (2012), estima pela técnica de mínimos quadrados um modelo econométrico com a demanda por fertilizantes sendo esta uma função do logaritmo do preço do fertilizante, da relação entre o preço do fertilizante e o preço recebido pelos produtos agrícolas, também em forma logarítmica e uma variável de ajuste ao desequilíbrio. Os resultados do modelo demonstram a existência de uma demanda inelástica em relação a variações nos preços do fertilizante, com coeficiente de -0,5, porém elástica no longo prazo, com coeficiente de -2,0. O coeficiente do ajustamento do modelo é de 0,25, indicando que o retorno ao equilíbrio acontece 25% dentro do período de um ano.

Hsu (1972), citado por Friedrich (2012), estimou a demanda por fertilizantes frente a variações nos preços relativos de Taiwan, para o período de 1950 a 1966. Em seu trabalho, o autor dá destaque ao fato de que o governo Taiwanês distribuía adubo em troca de parte da produção de arroz dos agricultores, com os fertilizantes nitrogenados sendo o principal insumo aplicado nessa cultura. Para tal, Hsu (1972 *apud* Friedrich, 2012) utiliza as seguintes variáveis em suas formas logarítmicas no modelo: relação entre preço do fertilizante nitrogenado e preço do arroz, quantidade produzida de arroz no ano $n-1$ e uma variável expressando o tempo. Estima-se então uma elasticidade-preço de -0,55, com a elasticidade referente à produção em $n-1$ de 1,49. Também se aplicou a técnica de modelo de ajustamento, com resultados significativamente melhores, com o preço apresentando coeficiente de -2,02 e -2,96 no curto e longo prazo, respectivamente.

Gunjal *et al.* (1980) centralizam a elaboração do seu trabalho a partir da afirmação que o agricultor toma a decisão de adquirir fertilizantes para aplicação em suas lavouras levando em conta a cultura a ser produzida e a relação de troca da produção esperada e o fertilizante. Assim, os autores estimam demandas distintas

para culturas de pastagem e outras culturas como soja, algodão e trigo, utilizando como variáveis dependentes em t no modelo o índice de preços dos fertilizantes, o estoque de capital agregado por cultura, um índice de relação entre o preço do fertilizante e da produção e uma variável temporal de *trend*. Em $t-1$ foram utilizadas as relações entre despesa com fertilizantes e área colhida, receita da produção e área colhida e o preço de cada cultura. Estatisticamente, apenas as regressões por MQO se mostraram significativas, com elasticidades-preço de -0,9 (pastagem), -0,99 (trigo), -0,62 (soja), -0,31 (algodão) e -0,83 (tabaco).

A obra de Burrell (1989), citado por Nicolella *et al.* (2005), tem como objetivo o estudo dos efeitos de aplicações de taxas na comercialização de fertilizantes nitrogenados em sua demanda. O autor faz uso de modelos de equações simples com variáveis logaritmizadas, sendo elas o preço dos fertilizantes nitrogenados, o valor esperado das produções das culturas de solo, leite e da pecuária e uma variável de tendência para captar os efeitos da evolução tecnológica. Os resultados do modelo econométrico demonstram significativa participação no longo prazo da variável de tendência na demanda por fertilizantes, bem como variações no preço do fertilizante nitrogenado, com coeficientes entre 0,40 e -0,64.

No trabalho de Denbaly e Vroomen (1993), citado por Nicolella *et al.* (2005), aborda-se a questão da natureza dinâmica da demanda por adubos, até então pouco tratada na literatura. Para tal, os autores analisaram a demanda por fertilizantes na cultura do milho nos Estados Unidos no período de 1964 a 1989, aplicando uma modelagem dinâmica de cointegração e vetores de correção de erros. A dinâmica de equilíbrio de longo prazo entre as séries do modelo é analisada com o uso do teste de cointegração de Johansen, relacionando a tendência com o uso do coeficiente de ajustamento de curto-prazo. As variáveis utilizadas no modelo foram o preço do fertilizante e índices de arrendamento de terra e de salários dos agricultores. Os resultados do modelo demonstraram coeficientes de -0,21 (N), -0,25 (P) e -0,19 (K) no curto prazo, com os coeficientes de longo prazo de -0,41 (N), -0,37 (P) e -0,31 (K), evidenciando a inelasticidade-preço da demanda frente a variações nos preços dos fertilizantes.

Mergos e Stoforos (1997) analisaram as elasticidades-preço da demanda por fertilizantes na Grécia no período de 1961 a 1993. Aplicando a mesma técnica econométrica de análise de cointegração e vetores de correção de erros, encontrada também em Denbaly e Vroomen (1993, *apud* Nicolella *et al.*, 2005), os autores

utilizaram as variáveis índice de preços dos fertilizantes, o valor do trabalho, o valor recebido pelas culturas e o preço de produtos de origem animal. Ademais, os autores incluem na modelagem variáveis de caráter estrutural, sendo elas um índice de expansão de uso de irrigação, um índice de fatores climáticos e uma variável binária (ou *dummy*) com papel de capturar os efeitos da entrada do país na União Europeia (1980) e da conseqüente liberação de mercado (1993), com a análise de cointegração confirmando a relação de interação entre a demanda e as variáveis escolhidas no longo prazo. Os resultados do modelo apontaram para elasticidade da demanda por fertilizantes no longo prazo frente a variações no valor recebido pelas culturas produtivas, e para uma inelasticidade tanto no curto prazo, como no longo prazo para as outras variáveis incluídas no modelo. O preço dos fertilizantes apresentou coeficientes de elasticidade de -0,36 (CP) e -0,81 (LP).

Quddus *et al.* (2008) estimaram a equação da demanda por fertilizantes N, P e K, separadamente, no período de 1970 a 2001 no Paquistão por intermédio de uma função lucro, tendo como ponto de partida uma equação de produção de Cobb-Douglas. As variáveis determinísticas da demanda por fertilizantes, estimadas pelo método de mínimos quadrados ordinários, foram a relação do índice de preços de fertilizantes e das cinco principais culturas abordadas no estudo, a receita da agricultura no ano $n-1$, a área colhida, o acesso à irrigação, a área de produção e uma variável *trend*. Quddus *et al.* (2008) também fizeram uso de modelagem dinâmica de Nerlove, encontrando elasticidades-preço de -0,42 (N), -0,66 (P) e -2,68 (K) no modelo convencional, com o modelo dinâmico apresentando coeficientes de curto e longo prazo de -0,14 e -0,40 (N), -0,35 e -0,68 (P) e -1,86 e -3,26 (K). Os coeficientes de ajustamento do modelo de Nerlove foram de 0,35 (N), 0,51 (P) e -0,51 (K).

Por fim, o trabalho de Okoroafor *et al.* (2010) empregou o uso de séries temporais para o período de 1970 a 2005 para estimar as elasticidades-preço relativas da demanda por fertilizantes na Nigéria, utilizando uma relação de preços dos fertilizantes com os preços recebidos pela produção de mandioca. A abordagem econométrica utilizada foi a de modelos autorregressivos de defasagem distribuída, com vetores de correção de erros (ARDL-ECM), para as seguintes variáveis: consumo de fertilizantes, consumo de fertilizantes no ano $n-1$, quociente entre os preços relativos de fertilizantes, quociente entre preços relativos dos fertilizantes no ano $n-1$, área irrigada, a área plantada com mandioca, crédito rural, número de tratores empregados na produção, quantidade de chuva, a taxa de câmbio entre a

moeda local e o dólar americano e uma variável *dummy* para a presença ou ausência de subsídios aos fertilizantes. Os resultados apontaram para potencial elasticidade-preço nos curto e longo prazos relacionados ao preço da mandioca, com coeficientes de -0,23 (CP) e -0,60 (LP). O coeficiente de ajustamento encontrado pelos autores indica que o uso de fertilizantes responde de maneira lenta em mudanças e choques nas variáveis determinísticas, com velocidade de ajuste de 22% (-0,22). A Tabela 7 resume os resultados e as principais informações sobre os estudos apresentados que abordam a demanda por fertilizante no mundo e a elasticidades-preço da demanda por fertilizantes encontradas nas estimações realizadas.

Tabela 7. Trabalhos que abordam a demanda por fertilizante no mundo e elasticidades-preço da demanda por fertilizantes

Autor	País	Fertilizante	Período	Elasticidade-Preço	
				CP	LP
Griliches (1958)	Estados Unidos	NPK	1911-56	-0,5	-2
Hsu (1972)	Taiwan	N	1950-66	-2,02	-2,96
Gunjal <i>et al.</i> (1980)	Estados Unidos	NPK	1952-76		-0,31 a -0,99
Burrell (1989)	Inglaterra	N, NPK	1964-84		-0,40 a -0,64
Denbaly e Vroomen (1993)	Estados Unidos	N, P, K	1964-89	-0,21/-0,25/-0,19	-0,41/-0,37/-0,31
Mergos e Stoforos (1997)	Grécia	NPK	1961-93	-0,36	-0,81
Quddus <i>et al.</i> (2008)	Paquistão	N, P e K	1970-2001	-0,14/-0,35/-1,85	-0,40/-0,68/-3,26
Okoroafor <i>et al.</i> (2010)	Nigéria	NPK	1970-2005	-0,23	-0,60

Fonte: Elaboração própria baseado em Nicolella *et al.* (2005) e Friedrich (2012).

4.2 Estudos selecionados abordando a demanda por fertilizantes no Brasil

O trabalho elaborado por Cibantos (1972), citado por Nicolella *et al.* (2005), para o estado de São Paulo teve como objetivo analisar a demanda por fertilizantes no período de 1948 para 1971. O autor visa testar a hipótese de que o crescimento no consumo de fertilizantes no período foi causado frente reduções do preço relativo dos insumos aos recebidos pelos produtores. Cibantos (1972 *apud* Nicolella, 2005) adota dois modelos lineares logarítmicos, um tradicional de demanda e um de

ajustamento de Nerlove. As variáveis utilizadas no modelo foram o índice de preços do fertilizante, o índice de área colhida, o índice de rendimento das culturas no ano $n-1$ e uma variável retratando o tempo. O trabalho utilizou dados das dezessete principais culturas do estado no período. O modelo de defasagens distribuídas retornou os melhores resultados estatísticos, com a melhor equação utilizando as variáveis o índice de preços deflacionados do fertilizante e a variável dependente, observada no ano $n-1$. Assim, o resultado da elasticidade preço de curto prazo foi de -0,24, e a de longo prazo -2,48, com um coeficiente de ajustamento de 0,10.

O estudo de Pescarin (1974), citado por Friedrich (2012), teve como objetivo a análise da demanda por fertilizantes no estado de São Paulo, no período de 1948 a 1972, para os compostos N, P e K, separadamente. Foram utilizados dois modelos econométricos, um seguindo a metodologia tradicional e outro com defasagens distribuídas. As variáveis utilizadas no modelo foram o consumo de fertilizantes no ano $n-1$, o índice de preços para cada nutriente, a área colhida para as principais culturas do estado e seus respectivos rendimentos médios, os preços recebidos pelo produtor, os preços pagos por outros insumos, uma variável *dummy* significando a disponibilidade de crédito rural e uma variável de tendência. As variáveis que apresentaram significância estatística foram:

- Fertilizantes nitrogenados (N): consumo no período defasado em um ano, preço do fertilizante, a variável *dummy* de crédito, a variável de tendência, a área colhida e o preço de outros insumos. Modelo tradicional: elasticidade-preço de curto prazo -0,67. Modelo de defasagens distribuídas: -0,47 para curto prazo e para longo prazo o coeficiente de -1,11, com coeficiente de ajustamento de 0,43.
- Fertilizantes fosfatados (P): área colhida, *dummy* de crédito, consumo no período defasado em um ano e preço do fertilizante. Modelo tradicional: elasticidade-preço de curto prazo -0,42. Modelo de defasagens distribuídas: elasticidade-preço de curto prazo -0,31, com a de longo prazo de -0,76, com coeficiente de ajustamento de 0,41.
- Fertilizantes potássicos (K): consumo no período defasado em um ano, área colhida e *dummy* de crédito. Modelo de defasagens distribuídas: -0,30 para o curto prazo e -0,59 para longo prazo, com coeficiente de ajustamento de 0,51.

Carmo (1982), citado por Friedrich (2012), elaborou seu trabalho analisando a demanda por fertilizantes para o Brasil e para as regiões brasileiras no período de 1954 a 1979. De acordo com Carmo (1982 *apud* Friedrich, 2012) utilizou-se da

mesma estratégia econométrica de Cibantos (1972 *apud* Friedrich, 2012) e Pescarin (1974 *apud* Friedrich, 2012), empregando o modelo de mínimos quadrados tradicional e um modelo de defasagens distribuídas. As variáveis que explicaram a demanda por fertilizantes utilizadas pelo autor foram o preço do fertilizante, o índice de preços recebidos pelo agricultor, o valor da produção agrícola, a área colhida para as treze principais culturas que mais demandaram fertilizantes no período em análise, a oferta de crédito rural, o consumo de fertilizantes no ano $n-1$, uma variável *dummy* para a presença ou ausência de políticas de crédito rural e uma variável de tendência. Os resultados para os fertilizantes NPK no modelo tradicional para as regiões foram -0,70 (Sul), -0,35 (Centro) e -0,57 (Norte e Nordeste). Para o Brasil, o modelo resultou em -0,70. No modelo de defasagens distribuídas obtiveram-se os resultados -0,51 (Sul), -0,24 (Centro), -0,42 (Norte e Nordeste) e -0,23 (Brasil), com coeficientes de ajustamentos das regiões entre 0,21 e 0,25 (Sul), entre 0,60 e 0,66 (Centro) e entre 0,37 e 0,38 (Norte e Nordeste).

Nicolella *etal.* (2005) estimaram os determinantes de curto e longo prazo para a demanda nacional por fertilizantes para o período de 1970 a 2002. As variáveis incluídas no modelo em sua forma logarítmica foram: preço do fertilizante, crédito rural, área colhida para as principais 38 culturas e o índice de preços pagos ao agricultor. Como a variável representando a área colhida apresentou multicolinearidade no modelo, foi incluída uma variável *dummy* a partir de 1990 para isolar mudanças no padrão de consumo. Então, utilizando-se de uma regressão por mínimos quadrados, os preços do fertilizante e o crédito rural apresentaram inelasticidades no longo prazo, com coeficientes de -0,65 e 0,25, respectivamente.

Profeta e Braga (2009) utilizaram a metodologia descrita na Nova Organização Industrial Empírica, com as seguintes variáveis explicativas no modelo MQ2E: preços do fertilizante em *log*, operações contratadas de crédito rural em *log*, preços e exportações agrícolas em *log*, uma *dummy* representando a mudança cambial de 1999 e outra *dummy* de sazonalidade. A variável *log* de preços apresentou coeficiente elástico de -2,279.

O estudo de Friedrich (2012) adotou um modelo econométrico de séries temporais, utilizando-se da modelagem de vetores autorregressivos e de cointegração, para analisar a demanda por fertilizantes no Brasil e nas regiões brasileiras, somando-se o estudo da existência de ciclos contemporâneos entre as três regiões, no período de 1970 a 2010. As variáveis explicativas utilizadas por

Friedrich (2012) foram o consumo de fertilizantes, a área colhida, o crédito rural, o preço do fertilizante e o índice de preços pagos ao produtor rural. Os resultados obtidos por Friedrich (2012) confirmam àqueles encontrados por Nicolella *et al* (2005), com a elasticidade-preço da demanda nacional apresentando coeficiente de -0,99. Ademais, a variável IPR apresentou coeficiente de 0,96, e a variável área um coeficiente altamente elástico de 2,31.

A Tabela 8 resume os estudos apresentados que abordam a demanda por fertilizante no Brasil e a elasticidades-preço da demanda por fertilizantes encontradas nas estimações realizadas.

Tabela 8. Trabalhos que abordam a demanda por fertilizante no Brasil e elasticidades-preço da demanda por fertilizantes

Autor	Região	Fertilizante	Período	Elasticidade-Preço	
				CP	LP
Cibantos (1972)	São Paulo	NPK	1948-1971		-0,24
Pescarin (1974)	São Paulo	N, P, K	1948-1972		-0,47/-0,31/-0,3
Carmo (1982)	3 Estados e Brasil	N, P, K	1954-1979	-0,2	-0,7
Nicolella <i>et al.</i> (2005)	Brasil	NPK	1970-2002		-0,65
Profeta e Braga (2009)	Brasil	NPK	1993-2006		-2,27
Friedrich (2012)	Regional/Brasil	NPK	1970-2010		-1,10 (Sul) -0,90 (Centro) -1,13 (Norte/Nordeste) -0,99 (Brasil)

Fonte: Elaboração própria baseado em Nicolella *et al.* (2005) e Friedrich (2012).

5. METODOLOGIA E BASE DE DADOS

5.1 Abordagem econométrica

Com base na revisão de literatura, o presente trabalho aplica uma modelagem econométrica com base na teoria de séries temporais, apoiando-se nos modelos de vetores autorregressivos e na análise de cointegração. Assim, a discussão dos resultados abordados no capítulo seguinte, embasou-se na melhor prática para obtenção dos estimadores lineares não-viesados e atentando-se aos testes necessários para adequação do modelo. Na sequência, apresenta-se a descrição dos testes e análises a serem realizados, seguindo descrição apresentada por Gujarati (2006).

5.1.1 Teste Dickey-Fuller Aumentado (ADF)

Para testar a presença de raiz unitária, característica de séries não estacionárias, utiliza-se o teste Dickey-Fuller Aumentado (ADF). Para tanto, empregam-se as expressões (1), (2) e (3) (Gujarati, 2006).

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \sum_{j=1}^p (\delta_j \Delta y_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\Delta y_t = \alpha + \gamma y_{t-1} + \sum_{j=1}^p (\delta_j \Delta y_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\Delta y_t = \alpha + \beta t + \gamma y_{t-1} + \sum_{j=1}^p (\delta_j \Delta y_{t-j}) + \varepsilon_t \quad (3)$$

A primeira expressão considera a inexistência de *drift* e tendência, a segunda expressão considera apenas a presença de *drift* e a terceira considera tanto a presença de *drift* quanto de tendência. De acordo com Gujarati (2006), o teste de hipóteses consiste em $H_0: \gamma = 0$ (série não estacionária, $\rho=1$, presença de raiz unitária) e $H_1: \gamma < 0$ (série estacionária, $\rho < 1$, ausência de raiz unitária). A regra de decisão do teste é estabelecida pelo critério de rejeição, $T_{\text{calc}} < T_{\text{vc}}$, rejeita-se H_0 , sendo que $T_{\text{calc}} = \frac{\hat{\gamma}}{s(\hat{\gamma})}$ e T_{vc} são valores críticos pré-definidos tabelados.

5.1.2 Modelo de vetores autorregressivos (VAR)

A equação de um modelo VAR consiste nas relações entre as variáveis endógenas. Os choques impactam separadamente cada uma das variáveis endógenas. Os choques estruturais são captados pela matriz A, por isso podem ser considerados independentes entre si. O objetivo do VAR é desenvolver técnicas para evitar a correlação das variáveis com os erros, visando encontrar a trajetória da de variável de interesse ante um choque estrutural. A forma utilizada no presente trabalho foi de um VAR padrão, a estrutura da matriz A é feita exclusivamente por modelos matemáticos.

Entre os modelos matemáticos, foi utilizado o método da decomposição de Cholesky. O método, porém, impõe uma estrutura recursiva da matriz A, com os coeficientes do triângulo inferior assumindo valores iguais a zero, isto é, determina que a primeira variável não seja afetada contemporaneamente pelas outras variáveis demais e que a segunda seja afetada apenas pela primeira, e assim por diante.

A forma matemática de um modelo VAR é descrita pela expressão (8) (Gujarati, 2006).

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_n y_{t-n} + B x_t + \varepsilon_t \quad (8)$$

Na qual:

y_t : vetor de variável endógena;

x_t : vetor de variável exógena;

A_1, A_2, \dots, A_n : matriz dos coeficientes a serem estimados e

t : vetor de inovações auto correlacionado.

As variáveis defasadas entram como as variáveis explicativas do modelo, sendo que no período t são dependentes e, no período $t - n$ são independentes, principal característica de Modelos de Vetores Autorregressivos. A análise da função impulso resposta demonstra o comportamento futuro de uma variável do modelo, dado um choque estrutural (Gujarati, 2006).

5.1.3 Função de impulso-resposta

De acordo com Gujarati (2006), a análise da função de impulso-resposta permite a visualização das variáveis de um vetor, z_t , aos choques provocados no modelo. Para isso, é necessário a representação do modelo de vetores autorregressivos em vetores de médias móveis (VMA), adicionando uma variável dinâmica na trajetória das variáveis do modelo.

Sendo VAR: $z_t = A_0 + A_1 y_{t-1} + e_t$, obtém-se um VMA (∞), conforme expressão (9) (Gujarati, 2006).

$$Z_t = \mu + e_t + \psi_1 e_{t-1} + \psi_2 e_{t-2} + \dots \equiv \mu_t + \psi(L)e_t \quad (9)$$

Com:

$\mu = (I_n - A_1 - A_2 - \dots - A_p)^{-1} A_0$ com n variáveis e p defasagens e

$$\psi(L) = [A(L)]^{-1}.$$

Os coeficientes encontrados para $\psi_{(i)}$ são os multiplicadores de impactos. São estes que simulam os efeitos dos choques em μ_i e em z_t . A fim de não incorrer em problemas de identificação do modelo, aplica-se a decomposição dos resíduos de Cholesky, transformando a diagonal superior da matriz de covariância em valores nulos (Gujarati, 2006).

5.1.4 Cointegração

De acordo com Gujarati (2006), em um modelo multivariado, a combinação de séries não-estacionárias de mesma ordem de integração, como $I(1)$ pode implicar em um fator de erro com tendências estocásticas que se anulam, resultando em um coeficiente estacionário $I(0)$. Assim, as séries guardam uma relação de equilíbrio de longo prazo, por serem elas não estacionárias, conclui-se a presença de tendência estocástica, justificando a relação de longo prazo entre as variáveis do modelo. Em um modelo bivariado, essa combinação é representada pelas expressões:

$$Y_t = \beta_1 + \beta_2 X_t + u_t \quad (14)$$

$$\hat{u}_t = Y_t - \hat{\beta}_1 - \hat{\beta}_2 X_t \quad (15)$$

Assim, caso $\hat{u}_t \sim I(0)$, afirma-se que Y_t e X_t são cointegradas.

Uma vez que o modelo a ser empregado no presente trabalho é multivariado, existe a possibilidade de existirem múltiplos vetores de cointegração. Assim, aplica-se a metodologia de Johansen para analisar o posto da matriz de vetores de cointegração, verificando se este é nulo, o que indica presença de raiz unitária, ou se é diferente de zero e, portanto, traduzindo-se em estacionariedade das variáveis escolhidas.

5.1.6 Vetores de correção de erros

Detectada a presença de cointegração entre as variáveis do modelo, recomenda-se adicionar ao modelo de vetores autorregressivos um componente dinâmico de longo prazo. Aplica-se então um vetor de correção de erros (VEC). Sendo Y_t e X_t as variáveis cointegradas, com erro $I(0)$, aplica-se a correção dada pela expressão (16) (Gujarati, 2006).

$$\Delta y_t = a_0 + b_1 \Delta x_t - \pi^1 u_{t-1} + e_t \quad (16)$$

O componente b_1 é o multiplicador do curto prazo, mensurando o efeito imediato em X_t dada uma variação em Y_t . O componente π é o fator ajuste do desequilíbrio, indicando o quanto do desequilíbrio é corrigido dentro do ano. Para valores de $\pi = 1$, o modelo tem ajuste instantâneo, para $\pi = 0,5$, metade do ajuste dá-se no ano corrente, e com $\pi = 0$, o modelo não apresenta desequilíbrio.

5.2 Base de dados e escolha das variáveis

Para o modelo proposto neste estudo, optou-se por incluir como variáveis explicativas o consumo de fertilizantes, a área plantada, o montante de crédito rural, os preços dos fertilizantes e o índice de preços pagos ao produtor rural, ou IPR. As variáveis escolhidas estão com àquelas arroladas na literatura dos estudos

selecionados. As variáveis foram transformadas em índices e tomadas em sua forma logarítmica.

5.2.1 Consumo de fertilizantes

Os dados acerca do consumo de fertilizantes correspondem a quantidade total de nutrientes NPK, em toneladas de nutriente, consumidos no Brasil. Não deve-se entender o consumo como sendo o peso total de produtos aplicados para os anos em questão, uma vez que este apresenta outros componentes em sua formulação final que não pertencem ao objetivo de pesquisa deste trabalho. Os dados de consumo foram extraídos do banco de dados da International Fertilizer Association (IFA, 2021).

5.2.2 Preço dos fertilizantes

Sob a ótica da teoria econômica espera-se que um aumento no preço do fertilizante cause uma redução na quantidade demandada, com o inverso também verdadeiro. A série de preços, para o período de 1970 a 2010 foi extraída de Friedrich (2012) e corrigida para preços correntes de 2018 por meio do IGP-DI da FGV. A série de preços de 2011 a 2018 foi elaborada a partir de dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA-SP) e foi deflacionada, também, para valores de 2018 por meio do IGP-DI. Assim como calculado por Friedrich (2012), utilizou-se os preços da ureia (N), do SSP (P) e do cloreto de potássio (K) para obtenção dos preços correntes dos nutrientes, convertidos em média anual simples e deflacionados para dezembro de 2018. Um preço único foi calculado utilizando a participação média de cada nutriente na composição de NPK.

5.2.3 Área plantada

Espera-se que a área plantada possua correlação direta com a quantidade demandada de fertilizantes, ou seja, incrementos de área devem acarretar maiores níveis de consumo do insumo. Os dados da área plantada total foram extraídos da Pesquisa chamada Produção Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2021).

5.2.4 Crédito Rural

Como demonstrado na revisão de literatura, a importância do crédito rural dá-se no momento de tomada de decisão do agricultor em adquirir insumos produtivos, buscando ganhos de produtividade advindos da aplicação de fertilizantes que venham a garantir o pagamento do endividamento tomado e assegurar ainda uma parcela de lucro. É esperada, então, uma correlação positiva entre o crédito rural e a demanda por fertilizantes. Os dados de crédito rural de 1970 até 2012 foram extraídos do Anuário Estatístico do Crédito Rural (BACEN, 2021), e de 2013 até 2018 da Matriz de Informações do Crédito Rural (BACEN, 2021). Os dados compreendem a informação divulgada em relação a financiamentos direcionados ao custeio agrícola. Todos os valores foram deflacionados para preços correntes de 2018 com base no IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas (FGV).

5.2.5 Índice de preços pagos ao produtor rural (IPR).

Os dados do índice de preços pagos ao produtor refletem o preço de venda recebido pelos agricultores na comercialização de seus produtos. Espera-se então correlação positiva entre as duas variáveis, uma vez que um maior IPR traduz-se em maiores recursos disponíveis para a compra de insumos produtivos. Os dados de 1970 a 2002 foram extraídos do trabalho de Nicoletta *et al.* (2005). Os dados a partir de 2003 foram extraídos do banco de dados do Instituto de Economia Agrícola. Todos os valores foram deflacionados para preços correntes de 2018 com base no IGP-DI da Fundação Getúlio Vargas (FGV).

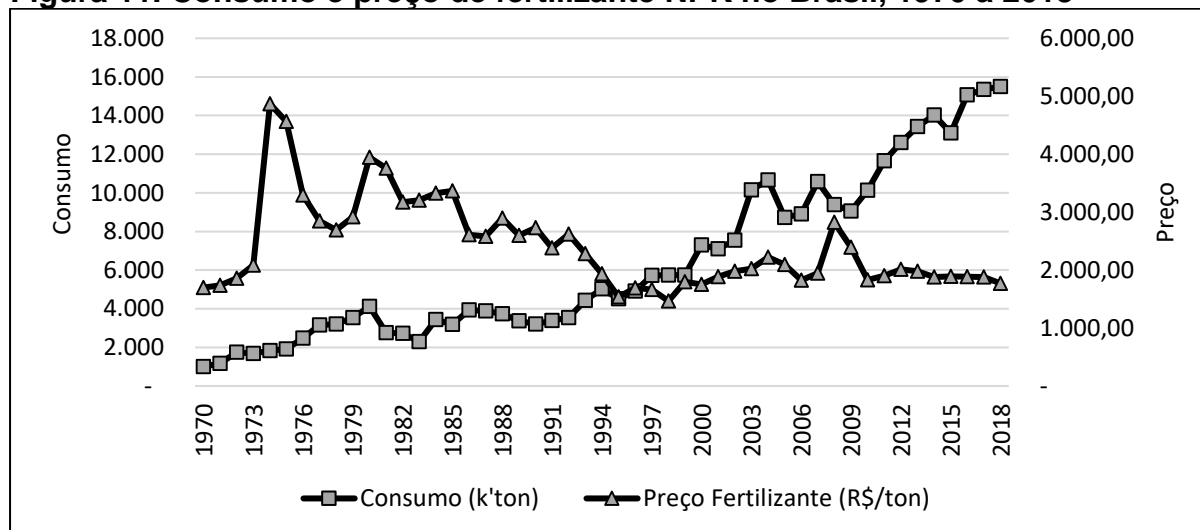
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise dos determinantes da demanda por fertilizantes no Brasil o presente trabalho faz o uso de dados de séries temporais para o período entre os anos de 1970 e 2018 a fim de evidenciar relações existentes entre o consumo de fertilizantes e suas variáveis explicativas. Para tal, estimou-se a demanda buscando encontrar as elasticidades das variáveis e suas relações de curto e longo-prazo. Os resultados apresentados foram construídos utilizando o *software* R com o auxílio de seus pacotes estatísticos e econométricos.

6.1 Os determinantes da demanda por fertilizantes no Brasil

Antes do início da análise econométrica, analisou-se graficamente o comportamento das variáveis explicativas ao longo do tempo.

Figura 11. Consumo e preço de fertilizante NPK no Brasil, 1970 a 2018



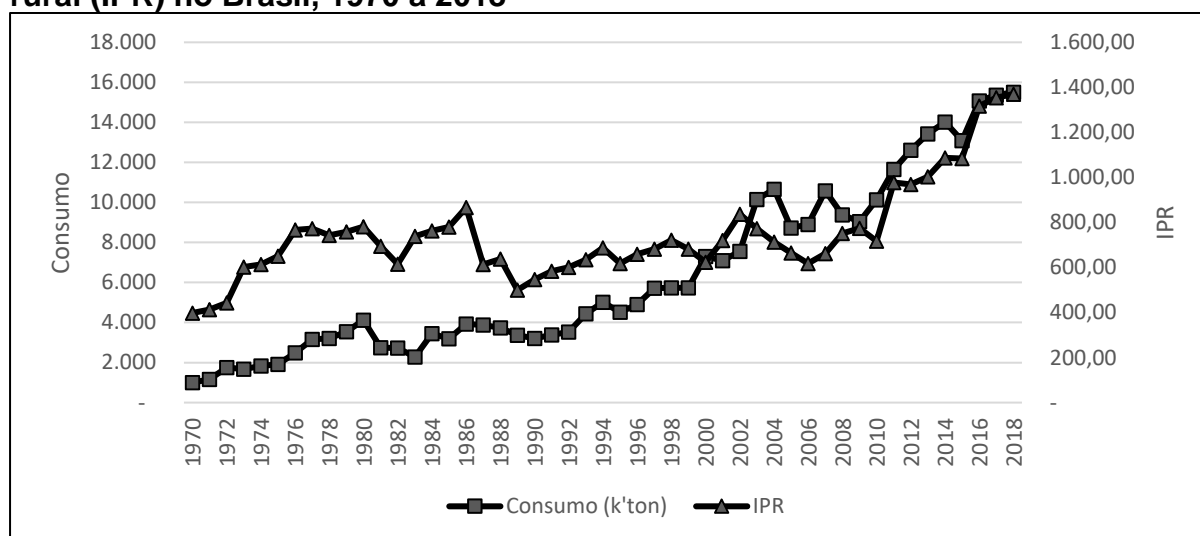
Fonte: International Fertilizer Association - IFA (2021), Friedrich (2012) e IEA-SP (2021).

Ao analisar-se a Figura 11 percebe-se uma tendência de aumento no consumo deste insumo ao longo do tempo e uma leve tendência de queda nos preços no período apresentado. Nota-se, porém, que durante os anos de 1974 e 1978 existiu

um período em que a relação inversa entre as séries foi mais proeminente, com quedas no preço do insumo traduzindo-se em maior consumo.

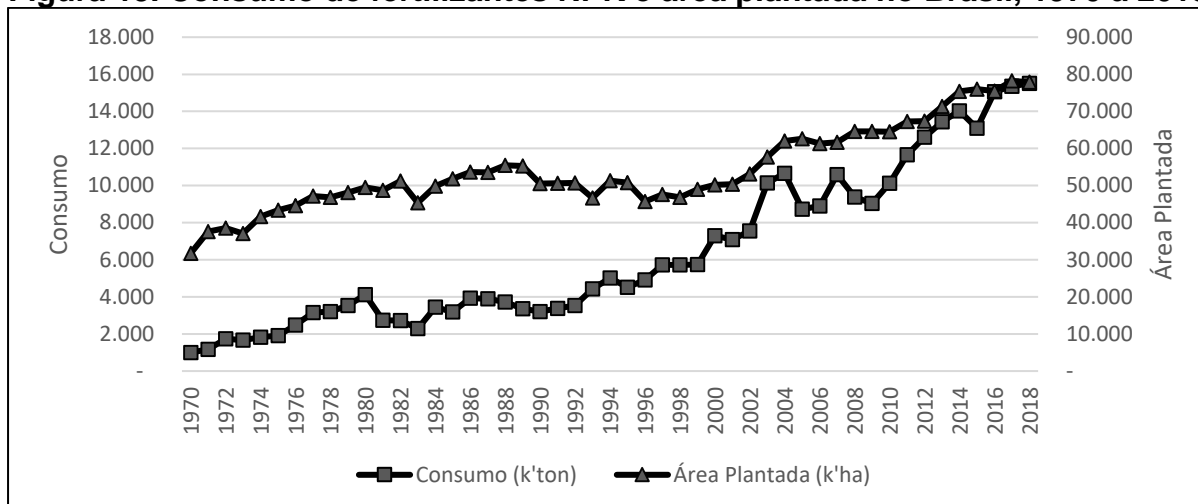
Conforme abordado anteriormente, o nutriente nitrogênio é primariamente obtido a partir do gás natural, que é um combustível fóssil e, portanto, faz com que os preços da matéria-prima e conseqüentemente do fertilizante sejam afetados por variações do preço do petróleo no mercado internacional. A disparada dos preços entre o período de 1970 a 1980 aponta relação com a 1ª crise do petróleo (1973/74) e com a 2ª crise do petróleo (1979/80). O pico observado no ano de 2008 está relacionado com a crise financeira mundial, que ocasionou o aumento significativo no preço do barril de petróleo e, conseqüentemente, do fertilizante.

Figura 12. Consumo de fertilizantes NPK e índice de preços pagos ao produtor rural (IPR) no Brasil, 1970 a 2018



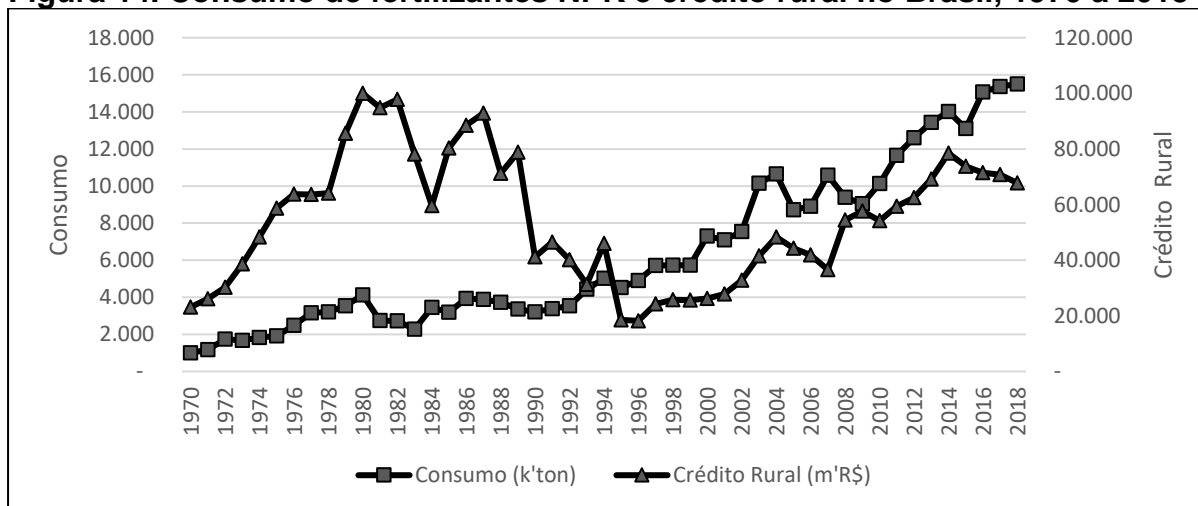
Fonte: International Fertilizer Association - IFA (2021), Nicoletta *et al.* (2005) e IEA-SP (2021).

A relação positiva esperada entre o IPR e o consumo de fertilizantes exibida na Figura 12, uma vez que esse pode ser entendido como uma *proxy* do nível de renda do produtor rural, é observada durante todo o período em análise. Maiores índices de preços recebidos traduzem-se em um maior consumo de fertilizantes.

Figura 13. Consumo de fertilizantes NPK e área plantada no Brasil, 1970 a 2018

Fonte: International Fertilizer Association – IFA (2021), IBGE (2021).

As séries históricas de consumo de fertilizantes e área plantada apresentadas na Figura 13 demonstram que as duas variáveis tiveram tendência de crescimento no período de 1970 a 2018. Existem dois momentos na qual observa-se, aparentemente, uma tendência inversa na trajetória das duas variáveis, entre os períodos de 1992/1994 e 2004/2006.

Figura 14. Consumo de fertilizantes NPK e crédito rural no Brasil, 1970 a 2018

Fonte: International Fertilizer Association - IFA (2021), BACEN (2021).

As séries de consumo de fertilizantes e do montante de crédito rural disponível no Brasil para o período de 1970 a 2018 é apresentada na Figura 14. Notam-se diversas quebras na oferta de crédito no período analisado, porém com alguns recortes onde observa-se um crescimento para ambas variáveis, sendo eles: década de 1970 e no período após a criação do plano real em 1994. A tendência de

crescimento nos preços a partir de 2007 pode ser atribuída à máxima do preço do fertilizante no período pré-crise de 2008, com suavização dos preços no pós-crise e consequente recuperação do consumo, juntamente com a redução da oferta de crédito nacional (FRIEDRICH, 2012).

Adicionalmente à a apresentação das séries utilizadas nos cálculos, os coeficientes de correlação são apresentados na Tabela 9. O consumo apresentou correlação positiva muito relevante com a área plantada (0,93) e o IPR (0,79), e em menor relevância com o crédito rural (0,08), com correlação negativa com a variável preço (-0,47). Os resultados são consistentes com as aventadas hipóteses para a relação entre as variáveis. Vale destacar que se esperava uma correlação maior com o crédito rural, uma vez que o propósito deste é garantir o subsídio da produção agrícola via aquisição de insumos produtivos, entre outros.

Tabela 9. Matriz de correlação entre consumo, preço, IPR, área plantada e crédito rural, Brasil, 1970 a 2018

	Consumo	Área	Crédito Rural	Preço	IPR
Consumo	1,000000	0,932413	0,087152	-0,477980	0,798288
Área	0,932413	1,000000	0,338930	-0,299465	0,804345
Crédito Rural	0,087152	0,338930	1,000000	0,525269	0,399852
Preço	-0,477980	-0,299465	0,525269	1,000000	-0,155593
IPR	0,798288	0,804345	0,399852	-0,155593	1,000000

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Na Tabela 10 apresentam-se os resultados dos testes ADF, com hipótese nula de presença de raiz unitária. O número de defasagens do teste foi definido pelo critério AIC como sendo 1 para todas as variáveis. Todas as variáveis do modelo apresentaram não estacionariedade em nível, sendo estacionárias quando transformadas em primeira diferença.

Tabela 10. Resultados dos testes ADF para as variáveis do modelo

Variável	Restrições	ADF em nível	p-valor	ADF em diferença	p-valor
LNCONSUMO	Tendência e Intercepto	-2,9809	0,1824	-3,5080	0,0000
LNPRECO	Tendência e Intercepto	-1,7820	0,6612	-6,5008	0,0000
LNAREA	Tendência e Intercepto	-1,9101	0,6100	-3,0022	0,0000
LNIPR	Tendência e Intercepto	-1,4044	0,8120	-3,7995	0,0000
LNCR	Tendência e Intercepto	-1,6310	0,7215	-3,4162	0,0000

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Observa-se que os testes ADF apresentados na tabela 10 demonstraram que as séries são integradas de mesma ordem $I(1)$, fazendo necessário avaliar a existência de cointegração. O número de defasagens do teste de Johansen apontou para o uso de 6 defasagens. O resultado do teste de cointegração na Tabela 11 apontou para a existência de pelo menos três vetores de cointegração, conforme procedimento descrito por Johansen.

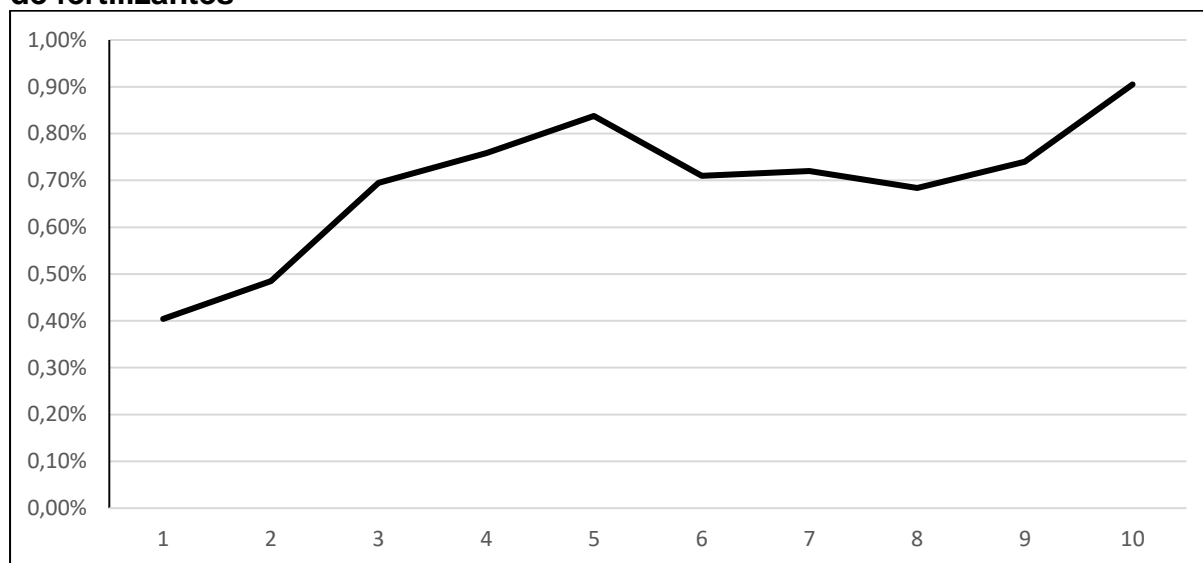
Tabela 11. Resultados do teste de cointegração de Johansen com 6 defasagens para as variáveis do modelo

Hipótese Nula	Hipótese Alternativa	λ traço	Valor crítico (5%)
$r = 0$	$r > 0$	120,81	70,60
$r \leq 1$	$r > 1$	65,73	48,28
$r \leq 2$	$r > 2$	36,60	31,52
$r \leq 3$	$r > 3$	15,94	17,95
$r \leq 4$	$r > 4$	5,32	8,18

Fonte: elaboração própria com base nos resultados da pesquisa.

Após a realização dos testes de estacionariedade e cointegração, estimou-se um modelo VEC irrestrito para obter-se as funções de impulso resposta acumuladas da variável consumo dado choques nas demais variáveis do modelo, estimando assim uma função de impulso resposta na forma de elasticidade, tornando possível a análise de um choque positivo de 10% nas variáveis explicativas, objetivo central deste trabalho. A ordem das variáveis do modelo deu-se da seguinte forma: área plantada, IPR, preço, crédito rural, e o próprio consumo.

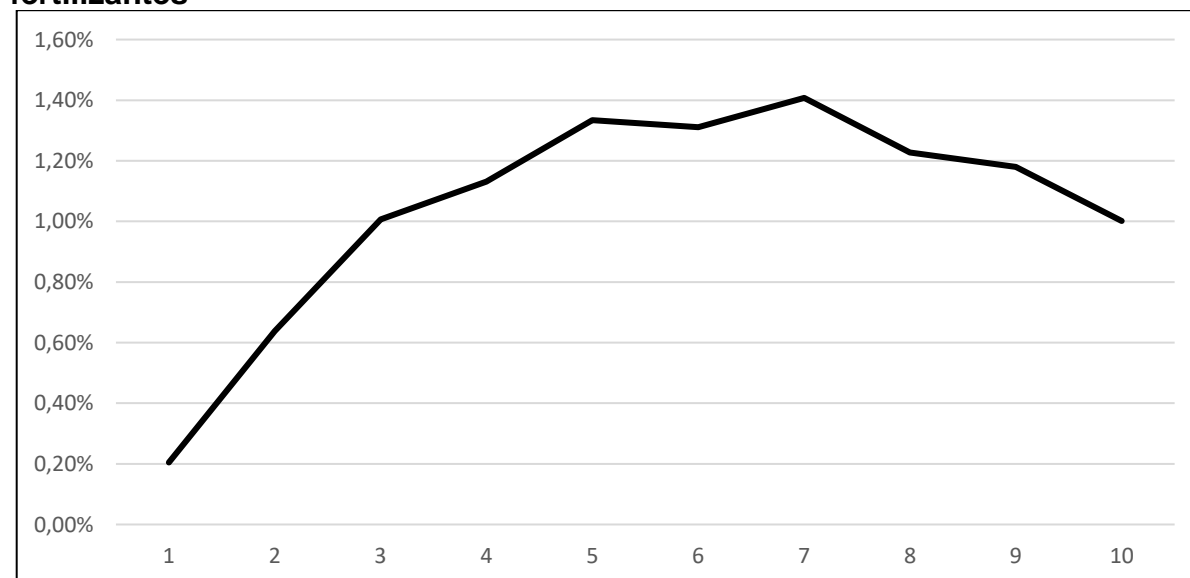
Figura 15. Efeito acumulado de um choque na área plantada sobre o consumo de fertilizantes



Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 15 demonstra o efeito acumulado de um choque na área plantada sobre o consumo de fertilizantes. Um choque de 10% na área ocasionaria um aumento de 0,9% na quantidade de fertilizantes consumida após 10 períodos. Os resultados encontrados corroboram com aqueles encontrados na literatura, apontando que o produtor rural é disposto a realizar investimentos tecnológicos juntamente à expansão da lavoura (FRIEDRICH, 2012).

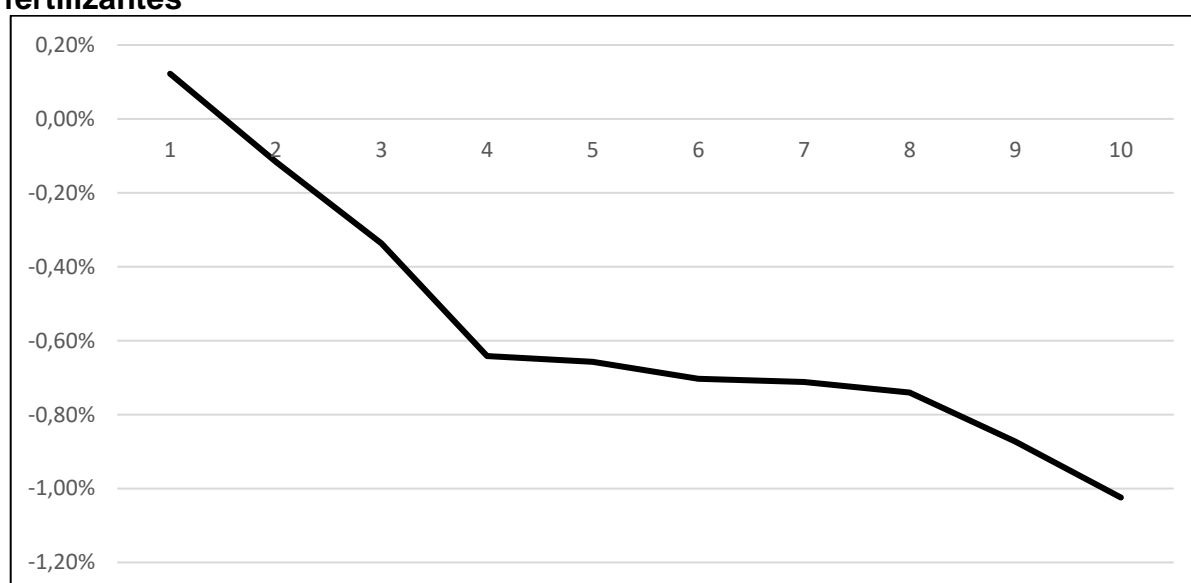
Figura 16. Efeito acumulado de um choque no IPR sobre o consumo de fertilizantes



Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 16 demonstra que um choque de 10% no índice de preços pagos ao produtor rural ocasionaria, após 10 períodos, um consumo 1,0% maior de fertilizantes. Vale ressaltar que esse consumo chega a ser 1,4% maior no período de 7 anos, sofrendo um declínio nos 3 próximos anos, podendo ser explicado pelo fato do produtor rural, ora capitalizado, realizar investimentos estruturais na sua produção que não a aplicação de fertilizantes, mas que garantem o atingimento do *quantum* produtivo via outros fatores ligados à produção agrícola, reduzindo a quantidade demandada de fertilizantes.

Figura 17. Efeito acumulado de um choque no preço sobre o consumo de fertilizantes

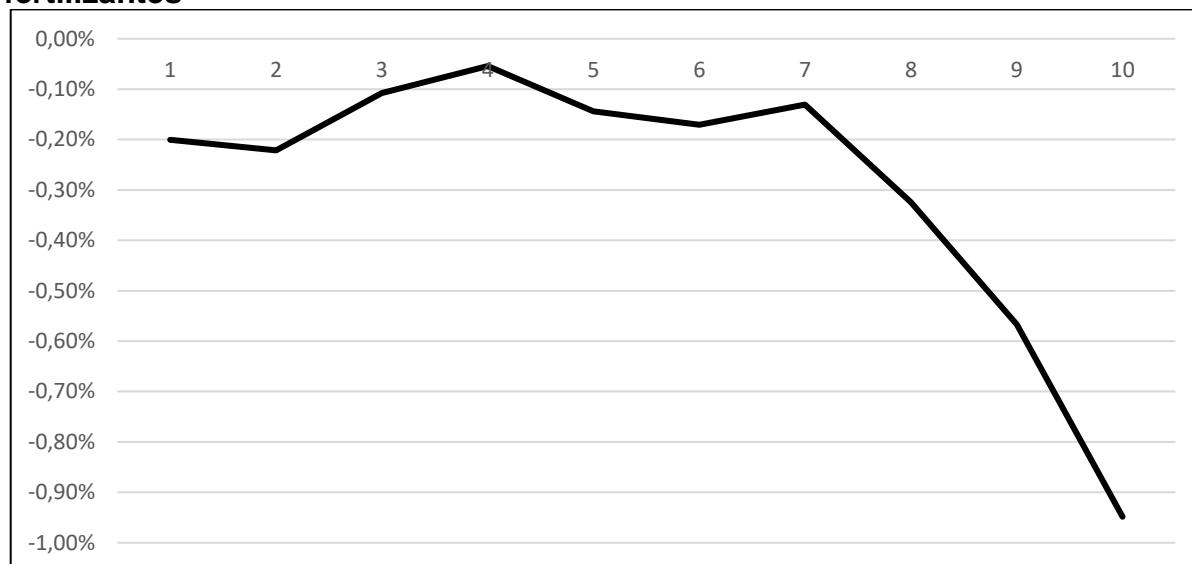


Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados apresentados na Figura 17 demonstram o efeito esperado no consumo de fertilizantes frente a um choque de 10% nos preços dos fertilizantes. A redução no consumo de fertilizantes de -1,0% após 10 períodos demonstra que a elasticidade-preço é inelástica com pouca sensibilidade desta variável frente a aumentos de preços. De qualquer forma, a relação entre as variáveis ocorre na direção esperada, isto é, aumentos nos preços reduzem o consumo de fertilizantes. Com respeito a relação entre as variáveis, pode-se aventar a hipótese de que devido ao fato dos fertilizantes terem impactos diretos na produtividade, o agricultor munido do conhecimento acumulado sobre seus fatores de produção pós choque inicial, consegue redistribuir a alocação de sua renda total de forma a atingir o *quantum*

produtivo desejado, desempenhando o papel de um agente econômico buscando o seu ponto ótimo de alocação de fatores produtivos.

Figura 18. Efeito acumulado de um choque no crédito rural sobre o consumo de fertilizantes



Fonte: Resultados da pesquisa.

A variável crédito rural não apresentou significância, com as funções impulso-resposta ficando em maior parte fora do intervalo de confiança de 95%, conforme demonstrado no Anexo A. Porém, pode ser observado na Figura 18, um aumento de 10% no crédito rural aponta para uma redução de -0,94% no consumo de fertilizantes após 10 períodos, sendo a única variável que apresentou resultado contraintuitivo. Essa relação inversa, porém, corrobora os resultados encontrados por Profeta e Braga (2009) e Friedrich (2012). Para Profeta e Braga (2009), a relação inversa entre crédito rural e consumo de fertilizantes pode ser explicada por uma utilização mais adequada do insumo na agricultura, como uma melhor preparação do solo via aplicação de corretivos, tornando o uso de fertilizantes mais eficientes e em dosagens condizentes com as necessidades específicas de cada cultura e não de maneira excessiva a fim de compensar a preparação deficiente do solo no pré-plantio. Friedrich (2012) aponta que o crédito rural foi importante para o estabelecimento do consumo de fertilizantes na década de 1970, mas perdeu o poder de determinar a demanda a partir dos anos 1980, com a drástica redução na oferta de crédito observada na Figura 14, com os agricultores sendo financiados primariamente pelo setor privado a partir da década de 1990.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta monografia teve por objetivo analisar os determinantes da demanda por fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2018 analisando o impacto de variações na área plantada, do índice de preços recebidos pelo produtor rural, do preço do fertilizante e do crédito rural no consumo de fertilizantes. A importância deste estudo encontra-se na afirmação de que aumentos na produtividade agrícola são fundamentais para suprir as necessidades impostas pelo crescimento demográfico e para a manutenção da competitividade agrícola do Brasil. Para tanto foi empregada a modelagem econométrica de um modelo de vetores de correção de erros (VECM), a partir da qual foram elaboradas funções impulso resposta acumuladas de choques nas variáveis explicativas sobre o consumo de fertilizantes.

A análise demonstrou que choques positivos na área plantada e no índice de preços recebidos pelo produtor rural apresentaram relações positivas com o consumo de fertilizantes, sendo que choques de 10% nos valores destas variáveis traduziram-se em aumentos do consumo de 0,9% e 1,0%, respectivamente, após 10 períodos. Observou-se uma relação negativa da variável preço do fertilizante com o consumo, na qual um aumento de 10% no preço gerou uma diminuição de -1,0% no consumo, sendo essa relação negativa previamente esperada. Para a relação entre o consumo de fertilizantes e o crédito rural, apesar de não significativo, aumentos de 10% na disponibilidade de crédito rural geraram diminuição de -0,94% no consumo após 10 períodos. Embora este resultado seja contraintuitivo à primeira vista, esta relação inversa entre crédito rural e consumo de fertilizantes já havia sido encontrada por estudos anteriores acerca do tema, como Profeta e Braga (2009) e Friedrich (2012).

Cabe ressaltar que este estudo possui algumas limitações devido a possível omissão de variáveis que afetam a determinação da demanda por fertilizantes, como por exemplo a exclusão de variáveis climáticas e taxa de câmbio na estimação do modelo de vetores de correção de erros. Para trabalhos futuros acerca do tema sugere-se realizar a análise dos determinantes da demanda por fertilizantes em nível regional, bem como, para os elementos nitrogênio, fósforo e potássio separadamente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 3. ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1998. Disponível em: http://anda.org.br/wp-content/uploads/2018/10/boletim_03.pdf. Acesso em: 6 set 2021.

AMARAL, F. C.S.; PEREIRA, N.R.; CARVALHO JUNIOR, W. **Principais Limitações dos Solos Brasileiros**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Solos, 1999.

AMORIM, M.; ALVES, R.; COSTA, P.; LARA, F.R.; RAYMUNDO, J. **A dependência de importações no suprimento da demanda por fertilizantes no Brasil e sua entrada pelo porto de Santos**. Revista produção industrial & serviços. v. 05, n. 02. p. 52-65, 2018. Disponível em: https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/rev_prod/article/view/52414/pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

BRASIL. BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Anuário Estatístico do Crédito Rural**. Brasília, 2021. Disponível em: https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/anuario_estat_credrural. Acesso em: 6 set 2021.

BRASIL. BANCO CENTRAL DO BRASIL (BACEN). **Matriz de Dados do Crédito Rural**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/micrrural>. Acesso em: 6 set 2021.

BRASIL. Decreto-lei nº 86.955, de 18 de fevereiro de 1982. dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União - Seção 1 - 24/2/1982, Página 3241.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. **Projeções do agronegócio: Brasil 2019/20 a 2029/30 projeções de longo prazo**. Brasília, DF: MAPA, 2020. 102 p. Disponível em:

https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio_2019_20-a-2029_30.pdf/@@download/file/PROJEC%CC%A7O%CC%81ES%20DO%20AGRO%CC%81CIO_2019-20%20a%202029-30.pdf. Acesso em: 6 set 2021.

BURREL, A. **The demand for fertilizer in the UK**. *Journal of Agricultural*, v. 40, p. 1-20, 1989.

BOTEON, M.; LACERDA, M.P. **Análise do impacto dos preços de fertilizantes no setor hortícola**. 47º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. 2009.

CARMO, A. J. B. do. **Demanda de fertilizantes a nível regional e do Brasil, 1954-79**. 1982. 289 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Economia Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

CIBANTOS J.S. **Demanda de fertilizantes no Estado de São Paulo**. 1972, 196 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1972.

CONAB. **Séries históricas das safras: grãos - por produtos**. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 6 set 2021.

CONAB. **Séries históricas das safras: cana-de-açúcar**. 2021. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-cana-de-acucar.html>. Acesso em: 6 set 2021.

CONAB. **Séries históricas das safras: planilhas de custos de produção**. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao>. Acesso em: 6 set 2021.

CONAB. **Séries históricas das safras: relações de trocas** 2021. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/custos-de-producao-relacao-de-troca.html>.

Acesso em: 6 set 2021.

DENBALY, M.; VROOMEN, H. **Dynamic fertilizer nutrient demands for corn: a cointegrated and error-correcting system**. American Journal of Agricultural Economics, v.75, 1993. p. 203-209. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1242968>

Acesso em: 9 set 2021.

CELLA, D.; ROSSI, M. C. de L. **ANÁLISE DO MERCADO DE FERTILIZANTES NO BRASIL**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 41-50, 2010. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/43>

Acesso em: 6 set 2021.

CUNHA, L. G. S. **Cenários e desafios da indústria de fertilizantes**. 2017. 63 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20598>. Acesso em: 6 set 2021.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. **Fertilizantes: uma visão global sintética**. BNDES Setorial, n. 24, p. 97-138, set 2006. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2657>. Acesso em: 6 set 2021.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT Statistical Database**. 2021. Acesso em: 6 set 2021.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of food security and nutrition in the world**. 2021. Acesso em: 6 set 2021.

FRANCO, M. A. J.; SARAIVA NETO, A. **Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimento de matéria prima**. Brasília, DF: Ministério da Indústria e Comércio. 2008. Disponível em: <http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/ENG%20504%20%20Processos%20>

[Qu%C3%ADmicos/PROCESSOS%20QU%C3%8DMICOS%20_aulas/fabrica%C3%A7%C3%A3o%20de%20nitrogenados%20e%20ureia.pdf](#). Acesso em: 6 set 2021.

FRIEDRICH, M. **Uma análise da demanda por fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2010**. Tese de mestrado em Economia - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p.12. 2012. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/2554/1/000439186-Texto%2BCompleto-0.pdf>. Acesso em: 6 set 2021.

GONÇALVES, J.S.; FERREIRA, C.R.R.P.T.; SOUZA, S.A.M. **Produção nacional de fertilizantes, processo de desconcentração regional e maior dependência externa**. Informações Econômicas IEA SP, v.38. n.8. 2008. Disponível em: <http://iea.naka.eti.br/ftpiea/publicacoes/tec7-0808.pdf>. Acesso em: 6 set 2021.

GUJARATI, D. N. *Econometria Básica*. 4 ed. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2006. 812 p.

GUNJAL, K. R.; ROBERTS, R.K.; HEADY, A. O. **Fertilizer demand functions for the five major crops in the United States**. Southern Journal of Agricultural Economics, v. 12, n. 1, p. 111-116, 1980. Disponível em: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/29473/1/12020111.pdf>. Acesso em 6 set 2021.

HEBERLI, J. C.; GODOY, J. T. B. de.; ARIENTE, M.; GIULIANI, A.C.; SPERS, E.E. **O marketing lateral como ferramenta de inovação em um ambiente competitivo: estudo de caso da Bunge Fertilizantes**. Anais.. Ribeirão Preto: [s.n.], 2005. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8015945-O-marketing-lateral-como-ferramenta-de-inovacao-em-um-ambiente-competitivo-estudo-de-caso-da-bunge-fertilizantes.html>. Acesso em: 6 set 2021.

INÁCIO, STELLA ROCHA FERNANDES. 2013. **Produção e comercialização de insumos para produção de Fertilizantes: Um Panorama Mundial e os Paradigmas do Brasil**. ESALQ-LOG. 2013, p. 17.

INTERNATIONAL FERTILIZER ASSOCIATION (IFA). **Fertilizers and their use**. 4 ed. Roma, 2000, 34 p. Disponível em:

https://www.fertilizer.org/images/Library_Downloads/2016_ifa_reetz.pdf. Acesso em: 6 set 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Agrícola Municipal PAM. **Tabela 5457 - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes**. 2019. Disponível em:

<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#notas-tabela>. Acesso em: 6 set 2021.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). Banco de dados. Disponível em <
<http://www.iea.sp.gov.br/out/index.php#>>.

KULAIF, Y. **A nova configuração da indústria de fertilizantes fosfatados no Brasil**. n. 42. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Série Estudos e Documentos – SED. Rio de Janeiro, 1999a. Disponível em:

<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/265/1/sed-42.pdf>. Acesso em: 6 set 2021.

LOUREIRO, F. E. L.; MELAMED., R. G.; FIGUEIREDO NETO, J. **Fertilizantes agroindústria e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009. 645p.

Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/497>. Acesso em 6 set 2021.

MACIEL, L. M.; TUNES, L. V. M. **A importância dos fertilizantes para a agricultura**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.6, p. 58647-58658, jun. 2021. Disponível em:

<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/31331>. Acesso em 15 out. 2021.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos & adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 199p.

MARIN, F. R.; PILAU, F.G.; SPOLADOR, H.F.S.; OTTO, R.; PEDREIRA, C.G.S. **Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050**. Revista de Política Agrícola, ano 25, n. 3, p. 108-124, 2016. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1160/1016>. Acesso em 15 out. 2021.

MERGOS, G.J.; STOFOROS, C. E. **Fertilizer demand in Greece**. *Agricultural Economics*, v. 16, 1997. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/174296/>. Acesso em: 6 set 2021.

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, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/ssmQ7BW4yLPjwStfg9YtDsC/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 6 set 2021.

OKOROAFOR, O.N.; ECHEBIRI, R.N.; NWACHUKWU, I. N. **Demand for fertilizer in Nigeria: An application of cointegration and error correction modeling**. Journal of Agriculture and Social Research (JASR) VOL. 10, No. 2, 2010. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/jasr/article/view/67584>. Acesso em: 6 set 2021.

OLIVEIRA, B.R.G. **Panorama brasileiro dos principais minerais industriais utilizados na produção de fertilizantes**. XV Jornada de Iniciação Científica - CETEM. 2007. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/637/1/Bernardo.pdf>. Acesso em: 6 set 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DO COMÉRCIO (OMC). **International trade statistics**. 2011.

PESCARIN, R. M. C. **Relações estruturais da demanda de fertilizantes no Estado de São Paulo**. 1974. 123p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

PROFETA, G. A.; BRAGA, M. J. **Comportamento da indústria brasileira de fertilizantes NPK**. In: 47º Congresso da SOBER, Porto Alegre, 2009. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/resr/a/v4hvp8Z86ScLBWScTBRtPCK/?lang=pt&format=pdf>.

Acesso em: 6 set 2021.

QUDDUS, M.; SIDDIQI, M. W.; RIAZ, M. M. **The demand for nitrogen, phosphorous and potash fertilizer nutrients in Pakistan**. Economic and Social Review, v. 46, n. 2, 2008. p. 101- 116, Disponível em:

<http://pu.edu.pk/images/journal/pesr/PDF->

<FILES/2%20Quddus%20Demand%20for%20N%20P%20P.pdf>. Acesso em: 6 set 2021.

SANTOS, H.G. **Latossolos do Brasil**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA Solos, 1999.

SOUZA, D.M.G.; GOEDERT, W.T.; LOBATO E.; REIN T.A. **Desafios e perspectivas da fertilidade do solo brasileiro**. XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2007.

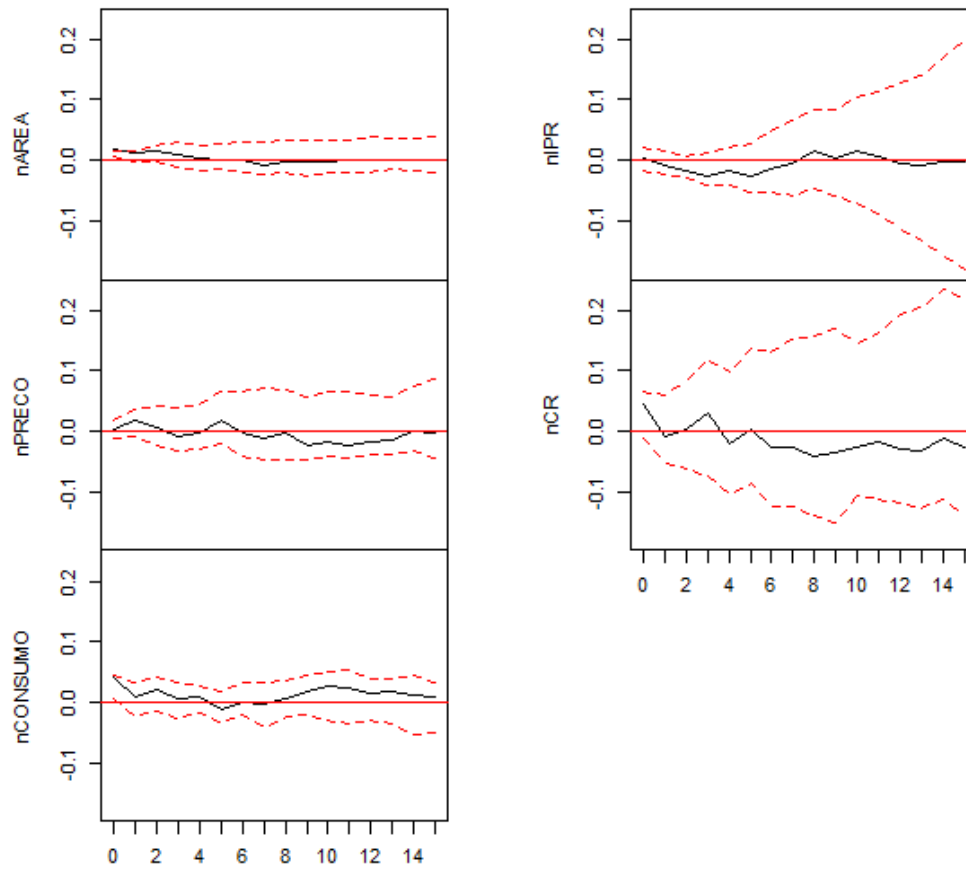
U.S. Geological Survey World Conventional Resources Assessment Team, 2013, **Supporting data for the U.S. Geological Survey 2012 world assessment of undiscovered oil and gas resources**. U.S. Geological Survey Digital Data Series DDS–69–FF, various pages. Disponível em: <https://doi.org/10.3133/ds69FF>. Acesso em: 6 set 2021.

U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, Independent Statistics & Analysis. **International Natural Gas Reserves**. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/data/world/natural-gas/dry-natural-gas-reserves>.

Acesso em: 6 set 2021.

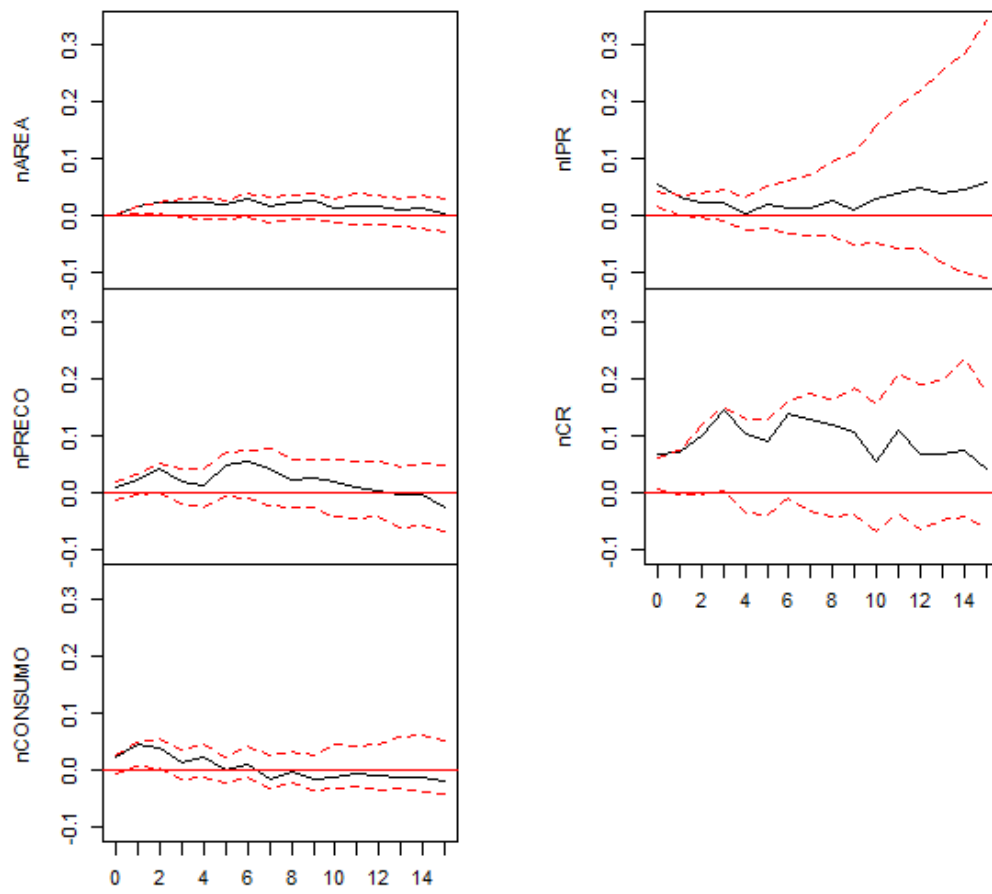
ANEXO A – Funções Impulso-Resposta

Orthogonal Impulse Response from nAREA



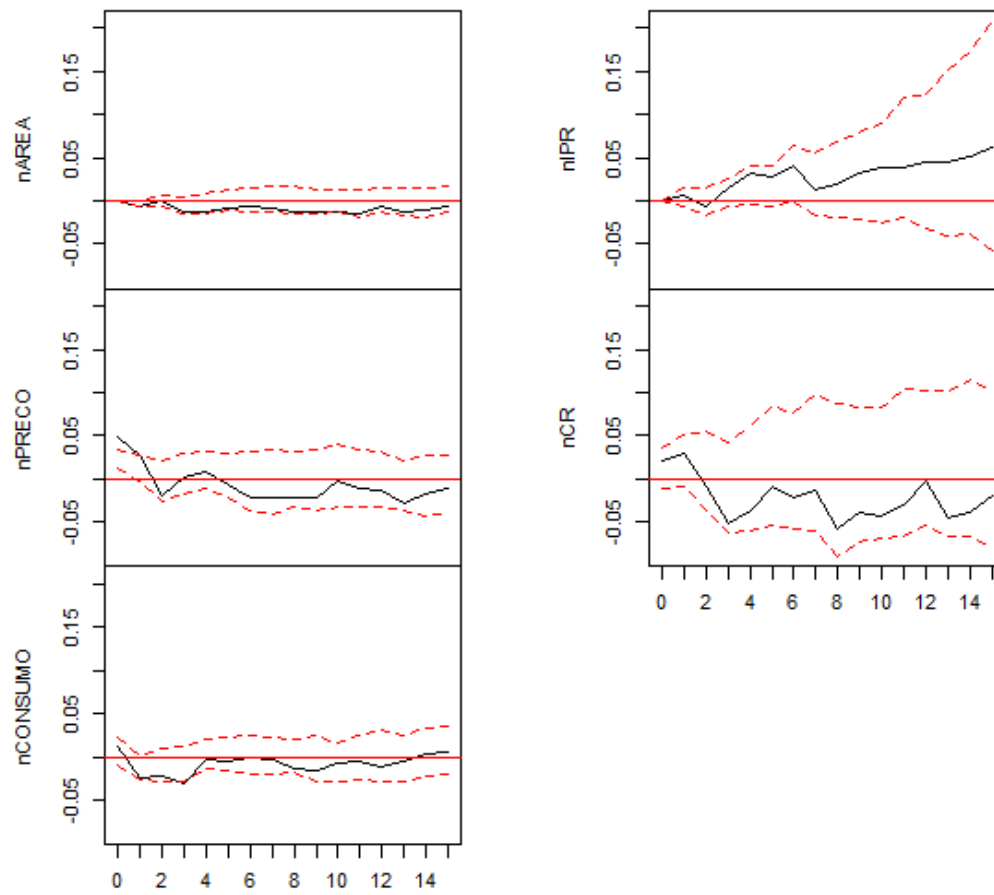
95 % Bootstrap CI, 100 runs

Orthogonal Impulse Response from nIPR



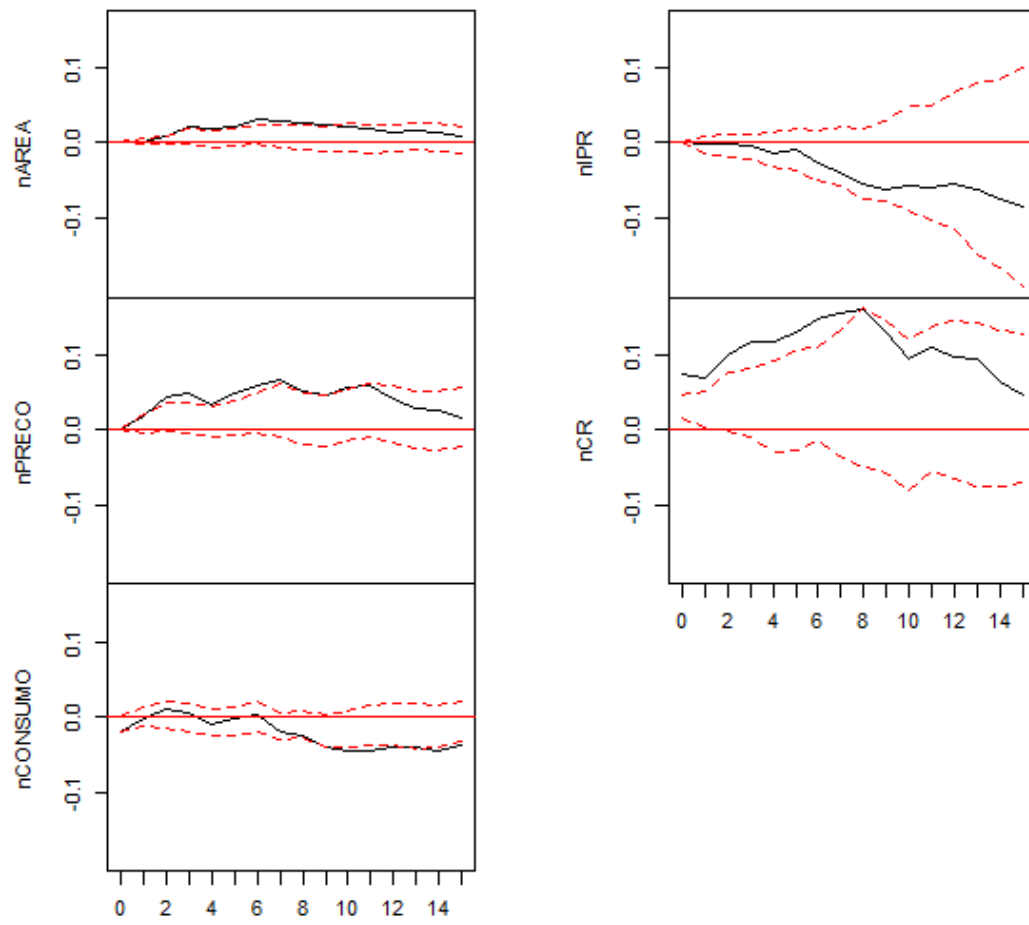
95 % Bootstrap CI, 100 runs

Orthogonal Impulse Response from nPRECO



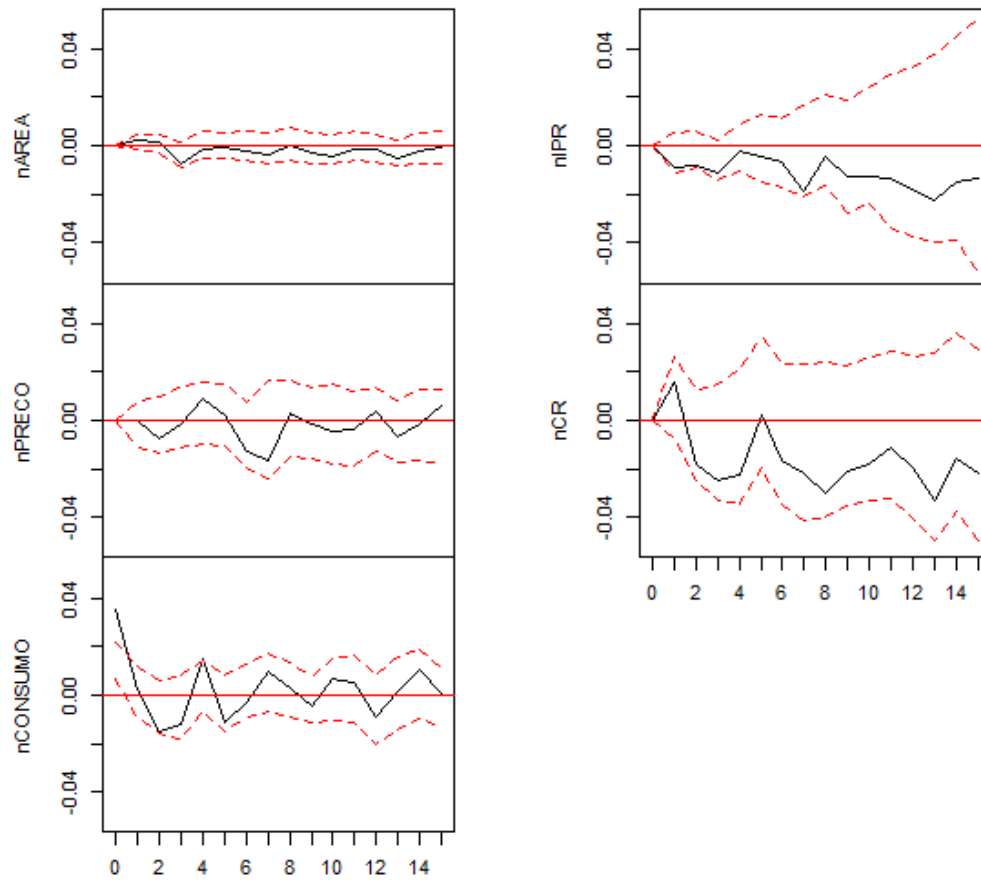
95 % Bootstrap CI, 100 runs

Orthogonal Impulse Response from nCR



95 % Bootstrap CI, 100 runs

Orthogonal Impulse Response from nCONSUMO



95 % Bootstrap CI, 100 runs

ANEXO B – Dados utilizados

Ano	Consumo ²	Área ³	Crédito Rural ¹	Preço do Fertilizante ¹	IPR ¹
1970	999	31.740	23.082.544.599	1.699,24	397,99
1971	1.165	37.625	26.111.223.076	1.733,52	413,27
1972	1.747	38.524	30.231.988.676	1.857,42	442,39
1973	1.672	37.076	38.629.791.012	2.084,96	602,81
1974	1.825	41.686	48.302.669.227	4.868,01	613,38
1975	1.910	43.371	58.648.514.459	4.563,73	649,94
1976	2.482	44.602	63.766.757.537	3.292,12	767,10
1977	3.161	47.177	63.658.509.689	2.846,11	772,46
1978	3.210	46.852	64.096.775.150	2.692,20	743,01
1979	3.536	48.091	85.616.770.228	2.915,73	758,17
1980	4.118	49.517	100.019.465.067	3.947,10	781,61
1981	2.747	48.762	94.770.415.618	3.757,85	693,80
1982	2.727	51.199	97.776.576.294	3.173,68	614,86
1983	2.284	45.326	78.127.248.848	3.205,16	738,45
1984	3.443	49.834	59.593.018.509	3.329,33	763,37
1985	3.194	51.825	80.331.834.050	3.368,39	779,30
1986	3.931	53.643	88.520.193.980	2.608,29	866,04
1987	3.887	53.592	92.892.819.567	2.578,88	612,91
1988	3.728	55.464	71.208.570.592	2.895,14	637,86
1989	3.362	55.255	78.770.845.965	2.596,56	500,09
1990	3.208	50.515	41.146.842.734	2.728,89	546,78
1991	3.386	50.644	46.515.366.643	2.380,60	584,15
1992	3.531	50.715	40.111.591.332	2.619,05	600,17
1993	4.435	46.629	31.241.582.310	2.283,96	635,38
1994	5.022	51.354	46.035.368.936	1.933,71	686,74
1995	4.516	50.777	18.465.006.279	1.539,92	617,47
1996	4.908	45.734	18.225.330.379	1.689,27	659,41
1997	5.720	47.606	24.296.619.915	1.665,95	681,63
1998	5.731	46.796	25.724.578.803	1.465,46	720,90
1999	5.736	49.001	25.673.639.950	1.795,12	681,58
2000	7.302	50.197	26.269.245.565	1.755,05	623,55
2001	7.090	50.326	27.835.774.199	1.882,82	719,54
2002	7.551	53.159	32.791.499.102	1.976,84	837,23
2003	10.141	57.660	41.577.769.813	2.021,28	772,96
2004	10.655	61.999	48.333.606.798	2.220,78	713,17
2005	8.720	62.646	44.349.902.704	2.095,90	665,24
2006	8.906	61.349	41.897.057.486	1.826,68	617,55
2007	10.585	61.666	36.568.740.746	1.947,14	661,78
2008	9.387	64.617	54.390.153.692	2.826,19	751,48
2009	9.045	64.577	57.671.242.918	2.391,61	773,67

2010	10.133	64.551	54.148.883.634	1.830,77	717,70
2011	11.657	67.272	59.344.728.006	1.902,24	977,69
2012	12.604	67.352	62.432.497.357	2.014,75	969,18
2013	13.434	71.294	69.142.806.018	1.981,87	1.002,90
2014	14.019	75.372	78.465.371.927	1.880,70	1.087,09
2015	13.096	75.984	73.787.763.138	1.888,24	1.084,54
2016	15.068	75.460	71.452.366.026	1.887,58	1.317,01
2017	15.356	78.199	70.802.699.326	1.879,56	1.354,12
2018	15.507	77.888	67.739.823.170	1.767,15	1.370,01

Fonte: IFA (2021), Pesquisa Agrícola Municipal – PAM (IBGE, 2021), BACEN (2021), IEA/SAA-ESP (2021), Nicolella *et al* (2005), Friedrich (2012).

¹ Em R\$. Valores deflacionados para dez/2018 pelo IGP-DI FGV.

² Em milhares de toneladas.

³ Em milhares de hectares.