



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL DO TRÓPICO ÚMIDO

**WLADIMIR COLMAN DE AZEVEDO JUNIOR**

**BALANÇO DE NUTRIENTES E SUA INCLUSÃO NO PRODUTO INTERNO  
BRUTO DO BRASIL AJUSTADO PELA DEPRECIÇÃO DO SOLO AGRÍCOLA**

Belém, PA  
2019

WLADIMIR COLMAN DE AZEVEDO JUNIOR

**BALANÇO DE NUTRIENTES E SUA INCLUSÃO NO PRODUTO INTERNO  
BRUTO DO BRASIL AJUSTADO PELA DEPRECIAÇÃO DO SOLO AGRÍCOLA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciências do Desenvolvimento Socioambiental.

**Orientador: Prof. Dr. Antônio Cordeiro de Santana**

Belém, PA  
2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

A994b Azevedo Junior, Wladimir Colman de  
Balanço de nutrientes e sua inclusão no produto interno bruto do Brasil, ajustado pela depreciação do solo agrícola / Wladimir Colman de Azevedo Junior. — 2019.  
117 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Antônio Cordeiro de Santana  
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Agricultura. 2. Depreciação do Solo. 3. Produto interno bruto ajustado ambientalmente. 4. Matriz de contabilidade social e ambiental. 5. Sistema de contas econômicas e ambientais integradas. I. Título.

CDD 338.10981

---

**WLADIMIR COLMAN DE AZEVEDO JUNIOR**

**BALANÇO DE NUTRIENTES E SUA INCLUSÃO NO PRODUTO INTERNO  
BRUTO DO BRASIL AJUSTADO PELA DEPRECIAÇÃO DO SOLO AGRÍCOLA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos da Universidade Federal do Pará, como requisito à obtenção do título de Doutor em Ciências do Desenvolvimento Socioambiental.

Defesa em:

Banca examinadora:  
Prof. Dr. Antônio Cordeiro de Santana  
Orientador – UFRA

Prof. Dr. Armin Mathis  
Examinador interno

Prof. Dr. Francisco de Assis Costa  
Examinador interno

Prof. Dr. Sérgio Castro Gomes  
Examinador externo

Prof. Dr. Mario Miguel Amin  
Examinador externo

Belém – PA  
2019

## RESUMO

A relevância do setor agrícola para o crescimento econômico brasileiro tem suscitado discussões acerca dos impactos do cultivo sobre o solo agrícola. O fluxo produtivo poderia estar degradando o estoque de recursos do solo, o que levaria à redução do capital natural nacional. Este trabalho tem como objetivo mensurar o impacto da produção sobre a depleção do solo agrícola brasileiro em 2010, de modo a responder se o crescimento econômico se sustenta na depreciação nutritiva do solo agrícola. A Matriz de Contabilidade Social Ajustada Ambientalmente foi utilizada para estimar o Produto Interno Bruto Ajustado Ambientalmente (PIBA), tendo como base o Sistema de Contas Econômicas e Ambientais Integradas de 2012. O Balanço de Nutrientes forneceu os saldos físicos e monetários utilizados para ajuste do PIB. Sendo o solo um capital imobilizado para o cultivo, os custos de sua manutenção são internalizados pelos produtores rurais, como consequência, o PIBA encontrado revela que o PIB subestima a produção brasileira, pois, em 2010, ocorreu uma ampliação de R\$ 4 milhões no estoque de N, P e K no solo agrícola nacional. O crescimento econômico brasileiro, portanto, não compromete a fertilidade do solo.

**Palavras-chave:** Agricultura. Depreciação do Solo. PIBA. Matriz de Contabilidade Social e Ambiental.

## ABSTRACT

The Brazilian economic growth has raised the discussion about the impact of cropping in agricultural soils. The productive flow could be degrading the stock of soil resources, which may lead to reduction in the national natural capita. This study aimed to measure the impact of production on the depletion of Brazilian agricultural land in 2010, answering if economic growth is sustained by the nutritive depreciation of agricultural land. The Environmentally Adjusted Social Accounting Matrix was used to estimate the Environmentally Adjusted Gross Domestic Product (EGDP), based on the Integrated Economic and Environmental Accounts System of 2012. The Nutrient Balance provided the physical and monetary balances used to adjust the GDP. Since the land is a immobilized capital for cultivation, the maintenance costs are internalized by the rural producers, as a consequence, the EGDP found reveals that the GDP underestimates Brazilian production, since in 2010 there was an increase of R\$ 4 million in the stock of N, P and K in the national agricultural soil. Brazilian economic growth, therefore, does not compromise soil fertility.

**Key-words:** Agriculture. Soil Depreciation. EGDP. Matriz de Contabilidade Social e Ambiental.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 – Saída de Nutrientes pelas Principais Culturas no Brasil em 2015 (milhões de toneladas).....	59
Figura 3.2 – Evolução do Saldo <sup>1</sup> de Nitrogênio (N) no Solo Agrícola Nacional (em milhões de toneladas).....	60
Figura 3.3 – Evolução do Saldo <sup>1</sup> de Fósforo (P) no Solo Agrícola Nacional (em milhões de toneladas).....	61
Figura 3.4 – Evolução do Saldo <sup>1</sup> de Potássio (K) no Solo Agrícola Nacional (em milhões de toneladas).....	64
Figura 3.5 – Evolução <sup>1</sup> do Saldo de N, P e K no Solo Agrícola Nacional, 1970-2015 (em milhões de toneladas).....	66
Figura 3.6 – Saldo Monetário em bilhões de reais de NPK <sup>1</sup> no Solo Agrícola Brasileiro. ....	67
Figura 3.7 – Saldo Monetário em bilhões de Reais <sup>2</sup> do Nitrogênio, do Fósforo e do Potássio no Solo Brasileiro. ....	68

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Uso do sistema de plantio direto nas regiões brasileiras em 2017 .....	15
Tabela 2.1 – Consumo e produção brasileira de N, P e K nos anos de 1996 e 2015.....	23
Tabela 2.2 – Utilização das Variáveis Propostas.....	31
Tabela 2.3 – Resultado do modelo de demanda por fertilizantes no Brasil, 1996 a 2015. ....	36
Tabela 2.4 – Registros do crédito rural como determinante da demanda por fertilizantes.....	37
Tabela 2.5 – Elasticidade-preço da Demanda por Fertilizantes na Literatura.....	39
Tabela 2.6 – Registros do Coeficiente de Ajustamento na Literatura Seleccionada.....	41
Tabela 2.7 - Coeficientes estimados para as demandas de curto e longo prazo.....	42
Tabela 3.1 Registro na literatura, das variáveis usadas neste trabalho. ....	50
Tabela 3.2 – Quantidade Média Anual de Nutrientes Exportados pelas Culturas consideradas neste trabalho.....	52
Tabela 4.1 – Estrutura da Matriz de Contabilidade Social.....	76
Tabela 4.2 – Os recursos naturais entendidos como capital natural na literatura científica. ...	80
Tabela 4.3 –Saldo de Nutrientes no Solo Agrícola Brasileiro, 2010.....	89
Tabela 4.4 – Produto Interno Bruto Ajustado pela Depreciação do Solo Agrícola Brasileiro em 2010.....	91
Tabela 4.5 – Propensão Média a Gastar do Setor Agropecuário Brasileiro em 2010. ....	92
Tabela 4.6 – Efeito Transferência do Setor Agropecuário Brasileiro em 2010 .....	93
Tabela 4.7 – Efeitos cruzados da agropecuária brasileira em 2010.....	93
Tabela 4.8 – Efeito Circular da Agropecuária Brasileira em 2010.....	94
Tabela 4.9 – Multiplicador Global da Agropecuária Brasileira em 2010. ....	95

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>A DINÂMICA DA DEMANDA AGREGADA POR FERTILIZANTES AGRÍCOLAS NO BRASIL NO PERÍODO DE 1995 A 2016 .....</b>	<b>21</b>
<b>1.1 Introdução .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2 Materiais e Métodos.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3 Resultados.....</b>	<b>35</b>
<b>1.4 Conclusões .....</b>	<b>42</b>
<b>2 A DEPLEÇÃO NUTRITIVA DO SOLO AGRÍCOLA BRASILEIRO .....</b>	<b>44</b>
<b>2.1 Introdução .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2 Materiais e métodos .....</b>	<b>49</b>
2.2.1 Entrada e saída de nutrientes do solo .....	50
3.2.3 Saldo monetário de nutrientes no solo.....	56
<b>2.3 Resultados.....</b>	<b>58</b>
<b>2.4 Conclusões .....</b>	<b>69</b>
<b>3 O PRODUTO INTERNO BRUTO DO BRASIL AJUSTADO PELA DEPRECIACÃO DO SOLO AGRÍCOLA .....</b>	<b>70</b>
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>70</b>
<b>3.2 Materiais e Métodos.....</b>	<b>74</b>
3.2.1 A Matriz de Contabilidade Social Ajustada Ambientalmente (MCSA) .....	75
3.2.2 O Solo como Fator de Ajuste da MCSA .....	83
<b>3.3 Resultados.....</b>	<b>88</b>
<b>3.4 Conclusões .....</b>	<b>96</b>
<b>5 FECHAMENTO.....</b>	<b>98</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE A – PUBLICAÇÕES SOBRE FUNÇÃO DEMANDA POR FERTILIZANTES.....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE B – QUANTIDADE PRODUZIDA DAS CULTURAS CONSIDERADAS, EM TONELADAS.....</b>	<b>113</b>
<b>APÊNDICE C – QUANTIDADE<sup>1</sup> ANUAL DE FERTILIZANTES APLICADOS NO SOLO BRASILEIRO, ENTRE 1996 E 2015.....</b>	<b>114</b>

**APÊNDICE D – INTRODUÇÃO DE NITROGÊNIO, VIA FBN<sup>1</sup> E DE POTÁSSIO, VIA FERTIRRIGAÇÃO COM VINHAÇA<sup>2</sup> EM SOLO BRASILEIRO, ENTRE 1996 E 2015.....115**

**APÊNDICE E – MATRIZ DE CONTABILIDADE SOCIAL AJUSTADA AMBIENTALMENTE DO BRASIL EM 2010.....116**

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o agronegócio tem ocupado um lugar de destaque, devido a sua relevância para a economia brasileira. Em 2017, o PIB do setor respondeu por 19,5% do produto nacional. Entre 2014 e 2018, a balança comercial do setor apresentou superávit anual médio de US\$ 73,6 bilhões. No mesmo período, o total exportado atingiu uma média anual de 43,6% das exportações realizadas pelo Brasil (IMEA, 2018). Essa significativa participação do agronegócio, na produção brasileira, corrobora a literatura científica que constata a importância dos sistemas agroindustriais, principalmente da produção rural.

Tem-se certo consenso quanto à relevância da agricultura para o crescimento econômico, muito embora não se tenha clareza sobre como o aumento da produtividade no campo impactaria os demais setores da economia. Em relação ao aumento da produtividade agrícola, Davis e Goldberg (1957) afirmam que a agricultura pode influenciar a economia por meio dos efeitos de encadeamento à jusante, quando amplia o consumo de insumos, e a montante, quando fornece matéria-prima mais barata para outros setores. Os autores fazem-se valer desses efeitos para definir o conceito de agronegócio como um sistema em que o meio rural estaria interligado com a indústria e com os serviços em prol do atendimento às exigências do consumidor.

Kuznets (1968) cita a obtenção de divisas e a redução do custo dos alimentos que levariam à redução dos salários. Adicionalmente, Lewis (1954) assevera o aumento das taxas de poupança. Schultz (1965) conclui que a atualização tecnológica dos fatores de produção conduz o ambiente rural a uma mudança estrutural que altera a relação do setor com o resto da economia, garantindo a demanda por novos fatores de produção e um novo perfil de trabalhador. No mesmo sentido, Bustos, Carpretini e Ponticelli (2016) desenvolveram uma pesquisa em municípios brasileiros e inferiram que as mudanças técnicas empregadas no cultivo da soja levaram à redução da demanda por trabalho no campo e ao crescimento industrial. McArthur e McCord (2017) indicam que, além de provocar a redução do uso de mão de obra, o aumento da produtividade agrícola também elevaria a produtividade do trabalho em setores não-agrícolas.

Essa interligação, entre a produção rural e os setores não-agrícolas, é baseada na exploração dos recursos ambientais que conformam as condições necessárias para o cultivo agrícola. Em relação ao solo agrícola, ativo ambiental utilizado como suporte à produção

agrícola e que está contido em um ecossistema local, o crescimento e o desenvolvimento das plantas dependem diretamente da existência de uma boa qualidade física, química e biológica do solo. Em solos não sujeitos à intervenção antrópica, a qualidade dependerá do material de origem e do processo de intemperismo aos quais este é submetido (MEURER, 2006).

O processo de intemperismo leva à formação das fases sólida, líquida e gasosa do solo. Os minerais, que emergem nas camadas agricultáveis, formam os colóides que, ao se agregarem, criam os macroporos, ocupados pelo ar do solo, e os microporos, ocupados pela solução do solo. Além dos minerais, a fase sólida também é composta por material orgânico oriundo da liteira. A fase líquida é constituída por água, minerais e compostos orgânicos, sendo chamada de solução do solo, enquanto a fase gasosa é formada pelo ar do solo. A atividade biológica também é fundamental para a dinâmica do solo, pois permite, entre outras coisas, a disponibilidade de nutrientes, por meio da quebra de moléculas maiores, como é o caso da Fixação Biológica de Nutrientes. Essa dinâmica ecossistêmica entre as três fases do solo e da atividade biológica é que permite a absorção de nutrientes e a recuperação da qualidade do solo (MEURER, 2006)

A interface coloide-solução do solo é a responsável pelo armazenamento e disponibilização dos elementos químicos essenciais às plantas. Oriundos do processo de formação do solo, em que elementos químicos são liberados pelo intemperismo, os nutrientes são adsorvidos pelos colóides e só podem ser absorvidos pelas raízes, após a dessorção e consequente disponibilização na solução do solo (MEURER, 2007). As trocas de elementos, realizadas entre a solução e a fase sólida, devem-se à tendência de equilíbrio de cargas nas duas fases. A absorção de nutrientes, pelas plantas, reduz a concentração destes na solução, o reequilíbrio é reestabelecido após a dessorção dos mesmos elementos. No entanto, esse reequilíbrio da solução do solo custa o desequilíbrio de cargas na superfície dos colóides. Por meio da decomposição da liteira, os nutrientes absorvidos retornam ao solo, provocando o reequilíbrio da solução e dos colóides (ANDRADE, 2016).

A resiliência do solo é definida por essa dinâmica ecossistêmica, o que permite a equalização das entradas e saídas de nutrientes de tal modo que não se observe sua degradação. No entanto, em solos antrópicos, essa dinâmica é alterada, pois não atende à eficiência exigida pelo mercado. A produção suportada e o tempo de recuperação do solo para o próximo uso não condizem com a produtividade e com os períodos de produção esperados.

Em solos sob agricultura intensiva, baseada na monocultura e no uso dos pacotes tecnológicos mais avançados, a exportação de nutrientes, devida à absorção pelas variedades

cultivadas, ultrapassa a capacidade de resiliência do solo. Ao contrário do observado em solos sem intervenção, o reequilíbrio de cargas se dá por meio do aumento da adsorção de  $H^+$ , tendo como efeito a elevação da acidez e a consequente redução das cargas negativas presentes na superfície dos coloides. A aplicação de fertilizantes, portanto, teria, como finalidade primária, equiparar a quantidade exportada de nutrientes, afim de evitar a ocorrência do desequilíbrio de cargas (MEURER, 2006).

A maior parte dos solos brasileiros é formada por argilominerais do tipo 1:1, cujas cargas superficiais são pH dependentes, por isso, a quantidade de cargas negativas disponíveis para adsorção de nutrientes depende do nível do pH. Desse modo, o aumento da acidez reduz os sítios de carga disponíveis para a adsorção de nutrientes, enquanto que a redução da acidez origina cargas negativas, pois induz a dessorção de  $H^+$  e a adsorção de  $OH^-$  (MEURER, 2006). A fertilidade do solo depende, portanto, do predomínio de cargas negativas. Como a maior parte dos elementos essenciais são cátions, o pH dos latossolos brasileiros agricultáveis tende a variar entre 5,7 e 6,0, de modo que ocorra predominância de cargas negativas nos coloides (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

A despeito da capacidade natural de renovação do solo, o modelo atual de produção agrícola tem se dedicado à ampliação da produtividade, exigindo, assim, a utilização dos pacotes tecnológicos que, conforme Goodman, Wilkinson e Sorj (2008), conformam as inovações genéticas, químicas e mecânicas desenvolvidas entre o fim do século XIX e início do século XX, para atender às dificuldades europeias e norte-americanas relativo à reduzida oferta de terras férteis e de trabalho, respectivamente. No Brasil, como revelam Aracri, Amaral e Lourenço (2011), esses pacotes são utilizados a partir da década de 1970. Nos dias atuais, novas tecnologias foram desenvolvidas, mas a base conceitual, que fundamenta a finalidade desses desenvolvimentos, permanece a mesma. A ênfase se dá no aumento da produtividade alicerçada na monocultura produzida em grandes áreas, com o auxílio de defensivos agrícolas e fertilizantes.

Desse modo, em que pese a importância da agricultura para o crescimento econômico, torna-se necessário analisar as externalidades negativas geradas pela produção agrícola. Os implementos tecnológicos, que vêm sendo atualizados desde o fim do século passado, têm sido questionados diante de suas consequências para a manutenção da resiliência ecossistêmica. O comprometimento dos recursos naturais traz prejuízos, não só para o produtor, como para a sociedade que pode ser obrigada a conviver com lagos e rios contaminados por elementos químicos presentes em fertilizantes e defensivos; com solos

ácidos ou salinizados, devido ao seu uso inadequado; e com a redução da fauna e da flora, em virtude do desmatamento.

Este trabalho pretende contribuir para o tema, tendo como objeto de estudo o solo agrícola, aqui entendido como os 20 cm iniciais do perfil, onde ocorrem todas as interações físicas, biológicas e químicas que interessam à agricultura. Nessa camada superficial, a ênfase será dada na qualidade química, no que tange aos fluxos de entrada e saída de nutrientes. Esta delimitação do objeto se deve, primeiro, ao efetivo uso do solo para fins agrícolas, pois as raízes das plantas não ultrapassam o horizonte A do perfil do solo e, segundo, pela complexidade em se trabalhar todos os aspectos relacionados à qualidade do solo, complexidade esta que oferece subsídios para a elaboração de vários outros trabalhos.

Conforme Vieira Filho (2016), a expansão da fronteira agrícola nacional deu-se, principalmente, sobre a região centro-oeste, onde as condições do solo só permitiram o cultivo intensivo mediante a adoção dos pacotes tecnológicos, que, como afirmam Aracri, Amaral e Lourenço (2011), são oriundos dos países desenvolvidos. O solo dessa região exigiu, por exemplo, dispêndios para a correção da acidez e para a elevação de sua fertilidade, de modo que a produção se tornasse viável ao ponto de que a região atingisse 66% da produção nacional de algodão, 50% da produção de milho e soja, além de 17% da produção canavieira. Em todos os casos, o uso de fertilizantes, defensivos e de sementes geneticamente modificadas foi essencial para a internalização de ganhos de escala.

Em relação ao sistema produtivo adotado, a Tabela 1.1 dispõe o percentual de áreas em que o plantio direto foi utilizado no Brasil. Em 2017, o plantio direto foi utilizado em apenas 42% da área plantada no Brasil, tendo o Sul e o Centro-Oeste com os maiores percentuais entre as regiões brasileiras.

Sobre aos fertilizantes, Pingali (2012) afirma que a utilização não pode ser realizada sem um planejamento prévio. É preciso observar a quantidade de nutrientes no solo e a quantidade absorvida pela cultura a ser cultivada, para, assim, definir a quantidade do produto que deve ser aplicado, evitando a adubação superior ou inferior ao necessário. Como afirma Meurer (2006), a aplicação de fertilizantes em quantidade excessiva, para a reposição da absorção realizada pela planta, faz com que os nutrientes ocupem todos os colóides disponíveis e elevem a concentração na água do solo.

**Tabela 1.1 Uso do sistema de plantio direto nas regiões brasileiras em 2017**

Região	PD (ha)	PD regional <sup>1</sup>	Área plantada total (ha) <sup>2</sup>	PD área total <sup>3</sup>
Norte	1.136.963	3%	4.036.239	28%
Nordeste	3.316.228	10%	11.397.357	29%
Sudeste	2.894.053	9%	14.819.118	20%
Sul	11.885.579	36%	21.229.221	56%
Centro-Oeste	13.645.837	42%	27.499.935	50%
<b>Brasil</b>	<b>32.878.660</b>	<b>100%</b>	<b>78.981.870</b>	<b>42%</b>

PD é o plantio direto<sup>1</sup> Percentual da área em que o Plantio Direto foi utilizado nas regiões em relação à área nacional. <sup>2</sup>Soma dos cultivos temporários e permanentes. <sup>3</sup>Percentual da área em que o plantio direto foi utilizado em relação ao total da área cultivada, por região.

**Fonte:** (IBGE, 2018)

Além de prejudicar o desenvolvimento das plantas, que tendem a absorver quantidade superior à própria necessidade e a ter absorção de outros nutrientes comprometida (MEURER, 2007), a quantidade excessiva de nutrientes pode lixiviar e escoar com a água, alterando a estrutura do solo abaixo da camada agricultável e, assim, provocando a redução do valor ecológico do solo quando comparado a seu estado original, além de atingir lagos e rios próximos (MEURER, 2006). Essa contaminação da água é indicada por Vitousek et al, (2009) como o motivo da eutrofização ocorrida no Golfo do México, em decorrência do excesso de nitrogênio (N) e fósforo (P) aplicado pela agricultura.

Resultado semelhante foi encontrado no Brasil, onde Silva, Neto e Lima (2018) encontraram um grau elevado de contaminação, por N e P, o que inviabiliza o uso da água para o consumo humano em um reservatório no Ceará. A morte de peixes, devido à alteração do ambiente aquático provocada pelo excesso de nutrientes, foi observada no Espírito Santo, em 2016 (G1, 2016), e no rio Tietê, em São Paulo (G1, 2018). As emissões atmosféricas de óxido nitroso, também, são apontadas como resultantes do excesso de N no solo (ONU, 2014). O excesso de KCl deixa o solo mais suscetível à salinidade e, conseqüentemente, à desertificação (MANZATTO; FREITAS JUNIOR; PERES, 2002).

Por outro lado, a reposição insuficiente de nutrientes e a conseqüente acidificação do solo, causam custos relativos à perda do fertilizante aplicado, pois tendem a lixiviar e a escoar com a água. Nessa situação, o uso de fertilizantes só seria eficaz após a calagem (MEURER, 2006). Ao estudarem o solo africano, Cobo, Dercon e Cadish (2010) revelaram a possibilidade de acidificação do solo agrícola, devido à falha na reposição de nutrientes. No Paraná (CIOTTA et al, 2002) e em Minas Gerais, (LANGE et al, 2006) foram identificadas alterações no pH, mesmo com o uso do plantio direto.

O excesso e a falta de nutrientes no solo, portanto, representa perigo à eficiência produtiva, à segurança alimentar e ao meio ambiente, exigindo atenção de governantes e de produtores (VITOUSEK et al, 2009). Nesse sentido, o Sistema de Contas Econômicas e Ambientais (SCEA), elaborado pela ONU (2014), conceitua o solo como um capital natural que integra a riqueza nacional. A poluição causada por ingerência sobre a gestão de nutrientes no solo pode representar uma redução da riqueza nacional. Nesse caso, a contribuição da agricultura para o crescimento econômico custaria parte do estoque de capital natural nacional.

O solo é entendido, portanto, como um estoque de capital imobilizado para a produção agrícola. Assim, como se verifica na depreciação de máquinas e equipamentos do processo produtivo, o solo pode se desgastar, tornando-se inapto para a produção. No entanto, sendo o solo dependente da dinâmica ecossistêmica já descrita, sua depreciação vai além dos registros contábeis empregados para máquinas e equipamentos, pois impacta outros recursos ambientais e também pode ser impactada por estes. A depreciação, habitualmente estimada, certamente estará subestimada, pois trata-se apenas da representação de uma pequena parte da degradação total absorvida pela totalidade do ecossistema. Apesar disso, seu registro é importante, pois nem essa pequena parte, de todo o impacto ambiental produzido pela agricultura, vem sendo considerada pelo sistema produtivo.

Assim, a estimação da depreciação nutritiva do solo permite perceber o impacto que a produção agrícola, inter-relacionada ao crescimento econômico, estaria causando ao solo agrícola. Em síntese, a reposição inferior às perdas de nutrientes, resultantes da absorção pelo cultivo, poderia gerar a degradação do solo, seja pela redução de sua fertilidade ou do pH. A reposição superior às perdas levaria à lixiviação do fertilizante com a água, resultando em custos de produção desnecessários, estes relativos aos dispêndios com a aquisição de toneladas de fertilizantes que são perdidas e também com a inibição da absorção de micronutrientes, além da contaminação de rios e lagos e da salinização. Nesse sentido, tanto a falta quanto o excesso de nutrientes no solo são prejudiciais à produção e ao meio ambiente e devem ser entendidos como custos. O equilíbrio entre entrada e saída de nutrientes seria o resultado ideal.

Nesse contexto, pretende-se investigar o impacto da produção brasileira sobre o estoque de recursos do solo nacional. Para tentar capturar a interligação entre o fluxo produtivo e o estoque de recursos naturais, o SCEA apresenta uma série de conceitos, contas e recomendações relativos à economia e à ecologia, com o intuito de estabelecer um arcabouço

teórico-técnico a ser seguido pelos países. Nesse contexto é que surgem conceitos como o Produto Interno Líquido Ajustado Ambientalmente (PILA) que resulta da subtração da depreciação dos recursos naturais, do Produto Interno Líquido (PIL). O manual passa a denominar por depleção à depreciação ambiental (ONU, 2014). O cálculo do PILA torna-se possível por meio da introdução da exaustão dos recursos naturais, renováveis e não renováveis, no sistema de contas nacionais.

Essa introdução depende da mensuração dos fluxos de desgaste e reposição dos recursos naturais e deve ser feita de forma individual para cada tipo de recurso, de modo a respeitar suas especificidades (ONU, 2014). A conta satélite da Água, mensurada no Brasil, por exemplo, é baseada no Sistema de Contas Econômicas e Ambientais para a Água (SCEAA) e estima as adições ao estoque de água superficial, do solo e subterrâneas em solo brasileiro por meio das variáveis de precipitação pluviométrica, entrada de outros países e a subtração por meio da captação, da evaporação, da saída para outros países e para o mar.

O SCEAA foi utilizado para estimação da conta da água na Holanda (EDENS; GRAVELAND, 2014), na Colômbia (WORLD BANK, 2017), em Botswana (SETLHOGILE; ARNTZEN; PULE, 2017), na Espanha (GONZALEZ et al, 2016) na Itália, (MAZZANTI et al, 2014) na Dinamarca, na Islândia, na Suécia e na Noruega (LINDHJEM et al, 2009). O sistema também serviu de base para estudos sobre a degradação da floresta na Índia, (GUNDIMEDA et al, 2007; HARIPRIYA, 2001) e na Guatemala (BANERJEE et al, 2017). A depleção do ar, causada pela emissão de CO<sup>2</sup>, foi objeto de análise na Costa Rica (WORLD BANK, 2017), na Colômbia (MALDONADO; LACHAUD, 2011), na Dinamarca, na Islândia, na Suécia e na Noruega (LINDHJEM et al, 2009). Nos EUA, Dvaskas (2018) propôs uma técnica de mensuração, baseada no SEEA, dos impactos sobre o ecossistema marinho.

Em relação ao solo, o SCEA apresenta as definições de terra e de recursos do solo. A terra é o espaço delimitado para a ocorrência das atividades econômicas e dos processos ambientais, dentro do qual estão inseridos os ativos ambientais e econômicos. As contas das terras têm como objetivo identificar a distribuição da terra disponível entre as atividades econômicas e o meio ambiente (ONU, 2014). Esse tipo de conta foi citado por Lindhjem et al (2009) como importante para a captação dos impactos da agropecuária no conjunto de países nórdicos e calculado por Repetto et al (1989) para a Indonésia.

Os recursos do solo, por sua vez, são os recursos ambientais necessários para sustentar a produção agropecuária, como os nutrientes, a água do solo e o teor de carbono, além de

fornecer base para construções, habitat para diversos organismos e ofertar serviços ambientais como a regulação da temperatura, o fornecimento de água e a ligação de agentes químicos e biológicos. As contas do solo, portanto, têm como objetivo mensurar os fluxos de nutrientes, de carbono, de água e de outras características físicas, químicas e biológicas, permitindo a conexão contábil entre a utilidade do solo e a produção agrícola (ONU, 2014).

Assim, pretende-se responder ao seguinte questionamento: a produção nacional se sustenta na depreciação nutritiva do solo agrícola nacional? Desse modo, torna-se necessário estimar os fluxos de nutrientes, que permitem mensurar essa depleção. O SCEA indica a metodologia do Balanço de Nutrientes do Solo (BNS). Existiriam três fluxos principais, a entrada de nutrientes por meio da aplicação de fertilizantes orgânicos e inorgânicos, a entrada via insumos orgânicos próprios das unidades produtivas, como a ciclagem de nutrientes e o uso de estrume, além da absorção de nutrientes pelo cultivo (ONU, 2014). O BNS foi utilizado em Portugal por Carmo et al (2017), na China por Sheldrick, Syers e Lingard (2003) e Chen, Sun e Shindo (2016) e no mundo (MACDONALD et al, 2011).

No Brasil, o International Plant Nutrition Institute (IPNI) tem estimulado o cálculo do saldo de nutrientes após a safra agrícola, resultando nos trabalhos de Yamada e Lopes (1998), que fizeram o cálculo para os anos de 1993 à 1996, Cunha, Casarin e Prochnow (2010), para o ano de 2008, Cunha, Casarin e Prochnow (2011), entre 1988 e 2010 e Cunha et al (2014) que trabalharam com dados de 2009 a 2012. Nesta pesquisa, o Balanço de Nutrientes do Solo foi adotado para estimar o Saldo Físico Anual de Nutrientes do Solo brasileiro, utilizando como referência o modelo proposto pelo IPNI, uma vez que as variáveis adotadas têm como foco os fluxos de entrada e saída de nutrientes relacionados com a produção agrícola.

O saldo resultante do balanço nacional será utilizado como *imput* de ajuste do PIB brasileiro. A partir do BNS pode-se calcular a depleção anual física no solo, em caso de saldo negativo, ou o excesso físico no solo, em caso de saldo positivo. A monetização deste saldo permite a sua utilização como variável de ajuste ambiental dos indicadores macroeconômicos de produção. Aqui, adotou-se o Produto Interno Bruto Ajustado Ambientalmente (PIBA), uma vez que a depreciação de máquinas e equipamentos não é calculada no Brasil, impedindo a estimação do PILA. Estratégia semelhante foi adotada por Brasileiro (2012) ao estimar o PIBA da Amazônia legal utilizando a degradação da atmosfera como variável de ajuste.

A entrada anual de nutrientes no solo agrícola nacional é entendida como um investimento na fertilidade do solo, enquanto que a absorção, pelo cultivo, é registrada como a depleção deste capital. Se o saldo entre as duas variáveis for positivo, ter-se-ia a formação de

estoque de nutrientes que deveria ser entendido, no registro do Sistema de Contas Nacionais, como Variação de Estoques e levaria a um resultado em que o PIBA seria maior que o PIB, indicando que o manejo realizado pelos agricultores, não só evita a depleção nutritiva, como garante um excesso de nutrientes. Entretanto, o excedente aplicado tende a ser perdido via lixiviação e escoamento com a água, não podendo ser considerado como um investimento em estoque. Esse excedente seria um custo de produção, pois se refere à parte do custo de aquisição e aplicação de nutrientes que não são absorvidos pelas plantas no período atual e nos próximos e de um custo social, porque potencializa a ocorrência dos problemas ambientais já citados. Como resultado, ter-se-ia um PIBA menor que o PIB.

O saldo negativo indica a depleção do solo e também resultaria em um PIBA menor que o PIB, indicando não só que o PIB é superestimado, como também que a produção nacional tem ocorrido por meio da redução da degradação do solo. O saldo zero indicaria inexistência de depleção e também de outros impactos ambientais e produtivos relativos ao excesso de nutrientes. A segunda possibilidade é adotada como a hipótese deste trabalho, devido à expansão da fronteira agrícola nacional e à necessidade constante de aumento de produtividade. Nos dois casos, visualiza-se a necessidade de saídas de nutrientes, cada vez maiores.

Para testar esta hipótese, utilizou-se a Matriz de Contabilidade Social (MSC) para estimar o PIBA brasileiro para o ano de 2010. A seleção do ano de estudo deveu-se à disponibilidade de dados referentes às transações intersetoriais no início da pesquisa. A matriz, por sua vez, foi escolhida por permitir a observação das relações intersetoriais e institucionais relativas à agropecuária e à depleção do solo. A MSC foi estruturada conforme Pyatt e Round (1979), e os coeficientes de efeito global foram calculados conforme Stone (1985) e Santana (2005).

Ressalta-se que o questionamento deste trabalho não se refere ao levantamento dos impactos observados no solo agrícola brasileiro em relação ao seu estado original. Se este fosse o caso, ter-se-ia de comparar os teores de nutrientes presentes em solos livres da ação antrópica com aqueles já sob influência da produção agrícola. O que se pretende é encontrar o impacto anual, de modo a saber se o cultivo tem provocado a degradação nutritiva, safra após safra, nos primeiros 20 cm do perfil do solo.

Como descrito, o ativo ambiental solo deve ser entendido como componente de um ecossistema e, por isso, outros recursos do solo devem ser considerados para que a sua degradação seja captada por completo. A abordagem adotada nesta pesquisa se refere ao

esforço inicial de uma série de estudos que devem identificar e registrar, contabilmente, os fluxos de degradação e recuperação dos aspectos físicos, biológicos e químicos do solo, com o objetivo de propor uma conta satélite para o Sistema de Contas Nacionais brasileiro.

Este trabalho foi estruturado em três seções, além desta introdução. A segunda seção descreve e analisa o mercado de fertilizantes no país, por meio da estimação da função de demanda brasileira por N, P e K, utilizando a precipitação pluviométrica como uma das variáveis explicativas relevantes. A seção seguinte estima e apresenta o comportamento da evolução dos saldos físico e monetário de nutrientes no solo brasileiro e entrega os *imputs* Formação Bruta de Capital Natural Fixo do solo (FBCNFsolo) e a Depleção do solo (Dsolo), para o ano de 2010, utilizados para estimar o PIBA via a MSC e as matrizes de efeitos globais de Leontief e de Stone para a agropecuária; na seção quatro, a conclusão encerra o trabalho.

## **2 A DINÂMICA DA DEMANDA AGREGADA POR FERTILIZANTES AGRÍCOLAS NO BRASIL NO PERÍODO DE 1995 A 2016.**

### **2.1 Introdução**

A agricultura mundial, ao longo das últimas décadas, foi impulsionada pelo aumento da produtividade. Entre 1995 e 2016, a produção mundial de trigo, soja, milho e arroz apresentou acréscimo de 64%, registrando, no último ano, 2,5 bilhões de toneladas. Esse incremento superou o efeito área, dado que a produtividade de 3,65 toneladas por hectare, foi superior em 37% do valor registrado no início do período (OECD, 2017).

Os insumos agrícolas foram de fundamental importância para o avanço da produtividade. Neste sentido, o acesso a esses *inputs* tornou-se a condição necessária ou de suficiência para economias alicerçadas no valor adicionado pelo agronegócio. A utilização de sementes, defensivos e fertilizantes, desenvolvidos a partir da tecnologia de ponta, a preços competitivos, garante contínua elevação da produtividade (MCARTHUR; MCCORD, 2017) que, por sua vez, libera força de trabalho para outros setores (BUSTOS; CAPRETTINI; PONTICELLI, 2016), reduz o dispêndio médio para sobrevivência (LEWIS, 1954) e gera divisas (KUZNETS, 1968) essenciais para o comércio exterior. Dada a importância evidenciada, torna-se imprescindível à ciência e à sociedade, a realização de estudos sobre tais insumos, como se propõe neste trabalho.

Importante insumo agrícola, os fertilizantes foram responsáveis por parte significativa da elevação da produtividade, nos últimos anos (MCARTHUR; MCCORD, 2017). Como consequência, a demanda mundial cresceu 33% entre 2000 e 2013, atingindo 180 milhões de toneladas ao fim do período (IFA, 2016). No mesmo intervalo, houve decréscimo de 1% na área total cultivada ao redor do mundo, indicando que a elevação do uso de fertilizantes se deve ao aumento do consumo por hectare, resultando em ampliação da produtividade agrícola (WORD BANK, 2017).

No Brasil, como evidenciado na Tabela 2.1, o consumo de fertilizantes cresceu 147% entre 1996 e 2015, destacando o aumento na entrega de produtos nitrogenados, que triplicou

no período. Conquanto, ao contrário do movimento agrícola internacional, a produção nacional registrou elevação de 35% da área colhida<sup>1</sup> (ANDA, 2016), resultado, como demonstrado por Vieira Filho (2016), do avanço da fronteira agrícola sobre as regiões Centro-Oeste, Norte e Matopiba (Formada pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e da Bahia). O autor ressalta que a expansão da fronteira agrícola foi possível, mediante melhoramentos tecnológicos que permitiram a internalização de ganhos de escala. Entre os melhoramentos citados, tem-se aqueles relacionados aos fertilizantes e que, segundo dados da ANDA (2016) e do IBGE (2007), propiciaram aumento de 88% na quantidade aplicada por hectare.

Em 2015, foram aplicados 0,55 toneladas de fertilizantes por hectare, em média. Em paralelo, Buaianais et al (2014), afirma que, a partir da década de 2000, o crescimento da produção agrícola nacional tem se baseado, gradativamente, na elevação da produtividade, a despeito da expansão da área. Em que pese o crescimento da demanda, a produção interna total foi elevada apenas em 4%, tendo o maior crescimento registrado pelo potássio e um decréscimo de 7% na produção de nitrogênio. Nesses dez anos em estudo, a produção interna passou a representar 30% da demanda total, fato que evidencia a necessidade de importação de nutrientes, pois não existe perspectiva de acompanhamento pela oferta interna, dada a baixa capacidade instalada nacional.

Nesta perspectiva, evidenciou-se também o aumento da produtividade agrícola no Brasil, assim como, a significativa importância, do setor para a economia nacional. Em relatório, de dezembro de 2016, o CEPEA (2016), informa crescimento do Produto Interno Bruto agrícola de 101% entre 1995 e 2016. Em relação à composição do PIB do Brasil (IBGE, 2016a), em 2016, a produção primária agrícola representou 4,06%, enquanto a soma de insumos, produção primária, indústria e serviços, relacionados à produção agrícola, representou 16,26% do produto nacional. Quanto a sua participação no comércio exterior, corrobora-se com as afirmativas de Kuznets (1968), quanto à significativa participação da produção agrícola na geração de divisas, o setor representou 46,16% da balança comercial brasileira em 2015 (BRASIL MAPA, 2016).

Considerando os efeitos que a elevação da produtividade pode causar sobre a estrutura econômica e a relevância do setor para a economia brasileira, torna-se pertinente suputar os

---

<sup>1</sup> Considerando os 13 cultivos que concentram o uso de fertilizantes no Brasil: algodão, soja, milho, feijão, cana-de-açúcar, banana, arroz, batata, fumo, laranja, tomate, café e trigo

fatores que influem sobre as oscilações da demanda por fertilizantes. Este trabalho se enquadra nesta temática. A literatura acadêmica registra pesquisas que objetivaram estimar a função demanda por fertilizantes, geralmente, lançando mão de métodos dinâmicos para determinar a elasticidade do preço da demanda. Não obstante, outras variáveis têm sido incluídas, a fim de que se descubra quais fatores não-preços influem sobre a demanda por fertilizantes.

**Tabela 2.1 – Consumo e produção brasileira de N, P e K nos anos de 1996 e 2015.**

Nutrientes	Ano		%	
	1996	2015		
Demanda interna <sup>2</sup> (mil t)				
Consumo de fertilizantes	Nitrogênio (N)	1.197	3.533	195%
	Fósforo (P)	1.708	4.401	158%
	Potássio (K)	1.941	5.162	166%
	Produto <sup>1</sup>	12.248	30.202	147%
Produção interna <sup>2</sup> (mil t)				
Produção de fertilizantes	Nitrogênio (N)	847	789	-7%
	Fósforo (P)	1.847	2.021	9%
	Potássio (K)	424	779	84%
	Produto <sup>1</sup>	8.778	9.115	4%
Produtividade				
Área Colhida (mil hectares) <sup>3</sup>	41.057	55.405	35%	
Produto <sup>1</sup> /Área Colhida	0,30	0,55	88%	
Produção agrícola (mil toneladas) <sup>3</sup>	499.442	991.511	99%	
Produtividade agrícola	12	18	47%	

<sup>1</sup>Produto é o fertilizante pronto para uso, contendo outros elementos químicos além dos macronutrientes, representa, portanto, o total de nutrientes consumidos ou produzidos, incluindo N, P e K.

**Fonte:** <sup>2</sup>ANDA (2007, 2016) e <sup>3</sup>IBGE (2007)

Em dois trabalhos, Griliches (1958, 1959) estimou a função demanda por fertilizantes nos Estados Unidos da América (EUA), considerando as formulações completas<sup>2</sup>. No mesmo caminho, Brake (1960) estima a demanda por fertilizante, utilizando, além do modelo de defasagem distribuída, uma equação linear simples e um modelo de primeira diferença. Heady e Yeh (1959), por outro lado, estimaram duas equações de demanda, considerando, além do

<sup>2</sup> Considera-se como o conjunto de macro e micronutrientes presentes na formulação final do fertilizante, em detrimento da análise em separado dos macronutrientes Nitrogênio (N), Potássio (K) e Fósforo (P).

preço, as variáveis pagamento ao setor agrícola e agropecuário e o preço médio da produção agrícola, todas defasadas em um período. Outros trabalhos se dedicaram a estimar a demanda por nutrientes, utilizando o volume, individual, de fertilizantes nitrogenados (N), fosfatados (P) e potássicos (K). Esses são os casos de Carman (1977), para 11 estados nos EUA e Quddus, Siddqi e Riaz (2008), no Paquistão. Em outra frente, Burrell (1989) e Austin, Cao e Rys (2006), analisaram a demanda por fertilizantes nitrogenados para a Inglaterra e para a Nova Zelândia, respectivamente.

A pesquisa de Mergos e Stoforos (1997) contemplou aspectos ambientais. Valendo-se de uma equação linearizada, introduzindo aspectos dinâmicos por meio do método de cointegração e de um modelo de correção de erros, os autores estimaram uma equação de demanda por fertilizantes para a Grécia e, adicionalmente, incluíram a precipitação pluviométrica e a temperatura como variáveis explicativas.

Em estudo sobre o Malawi, Ricker-Gilbert e Jayne (2017) investigaram a influência do subsídio estatal para a aquisição de fertilizantes, por meio de dados em painel em que o preço do fertilizante foi aglutinado a outras variáveis. Terrones-Cordero e Martínez-Damián (2012) encontraram as elasticidades preço da demanda própria e cruzadas para oito insumos utilizados no México, entre eles os fertilizantes. Enfatizando as variáveis não-preço, Chakraborty (2016) empregou uma regressão linearizada para cotejar possíveis determinantes da demanda de fertilizantes na Índia, como resultado, identificou influência maior por parte do subsídio estatal e a correlação entre este e o preço dos fertilizantes.

Os trabalhos de Mustapha e Said (2016), realizado no Malawi e o de Rawashdeh, Xavier-Oliveira e Maxwell (2016) que englobou dados mundiais, estimaram a elasticidades-preço de longo prazo inferior ao encontrado para o curto prazo. Esse resultado, possivelmente, se dá pelas características físicas e químicas do solo local, que permitem que o agricultor prorrogue a aplicação para a safra seguinte, sem comprometer a produtividade. No entanto, esse não é um resultado comum. Os outros trabalhos apresentam a elasticidade de longo prazo, superior à de curto prazo.

No Brasil, além do preço do produto, o rendimento agrícola e um índice de preços recebidos pelo produtor são os principais determinantes adotados. Conforme evidencia o Apêndice A, Cibantos e Larson (1974), ao investigarem a realidade paulista, identificaram um comportamento inelástico, no curto prazo e elástico no longo prazo. Empregando o mesmo método, mas considerando a procura para cada macronutriente, Pescarin e Larson (1974) identificaram o comportamento elástico apenas para os fertilizantes nitrogenados no longo

prazo. Destaca-se a mudança estrutural provocada pela oferta de crédito a partir de 1966, indicando a importância dessa variável. Carmo (1982) utilizou as 13 culturas<sup>3</sup> que concentram a maior parte do consumo de fertilizante no Brasil e Nicoletta, Dragone e Bacha (2005) identificaram a inelasticidade preço da demanda para o Brasil. Destaca-se, no segundo estudo, a influência do crédito de custeio sobre a demanda e influência ainda mais significativa do IPR.

Profeta e Braga (2009), utilizando a metodologia da Nova Organização Industrial Empírica, concluíram pelo comportamento elástico da demanda em relação ao preço. Ao estimar a procura por fertilizantes entre 1970 e 2010, Friedrich (2012) identificou inelasticidade preço da demanda para o longo prazo, além disso, o IPR e a área colhida foram significativos enquanto o crédito rural de custeio revelou-se estatisticamente insignificante.

A inclusão de variáveis defasadas permite captar, ainda que, em parte, o comportamento adaptativo do produtor rural, quando da tomada de decisão na aquisição do insumo. Portanto, utilizar-se-á, neste trabalho, um Modelo Autorregressivo, que permitirá a estimação da curva de demanda de curto e de longo prazo, captando a dinamicidade presente na decisão do produtor. Sua originalidade consiste na utilização da precipitação pluviométrica e do crédito rural de custeio agrícola ofertado por bancos públicos e cooperativas, como determinantes da demanda por fertilizantes.

Conforme Andrade (2016) e Meurer (2007), a absorção de nutrientes pelas plantas se dá por meio da solução do solo e, desse modo, o teor de água se torna decisivo. Um terço do território nacional é formado por latossolos (KER, 1998, p. 30) que são constituídos, predominantemente, de óxidos e de caulinita que possuem cargas elétricas pH dependentes, de modo que as baixas quantidades de cargas estruturais, inerentes aos solos altamente intemperizados, sejam compensadas pelo manejo do pH do solo (ALLEONI et al, 2009, p. 384). Ao pH ideal para cultivo, esses solos dispõem de maior quantidade de sítios de trocas, podendo armazenar maior quantidade de nutrientes. A aplicação de fertilizantes fornece os nutrientes que ocuparão esses sítios e que, posteriormente, serão dessorvidos para a solução do solo e disponibilizados para as plantas (FERREIRA, 2010; MEURER, 2006).

---

<sup>3</sup> Milho, soja, algodão, tomate, cana-de-açúcar, feijão, batata, banana, fumo, laranja, café, cacau e arroz.

Desse modo, o aumento da produção ou da produtividade tenciona a demanda por fertilizantes, enquanto que a sua não utilização ou redução pode provocar redução nos retornos ao produtor. Esse fator ambiental, visto em Mergos e Stoforos (1997), que inclui a precipitação e a temperatura mensal no modelo, não é contemplado nos trabalhos nacionais. A delimitação do crédito, por finalidade e instituição ofertante, se dá pela representatividade de cooperativas e bancos públicos que apresentaram crescimento de 193% entre 1995 e 2015, representando 80%, em média, do crédito anual para custeio agrícola, no período (BRASIL BACEN, 2013). Dada a relevância dessas instituições, entende-se que o uso do variável crédito sem esse detalhamento pode ter causado o conflito de resultados apresentados na literatura.

Este trabalho se propõe a responder o seguinte questionamento: Quais as variáveis mais importantes para a determinação do comportamento da demanda por fertilizantes no Brasil entre 1996 e 2015? Acredita-se que a variável ambiental deve-se apresentar mais importante que a variável preço, dado às características do solo brasileiro. Além disso, parte dos efeitos, advindos dos determinantes, se distribuiria no prazo de um ano, evidenciando o comportamento adaptativo do produtor rural. Portanto, o objetivo desta pesquisa é estimar a função demanda por fertilizantes para o Brasil, pretendendo contribuir para a tomada de decisão dos agentes, públicos e privados, tendo como base a influência das variáveis incluídas no modelo, o preço, o IPR e a defasagem da procura por fertilizantes, conforme utilizado na literatura apresentada, além do crédito rural de custeio agrícola ofertado por bancos públicos e da precipitação pluviométrica.

A presente seção foi estruturada em três subseções, além desta introdução. A subseção seguinte detalha o Modelo Autorregressivo utilizado para a estimação da demanda por fertilizantes, apresenta a metodologia empregada em trabalhos já realizados sobre a temática abordada e revela a fonte dos dados. A subseção 2.3 apresenta e discute os resultados, de modo a permitir a sua comparação com a literatura consultada. A subseção seguinte encerra a seção dispondo a conclusão do teste da hipótese.

## **2.2 Materiais e Métodos**

A função a ser estimada para a demanda agregada por fertilizantes terá como abrangência o período de 1996 a 2015 e o total da área cultivada no Brasil, perfazendo,

portanto, as cinco regiões e seus diferentes aspectos edafoclimáticos, delimitação que permitirá a construção da função demanda para os 13 cultivos que concentraram a maior parte da demanda por fertilizantes no Brasil em 2015, segundo a ANDA (2016) o algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, milho, soja, tomate e trigo, que somam 90,2% dos fertilizantes entregues.

O comportamento adaptativo do produtor rural exige que se utilize Modelos Quantitativos Dinâmicos para a estimação da função de demanda agregada por fertilizantes no Brasil. O modelo autorregressivo foi instrumentalizado por Koyck (1954) e racionalizado nos modelos de Cagan e de Friedman (SANTANA, 2003), por meio da hipótese das expectativas adaptativas. Entende-se, assim, que o produtor rural aprende com seus próprios erros de modo que adapta suas expectativas de acordo com a experiência passada. O modelo proposto, portanto, deverá conter a defasagem da variável explicada, a fim de captar seus efeitos de curto e de longo prazo sobre o consumo de fertilizantes no Brasil.

O modelo autorregressivo se baseia na inclusão de  $k$  defasagens das variáveis explicativas (defasagem distribuída) e dos valores passados da variável dependente como novas variáveis. Neste trabalho, adotar-se-á a inclusão da variável explicada por acreditar-se que sua defasagem já carrega a influência das defasagens das variáveis explicativas (GUJARATI; PORTER, 2011). A quantidade  $k$  de defasagens é definida por meio de teste de significância executado sequencialmente, ou seja, verifica-se a significância de  $X_t$ , posteriormente de  $X_t$  e  $X_{t-1}$  e segue-se incluindo novas defasagens até que não se encontre significância. Desse modo, se  $X_{t-2}$  não for significativo, o modelo incluiria apenas  $X_t$  e  $X_{t-1}$ , apresentando, portanto, apenas uma defasagem (GUJARATI; PORTER, 2011; SANTANA, 2003).

A aplicação das expectativas adaptativas se baseia na hipótese de que as mudanças, no valor médio da variável dependente, ocorrem em função do valor esperado da variável  $X$  no tempo  $i$ , á qual denomina-se  $X_i^*$ , como se observa em (1).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^* + e_i \quad (1)$$

A variável independente, que, nesse caso, é denominada expectacional, pode ser direta e indiretamente observável, à medida que  $X_i^*$  é composto por seu valor atual e por sua defasagem, como em (2) (SANTANA, 2003)

$$X_i^* - X_{i-1}^* = \gamma(X_i - X_{i-1}^*)$$

$$X_i^* = \gamma X_i + (1 - \gamma)X_{i-1}^* \quad (2)$$

Em que  $\gamma$  é o coeficiente de expectativas, em caso de regressão linear, e, elasticidade de expectativas, quando os dados forem logaritmizados<sup>4</sup>. Assume-se que  $\gamma$  seja superior a zero e menor ou igual à unidade (SANTANA, 2003).

Como a variável explicativa não pode ser diretamente estimada, uma vez que não consideraríamos as defasagens em separado, torna-se necessária a substituição de (2) em (1), realizada em (3), e a conseqüente evolução (4) e (5), para que se chegue em um modelo passível de estimação, via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), como em (6) e (7) (SANTANA, 2003).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1[\gamma X_i + (1 - \gamma)X_{i-1}^*] + e_i$$

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1\gamma X_i + \beta_1(1 - \gamma)X_{i-1}^* + e_i \quad (3)$$

Multiplicando a defasagem de (1) por  $(1-\gamma)$  ter-se-ia:

$$Y_{i-1} = \beta_0 + \beta_1 X_{i-1}^* + e_{i-1} \quad (4)$$

$$(1 - \gamma)Y_{i-1} = (1 - \gamma)\beta_0 + (1 - \gamma)\beta_1 X_{i-1}^* + (1 - \gamma)e_{i-1} \quad (5)$$

---

<sup>4</sup> Na literatura também é denominado coeficiente de ajustamento.

Subtraindo-se a equação (5) da equação (3), encontramos a equação a ser estimada.

$$Y_i = \gamma\beta_0 + \gamma\beta_1 X_i + \beta_2 Y_{i-1} + v_i \quad (6)$$

ou

$$Y_i = \varphi_0 + \varphi_1 X_i + \beta_2 Y_{i-1} + v_i \quad (7)$$

Em que:

$$v_i = e_i - (1 - \gamma)e_{i-1}$$

$$\varphi_0 = \gamma\beta_0$$

$$\varphi_1 = \gamma\beta_1$$

$$\beta_2 = (1 - \gamma) \quad (8)$$

A estimação do modelo autorregressivo dependeria, portanto, da determinação inicial da equação (6) que revelaria a influência de curto prazo da variável independente. A definição da influência de longo prazo depende do valor de  $\gamma$ , este dado por  $\beta_2 = (1 - \gamma)$ , e integra  $\varphi$ . Ao aquilatarmos a equação (6) é possível encontrar a equação de longo prazo que é definida a partir da divisão de  $\varphi$  por  $\gamma$ , conforme (1).

O tempo para equilíbrio é determinado em (9).

$$t \cdot \ln(1 - \gamma) = \ln \alpha \quad (9)$$

em que:

$t$  é tempo necessário para o equilíbrio.

$\gamma$  é o coeficiente de expectativas

$\alpha$  é o nível de ajustamento que falta para atingir o equilíbrio.

Os dados serão logaritmizados de tal modo que os parâmetros representarão as elasticidades e  $\gamma$  indicará a elasticidade de expectativas. A estimação será efetuada por meio da Regressão Linear Múltipla (RLM), pelo método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).

Segundo Santana (2003), cada variável independente contribui, significativamente, para explicar as oscilações do determinante, de tal modo que a parcela de contribuição possa ser isolada por meio de parâmetros, indicando, quantitativamente, qual a influência de cada variável explicativa sobre a explicada. Enquanto a RLM permite que tal contribuição seja observada, o MQO garante que o percentual não explicado seja o menor possível.

Os determinantes do consumo de nutrientes no Brasil foram selecionados a partir da revisão da literatura pertinente. Conforme o resumo, disposto na Tabela 2.2, o preço do fertilizante e o valor recebido pelos produtores são as variáveis utilizadas em maior número em artigos internacionais. No Brasil, o Crédito Rural também é utilizado.

Desse modo, a função demanda por fertilizantes, de curto prazo, no Brasil foi especificada em (10). O coeficiente de expectativas será calculado por meio de  $\beta_5$ , que permitirá o cálculo das elasticidades de longo prazo para as demais variáveis.

$$Qfe_i = \beta_0 + \beta_1 Pfe_i + \beta_2 Cre_i + \beta_3 Ppv_i + \beta_4 IPR_i + \beta_5 Qfe_{i-1} + e_i \quad (10)$$

Em que

$Qfe$  é a quantidade de nutrientes consumidos, em toneladas.

$Pfe$  é a média ponderada dos preços, em reais, por tonelada de Nitrogênio, Potássio e do Fósforo, deflacionada pelo IGP-DI, para 2015.

$Cre$  é a total de crédito rural para custeio agrícola, ofertado por bancos públicos e cooperativas, em reais, concedido ao setor agrícola deflacionado pelo IGP-DI, para 2015.

$Ppv$  é a precipitação pluviométrica média entre os meses de setembro e dezembro, em milímetros.

$IPR_i$  é a média do Índice de Preços Recebidos pelo Produtor, com base em dezembro de 2015.

$Qfe_{i-1}$  é a quantidade de nutrientes consumidos, em toneladas, defasado em um período.

$\beta_0$  é a constante.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$  são os parâmetros de estimação de cada variável explicativa. Assumindo que  $\beta_5$ , para ser considerado válido, precisa retornar a um valor entre 0 e 1.

Tabela 2.2 – Utilização das Variáveis Propostas.

Autores	Variáveis explicativas				
	Preço	Crédito	Valor Recebido pelo Produtor	Ambiental	Defasagem
<b>Internacionais</b>					
Griliches (1958)	✓	✗	✓	✗	✓
Gunjal, Roberts e Heady (1980)	✓	✗	✓	✗	✓
Burrell (1989)	✓	✗	✓	✗	✗
Mergos e Stoforos (1997)	✓	✗	✓	✓	✓
Quddus, Siddqi e Riaz (2008)	✓	✗	✗	✗	✓
Chakraborty (2016)	✓	✓	✗	✗	✗
Mustapha e Said (2016)	✓	✗	✗	✗	✓
Rawashdeh, Xavier-Oliveira e Maxwell (2016)	✓	✗	✗	✗	✗
Ricker-Gilbert e Jayne (2017)	✓	✗	✗	✗	✓
<b>Nacional</b>					
Cibantos e Larson (1974)	✓	✗	✓	✗	✓
Pescarin e Larson (1974)	✓	✗	✓	✗	✓
Carmo (1982)	✓	✓	✓	✗	✓
Nicolella, Dragone e Bacha (2005)	✓	✓	✓	✗	✗
Profeta e Braga (2009)	✓	✓	✗	✗	✗
Friedrich (2012)	✓	✓	✓	✗	✗

<sup>1</sup>Embora Gunjal, Roberts e Heady (1980), Mustapha e Said (2016) e Ricker-Gilbert e Jayne (2017) utilizem variáveis defasadas, o método de estimação escolhido não permite a indicação de um coeficiente de ajustamento.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Todas as variáveis foram logaritmizadas de modo que o coeficiente estimado é a própria elasticidade. A quantidade demandada de nutrientes, Nitrogênio, Fósforo e Potássio, representa a maior parte das formulações presentes nos fertilizantes. Por esse motivo, adotou-se a quantidade desses macronutrientes como uma *proxy* adequada para o consumo de fertilizantes (ANDA, 2016). Os dados sobre nutrientes no Brasil, entre 1996 e 2015, foram disponibilizados pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), por meio do

anuário estatístico do setor. A inclusão da defasagem se destina a captar as influências de longo prazo de cada uma das variáveis listadas. O consumo defasado, em um período, permitirá encontrar a elasticidade de expectativas e a distribuição das influências das demais variáveis, no longo prazo.

Entre as estimações realizadas a partir da soma da demanda por N, P e K e com a inclusão de sua defasagem, tem-se Griliches (1958) que estimou a função demanda por fertilizantes com o objetivo de perceber qual e por quantos anos a demanda americana por fertilizante demora para se ajustar às alterações do preço atual; em seu trabalho seguinte, Griliches (1959) estima as elasticidades preço da demanda de curto e de longo prazo, para as regiões americanas. Nos dois trabalhos, observa-se a utilização do modelo de defasagem distribuída, desenvolvido por Koyck, por meio do qual o autor conclui pela existência de ajustes de longo prazo. Em estudo sobre o Estado de São Paulo, Cibantos e Larson (1974) estimaram a função demanda por fertilizantes, utilizando o modelo de defasagem distribuída de Nerlove em comparação com um modelo estático. Funções foram calculadas, separadamente, para os períodos de 1949 a 1971, 1949 a 1960 e 1966 a 1971, tendo, como melhor ajustamento, os modelos dinâmicos.

Na Grécia, Mergos e Stoforos (1997) utilizam um modelo baseado na cointegração para identificar a existência de ajuste de longo prazo e, por meio deste, concluem que as elasticidades preço de curto e de longo prazo são maiores que as identificadas em outros países. Intencionando verificar se os subsídios à compra de fertilizantes podem atuar como estímulo ao crescimento econômico na África Subsaariana, Ricker-Gilbert e Jayne (2017) avaliam se os impactos do subsídio sobre o consumo de fertilizantes e a produção de alimentos ultrapassam um período. A inclusão da defasagem do valor do subsídio concedido na função demanda por fertilizantes permitiu que os autores concluíssem pela existência de impactos duradouros limitados do subsídio sobre o uso de fertilizantes.

A variável preço dos fertilizantes foi formada a partir dos preços deflacionados pelo IGP-DI para dezembro de 2015, do Superfosfato simples (SSP), da Ureia e do Cloreto de Potássio. O SSP entrega entre 16% e 22% de fósforo solúvel (BRASIL MME, 2009), respondendo por 45% dos produtos intermediários para a produção de fertilizantes fosfatados (ANDA, 2016). A ureia entrega 44% de nitrogênio (BRASIL MME, 2009) e representou 60% dos fertilizantes nitrogenados utilizados no solo brasileiro em 2015 (ANDA, 2016). O Cloreto de Potássio responde por 100% do consumo de potássio (ANDA, 2016) e entrega cerca de 60% de P solúvel em água (NASCIMENTO; MONTE; LOUREIRO, 2008).

São dados disponibilizados pelo Instituto de Economia Aplicada da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (IEA/SAA-ESP). O preço médio anual de cada produto foi utilizado para formar um preço unificado dos fertilizantes, calculando-se a média de preços dos três nutrientes, ponderada pela participação média de cada nutriente na formulação final do total de fertilizantes entregues ao consumidor final. Esse método de obtenção do variável preço é exatamente o mesmo utilizado por Cibantos e Larson (1974), Pescarin e Larson (1974), Nicolella, Dragone e Bacha (2005) e Friedrich (2012), que estimaram a função demanda brasileira por fertilizantes em diferentes períodos.

O Crédito Rural, em sua totalidade, é abordado nos trabalhos de Profeta e Braga (2009) e Chakraborty (2016). O detalhamento por finalidade e atividade é observado nos trabalhos de Carmo (1982), Friedrich (2012) e Nicolella, Dragone e Bacha (2005), em que se considera o montante ofertado para o custeio agrícola. Pescarin e Larson (1974) abordaram o crédito a partir de uma variável *dummy*. Neste trabalho, o crédito rural para custeio agrícola também será detalhado por instituição financeira. Considerar-se-á somente o valor ofertado por Bancos Públicos e Cooperativas, responsáveis pela maior parcela de financiamento concedido. Esta especificação da variável crédito é adotada como forma de corrigir a divergência dos resultados encontrados na literatura citada, principalmente no que tange ao erro de especificação identificado em Friedrich (2012) e em Profeta e Braga (2009). Os dados foram retirados dos Anuários Estatísticos do Crédito Rural fornecidos pelo Banco Central do Brasil.

As plantas absorvem os nutrientes, necessários ao seu crescimento e desenvolvimento, via contato entre suas raízes com a solução do solo. Tendo a água em sua composição, essa solução permite que os elementos adsorvidos aos coloides sejam desorvidos e transportados até as raízes. A fluidez dependerá, entre outros fatores, da quantidade de água disponível no solo. A aplicação de fertilizantes também deve respeitar essa dinâmica, a fim de que o produto seja totalmente dissolvido e disponibilizado às raízes das cultivares. Nesse sentido, a aplicação ocorre em períodos de chuva, quando a elevação da precipitação acarreta na elevação da quantidade disponível de água. Por outro lado, o excesso de chuva pode acelerar, em demasia, o processo de incorporação do produto ao solo provocando sua lixiviação (BRITO; MURAOKA; SILVA, 2009; FERNANDES, 2006; MEURER, 2006, 2007; SBCS, 2004).

O nível ideal de água no solo depende de suas características físicas que definem o nível de Capacidade de Campo (CC), acima do qual o solo estará saturado e, nesta situação,

ocorrerá a lixiviação com maior facilidade e o Ponto de Murcha Permanente (PMP), que indica que a água presente no solo está retida nos microporos e, por isso, indisponível. Um solo propício a fertilização deve apresentar o teor de água entre seu próprio ponto de CC e PMP, pois é, neste intervalo, que a planta obtém as condições necessárias para a absorção de nutrientes, e os nutrientes não sofrerão com a lixiviação (BRADY; WEIL, 2012).

Nesta perspectiva, inclui-se, no modelo, a precipitação pluviométrica média, no Brasil, entre os meses de setembro e dezembro de cada ano. Conforme o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o período favorável de plantio, das principais culturas e na maior parte do país, ocorre durante os últimos quatro meses de cada ano (INPE, 2017). Entende-se que, devido à delimitação para o período chuvoso, a variável apresentará uma relação inversa com a demanda, tendo em vista que, em um período de alta precipitação, um aumento poderia significar a saturação do solo e a conseqüente perda do fertilizante aplicado. Nessa conjuntura, o produtor se sentiria inibido em adquirir o produto.

O valor recebido pelo produtor rural pode ser entendido como uma *proxy* da receita obtida pelo produtor como resultado da produção advinda do campo. Entende-se que, assim como o crédito deve impactar positivamente a demanda por fertilizantes, um aumento na receita do produtor também tenderia a representar um aumento no consumo de fertilizantes. Desse modo, espera-se que a variável, que representa a receita, disponha de um coeficiente positivo. Na literatura internacional, pode-se observar essa abordagem em Griliches (1958) que utilizou a relação entre o preço do fertilizante sobre o preço recebido pelos produtores, com vistas a captar a relação de troca entre insumo e produto. Em Gunjal, Roberts e Heady (1980) e Mergos e Stoforos (1997) trabalharam com o preço de venda dos produtos colhidos como *proxy* da receita. Burrell (1989) vai além e insere o próprio valor bruto da produção agrícola para estimar uma função demanda de dois estágios.

Entre os estudos realizados no Brasil, somente Profeta e Braga (2009) não incluíram alguma variável relacionada à renda auferida pelo produtor, pela venda do resultado do cultivo. Considerando a relevância da renda para a aquisição do insumo, pode-se também entender essa ausência como um erro de especificação do modelo. Por outro lado, Cibantos e Larson (1974) e Pescarin e Larson (1974) trabalharam com dados relativos ao Preço Recebido Pelos Produtores Agrícolas do Estado de São Paulo e fornecido pelo Instituto de Economia Agrícola. O Índice de Preços Recebidos pelos Produtores Rurais (IPR) foi igualmente utilizado por Carmo (1982) e, posteriormente, por Nicolella, Dragone e Bacha (2005) e

Friedrich (2012), por ser a variável mais indicada para captar o efeito agregado, da renda, sobre o consumo de fertilizantes como pretendido neste trabalho. Mensurado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), o índice é formado a partir de levantamento mensal de preços praticados pelos produtores agrícolas na venda a granel de 38 produtos (FGV, 2016). O IPR foi selecionado para representar a receita, pois, além de estar presente na maior parte da literatura nacional, é baseado nos preços dos 13 produtos analisados neste trabalho. O uso do Valor Adicionado do setor agropecuário, incluiria a pecuária podendo levar a um viés no resultado.

### 2.3 Resultados

Os parâmetros estimados se comportaram conforme o teoricamente esperado. A estatística F foi de 179,60, indicando que ao menos uma das variáveis explicativas apresenta relação com a demanda por fertilizantes no Brasil. O teste de  $h$  de Durbin, calculado a partir da estatística de Durbin-Watson ( $DW = 2,06$ ) atesta a ausência de autocorrelação de primeira ordem nos resíduos, o que já era esperado, tendo em vista a inclusão da defasagem do consumo de nutrientes como variável explicativa. O coeficiente de determinação ajustado juntamente com a estatística F indicaram que o modelo foi adequadamente especificado.

Os sinais dos parâmetros da equação estão de acordo com o esperado e se manifestaram significativos a 1%, no caso da precipitação pluviométrica e IPR, 5% para o preço do fertilizante e 10% para o crédito e o consumo defasado em um período. As variáveis propostas, portanto, validam os resultados e inferências relativas ao modelo de equação de demanda especificado. As variáveis selecionadas explicam simultaneamente 98% das oscilações da quantidade demandada de fertilizantes no Brasil entre 1996 e 2015, conforme Tabela 2.3. O intercepto indica que o consumo de fertilizantes seria de 8,2 toneladas de fertilizantes, ainda que todas as variáveis determinantes fossem nulas.

Os coeficientes relativos ao crédito rural para custeio agrícola, ofertado por bancos públicos e cooperativas; o IPR e a quantidade demandada de fertilizantes, defasada de um período apresentaram sinais positivos, indicando que aumentos da oferta de crédito, do índice de preços recebidos pelo produtor e da demanda realizada no ano anterior tendem a provocar incremento na demanda atual por fertilizantes. Um comportamento inverso foi observado pelo preço e pela precipitação pluviométrica. Como os coeficientes de ambos possuem sinal

negativo revelam que o incremento no preço e no excesso de chuvas provoca decréscimo da demanda por fertilizantes. Assim como encontrado em Nogueira e Santana (2018), o preço produz ajuste na mesma curva de demanda, mudando apenas os pontos de combinação entre preço e quantidade, refletindo somente uma correção negativa. No caso da precipitação, ocorre um deslocamento da demanda e isto se reflete em perda de bem-estar dos produtores que demandam fertilizantes, sinalizados na forma de prejuízo (lucro negativo) porque o efeito climático afetou a distribuição aos produtores, neste caso, definidos como os consumidores do insumo.

**Tabela 2.3 – Resultado do modelo de demanda por fertilizantes no Brasil, 1996 a 2015.**

Variáveis <sup>1</sup>	Coefficientes	Desvio Padrão	Estatística T	P-valor
Intercepto	8,20	1,76	4,66	0,00
Pfe	-0,24	0,10	-2,33	0,04
Cre	0,17	0,09	2,00	0,07
Ppv	-0,86	0,15	-5,59	0,00
IPR	0,32	0,07	4,74	0,00
$Qfe_{t-1}$	0,27	0,15	1,85	0,09
R <sup>2</sup>	0,99	Estatística F		179,60
R <sup>2</sup> ajustado	0,98	Estatística F (P-valor)		0,00
Durbin Watson	2,06	LM		0,15
<i>h</i> de Durbin	-0,19			

<sup>1</sup>Todas as variáveis foram logaritmizadas. Todas as variáveis foram significativas a 10%. Pfe é o preço médio ponderado dos fertilizantes. Cre é o Crédito Rural para custeio agrícola ofertado por Bancos Públicos e Cooperativas. Ppv é a precipitação pluviométrica média do Brasil entre os meses de setembro e dezembro. IPR é o índice de preços recebidos pelo produtor agrícola.  $Qfe_{t-1}$  é a quantidade demandada de fertilizantes (NPK) defasada em um período.

**Fonte:** Resultado da pesquisa.

O coeficiente de 0,17 indica um comportamento inelástico em relação ao crédito, que, embora se aproxime dos resultados encontrados por Pescarin e Larson (1974), revela uma influência inferior àquela exercida pelo preço. De igual modo, os trabalhos de Carmo (1982) e Nicolella, Dragone e Bacha (2005) identificaram o comportamento inelástico, ao estudarem o Brasil, e coeficientes próximos ao calculado neste trabalho. A Tabela 2.4 revela as divergências quanto à influência do crédito na demanda por fertilizantes no Brasil. Enquanto Profeta e Braga (2009) identificaram um comportamento elástico, cujo resultado de -1,99 denota a existência de relação inversa, Friedrich (2012) constatou a não significância da variável.

**Tabela 2.4 – Registros do crédito rural como determinante da demanda por fertilizantes**

<b>Autores</b>	<b>Área de Estudo</b>	<b>Coefficiente</b>
Cibantos e Larson (1974)	Brasil (São Paulo)	(-)
Pescarin e Larson (1974)	Brasil (São Paulo)	N=0,13; P=0,17; K=0,16
Carmo (1982)	Brasil e Regiões	0,33
Nicolella, Dragone Bacha (2005)	Brasil	0,25
Profeta e Braga (2009)	Brasil	-1,99
Friedrich (2012)	Brasil e Regiões	não significativa
Resultado da Pesquisa	Brasil	0,17

(-) Não contemplado pelo estudo.

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A divergência de resultados pode ser causada pelo nível de detalhamento dos dados utilizados na composição e do tratamento comportamental ao longo do tempo da variável crédito, tendo em vista que este trabalho se refere à realidade da atividade agrícola e da utilização de adubos inorgânicos. Profeta e Braga (2009) optaram pela utilização do valor total de crédito ofertado, incluindo, portanto, informações relativas aos recursos destinados à comercialização, ao investimento e ao custeio da produção agrícola e da pecuária. Friedrich (2012) optou por utilizar o crédito para custeio agrícola, sem especificar a instituição ofertante. Este pode ser apontado como um motivo para a relação inversa e elástica ou insignificante encontrada pelos autores nos dois trabalhos citados e que contraria a teoria econômica, que referenda a utilização do crédito como forma de estímulo ao desenvolvimento econômico (SCHUMPETER, 1997). Trata-se, portanto, de um erro de especificação que se pretende equacionar e assim, confirmar a importância do crédito para o desenvolvimento e modernização da agricultura (HOFFMANN, 1992).

Nesse contexto, foi considerado não somente o crédito para custeio agrícola, como a instituição ofertante. O resultado encontrado, portanto, reflete a influência da oferta de crédito rural, para custeio agrícola, ofertado por bancos públicos e cooperativas, sobre a demanda de fertilizantes no período de 1996 a 2015. O crédito oferecido por essas instituições, no período, representou 80% do total do crédito rural ofertado por ano, em média.

A precipitação pluviométrica apresentou maior representatividade quanto à explicação das oscilações na demanda, o coeficiente de -0,86 é o maior entre as demais variáveis. Tanto o

sinal, quanto a magnitude do coeficiente se devem à importância do manejo da disponibilidade de água, que deve estar entre a Capacidade de Campo (CC) e o Ponto de Murcha Permanente (PMP). Uma precipitação pluviométrica elevada pode provocar a elevação da água disponível a um ponto acima da CC ocasionando a saturação do solo que, por sua vez, facilita a perda de nutrientes via lixiviação. A redução da precipitação, em última instância, pode reduzir a água disponível ao PMP, situação em que a absorção da solução do solo se torna dificultada. Nesse sentido, o setor produtivo deve criar estratégias para reduzir os impactos do comportamento do clima sobre a absorção de nutrientes, sob pena de redução da rentabilidade agrícola.

Desta feita, infere-se que um aumento de 10% na média da precipitação pluviométrica brasileira, nos meses de setembro a dezembro, pode ocasionar a queda em 8,6% da quantidade demandada de fertilizantes no país. Infere-se, assim, que a variável ambiental e, por isso, não controlada pelo produtor, exerce maior influência sobre a demanda de fertilizantes que as demais variáveis, incluindo o preço e o crédito disponível. Esse comportamento pode ser explicado pela característica física e química do solo nacional. Formado por argilas expansivas, depende do controle do pH da água para a liberação de sítios de troca e a consequente ampliação da fertilidade do solo. Essa é a característica da produção agrícola nacional que torna o fertilizante essencial ao cultivo e faz com que seu preço, embora apresente coeficiente significativo, exerça pouca influência. Por outro lado, a pluviometria é essencial para a garantia da solubilidade dos fertilizantes e a disponibilização dos nutrientes, fator que justifica sua alta relevância.

Na verdade, todo o aparato tecnológico envolvendo a combinação das tecnologias química, mecânica e biológica só maximiza seus efeitos na produção com o efeito da água. Fica evidente, a necessidade de se respeitar a resiliência do solo, entendido como parte de um ecossistema a fim de se evitar a ocorrência de outros custos para a produção e principalmente, de externalidade negativa para a sociedade. Na literatura nacional, não há registros de estudos semelhantes para comparação, já, internacionalmente, tem-se o trabalho de Mergos e Stoforos (1997), que identificaram o coeficiente de -10,06 para a variável “índice meteorológico”, formada pela divisão da precipitação pela temperatura.

A elasticidade-preço da demanda por fertilizantes no Brasil, no curto prazo, é igual a -0,24 e revela que a quantidade demandada tende a se reduzir em 2,4% quando do aumento em 10% no preço do produto, *ceteris paribus*. A inelasticidade-preço está coerente com os resultados já publicados. Como revela a Tabela 2.5, Cibantos e Larson (1974), além de

confirmarem o comportamento inelástico, encontram o valor de -0,248, bem próximo à elasticidade estimada neste trabalho.

**Tabela 2.5 – Elasticidade-preço da Demanda por Fertilizantes na Literatura**

	Autores	Área de Estudo	Elasticidade-preço da demanda	
			CP	LP
<b>Internacional</b>				
1	Griliches (1958)	EUA	-0,5	-2
2	Griliches (1959) <sup>1</sup>	Regiões dos EUA	-0,12	-0,86
			a 0,78	a -4,30
3	Carman (1973) <sup>1</sup>	Estados dos EUA	-0,20 a -1,8	-
4	Lingard (1971)	Reino Unido	-0,6	-1,18
5	Higgings (1986)	Irlanda	-	-1,38
6	Anker e Schmitz	Alemanha	-	-0,19
7	Dubgaard (1986)	Dinamarca	-	-0,19
8	Terrones-Cordero Martínez-Damián (2012) <sup>e</sup>	México	-	N=-0,12, K=0,22, P=-0,28,
9	Mustapha e Said (2016)	Malawi	-0,45	-0,35
10	Rawashdeh, Xavier- Oliveira e Maxwell (2016)	Mundo	K= -0,15	K= -0,06
<b>Nacional</b>				
11	Cibantos e Larson (1974)	Brasil (São Paulo)	-0,25	-2,48
12	Pescarin e Larson (1974)	Brasil (São Paulo)	N=-0,48; P=-0,31; K=-0,30	N= -1,12, P= -0,76, K= -0,60
13	Carmo (1982) <sup>2</sup>	Brasil e regiões	-0,39	-0,73
14	Nicolella, Dragone e Bacha (2005)	Brasil	-	-0,65
15	Profeta e Braga (2009)	Brasil	-	-2,28
16	Friedrich (2012) <sup>2</sup>	Brasil e regiões	-	-0,99
17	Resultado da Pesquisa	Brasil	-0,24	-0,33

<sup>1</sup>menor e maior elasticidades encontradas para as regiões ou estados. <sup>2</sup> considerando somente o resultado a nível de Brasil. CP=Curto Prazo e LP=Longo Prazo

**Fonte:** Elaborado pelo autor a partir de Nicolella, Dragone Bacha (2005), itens de 4 a 7.

Na literatura internacional, a elasticidade-preço varia conforme as conjunturas locais, apresentando demandas elásticas e inelásticas. Ênfase deve ser dada à pesquisa realizada por Carman (1973), cujas elasticidades por fertilizantes nitrogenados, para a Califórnia, -0,20, por fertilizantes fosfatados, em Washington, -0,29 e de fertilizantes fosfatados para Idaho de -0,21, que também se aproximaram do resultado aqui estimado. A semelhança dos resultados,

se deve à concentração da oferta internacional de fertilizantes, pelas multinacionais Yara, Mosaic, Fertipar e Heringer que entregaram cerca de 73% do total de N, P e K utilizados na agricultura mundial em 2017. O domínio da oferta global, por 4 multinacionais, leva à adoção das mesmas práticas de produção e exploração ambiental, conseqüentemente, os resultados produtivos e conseqüências ambientais tendem a serem semelhantes (SANTOS; GLASS, 2018).

Os cultivos realizados em monocultura compartilham a mesma área e estabelecimento, como é o caso da rotação de culturas e do compartilhamento de áreas pertencentes a um mesmo estabelecimento. O IPR permite contabilizar a variação do preço de mercado com todos os cultivos considerados, independente do compartilhamento da área de plantio e, por isso, sua inclusão foi feita com a justificativa de quantificar o impacto da receita dos produtores sobre as oscilações da demanda por fertilizantes. Nesse sentido, a significância a 1% e o sinal positivo de seu coeficiente estão de acordo com o esperado e registrado na literatura consultada. Distingue-se, no entanto, a intensidade desse impacto. Enquanto Carmo (1982) e Nicolella, Dragone e Bacha (2005) encontraram coeficientes acima da unidade (1,55 e 1,34, respectivamente) e Friedrich (2012) identificou o valor de 0,97, a relação entre o IPR e a quantidade de fertilizantes é de magnitude 0,32. Assim, o resultado indica uma representatividade do Índice de Preços Recebidos pelo Produtor inferior àquela encontrada nos trabalhos já publicados.

A inclusão da quantidade demandada, defasada em um ano, gerou um coeficiente de 0,27, coerente com a hipótese de convergência do modelo, e coeficiente de expectativas de 0,73, indicando que, aproximadamente, 73% do retorno ao equilíbrio é feito em um ano. Conforme disposto na Tabela 2.6, os resultados internacionais se encontram abaixo do coeficiente expectacional aqui identificado, e isto se deve à maior expertise identificada no setor agrícola nacional, que confere maior conhecimento e racionalidade aos produtores brasileiros, em comparação com os produtores paquistaneses (QUDDUS; SIDDIQI; RIAZ, 2008) e malauianos (MERGOS; STOFOROS, 1997) atuais e em comparação aos produtores americanos que atuavam na década de 1950 (GRILICHES, 1958). No Brasil, os resultados publicados revelam que a expansão da fronteira agrícola e dos pacotes tecnológicos, que homogeneízam a prática agrícola, modelam o conhecimento a ponto de facilitar o pensamento racional adaptativo do produtor. Neste sentido, o ajustamento sai de 10%, na década de 1974 (CIBANTOS; LARSON, 1974), para os atuais 73%.

**Tabela 2.6 – Registros do Coeficiente de Ajustamento na Literatura Seleccionada**

<b>Autores</b>	<b>Coeficiente de ajustamento</b>
<b>Internacional</b>	
Griliches (1958)	0,25
Mergos e Stoforos (1997)	0,50
Quddus, Siddqi e Riaz (2008)	0,51
<b>Nacional</b>	
Cibantos e Larson (1974)	0,10
Pescarin e Larson (1974)	N=0,43; P=0,41; K=0,51
Carmo (1982)	0,53
Resultado da pesquisa	0,73

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Utilizando o ajustamento encontrado é possível definir os coeficientes das variáveis determinantes, no longo prazo. Desta feita, a elasticidade-preço da demanda de longo prazo é -0,33 indicando que, a cada aumento em 10% no preço, ter-se-ia como resultado a diminuição em 3,3% do consumo de fertilizantes em um ano. A Tabela 2.7 enquadra este resultado no conjunto da literatura consultada. A inelasticidade, de longo prazo, também foi o resultado auferido nas pesquisas nacionais de Carmo (1982), Nicolella, Dragone e Bacha (2005) e Friedrich (2012) e, internacionalmente, nos trabalhos de Anker e Schmitz (1986), Dubgaard (1986) e Terrones-Cordero e Martínez-Damián (2012).

Na Tabela 2.7, constam os interceptos e os coeficientes encontrados para o curto e o longo prazo. A quantidade demandada, quando todas as variáveis são desprezadas, é de 11,24 toneladas de fertilizantes. A única resposta elástica é identificada nas oscilações da precipitação pluviométrica (-1,18), em que uma elevação em 10% da média de chuvas entre os meses de setembro e dezembro provocaria queda em 11,8% no consumo de fertilizantes no longo prazo. Tanto o IPR quanto o crédito continuaram apresentando coeficientes inferiores à unidade, ainda que maiores que aqueles de curto prazo. Considerando o nível de ajustamento de 95%, o tempo necessário para atingir o equilíbrio de longo prazo é de 2,29 anos. Este resultado está aderente à realidade do mercado agrícola de commodities em que o ajustamento da demanda e oferta ocorrem de forma rápida em função da informação disponível e utilizada nas negociações em bolsa de mercadorias globais, influenciando todas as regiões produtoras simultaneamente.

**Tabela 2.7 – Coeficientes estimados para as demandas de curto e longo prazo.**

<b>Variáveis</b>	<b>CP</b>	<b>LP</b>
Intercepto	8,20	11,24
Pfe	-0,24	-0,33
Cre	0,17	0,24
Ppv	-0,86	-1,18
IPR	0,32	0,44
$Qfe_{t-1}$	0,27	
$\Gamma$	0,73	
$T$	2,29	

$\gamma$  é o coeficiente de ajustamento.  $t$  é o tempo necessário para o equilíbrio de longo prazo.

**Fonte:** Resultado da pesquisa

Assim, como no curto prazo, o comportamento inelástico ao preço, no longo prazo, pode ser explicado pela característica química dominante nos solos brasileiros e a característica importadora do mercado nacional de fertilizantes (BRASIL MAPA, 2016). Ressalta-se que a quantidade unitária de insumos a ser utilizada pelas principais culturas comerciais, para dado nível de produtividade e tecnologia empregada, tendem a serem constantes e, como resultado, tem-se baixa influência do preço sobre a quantidade demandada de fertilizantes, fato que justificaria a inelasticidade identificada. Outra justificativa seria o elevado uso de latossolos para o plantio, pois esses solos têm, como característica, possuir a quantidade de cargas negativas nos coloides dependentes do pH, então, independente do preço praticado, o nível de acidificação do solo deve ser favorável para a aplicação de fertilizantes. A inelasticidade preço da demanda, portanto, corrobora os postulados teóricos já apresentados.

## 2.4 Conclusões

O modelo apresentou coerência com relação ao curto e longo prazo e revelou o coeficiente expectacional de 73%, indicando que grande parte do ajuste de equilíbrio é atingido em um ano. O mercado brasileiro de fertilizantes, portanto, dispõe de ciclo curto de equilíbrio dado à essencialidade desse insumo e o acesso facilitado à oferta nacional. Em que pese a significância de todas as variáveis analisadas, foi a variável ambiental, precipitação pluviométrica, que apresentou o maior poder explicativo (-0,86), inclusive, revelando

comportamento ainda mais forte no longo prazo (-1,118), e confirmando a primeira hipótese de que o preço possuiria menor impacto sobre as oscilações da demanda por fertilizantes.

A demanda mostrou-se inelástica a preço, tanto no curto (-0,24), quanto no longo prazo (-0,33), e esse resultado se deve à concentração de mercado. A inclusão da pluviometria ocasionou os valores baixos dos coeficientes do IPR e do crédito. Quando comparada à literatura em que revelou coeficientes superiores à unidade, no caso do IPR e entre 0,13 e 1,99 para o crédito, a dimensão ambiental se revela superior aos determinantes econômicos, pois as oscilações de mercado e do incentivo creditício do governo se mostraram menos importantes para explicar o comportamento da demanda por fertilizantes brasileira entre 1996 e 2015.

A significância dos coeficientes de curto prazo de 0,17 e de longo prazo de 0,24, estimados para o crédito rural, confirmam que a presença dos valores referentes às ofertas de crédito por bancos privados estaria enviesando os dados utilizados em outras publicações, vindo a causar sua não significância. Tem-se, assim, a adequada especificação do modelo, referendando os postulados teóricos para o crédito.

### **3 A DEPLEÇÃO NUTRITIVA DO SOLO AGRÍCOLA BRASILEIRO**

#### **3.1 Introdução**

A necessidade de ampliação da oferta de alimentos e energia no mundo, incentivou o mercado a desenvolver tecnologias para superar problemas relacionados à baixa oferta de mão de obra e de terras férteis para cultivo. Em economias emergentes, como a brasileira, a introdução dessas tecnologias, permitiu o avanço da produção agrícola, de alto rendimento, para regiões consideradas improdutivas, dada à baixa qualidade do solo para a agricultura. Como consequência, tem-se a exploração do solo nacional, que assim como um ativo imobilizado para a produção, sofre a depreciação decorrente de seu uso.

A implementação de inovações tecnológicas na agricultura brasileira permitiu seu avanço em área e produtividade para o interior do país (VIEIRA FILHO, 2016). Entre as inovações tecnológicas implementadas, têm-se as genéticas, que possibilitaram o desenvolvimento de cultivares com maior sensibilidade à absorção de nutrientes (GOODMAN; WILKINSON; SORJ, 2008). Desse modo, a aplicação de fertilizantes inorgânicos no solo agrícola tem contribuído para aumentar a produtividade das lavouras.

Como consequência, tem-se a ampliação da demanda por fertilizantes. Entre 1970 e 2015, a entrega de adubos inorgânicos saiu de 2,5 milhões para 30,2 milhões de toneladas. Desse montante, 43% correspondem ao uso de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) (ANDA, 2016). O aumento da necessidade dos fertilizantes para a eficiência agrícola evidencia a relevância da gestão de nutrientes do solo, que se destaca por permitir a reposição de nutrientes para a manutenção e/ou o incremento da fertilidade em ritmo mais acelerado que sua resiliência e o cultivo em áreas naturalmente não aptas (CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2010). Ademais, como afirma Greenland (1975), um sistema agrícola sustentável precisa manter as reservas de nutrientes, caso contrário, ter-se-á maior potencial de ocorrência de impactos ambientais, que, por vezes, extrapolam os limites das unidades agrícolas.

A gestão de nutrientes do solo sob cultivo, do ponto de vista agrônomo, baseia-se na dinâmica de nutrientes que, a partir de fenômenos de sorção, permite o armazenamento de moléculas dos nutrientes na fase sólida e a disponibilização destes na fase líquida (MEURER, 2006). Durante o cultivo, as plantas absorvem os elementos químicos essenciais presentes na solução do solo e os utilizam para seu crescimento. A absorção ocorre durante todo o processo de crescimento vegetal e provoca a redução da concentração desses nutrientes na solução. O equilíbrio é naturalmente reestabelecido por meio da dessorção de outras moléculas de nutrientes presentes nos colóides do solo. Esses movimentos se repetem até que as plantas absorvam a quantidade necessária para seu total crescimento ou que os elementos essenciais se tornem indisponíveis (MELLO; PEREZ, 2009).

Ao fim da safra, o solo encontra-se com saldo nutricional inferior ao registrado antes do plantio, dada à utilização por parte das plantas. A reposição dos nutrientes extraídos pelas plantas, de modo geral, se dá por meio da decomposição de material orgânico depositado nas camadas superficiais do solo, incluindo a parte da matéria seca do cultivo que não é explorada comercialmente. Tem-se, portanto, um fluxo permanente de nutrientes que é intensificado pela atividade biológica das plantas no processo de produção agrícola. A colheita retira significativa quantidade de nutrientes do solo, de tal modo que a reposição natural, garantida pela dinâmica de nutrientes, não é suficiente para que a fertilidade do solo seja adequada ao plantio da safra seguinte e mantenha a mesma produtividade. A aceleração da recuperação do potencial produtivo do solo agrícola é viabilizada por meio da aplicação de fertilizantes em quantidade adequada ao desenvolvimentos das plantas e da produtividade. De igual modo, solos originalmente pouco férteis podem ter sua capacidade produtiva elevada por meio da manipulação da dinâmica no solo (MEURER, 2007).

Dito de outra forma, ao possibilitar a recuperação ou o aperfeiçoamento da fertilidade do solo, os fertilizantes garantem que a eficiência produtiva esteja de acordo com as necessidades exigidas no processo produtivo. Por esse motivo, o valor dispendido para a aquisição desses produtos também pode ser considerado como reserva para depreciação. Conforme Feijó e Ramos (2013), a depreciação é o custo do desgaste e da obsolescência dos bens de produção decorrentes de sua deterioração física no decurso do período de uso e que resulta na redução do valor corrente do ativo, que é transferido ao produto final. Esses custos devem ser reservados, a fim de se garantir a

reposição do ativo e, assim, a continuidade da eficiência produtiva. No caso da fertilidade do solo aqui considerada, não se leva em conta o que acontece com a estrutura do solo, segundo seu perfil, e nem o que acontece com erosão e perdas por percolação, compactação e/ou salinização dos solos, o que, certamente, é um passivo ambiental ainda não mensurado e valorado com precisão.

A depreciação do solo, por se tratar do desgaste de um recurso natural, é denominada depleção e pode ser observada por meio de suas condições físicas, químicas e estruturais. Solos que sofreram intervenção antrópica, sem a devida atenção a sua resiliência, tendem a apresentar sinais de esgotamento físico, como a compactação e a erosão, e, químicos, como a salinidade, a acidificação e a baixa fertilidade (VITOUSEK et al, 2009). Neste trabalho, o interesse está centrado no aspecto químico, mais especificamente na relação da produção agrícola com a fertilidade do solo.

Neste sentido, entende-se o solo como um ativo imobilizado que sofre esgotamento ao longo do tempo em que é manejado e com maior aceleração durante o período de plantio da safra. A parte correspondente ao esgotamento em cada safra é repassada ao produto final fisicamente, por meio dos próprios nutrientes e também por meio de custos de aquisição dos fertilizantes que possibilitaram a introdução, no solo, dos nutrientes absorvidos. Portanto, trata-se, aqui, apenas do fluxo de nutrientes, definido para manter a fertilidade do solo na sua camada superficial de alcance das raízes das lavouras temporárias, deixando de lado tudo o que acontece com o estoque do ativo que fica imobilizado, mas que sofre alterações com o manejo adotado na atividade agrícola.

Desse modo, torna-se interessante conhecer o fluxo físico e monetário de nutrientes no solo, a fim de se estar ciente do dispêndio necessário à manutenção da eficiência produtiva. Essa manutenção se refere ao montante total de nutrientes no ano imediatamente anterior ao do cálculo realizado. O conhecimento do saldo anual, portanto, não vislumbra estimar o grau de degradação do solo desde a primeira ação antrópica, pois, para isso, seria necessário realizar a comparação com solos não desmatados.

A literatura registra algumas consequências da ingerência sobre o fluxo físico de nutrientes. Vitousek et al (2009) chamam a atenção para a eutrofização ocorrida no Golfo do México, causada pelo excesso de nitrogênio e fósforo aplicados pela

agricultura americana. O excesso dos mesmos nutrientes teria causado a poluição do ar e da água no norte da Europa. Situação oposta é apresentada por Cobo, Dercon e Cadish (2010), que identificaram a reposição insuficiente de nutrientes na África, situação na qual pode ocorrer a acidificação do solo. Os dois extremos representam perigo à eficiência produtiva, à segurança alimentar e ao meio ambiente, exigindo atenção de governantes e produtores (VITOUSEK et al, 2009).

A partir dessa preocupação, alguns trabalhos científicos foram direcionados ao estudo do fluxo de nutrientes e o saldo após a safra. Assim, Sheldrick, Syers e Lingard (2003) estudaram o balanço de nitrogênio, fósforo e potássio na China, entre 1961 e 1997, utilizando o modelo de auditoria de nutrientes. Posteriormente, Chen, Sun e Shindo (2016) utilizaram o *Elementary Unit based nutrient Balance Model in Agroecosystem* (Eubolism), que consiste na construção de um fluxograma e equações que contabilizem a entrada e a saída observadas nos nós de ligação entre as diferentes fontes do nutriente e atividades agrícolas, para avaliar a eficiência agrícola chinesa em relação ao uso de nitrogênio.

Ao analisar a transição da agricultura baseada na fertilização orgânica para a química, em Portugal, Carmo et al (2017) estimaram o balanço de nutrientes, utilizando os fertilizantes inorgânicos, a concentração de nutrientes na água da chuva e a sua precipitação, o processo de intemperismo do solo, a retirada de nutrientes por árvores e ervas daninhas e as perdas por lixiviação, erosão e emissão de N em estado gasoso. Macdonald et al (2011) estimaram o balanço de fósforo no mundo, para o ano 2000, utilizando a aplicação de fertilizantes fosfatados e o esterco bovino como fontes de entrada de P, além da extração do nutriente por meio da absorção realizada pelas principais culturas.

No Brasil, quatro trabalhos se dedicaram à análise do Balanço Nutrientes do Solo (BNS) agrícola. Yamada e Lopes (1998) calcularam o balanço para 15 culturas durante os anos de 1993 e 1996 e encontraram saldo positivo ou neutro, para todas as culturas. Trabalho semelhante foi desenvolvido por Cunha, Casarin e Prochnow (2010), ao contabilizarem o balanço de nutrientes para o ano de 2008, confirmando o superávit entre entrada e saída de macro e micronutrientes. Os mesmos autores, Cunha, Casarin e Prochnow (2011) estendem o cálculo para os anos de 1988 a 2010 e destacam a deficiência de N apresentada entre 1988 a 1993, em decorrência da reposição

insuficiente deste nutriente. O déficit teria sido compensado por introdução superavitária nos anos seguintes. Trabalhando com dados de 2009 a 2012, Cunha et al (2014) encontraram déficit nutricional somente quanto ao Molibdênio (Mo).

Em que pese a importância dos trabalhos citados, acerca do tema, nenhum deles se dedicou a expressar o Balanço Monetário de Nutrientes de forma a permitir a mensuração do saldo monetário anual. A monetização do balanço físico se justifica pela consideração dos fertilizantes como uma reserva para a recuperação da capacidade produtiva do solo agrícola e assegurar a viabilidade econômica com o uso sustentável deste ativo natural.

Neste contexto, pretende-se responder ao seguinte questionamento: quais as consequências da produção agrícola sobre a fertilidade do solo brasileiro? A hipótese é que a depleção do solo agrícola nacional é recuperada por meio da reserva para depreciação, disposta como o dispêndio financeiro para a aquisição e a aplicação de adubos inorgânicos. Portanto, objetiva-se estimar o saldo monetário anual de nutrientes no solo brasileiro entre os anos de 1970 e 2015. O Balanço Anual de Nutrientes do Solo Brasileiro (BANS) servirá para calcular o saldo físico e monetário de nutrientes, a partir da quantificação da extração de nitrogênio, fósforo e potássio do solo pelas plantas e da inserção de nutrientes, via aplicação de fertilizantes, fertirrigação e fixação biológica. Serão abordados os 13 cultivos que apresentam maior demanda por fertilizantes, segundo a ANDA (2016). A partir do balanço físico, a monetização se dará por meio do preço médio anual de N, P e K, obtendo, assim, o saldo para cada nutriente.

Esta seção foi estruturada com quatro subseções, contando com esta introdução. Em materiais e métodos, ao leitor será apresentado o detalhamento do Balanço de Nutrientes, juntamente com a indicação de trabalhos que utilizaram desta e de outras metodologias para discutir este tema e a fonte dos dados utilizados. A subseção posterior apresenta o resultado do balanço e o compara com a literatura disponível, preparando o leitor para as conclusões que discorrem sobre o desfecho do teste da hipótese proposta

### 3.2 Materiais e métodos

O fluxo de nutrientes foi calculado anualmente, para o Brasil, no período de 1996 a 2015, utilizando dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016b), relativos à produção agrícola nacional e dados sobre o mercado de fertilizantes, disponibilizados pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), por meio dos Anuários Estatísticos do Setor de Fertilizantes de 2002 a 2015. Os dados utilizados na pesquisa referem-se às 13 culturas que utilizaram 90,72% (ANDA, 2016) dos fertilizantes inorgânicos entregues no Brasil em 2015: soja, milho, algodão, tomate, feijão, cana-de-açúcar, café, trigo, arroz, fumo, batata, laranja e banana.

O saldo físico de nutrientes foi mensurado do saldo entre a entrada e a saída desses elementos no solo, conforme a metodologia do Balanço de Nutrientes, explicitada em (1), (2) e (3) e baseada em Cunha et al (2014), Cunha, Casarin e Prochnow (2010, 2011), Yamada e Lopes (1998) e explorada por Vitousek et al (2009). O saldo monetário, por sua vez, é calculado a partir do resultado do Balanço de Nutrientes:

$$SN_i = Ne_i - Ns_i \quad (1)$$

$$SK_i = Ke_i - Ks_i \quad (2)$$

$$SP_i = Pe_i - Ps_i \quad (3)$$

Em que:

$SN_i, SK_i$  e  $SP_i$  saldo de Nitrogênio, Potássio e Fósforo, respectivamente, em solo brasileiro, no ano  $i$ .

$Ne_i, Ke_i, Pe_i$  total de Nitrogênio, Potássio e Fósforo, respectivamente, introduzidos em solo brasileiro no ano  $i$ .

$Ns_i, Ks_i$  e  $Ps_i$  total de Nitrogênio, Potássio e Fósforo, respectivamente, exportados do solo brasileiro, no ano  $i$ .

### 3.2.1 Entrada e saída de nutrientes do solo

A literatura científica dispõe de algumas opções de métodos para a quantificação do fluxo de nutrientes no solo agrícola. De modo geral, a principal distinção entre esses métodos se dá na seleção das formas de entrada e saída de nutrientes. A Tabela 3.1 dispõe as variáveis adotadas em trabalhos nacionais e internacionais. Os fertilizantes, a Fixação Biológica de Nutrientes (FBN) e a fertirrigação são as variáveis mais utilizadas para contabilizar o fluxo de entrada de nutrientes no solo, enquanto a absorção vegetal é a principal variável de registro dos fluxos de saída.

**Tabela 3.1. Registro na literatura, das variáveis usadas neste trabalho.**

Autores	Entrada			Saída
	FBN <sup>1</sup>	Fertilizantes	Fertirrigação	Absorção
<b>Internacionais</b>				
Sheldrick, Syers e Lingard (2003)	✓	✓	✗	✓
Vitousek et al. (2009)	✓	✓	✗	✓
Macdonald et. al. (2011)	✗	✓	✗	✓
Carmo et al. (2017)	✓	✓	✗	✓
Chen, Sun e Shindo (2016),	✓	✓	✓	✓
<b>Nacionais</b>				
Yamada e Lopes (1998)	✗	✓	✓	✓
Cunha, Casarin e Prochnow (2010)	✓	✓	✓	✓
Cunha, Casarin e Prochnow (2011),	✓	✓	✓	✓
Cunha et al. (2014)	✓	✓	✓	✓

<sup>1</sup>FBN = Fixação Biológica de Nitrogênio

**Fonte:** Elaborado pelo autor

A absorção vegetal consiste na retirada de nutrientes do solo pelas raízes das plantas para que estas se desenvolvam. Apenas uma parte dos elementos absorvidos resulta em redução do teor de nutrientes no solo, ao fim da safra. A parte não comercial da planta, ao ser decomposta, permite que os nutrientes retornem ao solo. Por outro lado, o consumo da parte comercial ocasiona a efetiva retirada de nutrientes, resultando no que se denomina exportação de nutrientes (ROSSETTO, 2016).

A estimativa da quantidade total de nutrientes exportados em solos agrícolas, no Brasil, foi realizada por meio da somatória da multiplicação do teor médio do nutriente

presente na porção comercial de determinada cultura pela quantidade total de produtos colhidos (Apêndice B), por ano, como em (4):

$$Xs_i = \sum(Txc * Qc_i) \quad (4)$$

Em que:

$Xs_i$  é a quantidade do nutriente X exportado anualmente por todas as culturas consideradas no ano i.

$Txc$  é o teor do nutriente X exportado pela cultura c.

$Qc_i$  é a quantidade produzida da cultura c no ano i.

Método semelhante foi adotado por Chen, Sun e Shindo (2016), que utilizaram a média do teor de exportação de nitrogênio encontrado em artigos anteriores para construir o balanço de nitrogênio na China. Para o mesmo país, Sheldrick, Syers e Lingard (2003) se apropriaram dos teores de N, P e K, estimados em outros artigos, para elaborar o saldo de nutrientes chinês por meio do Modelo de Auditoria. Carmo et al (2017) utilizaram a concentração de N, P, K divulgada em outros três trabalhos, para analisar o impacto da aplicação dos fertilizantes inorgânicos no meio rural de Portugal.

As pesquisas nacionais, relativas ao cálculo do Balanço de nutrientes, compartilham a mesma base de dados relativa aos parâmetros de exportação por cultura. Optou-se por atualizar esta base de dados na tentativa de captar as características atuais da produção agrícola. Desse modo, os teores médios de nutrientes exportados, por cultura, foram selecionados na literatura científica nacional e são apresentados na Tabela 3.2, que dispõe a quantidade média, expressa em quilogramas, de Nitrogênio, Fósforo e Potássio, exportada, por tonelada produzida de cada cultura.

As referências utilizadas foram selecionadas em função da recência, a especificidade do problema (a quantidade de N, P e K presentes em cada uma das 13 culturas selecionadas) e a expertise dos autores. Os dados sobre o teor de nutriente exportado encontrados para o fumo (ACOSTA et al, 1984) e para a laranja (VITTI; CABRITA, 1998), embora sejam datados da década de 1980 e 1990, respectivamente, são as publicações mais recentes, sendo, inclusive, mais atuais que as referentes aos teores já

utilizados na literatura nacional, relacionados ao Balanço Nutricional (YAMADA; LOPES, 1998). Problema semelhante foi enfrentado por Carmo et al (2017) e Sheldrick, Syers e Lingard (2003), que utilizaram trabalhos datados de 1955 e 1965, respectivamente.

**Tabela 3.2 – Quantidade Média Anual de Nutrientes Exportados pelas Culturas consideradas neste trabalho.<sup>1</sup>**

Cultivo	N	P	K
	kg/t		
Soja <sup>2</sup>	51,00	10,00	20,00
Milho <sup>3</sup>	21,22	4,19	14,36
Cana-de-açúcar <sup>4</sup>	0,47	0,08	0,96
Café <sup>5</sup>	23,90	1,30	19,60
Algodão <sup>6</sup>	28,40	7,40	18,40
Trigo <sup>7</sup>	30,30	4,41	5,00
Arroz <sup>8</sup>	12,50	2,20	4,40
Feijão Caupi <sup>9</sup>	29,00	2,92	9,52
Feijão Comum <sup>10</sup>	35,50	4,00	15,30
Fumo <sup>11</sup>	29,00	2,00	36,00
Batata <sup>12</sup>	2,00	0,40	5,35
Laranja <sup>14</sup>	1,96	0,44	1,76
Banana <sup>15</sup>	3,78	0,58	15,56
Tomate <sup>16</sup>	2,00	0,30	3,48

N é o Nitrogênio, P é o Fósforo e K é o Potássio. <sup>1</sup> em quilogramas de nutrientes por tonelada de produto produzido.

**Fonte:** <sup>2</sup>EMBRAPA (2010). <sup>3</sup>Coelho (2006). <sup>4</sup>Oliveira et al (2010). <sup>5</sup>Valarini (2005). <sup>6</sup>Carvalho, Ferreira e Staut (2007). <sup>7</sup>Sgobi (2016). <sup>8</sup>Cunha, Casarin e Prochnow (2010). <sup>9</sup>Sampaio e Brasil (2009). <sup>10</sup>Rosolem e Marubayashi (1994). <sup>11</sup>Acosta et al (1984). <sup>12</sup>Fernandes, Soratto e Silva (2013). <sup>14</sup>Vitti, Cabrita (1998). <sup>15</sup>Araujo (2008), <sup>16</sup>Almeida (2017).

Na natureza, a principal fonte primária de Nitrogênio é a atmosfera, constituída por 78% de nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>), fortemente estável, de modo que não é passível de reações químicas em condições naturais. Em sua maior parte, o volume natural de nitrogênio aportado ao solo ocorre por meio de fixação biológica (FERNANDES, 2006). As culturas oleaginosas são as principais responsáveis por esta fixação (CUNHA et al, 2014). Em alguns casos, pode-se observar a existência de saldo positivo de N no solo, no pós-safra, e sua disponibilidade para a safra seguinte (RODRIGUES ALVES et al, 2006). No Brasil, a área colhida destinada para a soja, o milho e o feijão, culturas oleaginosas, alcançou 69% em 2015 (IBGE, 2016b).

Neste estudo, assumiu-se que 100%<sup>5</sup> do nitrogênio absorvido pela soja (SBCS, 2004; SFREDO, 2008) entrou no solo devido à Fixação Biológica realizada pelo próprio cultivo, que ocupou 46% da área colhida no Brasil, em 2015. O excedente de N fixado pela soja é absorvido pelo milho de segunda safra, cultivado, estrategicamente, após a colheita da soja. Considera-se que 74%<sup>6</sup> (GITTI, 2013) da exportação de nitrogênio absorvida pelo milho safrinha se deve à FBN da soja e não à introdução de fertilizantes.

A absorção de nitrogênio oriundo da FBN também ocorre na produção do feijão. Estima-se que 75,74% do N absorvido, em média<sup>7</sup>, pelo feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) se originem da Fixação Biológica, enquanto 55,45% do N absorvido, em média, pelo feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), tenham a mesma origem (BRITO; MURAOKA; SILVA, 2009). No entanto, como afirmam Filho et al (2011), os levantamentos oficiais, realizados pelo IBGE, referem-se à somatória do feijão-caupi e do feijão-comum.

Filho et al (2011) estimam que, entre 2005 e 2009, a média anual de participação do feijão-caupi na produção total de feijão seria de 15,48%, tendo o feijão-comum ocupado a participação restante. Pode-se extrapolar esses percentuais para os demais anos a fim de detalhar a produção de cada variedade. Multiplicando essa quantidade pelo teor médio de N presente no feijão colhido encontra-se o total exportado para cada variedade. A quantidade referente à FBN é encontrada por meio da multiplicação do total de nitrogênio exportado, por variedade, pela estimativa apresentada no início deste parágrafo.

---

<sup>5</sup> Tem-se certa unanimidade quanto à autossuficiência da soja em relação à absorção de nitrogênio, no entanto, alguns autores como Rodrigues Alves et al. (2006) e Lamond e Wesley (2001), entre outros, defendem que a aplicação de fertilizantes nitrogenados pode elevar a produtividade da soja ao se aproveitar a marcha de absorção da planta. Optou-se, neste trabalho, por considerar a autossuficiência devido à maior aceitação presente na literatura.

<sup>6</sup> A FBN pela soja deixa um residual de 35 a 45 kg de N por ha e que a mineralização libera, em média, 20 kg de N para cada 1% de MOS. Sabendo que os solos agrícolas possuem 3% de MOS, tem-se a liberação de 60 kg de N por ha. Desse modo, solos agrícolas podem fornecer cerca de 100 kg de N por ha para a cultura do milho em sucessão à soja (GITTI, 2013). Segundo a CONAB (2016), o milho de segunda safra possui média de 95,3 sacas por hectare, produtividade que leva à extração de cerca média de 135 kg de N por ha (GITTI, 2013), como 100kg adentram ao solo via FBN, tem-se que 74% do N exportado de origem da FBN realizada pela soja.

<sup>7</sup> A média foi calculada a partir da participação da FBN no desenvolvimento das duas variedades de feijão em quatro períodos diferentes, 17, 31, 58 e 78 dias após a semeadura, utilizando o Método da Diferença (BRITO; MURAOKA; SILVA, 2009).

A fixação biológica é amplamente utilizada em trabalhos que objetivam estimar o saldo de nitrogênio no solo. Na China, Sheldrick, Syers e Lingard (2003) consideraram a soja, o feijão e o amendoim, para o cálculo da fixação biológica, enquanto Chen, Sun e Shindo (2016) utilizaram somente o milho e o feijão. Em Portugal, Carmo et al (2017) optaram por agregar a estimativa para todas as leguminosas e a utilização de uma estimativa de que 18% de todo N exportado, no país, se devem à FBN. No Brasil, Cunha et al (2014) e Cunha, Casarim e Prochnow (2010, 2011) consideraram a soja sendo responsável pela totalidade do N por ela exportado, 50% para o feijão e para o trigo e 70% para o milho safrinha. Yamada e Lopes (1998), por outro lado, calcularam o Balanço sem a inclusão da FBN.

A vinhaça é o principal resíduo do beneficiamento da cana-de-açúcar pelas usinas de etanol e açúcar e possui significativa concentração de nutrientes, dentre os quais se destaca o K (DE RESENDE et al, 2006). Devido a esta característica, a vinhaça é utilizada para fertirrigar as plantações de cana-de-açúcar próximas às usinas, reduzindo o consumo de fertilizantes potássicos. Assim como Cunha et al (2014), adotou-se que o percentual de que 50% do K exportado por essa cultura se origina da aplicação da vinhaça. No Brasil, Cunha, Casarin e Prochnow (2010, 2011) também consideraram essa forma de entrada, mas em 20%. No mesmo sentido, mas relativo ao nitrogênio, Chen, Sun e Shindo (2016) utilizaram a irrigação como fonte de nutrientes, na China.

O consumo agregado de fertilizantes no Brasil é calculado e disponibilizado, anualmente, pela Associação Nacional para Difusão de Adubos. Como as 13 culturas consideradas contemplam cerca de 90,72% da totalidade dos fertilizantes entregues em 2015, torna-se necessária a dedução dos fertilizantes entregues (Apêndice C), mas não considerados neste trabalho, conforme (5). Adotou-se o percentual de 2015 como referência para os demais anos.

$$Fc_i = Ft_i * 9,28\% \quad (5)$$

Em que:

$Fc_i$  = é a quantidade de fertilizantes entregues às 13 culturas consideradas na análise.

$Ft_i$  = é a quantidade total de fertilizantes entregues no Brasil.

A quantidade de nutrientes será calculada multiplicando o percentual anual médio de concentração de cada nutriente, no produto final, pela quantidade de fertilizantes entregues para as 13 culturas. Conforme (6).

$$QX_i = Fc_i * \overline{CX}_i \quad (6)$$

Em que:

$QX_i$  = é a quantidade do nutriente X entregue no ano i.

$\overline{CX}_i$  = é o percentual anual médio de concentração de cada nutriente nos fertilizantes.

A totalidade de nutrientes adicionados ao solo resulta da soma da FBN com os fertilizantes nitrogenados, para o nitrogênio (7), do uso da vinhaça e aplicação de fertilizantes potássicos, para o potássio (8), dispostos no Apêndice D e do total de fertilizantes fosfatados para o fósforo (9). Pode-se, a partir daí, calcular as equações (1), (2) e (3).

$$Ne_i = FBN_i + QN_i \quad (7)$$

$$Ke_i = V_i + QK_i \quad (8)$$

$$Pe_i = QP_i \quad (9)$$

Em que:

$QN_i$ ,  $QK_i$  e  $QP_i$  são as quantidades de N, K e P entregues no ano i;

$FBN_i$  é a quantidade de N fixada biologicamente pelas culturas da soja, do milho e do feijão, no ano i;

$V$  é a quantidade de K introduzido no solo pela fertirrigação da cana-de-açúcar com a vinhaça, no ano i.

Essa forma de mensuração, útil, tanto para adequação do consumo de fertilizantes, como para a estimativa da entrada de nutrientes, também foi adotada, no Brasil, por Cunha et al (2014), Cunha, Casarin e Prochnow (2010, 2011) e Yamada e Lopes (1998), tendo, como diferencial, a atualização dos teores médios de nutrientes exportados, o percentual atribuído à entrada de K por meio do uso da vinhaça e volume de fertilizantes químicos considerados. Considerando a disponibilidade de dados, os textos internacionais consideram a demanda total por fertilizantes.

Embora abordados no contexto internacional, os fluxos de entrada e de saída, originados da reciclagem de nutrientes urbanos e rurais e do intemperismo<sup>8</sup>, além da degradação física e da perda gasosa, não foram utilizados em nenhum dos trabalhos nacionais, devido à distinção dos objetivos. Enquanto as pesquisas brasileiras têm como objetivo captar as consequências da agricultura de precisão, na China, a análise foi direcionada à totalidade do solo nacional. Em Portugal, o estudo comparou a produção agrícola baseada no uso de fertilizantes inorgânicos com o período anterior, quando do uso acentuado de adubos orgânicos. Macdonald et al (2011) e Vitousek et al (2009) comparam estudos internacionais, não se importando com os fluxos considerados.

### **3.2.3 Saldo monetário de nutrientes no solo**

O Balanço de Nutrientes no Solo permite que o fluxo físico de N, P e K seja mensurado a partir de parâmetros específicos de cada cultivo analisado (VITOUSEK et al, 2009). O saldo anual, que resulta do Balanço, viabiliza a realização de inferências acerca da eficiência do solo quanto ao ativo imobilizado para a produção agrícola. Safra após safra, o solo tende a perder nutrientes que são absorvidos pelas plantas e exportados por meio de sua porção comercial. A exportação, portanto, proporciona a

---

<sup>8</sup>Conjunto de modificações de ordem física (degradação), química (decomposição) e biológica (degradação e decomposição) que as rochas sofrem ao aflorar na superfície da terra. Responsável pela formação do solo, tem sua intensidade dependente das condições climáticas da região em que o solo se localiza (ALLEONI et al., 2009).

redução da fertilidade do solo, resultando na depreciação desse ativo para os ciclos produtivos seguintes. A introdução de novas quantidades de nutrientes é necessária para o reestabelecimento da capacidade total de produção.

Portanto, tem-se uma relação direta entre a intensidade da produção agrícola e a depleção química do solo, em que a agricultura poderia provocar maior ou menor desgaste químico, de acordo com a intensidade da produção. Considera-se, aqui, o estágio atual de desenvolvimento tecnológico, quanto aos melhoramentos genéticos que permitem maior resposta à fertilização, conforme relatado por Goodman, Sorj e Wilkinson (2008).

O saldo de nutrientes permite, portanto, mensurar, monetariamente, o valor da depreciação do solo, por meio do dispêndio com a aquisição de fertilizantes inorgânicos responsáveis por recuperar a fertilidade do solo, garantindo sua máxima eficiência. O Saldo Monetário de Nutrientes do Solo é calculado conforme (10).

$$SMNS_i = Pfe_i * SFNS_i \quad (10)$$

Em que:

$SMNS_i$  é o Saldo Monetário de Nutrientes do Solo no ano  $i$ ;

$Pfe_i$  é o preço médio do fertilizante inorgânico no ano  $i$ ;

$SFNS_i$  é o Saldo Físico de Nutrientes do Solo no ano  $i$ .

O SMNS será calculado individualmente para os três nutrientes e para a composição destes. As equações de (1) a (3) descrevem como o SFNS será calculado. A variável preço foi deflacionada pelo IGP-DI para dezembro de 2015 e se baseia no Superfosfato simples (SSP), para o saldo do fosfato, no Nitrocálcio (entre 1970 e 1988) e na Ureia (entre 1999 a 2015), para o nitrogênio, além do Cloreto de Potássio para o saldo de potássio. Conforme ANDA (2016) esses fertilizantes entregaram a maior parte dos nutrientes utilizados pela agricultura nacional em 2015. Salienta-se que, entre 1970 e 1988, não existem registros de preços para a Ureia, motivo pelo qual optou-se pela utilização do Nitrocálcio somente nesses anos.

Disponibilizado pelo Instituto de Economia Aplicada da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (IEA/SAA-ESP), o preço médio anual de cada produto foi utilizado para formar um preço unificado dos fertilizantes, calculando-se a média de preços dos três nutrientes, ponderada pela participação média de cada nutriente na formulação final do total de fertilizantes entregues ao consumidor final. Esse método de obtenção do variável preço foi utilizado por Cibantos e Larson (1974), Pescarin e Larson (1974), Nicolella, Dragone e Bacha (2005) e Friedrich (2012), quando estimaram a demanda brasileira por fertilizantes.

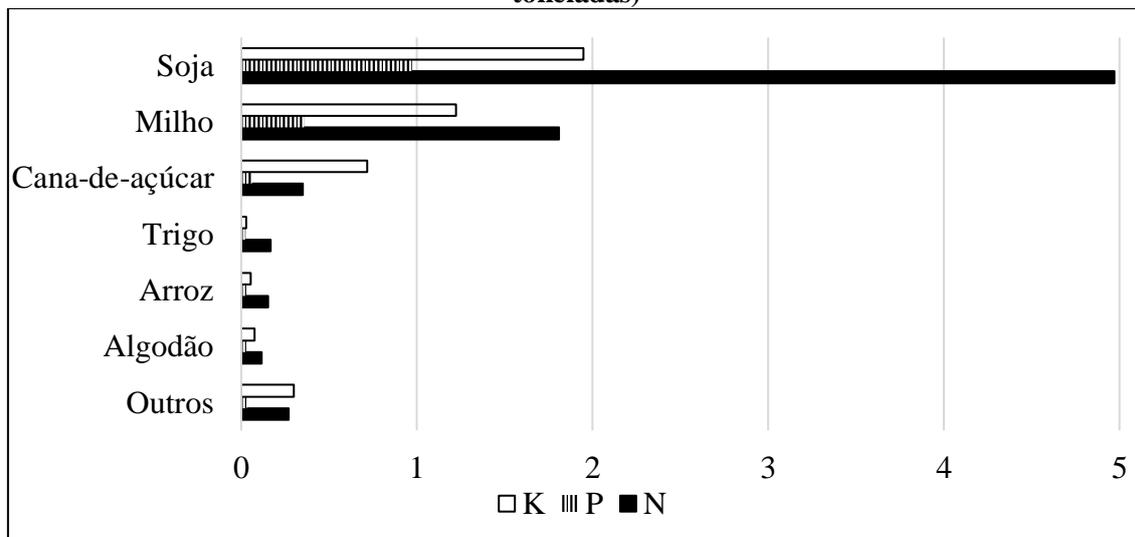
### 3.3 Resultados

Entre 1974 e 2015, a área colhida cresceu 82% no Brasil, tendo a soja e o milho como os principais responsáveis por esse incremento. Em 2015, a agricultura ocupou 75,8 milhões de hectares, atingindo um bilhão de toneladas de produtos e gerando o valor de R\$ 265 bilhões. Deste montante, a produção de soja e de milho responderam por 63% do total da área colhida e 45% do valor da produção (IBGE, 2016b). O setor também se destacou como importante gerador de divisas, pois, em 2015, exportou US\$ 88,22 bilhões, cerca de 46% das exportações do País (BRASIL MAPA, 2016).

Este crescimento se alicerça no aumento da produtividade no campo. Entre 1973 e 2015, a produtividade média foi acrescida em 307%, chegando a 17.895 kg ha<sup>-1</sup> em 2015. Embora as 13 culturas tenham revelado aumento na produtividade, o milho (416%), a batata (283%), o algodão (280%), o tomate (260%) e a soja (206%) exibiram as maiores respostas (IBGE, 2016b). A expansão da eficiência produtiva resulta do uso intensivo do solo, que, em conjunto com o aumento das áreas de produção agrícola, definem a elevação da demanda por nutrientes.

Na Figura 3.1, consta o montante da extração de N, P e K executadas pela exploração comercial das principais culturas brasileiras em 2015. A exportação total de P é relativamente menor que aquela registrada para K e N. No geral, cerca de 87% da saída total de N, 89% da saída total de P e 73% da saída total de K se devem à produção de soja e de milho.

**Figura 3.1 – Saída de Nutrientes pelas Principais Culturas no Brasil em 2015 (milhões de toneladas)**



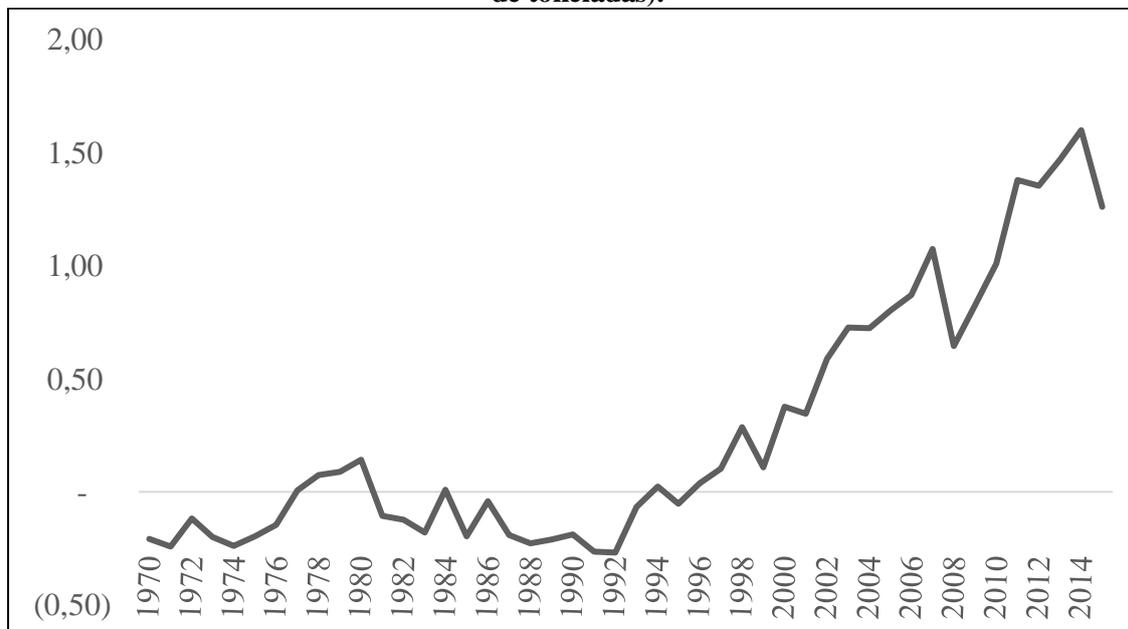
Fonte: Resultado da pesquisa.

A saída total de nitrogênio, em 2015, totalizou 7,84 milhões de toneladas, enquanto a entrada, 9,1 milhões de toneladas, sendo 65% oriundo da Fixação Biológica de Nitrogênio realizada pela soja e pelo feijão, o que permitiu uma oferta de 1,26 milhões de toneladas. Na Figura 3.2, tem-se o comportamento do saldo do nitrogênio no solo para o período de 1970 e 1995, no entanto, houve um déficit acumulado superior a 3 milhões de toneladas. Essa diferença é registrada, principalmente, entre os anos de 1970 e 1973 e de 1977 a 1980, quando a FBN variou entre 49% e 59%, devido à baixa produção do milho de segunda safra. Em média, 119 mil toneladas de nitrogênio foram retiradas anualmente do solo sem que a devida reposição fosse realizada.

Somente a partir de sucessivos superávits entre os anos de 1996 e 2004 é que o equilíbrio do nitrogênio foi reestabelecido. Nesse período, houve incremento de 195% na aplicação de fertilizantes nitrogenados e de 285% em sua fixação biológica. O acréscimo referente à FBN se deve aos aumentos de 109% e de 93% da área destinada à plantação de soja e de milho safrinha, respectivamente. No período seguinte, registrou-se um superávit anual médio aproximado de um milhão de toneladas e excedente acumulado de 12 milhões de toneladas. Contudo, deve-se atentar que o excesso de nitrogênio pode provocar externalidades ambientais (GALLOWAY, 1998; GALLOWAY et al, 2004) e tornar o solo inviável para a produção (VITOUSEK et al, 2009). Embora consciente da magnitude dos efeitos da exploração agrícola sobre a sustentabilidade dos solos, conforme apresentado no referencial teórico, os efeitos

dessas externalidades ambientais negativas e os impactos ambientais derivados do manejo dos solos não foram contemplados neste trabalho.

**Figura 3.2 – Evolução do Saldo<sup>1</sup> de Nitrogênio (N) no Solo Agrícola Nacional (em milhões de toneladas).**



<sup>1</sup> Considerando dados do algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, milho, soja, tomate e trigo, responsáveis por 90,2% de total de fertilizantes utilizados no Brasil em 2015.

**Fonte:** Resultado da Pesquisa.

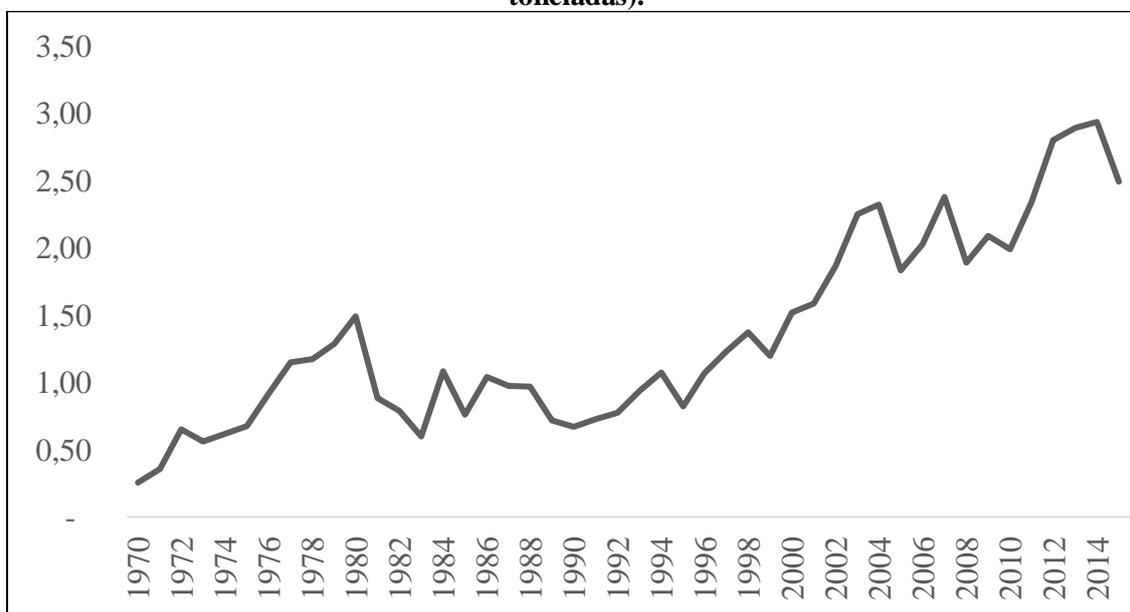
Situação semelhante foi verificada na China, que, entre 1961 e 1977, registrou depleção média de nitrogênio de 3 milhões de toneladas, e a reposição ocorreu por meio do aumento no consumo de fertilizantes, a partir de 1988 (SHELDRIK; SYERS; LINGARD, 2003). Em 2011, os fertilizantes nitrogenados foram responsáveis por 69,9% do N introduzido no solo chinês, possibilitando que o país dispusesse de excedente superior à média das principais regiões no mundo (CHEN; SUN; SHINDO, 2016). Em Portugal, conforme infere Carmo et al (2017), a transição para a fertilização química, ao longo da década de 1950, permitiu que o déficit de nitrogênio em solo português fosse recuperado, a partir da década de 1960, quando os fertilizantes nitrogenados responderam pela maior parte da entrada desse nutriente.

No Brasil, a literatura confirma o déficit acumulado até 1995 e a subsequente recuperação e registro de excedente. Ao contabilizar o balanço de nutrientes no solo Brasileiro entre 1993 e 1996, Yamada e Lopes (1998) encontraram déficit acumulado de 2 milhões de toneladas; em outro trabalho, Cunha, Casarin e Prochnow (2011)

encontraram déficits anuais, entre 1988 e 1993, que só foram recuperados após o aumento da aplicação de fertilizantes nos anos seguintes, como confirmam Cunha, Casarin e Prochnow (2010), que encontraram excedente de 652 mil toneladas em 2008 e Cunha et al (2014), cujo excedente acumulado encontrado entre 2009 e 2012 totalizou cerca de 4 milhões de toneladas.

A principal fonte de nitrogênio para a agricultura brasileira é, portanto, a FBN, proporcionada, principalmente, pelo cultivo de soja. No entanto, a fixação biológica não é suficiente para equilibrar os fluxos de entrada e de saída, e a agricultura depende, portanto, de aplicações de fertilizantes nitrogenados. O fósforo, por sua vez, tem a totalidade do fluxo de entrada dependente do uso de fertilizante químico. A soja e o milho, somados, corresponderam a 61% e 89% da exportação de P realizada em 1970 e 2015, respectivamente. Conforme consta na Figura 3.3, não houve registro de déficit de fósforo ao longo dos 46 anos de estudo, mas sim de um excedente acumulado de 41,9 milhões de toneladas.

**Figura 3.3 – Evolução do Saldo<sup>1</sup> de Fósforo (P) no Solo Agrícola Nacional (em milhões de toneladas).**



<sup>1</sup> Considerando dados do algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, milho, soja, tomate e trigo, responsáveis por 90,2% de total de fertilizantes utilizados no Brasil em 2015.

**Fonte:** Resultado da Pesquisa

O volume expressivo desse excedente pode ser explicado pela necessidade de realização de um dispêndio com a aquisição de fertilizante, simplesmente para esgotar a

necessidade de fixação de P no solo. A partir de então é que se teria o efetivo retorno da adubação em produtividade do cultivo, sem considerar o balanço das externalidades ambientais produzidas pelo excesso, ou escassez, de nutrientes lançados ao solo, fruto das reações e possíveis alterações na textura e/ou estrutura do solo, influência na qualidade da água e do ar e alteração na fertilidade e valor econômico do ativo solo.

Conforme PPI (1998), os Latossolos, encontrados nas principais regiões agrícolas do país, possuem certos tipos de minerais de argila tais como a caulinita, os óxidos de ferro e o alumínio, que se ligam fortemente ao fósforo. Como consequência, afirmam Novais, Smyth e Nunes (2007), toda a entrada de P é, primeiramente, adsorvida a esses minerais, que imobilizam o nutriente. A demanda das plantas por fósforo só será atingida quando todos os sítios de cargas relacionados a esses minerais já estiverem ocupados. Estima-se que solos com tal característica adsorvam cerca de 4.000 kg ha<sup>-1</sup>. Desse modo, a ocupação dos sítios de cargas citados é essencial para que se garanta a produtividade, assumindo as demais condições químicas, físicas e biológicas dos solos em condições normais.

O excedente calculado, portanto, está considerando todo o P imobilizado ao longo dos anos e não somente o volume disponível na solução do solo. No entanto, como citam Novais, Smyth e Nunes (2007), o processo de intemperismo pode provocar a liberação de P, ao menos no longo prazo, e sua disponibilização na solução do solo. Diante disso, pode-se vislumbrar a possibilidade de ocorrência de externalidades negativas, relativas ao excesso desse nutriente nos solo, como as registradas por Valente, Padilha e Silva (1997) e por Guerra (2008), e de possíveis aumentos nos custos da produção agrícola relacionados à redução da produtividade, devido à inibição da absorção de Zinco (Zn) (FERNANDES, 2006). Nesse contexto, todo o peso dos custos tende a cair sobre os produtores, em função do elevado poder de mercado dos fornecedores de insumos para a agricultura e dos comprados dos produtos agrícolas na determinação dos preços recebidos e dos preços pagos pelos agricultores (COSTA; SANTANA, 2013).

Em Portugal, também não houve depleção de fósforo. Conforme Carmo et al (2017), o excedente foi observado mesmo antes da popularização dos fertilizantes químicos no país. A produção agrícola chinesa, como afirmam Sheldrick, Syers e Lingard (2003), provocou sucessivos déficits de P que culminaram em uma depleção de

1,2 milhões de toneladas em 1985, que seria amenizada em 1997, por meio da ampliação do uso dos fertilizantes. Ao comparar os fluxos agronômicos de P entre diversos países, Macdonald et al (2011) encontraram significativos excedentes no leste da Ásia, no oeste e sul da Europa, na costa americana e no sul do Brasil, além de déficits expressivos na Argentina, no Paraguai, no norte dos Estados Unidos e na Europa Oriental. Os autores chamam a atenção para o acesso do fertilizante químico fosfatado como responsável por essas diferenças regionais.

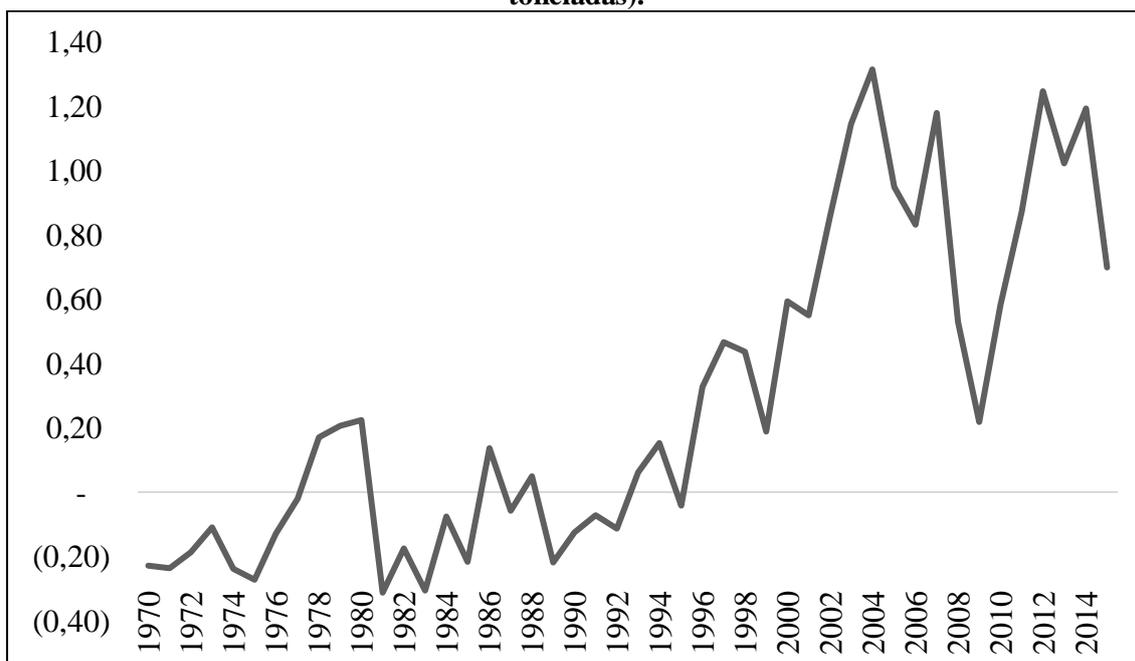
Pode-se adicionar, portanto, a necessidade de adubação extra para superar a quantidade de P fixado, ao fato de que a produção nacional de fertilizantes fosfatados, baseada em Rocha fosfática e Ácido fosfórico, que, conforme dados da ANDA (2016), atendeu 51% da demanda nacional em 2015. A elevada produção interna implica em menor dependência das oscilações dos preços no mercado internacional. Contudo, há de se observar que, em 2009, a participação da indústria interna foi de 89% (ANDA, 2016) e que, ainda que em 2015, represente mais da metade do consumo nacional, existe uma tendência de aumento na importação desse insumo devido ao crescimento da produção agrícola.

A importância da produção brasileira é constatada por Yamada e Lopes (1998), que identificaram excedente de 279 mil toneladas de P entre os anos de 1993 e 1996. Ao mensurar o saldo médio de fósforo, por hectare, entre 1998 e 2010, Cunha, Casarim e Prochnow (2011) encontraram superávits em todos os anos. O excedente de 1,35 milhão de toneladas, referente a 2008 (CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2010) e de 1,61 milhão de toneladas, referente à média anual entre 2009 e 2012 (CUNHA et al, 2014), se aproximam do excedente médio de fósforo encontrado neste trabalho, de 1,34 milhão de toneladas.

Enquanto a demanda por fertilizantes nitrogenados e fosfatados é atendida, em sua maior parte, por entradas originadas da FBN e por fertilizantes produzidos internamente, as entregas de fertilizantes potássicos dependem da importação. Em 2014, cerca de 88% do fósforo adicionado ao solo correspondeu à utilização de fertilizantes importados. A soja e o milho, em conjunto, corresponderam a 43% e 73% do potássio aplicado em 1970 e 2015, respectivamente. A cana-de-açúcar demandou cerca de 17% do potássio e a fertirrigação com a vinhaça possibilitou a introdução de 7% de todo o K introduzido no solo.

Na Figura 3.4, consta a evolução do saldo do potássio e isto permite a identificação de um déficit acumulado de mais de 2 milhões de toneladas no solo brasileiro entre 1970 e 1995. A reposição do nutriente é realizada durante os seis anos seguintes, quando são registrados sucessivos superávits anuais. A partir de então, o saldo se faz positivo e conforma um excedente de 15,2 milhões de toneladas em 2015. A reposição e posterior estoque de potássio no solo se devem, principalmente, ao aumento de 62% na aplicação de fertilizantes potássicos entre 1996 e 2001, frente a um aumento de 13% no total adicionado via fertirrigação com a vinhaça. Neste sentido, tem-se que a vinhaça, embora importante para a reposição de nutriente em solos cultivados com cultura canavieira, não apresenta relevância para todo o setor agrícola, permitindo que o produtor fique submetido aos preços praticados no mercado externo.

**Figura 3.4 – Evolução do Saldo<sup>1</sup> de Potássio (K) no Solo Agrícola Nacional (em milhões de toneladas).**



<sup>1</sup> considerando dados do algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, milho, soja, tomate e trigo, responsáveis por 90,2% de total de fertilizantes utilizados no Brasil em 2015.

**Fonte:** Resultado da Pesquisa

Em Portugal, o excedente de K foi atingido antes mesmo da popularização dos fertilizantes químicos (CARMO et al, 2017). Na China, Sheldrick, Syers e Lingard (2003) encontraram uma depleção crescente que culminou em 8,2 milhões de toneladas em 1997 e apontam a produção agrícola como principal responsável por esse déficit,

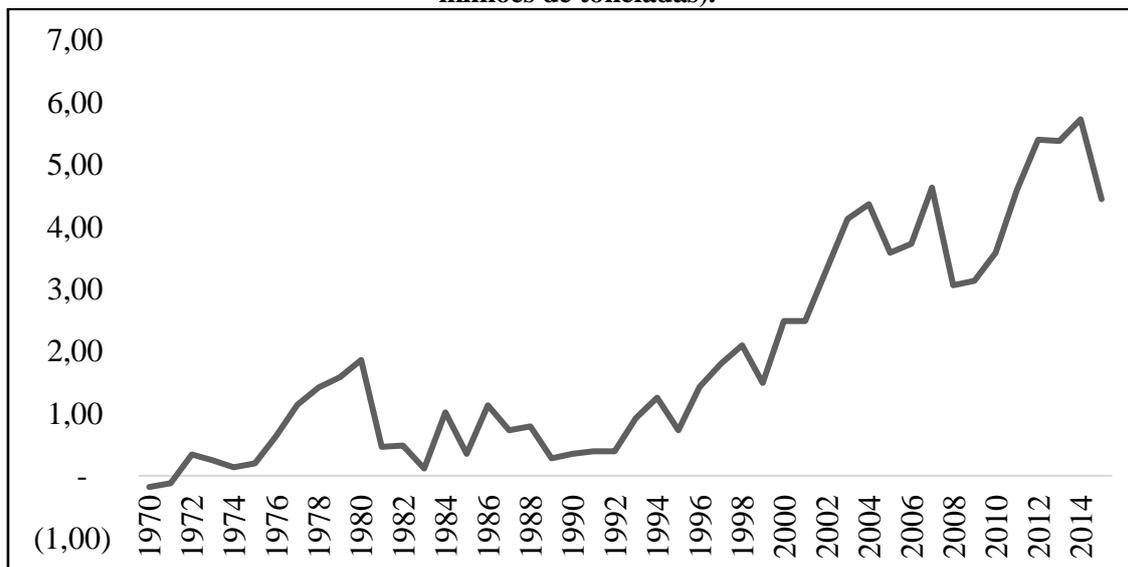
uma vez que essa atividade exportou cerca de 270% do total de K introduzido no solo via fertilizantes inorgânicos. Ao analisar trabalhos publicados sobre a África Oriental, Cobo, Dercon e Cadisch (2010) encontraram balanços negativos em virtude de potenciais problemas de exploração do solo.

No Brasil, os trabalhos de Cunha, Casarin e Prochnow (2011) e Yamada e Lopes (1998) encontraram superávit entre 1988 e 2010, à exceção de 1991. Nota-se que, entre 1988 e 1995, o balanço anual de K se aproxima do equilíbrio e, entre 1996 e 2010, ocorre expansão no excedente. Os dois comportamentos se assemelham ao resultado final do saldo anual de potássio encontrado neste trabalho, ao passo que o período de 1970 a 1987, que corresponde a 92% da depleção registrada, não é contemplado em nenhum dos dois trabalhos. Os dados de 2008 (CUNHA; CASARIN; PROCHNOW, 2010), e do acumulado de 2009 a 2014 (CUNHA et al, 2014) confirmam o crescimento registrado após 1996.

A análise conjunta do N, P e K revela uma depleção nutritiva do solo somente nos anos de 1970 e 1971, conforme dados da Figura 3.5. Os demais anos em que as exportações de N e K superaram a entrada, os déficits foram compensados por aplicações elevadas de P. A taxa de crescimento anual média de 2% referente à entrada de NPK no solo, entre 1973 a 1995, se eleva para 12% na década seguinte. Esse aumento se deve a dois fatores principais: o aumento do cultivo da soja e o consumo de fertilizantes químicos, ambos ocorridos após a década de 1990.

O crescimento da produção de soja levou à ocupação de 44% da área plantada no Brasil (IBGE, 2007), como consequência, é a soja que passou a concentrar o consumo de nutrientes. No entanto, no que tange ao nitrogênio, a expansão da soja tem significado uma redução na depleção nutritiva, uma vez que a FBN introduz no solo a quantidade suficiente para atender as demandas nutricionais da soja e do milho que também apresentou expansão da produção, baseando-se no cultivo da safrinha. O aumento do consumo dos fertilizantes possibilitou o atendimento da demanda de outros nutrientes, principalmente do fósforo, cuja imobilização exige que quantidades elevadas de fertilizantes sejam aplicadas.

**Figura 3.5 – Evolução<sup>1</sup> do Saldo de N, P e K no Solo Agrícola Nacional, 1970-2015 (em milhões de toneladas).**



<sup>1</sup> considerando dados do algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, milho, soja, tomate e trigo, responsáveis por 90,2% de total de fertilizantes utilizados no Brasil em 2015.

**Fonte:** Resultado da Pesquisa

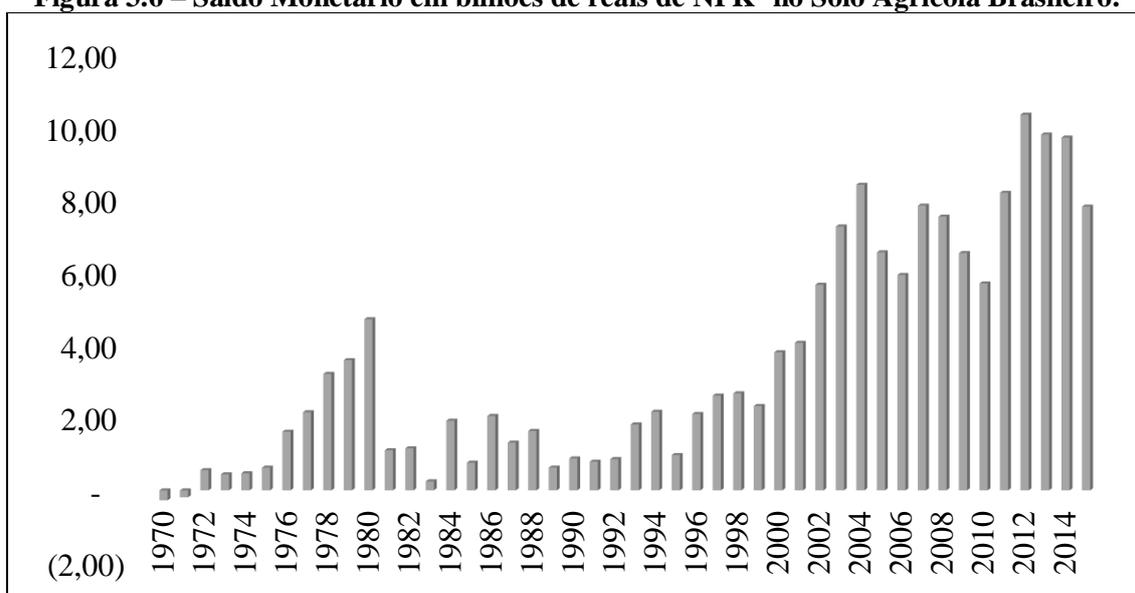
O saldo físico permite que os efeitos nutricionais e possíveis impactos ambientais se tornem perceptíveis, no entanto, é por meio do saldo monetário que as consequências econômicas se tornam evidentes por parte dos agentes produtivos e da sociedade. Logo as métricas devem andar juntas para gerar o resultado desejado pela sustentabilidade. O superávit excessivo pode significar, em um primeiro momento, a existência de recursos financeiros retidos não intencionalmente. Em segundo lugar, tem-se um aumento no custo de produção causado pela percolação dos nutrientes e a salinização. Em ambos os casos, tem-se um problema de ineficiência na gestão do manejo dos solos.

Com efeito, o déficit indica a depleção do solo, ou seja, quantifica a depreciação nutricional decorrente de seu uso durante a safra. De forma aproximada, indica o volume de recursos que deverá ser dispendido, entre a safra que se findou e a subsequente, para que o equilíbrio nutritivo do solo seja restaurado e, com isso, a sua capacidade produtiva seja mantida e assegure o nível mínimo da produtividade desejada. A depleção prolongada, além de reduzir a capacidade produtiva, pode chegar a extremos, como evidenciado em regiões da Argentina e do Paraguai por Macdonald et al (2011), em que a falta de nutrientes leva à adsorção de alumínio e hidrogênio, acarretando redução do pH do solo e exigindo a devida correção antes do plantio.

O recomendado, portanto, é que, após a recuperação dos valores nutritivos do solo, os balanços anuais revelem saldos equilibrados entre a saída de nutrientes via extração realizada por cultivares agrícolas e a reposição via fertilizantes inorgânicos, a Fixação Biológica do Nitrogênio e a fertirrigação com vinhaça da cana-de-açúcar.

Na Figura 3.6, consta a evolução do saldo monetário do Balanço de NPK, entre 1970 e 2015. Resultado da multiplicação do saldo físico pelo preço médio ponderado dos elementos químicos, o saldo monetário acumulou déficit de R\$ 459 milhões, entre 1970 e 1971, quando a quantidade exportada de nitrogênio, fósforo e potássio superou a quantidade adicionada ao solo. Os demais períodos são superavitários, sendo que, entre os anos de 1981 e 1994, com comportamento próximo ao equilíbrio e, entre 1995 e 2015, apresentando um acúmulo contínuo de capital imobilizado de R\$ 124,80 bilhões.

**Figura 3.6 – Saldo Monetário em bilhões de reais de NPK<sup>1</sup> no Solo Agrícola Brasileiro.**



Deflacionado pelo IGP-DI para 2015. Preço médio ponderado pela participação média de cada nutriente na formulação final do total de fertilizantes entregues ao consumidor final, <sup>1</sup> considerando dados do algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, milho, soja, tomate e trigo, responsáveis por 90,2% de total de fertilizantes utilizados no Brasil em 2015.

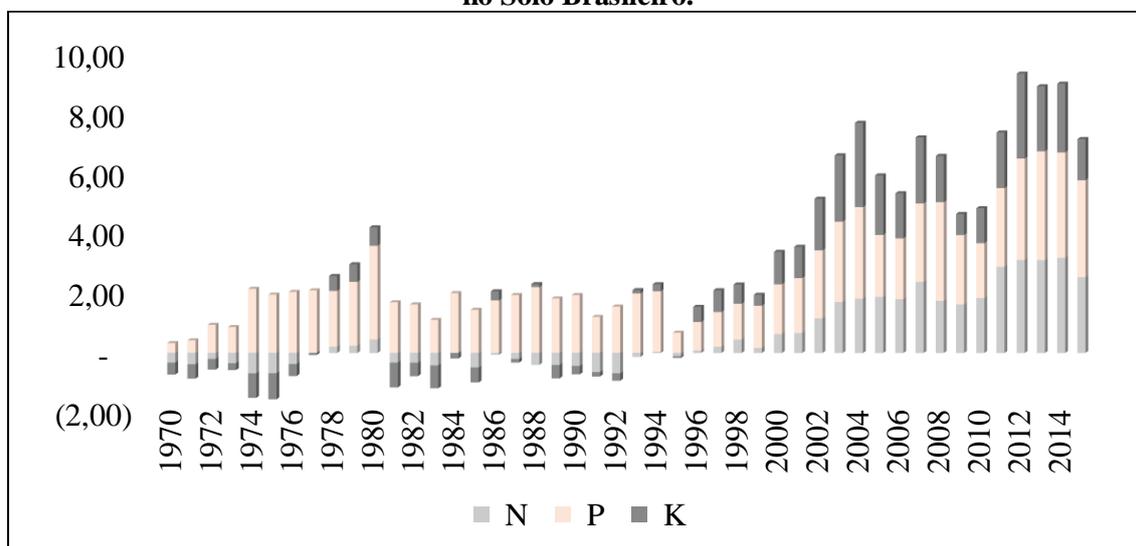
**Fonte:** Resultado da Pesquisa.

Ao longo dos 45 anos analisados, cerca de R\$ 160 bilhões foram acumulados em superávits de nutrientes, sendo o período de 1996 a 2015 responsável por 78% deste montante. No entanto, inferências mais aprofundadas podem ser realizadas a partir dos dados monetários específicos de cada nutriente. A Figura 3.7 revela esse detalhamento.

Em que pese a existência de saldo positivo para o fósforo, ao longo de todos os anos, observam-se déficits significativos para o nitrogênio e para o potássio.

Torna-se evidente que a depleção nutritiva identificada nos períodos iniciais se deve à não reposição adequada do nitrogênio e do potássio, de tal modo que o montante de R\$ 12,80 bilhões teve de ser dispendido, entre 1996 e 2004, além da demanda direcionada para a safra anual, somente para possibilitar que a capacidade produtiva do solo, perdida entre 1970 e 1995, fosse recuperada. Os superávits registrados para o fósforo implicaram um capital imobilizado total de R\$ 89,60 bilhões, que se justifica, ao menos em parte, pela fixação de P nos latossolos do cerrado.

**Figura 3.7 – Saldo Monetário em bilhões de Reais <sup>2</sup> do Nitrogênio, do Fósforo e do Potássio no Solo Brasileiro.**



Deflacionado pelo IGP-DI para 2015. Preço médio ponderado pela participação média de cada nutriente na formulação final do total de fertilizantes entregues ao consumidor final, <sup>2</sup> considerando dados do algodão, arroz, banana, batata, café, cana-de-açúcar, feijão, fumo, laranja, milho, soja, tomate e trigo, responsáveis por 90,2% de total de fertilizantes utilizados no Brasil em 2015.

**Fonte:** Resultado da Pesquisa.

Com base apenas nesses resultados sobre a fertilidade dos solos, em que apenas os macronutrientes foram levados em consideração, meramente, no aspecto contábil do montante utilizado e extraído pelas plantas, não se pode dizer que a agricultura brasileira tem provocado a depleção nutritiva da camada dos solos explorados pelas 13 culturas comerciais. Assim, as entradas de nutrientes, via fertilizantes, FBN e fertirrigação têm superado a extração realizada pelas plantas. No entanto, o excesso de nutrientes deve ser o principal foco de ação do poder público ao identificar os saldos regionais, pois a lixiviação desses elementos pode contaminar o ar e a água localizados

ao entorno de propriedades rurais, assim como as modificações na química dos solos e sua textura, fazendo com que a sociedade internalize os custos do manejo equivocado. Portanto, cabe o alerta para que as instituições reguladoras do uso do solo e do ambiente ampliem o conceito de fertilidade dos solos agrícolas, considerando o ativo como um todo, observando o comportamento do estoque e dos fluxos desencadeados por suas atividades químicas, físicas e biológicas. Com isto, pode-se criar um guia de boas práticas de uso dos solos a serem seguidos pelo agronegócio.

### **3.4 Conclusões**

A intensificação da agricultura no Brasil, baseada em práticas de manejo, tem resultado em saldos positivos de nutrientes no solo nacional, desde 1996, indicando que as práticas agrícolas não causaram depleção nutritiva de NPK. Portanto, pode-se confirmar a hipótese de que, do ponto de vista contábil, o déficit de macronutrientes químicos do solo agrícola é repostado por meio da aplicação de fertilizantes.

No entanto, o expressivo acúmulo desses nutrientes pode inviabilizar o retorno econômico do capital em função do aumento do passivo ambiental e dos efeitos produzidos sobre o estoque e os fluxos de serviços produzidos por esse ativo natural. Esse excedente pode potencializar efeitos negativos ao desenvolvimento das plantas, como é o caso na inibição da absorção de Zn, quando se observa excesso de P, da salinização, quando do excesso do uso de KCl e da acidificação dos solos, além da eutrofização de rios e lagos e da poluição do ar.

## 4 O PRODUTO INTERNO BRUTO DO BRASIL AJUSTADO PELA DEPRECIÇÃO DO SOLO AGRÍCOLA

### 4.1 Introdução

Ao se considerar o histórico produtivo das principais lavouras brasileiras<sup>9</sup>, responsáveis pelo uso de 73% da área colhida e por 93% do valor produzido no setor agrícola nacional em 2015, um incremento médio de 36,6% na produtividade, ao longo da década de 1990. Durante a década seguinte, essa produtividade cresce 33,3% e totaliza com aumento de 93% da produção por hectare, entre 1990 e 2015 (IBGE, 2016b). Concomitantemente, o uso de fertilizantes inorgânicos foi acrescido em 27,7 milhões de toneladas, no mesmo período. Em 2015, as principais lavouras demandaram 91% dos fertilizantes entregues. A década de 1970 apresentou o maior crescimento da demanda por fertilizantes no período, cerca de 257% (ANDA, 2016).

A significativa elevação da produtividade agrícola brasileira suscita a reflexão acerca da importância do setor sobre o crescimento econômico nacional. Neste sentido, Kuznets (1968) destaca que o aumento da produtividade agrícola pode influenciar a produtividade de outros setores da economia por meio da redução do preço de alimentos e matérias-primas, também ao provocar a elevação da demanda de máquinas e equipamentos e das transferências intersetoriais relacionadas ao pagamento de impostos e a oferta de mão de obra, além de possibilitar a obtenção de divisas. Em trabalho recente, McArthur e McCord (2017) concluem que a produtividade agrícola tende a contribuir para o crescimento econômico, por meio de mudanças na estrutura do trabalho e aumentando a produtividade total dos fatores.

A influência da agricultura no processo de crescimento econômico depende do aumento da produtividade, cujos efeitos são propagados por meio dos efeitos de encadeamentos para trás e para frente, via interação com os setores situados a montante e a jusante (SANTANA; CAMPOS, 1994). Schultz (1965) afirma que o acesso a fatores de produção de alta tecnologia leva à mudança estrutural no campo capaz de ampliar a

---

<sup>9</sup> Considerando as principais lavouras: soja, milho, algodão, tomate, feijão, cana-de-açúcar, café, trigo, arroz, fumo, batata, laranja e banana.

produtividade e causar repercussões em toda a economia. McArthur e McCord (2017) defendem o apoio estatal à adoção e atualização das tecnologias utilizadas no campo e destacam os fertilizantes químicos como os principais impulsionadores da produtividade agrícola.

Nesse sentido, o uso de fertilizantes químicos influenciaria o crescimento econômico, à medida que contribui com o aumento da produtividade, dado que completa o balanço de nutrientes, necessários ao máximo desempenho das plantas. Entre 1970 e 2015, por exemplo, o aumento da utilização de fertilizantes seria explicado pelo avanço da fronteira agrícola para terras menos produtivas, que, conforme afirma Vieira Filho (2016), ocorreu com maior intensidade até o fim da década de 1990. Após os anos 2000, é o aumento da produtividade, em áreas já cultivadas, que motiva o crescimento da produção (Buaianais et al 2014). Nos dois períodos, ocorreu um aumento no consumo de fertilizantes (ANDA, 2016).

A utilização dos fertilizantes, portanto, dá-se pela necessidade de manutenção ou melhoria da qualidade química do solo agrícola, nos macro e micronutrientes necessários ao desempenho das plantas. Conforme afirma Meurer (2007), a produção em escala e baseada em cultivos que respondem, em maior intensidade, à fertilização, tende a retirar do solo uma quantidade maior de nutrientes do que é naturalmente repostos até a safra seguinte. A continuidade do volume produzido passa a depender fortemente do manejo químico, por meio da introdução de nutrientes via fertilizantes, com vistas a manter o balanço dos nutrientes em quantidades adequadas para cada cultura e tipo de solo.

O Sistema de Contas Econômicas e Ambientais Integradas (SCEA), de 2012, elaborado pela ONU (2014), conceitua o solo como um recurso natural, utilizado na produção agrícola como ativo imobilizado ou fator de produção fixo e os nutrientes como insumos do solo. Assim, dispêndios realizados com a finalidade de ampliar o nível de produção do solo devem ser entendidos como investimento. De igual modo, poder-se-ia identificar a depleção desse fator de produção, quando da extração de nutrientes realizada pelos cultivos.

Desse modo, os investimentos no solo seriam adicionados ao cálculo do PIB, pois representariam um aumento da Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF). A depleção do solo, termo utilizado para identificar a depreciação de recursos naturais, no entanto, seria deduzida do PIB, pois representaria um dispêndio necessário para a recuperação do nível de produção do solo e não um investimento em FBCF (STIGLITZ; SEN; FITOUSSI, 2009). Assim, a

depleção pode ser entendida como a perda gradual de nutrientes, por meio da extração realizada pelas plantas e que deve ser repostada via entrada de nutrientes no solo, pela aplicação de fertilizantes, com vistas a retardar o esgotamento do solo e manter a viabilidade econômica das lavouras (ONU, 2014).

Neste trabalho, deduz-se a depleção do solo, do cálculo do PIB, de modo a permitir a estimação do Produto Interno Bruto Ambiental (PIBA) e mesurar a ligação entre o fluxo produtivo e o estoque de recursos naturais, neste caso, o solo agrícola. Nesta mesma linha de raciocínio, Brasileiro (2012) ajustou a matriz de insumo-produto (MIP) da Amazônia, deduzindo a depreciação do capital natural, causada pela emissão de gases de efeito estufa. No Chile, Mardones e Saavedra (2011) utilizaram a Matriz de Contabilidade Social Ajustada Ambientalmente (MSCA) para estimar os impactos dos setores da economia regional sobre a contaminação do ar e da água. Ambos utilizaram o SCEA como base conceitual.

Por outro lado, Tongeren et al (1991) utilizaram o projeto, do que viria a ser, o Manual de Contas Ambientais da ONU, para ajustar o sistema de contas mexicano, considerando a degradação do solo, do ar e da água, o desmatamento e a extração de óleo. Em World Bank (2017a), tem-se uma síntese dos esforços realizados por 12 países na tentativa de incorporar o desgaste e o esgotamento de recursos naturais em suas contas nacionais a partir dos manuais publicados pela ONU. Nos Estados Unidos, o SCEA foi utilizado por Dvarskas (2018) para propor um método de estimação do ecossistema marinho das Baías de Great South, Moriches, Shinnecock e Mecox e assim estimar o PIBA americano. Na Colômbia, em estudo conduzido por Maldonado (2011), estimou-se uma queda de 1% na taxa de crescimento, quando considerada a depleção de CO<sub>2</sub> e de gás natural.

Tendo como base o SCEA, Gundimeda et al (2007) avaliaram o impacto da produção sobre as florestas para a Índia e seus estados, tendo, como conclusão, a subestimação da contribuição da floresta na geração de renda nacional. Em outro estudo, no mesmo país, Haripriya (2001) encontrou um PIBA 1,6% menor que o oficial entre os anos de 1993 e 1994. Também mensurando a depleção florestal, Banerjee et al (2017) avaliaram seu impacto sobre a economia da Guatemala, principalmente por causa do uso incorreto da madeira como combustível.

A conta da água, um dos recursos naturais mais abordados na literatura, foi explorada na Holanda (EDENS; GRAVELAND, 2014) e na Colômbia (WORLD BANK, 2017). Em

trabalho sobre Botswana, Setlhogile, Arntzen e Pule (2017) estimaram uma conta satélite de água. Na Espanha, Gonzalez et al (2016) contabiliza o estoque e os fluxos de água. No mesmo país, Gutiérrez-Martín, Borrego-Marín e Berbel (2017) utilizaram o SCEA da Água (ONU, 2012) como metodologia para aplicação das leis europeias que regulam o uso e controle da água. Na Itália, Mazzanti et al (2014) construíram um banco de dados relativos ao fluxo natural e econômico da água subterrânea da bacia do Rio Arno.

No Brasil, a conta da água, nos moldes do SCEA, é calculada pela Agência Nacional de Águas (ANA) e pelo IBGE e publicada por este último. O próximo passo definido pelo IBGE é a construção das contas econômicas ambientais da floresta, energia e as contas experimentais de ecossistemas (ANA; IBGE, 2018). No meio acadêmico, Nascimento e Góes (2017) apresentam sugestões operacionais e de fonte de dados para a elaboração da conta satélite florestal e Brasileiro (2012) para estimar o PIBA da Amazônia.

Em que pese a significativa quantidade de trabalhos relacionados ao ajuste ambiental das contas nacionais, o uso da depleção e o investimento no solo nas contas nacionais está apenas iniciando. As publicações que têm o solo como objeto de estudo consideram a sua cobertura e a depleção por erosão, como fizeram Repetto et al (1989) e Tongeren et al (1991). No Brasil, existem trabalhos que mensuram o desgaste físico do solo agrícola, como em Cunha et al (2014), Cunha, Cararin e Prochnow (2010) e Yamada e Lopes (1998), sem, no entanto, propor uma método de inclusão desse desgaste no cálculo do Produto Interno Bruto. Sabendo da importância do setor agrícola para o crescimento econômico brasileiro e que o aumento da produtividade agrícola pode causar a depleção do solo nacional, cujo risco de esgotamento existe, torna-se necessário mensurar o custo ambiental deste crescimento.

Portanto, o problema de pesquisa está configurado pelo processo de degradação dos solos agrícolas, por diversos fatores, dentre eles a depleção que ainda não é conhecida e contabilizada nas contas nacionais. Como apresentado nas iniciativas dos trabalhos já desenvolvidos, a dimensão da degradação do ativo natural solo é ampla e necessita de aprofundamento metodológico e científico nas áreas da física, química, biologia, socioambiental e econômica para especificar a magnitude do passivo gerado pelas práticas de uso dos solos com a agricultura no Brasil.

Neste trabalho, o foco está apenas na análise do balanço de macronutrientes, fruto da gestão dos sistemas de uso dos solos por *commodities* com a aplicação dos pacotes oferecidos

pelas empresas de fertilizantes e agrotóxicos do agronegócio aplicado à camada de solo considerada agrícola. Assim, dada a importância do manejo dessa camada da estrutura do solo para o agronegócio brasileiro, busca-se responder ao seguinte questionamento: em quanto os dispêndios direcionados à recuperação da fertilidade do solo impactam o fluxo produtivo e o estoque de capital brasileiro? Ao entender a aplicação total de nutrientes como um investimento, e a extração de nutrientes, pelo cultivo, como uma depreciação, pode-se mensurar a depreciação total, bem como o aumento real de capital natural em quantidade de nutrientes. A partir da dedução da depreciação, é possível encontrar o fluxo de nutrientes que deve ser subtraído ou somado ao PIB.

Considerando a literatura disponível e a tendência ao aumento do consumo de fertilizantes, dado o aumento da produtividade agrícola, a hipótese deste trabalho é que parte da depleção do solo nacional não é repostada, pois a extração de nutrientes durante o cultivo seria superior à reposição garantida pela aplicação de fertilizantes, de tal modo que, ao subtrairmos a depreciação, do total investido, gera-se um saldo negativo que deveria ser subtraído do PIB. Desta feita, objetiva-se construir a Matriz de Contabilidade Social Ajustada Ambientalmente do Brasil para 2010, incluindo a variável ambiental para estimar o PIBA e extrair indicadores dos impactos da produção sobre o solo. A variável ambiental Formação Bruta de Capital Fixo do Solo Agrícola, utilizada como *proxy* do investimento na fertilidade do solo, e a Depreciação do Solo Agrícola, como *proxy* à depleção do solo causada pelo cultivo, foram obtidas por meio do método de Balanço de Nutrientes do solo.

Esta seção foi estruturada em 3 subseções, além da introdução. A subseção 4.2 foi dividida em duas partes, a primeira apresenta a MSCA e a segunda demonstra como os valores de ajuste ambiental foram obtidos. Por se tratar de apresentação extensa, mas já amplamente difundida no meio acadêmico relacionado à economia, a descrição teórica da elaboração da Matriz de Contabilidade Social e seus indicadores será restrita às inovações propostas e aos conceitos e cálculos necessários para maior clareza sobre os resultados alcançados. A subseção posterior apresenta os resultados e os discute a partir da comparação com a literatura consultada. As principais conclusões são dispostas na última subseção.

## 4.2 Materiais e Métodos

O Produto Interno Bruto Ajustado Ambientalmente (PIBA) foi calculado por meio de uma Matriz de Contabilidade Social (MSCA), especificada para o Brasil, no ano de 2010, tendo como elementos de construção o saldo monetário entre o dispêndio com a aplicação de fertilizantes e a depleção do solo agrícola nacional. A decisão por trabalhar com o ano de 2010 deveu-se à publicação, no início desta pesquisa, da Matriz de Insumo-produto nacional, que é elaborada pelo IBGE (2016c) e fornece a tabela de transações que é essencial para a elaboração da MSCA. Informações oriundas do Sistema de Contas Nacionais (IBGE, 2016d) também foram utilizadas para completar a especificação da matriz de contabilidade.

O ajuste ambiental, via aplicação de fertilizantes e depleção do solo, foi realizado por meio do Balanço de Nutrientes, calculado na seção 3. Os dados relativos ao uso de fertilizantes foram extraídos do anuário da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) de 2010. As informações relativas aos coeficientes de fixação de nutrientes, introdução de fertilizante via fertirrigação e montante extraído por cultura foram retirados de trabalhos científicos e técnicos relacionados à agronomia, conforme apresentado na seção 3. Os preços dos fertilizantes foram disponibilizados pelo Instituto de Economia Aplicada da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (IEA/SAA-ESP).

O detalhamento teórico da elaboração da MSC, bem como de seu ajuste ambiental e cálculo dos multiplicadores, pode ser obtido por meio da literatura citada ao longo desta seção. Destacam-se os trabalhos de Santana (2005), Miller e Blair (2009), SCEA (2012), além de Pyatt e Round (1979) e Stone (1985).

### 4.2.1 A Matriz de Contabilidade Social Ajustada Ambientalmente (MCSA)

A Matriz de Contabilidade Social pode ser entendida como uma generalização do Sistema de Contas Nacionais (SCN), tendo como principal contribuição a incorporação das transações e transferências entre instituições relacionadas à distribuição de renda na economia. Segundo Miller e Blair (2009), a MCS surge da combinação do SCN que, baseando-se no fluxo circular da renda fornece uma estrutura padronizada que permite

compilar e organizar estatísticas nacionais, com a matriz de insumo-produto, que incorpora a atividade intersetorial. Adicionalmente, como descrito em FAPESPA (2015), a MCS considera, ainda, as ações realizadas pelas famílias que, como detentoras dos fatores de produção, recebem a remuneração, e dos agentes institucionais que consomem a produção.

A MSC descreve, portanto, o fluxo circular da renda, à medida em que torna endógeno o vínculo entre produção e renda e entre a renda e o consumo (SANTANA, 2005). Esses vínculos se referem às contas de geração e de alocação da renda, respectivamente, que compõem as Contas Econômicas Integradas (CEI) do SCN brasileiro (IBGE, 2016d). A adição de dados ambientais permite que a depleção do solo seja considerada. Neste sentido, a Matriz de Contabilidade Social ajustada Ambientalmente (MCSA) é conceitualmente apresentada contendo cinco contas endógenas dispostas em blocos matriciais, além de duas contas exógenas, conforme a Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 – Estrutura da Matriz de Contabilidade Social**

MCS	Conta endógena								Conta exógena		RT
	Vetores Prod.	Instituições				Valor Adicionado			Imposto	Com. Int.	
		Governo	Famílias	Empresas FBCF	Empresas FBCNF Solo	Salário	Lucro	D solo			
Atividade Produtiva	Ta	Tc				0			Xa		Ya
Instituições	0	Ti				Tr			Xi		Yi
Valor adicionado	Tv	0				0			Xv		Yv
Conta Exógena	Ea	Ei				Ev			Z		Yj
Valor da Produção	Ya	Yi				Yv			Yj		Yt

Ta é a matriz de atividades produtivas, ou intersetoriais; Tv é a matriz de valor adicionado; Tr é a matriz de apropriação da renda pelas instituições; Ti registra as transações entre os setores institucionais; Tc revela o consumo dos setores institucionais. Z é a matriz das contas exógenas.

Xa é o vetor exógeno de demanda por produtos; Xi é o vetor exógeno da renda das instituições; Xv é o vetor exógeno do valor adicionado.

Ya é o vetor total de produção das indústrias; Yi é o vetor total das rendas; Yv é o vetor total do valor adicionado; Yj é o vetor total exógeno.

FBCF é a formação bruta de capital fixo; FBCNF solo é a formação bruta de capital natural fixo do solo agrícola, que se refere à aplicação de nutrientes no solo; D solo é a depleção do solo agrícola causada pela extração de nutrientes pelo cultivo. Com. Int. é o resultado do comércio exterior. RT é a receita total.

**Fonte:** Elaborada pelo autor, a partir de Santana (2005) e Marcos, Azzoni e Guilhoto (2009).

No Brasil, Urani et al (1994) contruíram a MSC e propuseram seu uso para balisar a tomada de decisão macroeconômica. Santana (1994) utilizou essa matriz para relacionar o

complexo agroindustrial com o crescimento brasileiro. Em outro trabalho, Marcos, Azzoni e Guilhoto (2009) identificaram os fatores que explicam a queda da desigualdade de renda brasileira entre 2004 e 2009. No entanto, nenhum desses trabalhos estimou a MSCA, fato que se reverte na contribuição metodológica e científica que este trabalho apresenta nesta área do conhecimento.

Os dados fornecidos na matriz de demandas intermediárias da MIP são organizados na conta de Atividades Produtivas (Ta) da MSC, tendo o mesmo significado e aplicação. O Valor Adicionado (Tv) constitui a segunda conta e dispõe o salário e o lucro (MILLER; BLAIR, 2009) além da depleção do solo (D solo) que é lançada com sinal negativo, pois representa uma perda de bem-estar econômico, conforme preconiza ONU (2014), aqui representado pelo déficit do balanço do fluxo de macronutrientes, utilizado na produção agrícola anual, sem considerar as externalidades ambientais nos serviços e na formação dos solos manejados com as práticas utilizadas nos sistemas de *commodities* agrícolas no Brasil. Procedimento semelhante foi realizado por Brasileiro (2012), que utilizou o serviço do ecossistema do ativo floresta de regulação da emissão de gases do efeito estufa como uma *proxy* da depleção do ar da amazônia legal brasileira. No Chile, Mardones e Saaverdra (2011) utilizaram registros de emissões de contaminantes no ar e na água para estimar a depleção causada pelo processo produtivo.

A depleção do solo agrícola, aqui considerada, refere-se à exaustão de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) ocasionada pelo cultivo e mensurada por meio do Balanço de Nutrientes, ferramenta indicada por ONU (2014) como suficiente para a estimação, não só da quantidade de nutrientes extraída do solo, como também da quantidade aplicada, aqui entendida como investimento por parte dos fornecedores dos insumos e dos produtores, mas que significativa parcela deste investimento se transforma em passivo socioambiental e econômico. Assim, a monetização da depleção e do investimento é feita por meio do preço de mercado dos fertilizantes, aplicado ao montante dos insumos utilizados para a reposição dos nutrientes abordados.

A apropriação da renda pelas Instituições (Tr) descreve como o valor adicionado é distribuído entre as famílias, o governo e as empresas. As transferências, entre os próprios setores institucionais, são registradas na conta de Distribuição (Ti) que permite o vínculo com a conta de Consumo (Tc) das instituições de produtos confeccionados pelas Atividades Produtivas (Ta). Nesta última conta, é mensurado o consumo total das famílias, do governo e

das empresas (investimento), por produto (SANTANA; CAMPOS, 1994; SANTANA, 2005). Aqui também foi incluído o montante despendido em investimento na fertilidade do solo (FBCNF solo), conforme ONU (2014). As contas exógenas (Z) são matematicamente necessárias para permitir que a matriz seja invertível, podendo, assim, produzir os seus multiplicadores (ROUND, 2003).

Além dos blocos matriciais, pode-se identificar os vetores  $X_a$ ,  $X_y$  e  $X_i$  que se referem, respectivamente, à demanda por produtos, valor adicionado e à renda das famílias, exogenamente especificada. Os vetores endógenos  $Y_a$ ,  $Y_y$  e  $Y_i$  representam o valor total de produção, o total do valor adicionado e o total da renda das famílias, respectivamente.

O principal agregado macroeconômico a ser estimado, por meio da MCSA, é o PIBA, uma vez que, segundo o SEEA 2012 (ONU, 2014), o Produto Interno Líquido Ajustado Ambientalmente (PILA) só pode ser estimado após a subtração da depreciação do capital fixo, informação não disponibilizada para o ano em estudo. Sua estimação foi feita de duas formas distintas: adicionando os dispêndios, com a introdução de nutrientes no solo e subtraindo a depreciação do solo, como na equação (1); utilizando a equação da demanda agregada keynesiana como em (2).

$$PIBA = PIB + SMNS \quad (1)$$

$$PIBA = CF + CG + FBCF + SMNS + VE + (E - Im.) \quad (2)$$

Em que:

PIBA é o Produto Interno Bruto Ajustado Ambientalmente;

PIB é o Produto Interno Bruto;

SMNS é o Saldo Monetário de nutrientes do solo;

CF é o Consumo das Famílias;

CG é o Consumo do Governo;

FBCF é a Formação Bruta de Capital Fixo;

VE é a Variação de Estoque;

E é o total das Exportações de bens e serviços;

Im. é a Importação total de bens e serviços.

A estimação do PIBA permite a constatação de que o PIB é superestimado. No entanto, a literatura acadêmica dispõe de poucos trabalhos dedicados à estimação do PIB ajustado por um desgaste de recurso natural. Frequência maior refere-se à simples mensuração física e monetária da depleção do capital natural. Entre os 15 trabalhos enumerados na Tabela 4.2, somente 5 objetivaram encontrar o PIBA, as demais pesquisas limitam-se à estimação da depleção, sem relacioná-la ao sistema de contas nacionais. No Brasil, por exemplo, a conta satélite da água é calculada pelo IBGE, mas não existe uma publicação oficial do PIB ajustado pelo uso da água. Neste ponto, pode-se contribuir metodologicamente para a inclusão desta componente na contabilidade social do Brasil pelo IBGE.

A despeito disso, a maior parte dos trabalhos tem adotado o SCEA como base para fundamentar o levantamento e a mensuração da depleção do recurso natural abordado. Esse cuidado se deve às recomendações existentes no SCEA que auxiliam a formalização da metodologia de mensuração do fluxo entre natureza e economia. A conta da água, por exemplo, possui um manual próprio. O solo recebeu dedicação suficiente para que os pesquisadores pudessem avaliar a sua cobertura ou a erosão, como em Mardones e Saavedra (2011) e Repetto et al (1989) ou seu aspecto químico, por meio do balanço de nutrientes, explicitado na subseção seguinte.

A Tabela 4.2, portanto, reforça a inovação deste trabalho. Além de propor a monetização de um aspecto do solo que ainda não recebeu a devida atenção, pretende utilizar o resultado para ajustar o PIB brasileiro, por meio da Matriz de contabilidade social. Em que pese a complexidade de sua mensuração, a MSC é uma representação de dados econômicos a nível macro. A inclusão de variável ambiental permite a estimativa do PIBA (BRASILEIRO, 2012). Pode-se, ainda, extrair indicadores robustos e especificados conforme os interesses do pesquisador (MARCOS; AZZONI; GUILHOTO, 2009).

Neste trabalho, a escolha foi por estimar o impacto que um incremento da demanda de determinado produto pode causar sobre a depleção do solo agrícola. Conforme afirma Santana (2005), esse impacto pode ser calculado por meio das matrizes de efeitos de transferência, de efeito cruzado, de efeito circular e de efeito global, que, de um modo geral, estimam o potencial multiplicador de cada incremento realizado.

**Tabela 4.2 – Os recursos naturais entendidos como capital natural na literatura científica.**

Artigo	País	Abrang.	PIBA	Período	Ajust.	SCEA
Mardones e Saavredra (2011)	Chile	Regional	✘	1996-2006	Ar e água	✓
Brasileiro (2012)	Brasil	Regional	✓	2004	Ar	✓
Tongeren et al. (1991)	México	Nacional	✘	1990-1991	Petróleo Florestas Degradação solo e ar	✘
Dvarskas (2018)	EUA	Regional	✘	2006 e 2011	Recursos marinhos	✓
Maldonado e Lachaud (2011)	Colômbia	Nacional	✓	1995-2005	Gás natural CO2	✘
Gundimeda et al. (2007)	Índia	Nacional regional	✓	2001-2003	Florestas	✓
Haripriya (2001)	Índia	Nacional	✓	1993-1994	Florestas	✓
Banerjee et al. (2017)	Guatemala	Nacional	✘	2013-2025	Florestas	✓
Edens e Graveland (2014)	Holanda	Nacional	✘	2010	Água	✓
Setlhogile, Arntzen e Pule (2017)	Botswana	Nacional	✘	2010-2015	Água	✓
Gonzalez et al. (2016)	Espanha	Regional	✘	1980-2006	Água	✓
Gutiérrez-Martín, Borrego-Marín e Berbel (2017)	Espanha	Regional	✘	2004-2012	Água	✓
Mazzanti et al. (2014)	Itália	Regional	✘	1999-2013	Água	✓
ANA e IBGE (2018)	Brasil	Nacional	✘	2013-2015	Água	✓
Repetto et al. (1989)	Indonésia	Nacional	✘	1970-1984	Floresta Petróleo Erosão do Solo	✘

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Elaboradas por Pyatt e Round (1979) a partir de Stone (1985), essas matrizes revelam os efeitos totais do incremento da demanda exógena sobre a economia. O aumento da demanda exógena de produtos da agropecuária pode apresentar um efeito de transferência, à medida que este setor transfere, para outros setores, o estímulo inicial por meio da aquisição

de insumos. No entanto, os outros setores, ao reduzirem sua capacidade ociosa, consomem mais insumos e, entre eles, insumos ofertados pelo setor agropecuário, gerando um novo estímulo a este setor. Esse é o efeito circular. O mesmo aumento da demanda pode provocar um efeito cruzado, pois a elevação da produção agropecuária resulta em crescimento do valor adicionado que é apropriado pelas instituições que o utilizam para adquirir novos bens e serviços. A soma desses três efeitos dá vida ao efeito global, que sintetiza toda a repercussão entre setores, e entre setores e instituições, sendo mais completa que os coeficientes entregues pela MIP para representar as operações realizadas no fluxo circular de uma economia.

Guardando a relação entre a MSC e a MIP (MILLER; BLAIR, 2009), o cálculo desses efeitos baseia-se no fluxo circular que permite que um incremento anotado em um setor, instituição ou componente do valor agregado atinja todos os setores (STONE, 1985). O cálculo inicia-se na equação básica de Leontief para a matriz de insumo-produto, como em (3) e tem como objetivo estimar a matriz de efeito global ( $M_g$ ), formada pelos demais efeitos (SANTANA, 2005).

$$X = AX + Y$$

$$(I - A)X = Y$$

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (3).$$

Esta equação (3) expressa a renda ( $Y$ ), por setor, das atividades endógenas que resultam dos incrementos realizados na demanda ( $X$ ), multiplicada pela matriz de efeitos globais (SANTANA, 2005). Tomando  $M_g = (I - A)^{-1}$  tem-se (4).

$$X = M_g Y \quad (4)$$

Sabendo que o efeito global é mensurado por meio de outros três efeitos, é necessário decompô-lo para, então, estimar as matrizes de efeitos desejados. Segundo Pyatt e Round (1979), isso se torna possível, a partir da repartição da matriz de coeficientes técnicos, em duas outras, as matrizes B e C. Stone (1985) exemplifica que, em um sistema em que existam

três subsistemas endógenos, a injeção aplicada a uma conta pertencente a um destes subsistemas pode se mover dentro do próprio subsistema, pois, como mensurado na inversa de Leontieff e que se denomina efeito de transferência (MET), pode se deslocar por todos os subsistemas e retornar à conta inicial, como um efeito circular (MEC) ou pode se mover e acabar em um outro subsistema, efeito cruzado (MECZ).

Sabendo que  $Mg$  (5) é dado pelo produto de três multiplicadores  $Ma_1$ , que se referem ao efeito de transferência,  $Ma_2$  que se trata do efeito cruzado e  $Ma_3$  que se refere ao efeito circular, a equação básica de Leontieff pode ser redefinida como em (6) (STONE, 1985).

$$Mg = Ma_1 Ma_2 Ma_3 \quad (5)$$

Em que:

$$Ma_1 = (I - B)^{-1}; Ma_2 = (I + D + D^2) \text{ e } Ma_3 = (I - D^3)^{-1}$$

$$D = (I - B)^{-1}(A - B)$$

$$Y = Ma_3 Ma_2 Ma_1 X \quad (6)$$

Simplificando a análise, Stone (1985) fornece uma versão de (5) em forma aditiva (7) em que o valor de cada um dos efeitos é subtraído da matriz uniária  $I$  que representa as injeções realizadas. Assim, os efeitos de transferência, cruzado e circular, levam à equação final do efeito global (7), em sua forma líquida da injeção e que pode ser decomposta em (8), (9) e (10).

$$M_g = I + (Ma_1 - I) + (Ma_2 - I).Ma_1 + (Ma_3 - I)Ma_2Ma_1 \quad (7)$$

$$MET = Ma_1 - I \quad (8)$$

$$MECZ = (Ma_2 - I)Ma_1 \quad (9)$$

$$MEC = (Ma_3 - I)Ma_2Ma_1 \quad (10)$$

A respeito do que se pretende neste trabalho, ao mensurarmos o MET, teremos a estimativa de depleção do solo agrícola, em reais, gerada pelo incremento de R\$ 1 na demanda por produtos agropecuários. MECZ e MEC revelarão a magnitude de  $D_{solo}$  quando a demanda por produtos de outros setores aumentar e, por transbordamento, elevando a demanda por produtos agropecuários. Os efeitos globais (Mg) revelam a magnitude do impacto da soma dos três efeitos sobre a exaustão do solo. A mesma análise deve ser feita para os investimentos no solo. A elevação da demanda por produtos agropecuários (MET) de outros setores (MEC e MECZ) deve vir acompanhada de  $FBCNF_{solo}$  como garantia de produtividade.

#### 4.2.2 O Solo como Fator de Ajuste da MCSA

O Produto Interno Líquido brasileiro foi mensurado para o ano de 2010 tendo o solo agrícola nacional como fator de ajuste ambiental. A dimensão química da qualidade do solo foi considerada a partir do balanço físico e monetário de nutrientes do solo que fornece o total de elementos essenciais que deixaram o solo devido à depreciação causada pela produção agrícola e também a quantidade de nutrientes que entram no solo via fertilizantes químicos, fixação biológica no solo e a fertirrigação. Este balanço considera os fluxos de entrada e saída de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) do solo e foi estimado na seção 3 para as treze culturas<sup>10</sup> que, conforme dados do IBGE (2017), ocuparam cerca de 90% do solo agrícola brasileiro, em 2010.

---

<sup>10</sup> São elas: soja, milho, algodão, tomate, feijão, cana-de-açúcar, café, trigo, arroz, fumo, batata, laranja e banana.

Foram consideradas, como fluxo de entrada de N, P e K, a aplicação de fertilizantes, a Fixação biológica de nitrogênio (FBN) realizada, no solo, pelo feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) WALP.) e pelo feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), que fixam cerca de 75,74% e 55,45%, respectivamente, do total de N exportado (BRITO; MURAOKA; SILVA, 2009) e também a fixação realizada pela soja que, além de fornecer a totalidade do nitrogênio para seu próprio desenvolvimento (SFREDO, 2008), também fornece 74% do total absorvido pelo milho safrinha (GITTI, 2013)

Desse modo, a depleção do solo é dada pela redução de sua fertilidade em decorrência da absorção dos macronutrientes N, P e K durante o desenvolvimento das plantas. A delimitação para esses três nutrientes se dá pela dificuldade em considerar a totalidade de fluxos de todos os macro e micronutrientes e seus respectivos efeitos sobre a depleção do solo. Essa delimitação, no entanto, não prejudica a obtenção do objetivo e a resolução do problema proposto, pois apenas limita a sua abrangência, além disso, a metodologia aqui proposta permitirá que outros estudos avancem para completar a estimativa. A quantidade dos nutrientes, que é extraída do solo pelo cultivo, revela a magnitude física de sua exaustão, conforme (11) que deve ser monetizada para a sua inclusão no cálculo do PIBA.

$$f_{solo_i} = N_{s_i} + P_{s_i} + K_{s_i} \quad (11)$$

Em que:

$Df_{solo_i}$  é a depleção do solo agrícola no ano i, em toneladas.

$N_{s_i}$ ,  $K_{s_i}$  e  $P_{s_i}$  representam o total de Nitrogênio, Potássio e Fósforo, respectivamente, exportados do solo brasileiro, no ano i em toneladas.

A absorção total de cada nutriente é mensurada por meio da somatória da multiplicação do teor médio<sup>11</sup> do nutriente presente na tonelada colhida de determinada cultura no Brasil, pela quantidade total de produtos colhidos, por ano, como em (12).

---

<sup>11</sup> Os teores médios de nutrientes exportados, por cultura, foram selecionados na literatura científica nacional e são apresentados na seção 3 deste trabalho.

$$Xs_i = \sum(Txc * Qc_i) \quad (12)$$

Em que:

$Xs_i$  é a quantidade extraída do nutriente X em toneladas.

$Txc$  é o teor do nutriente X exportado pela cultura c em quilogramas de nutriente por tonelada.

$Qc_i$  é a quantidade produzida da cultura c no ano i em toneladas.

Por outro lado, o aumento de sua fertilidade se daria em decorrência da entrada de N, P e K, via aplicação de fertilizantes inorgânicos, fixação biológica e fertirrigação com vinhaça. A quantidade destes nutrientes que adentra ao solo, devido às práticas de manejo citadas, revela a magnitude da oferta de nutrientes, conforme (13).

$$FBCNFsoli = Ne_i + Pe_i + Ke_i \quad (13)$$

Em que:

$FBCNFsoli$  é a Formação Bruta de Capital Natural Fixo físico do Solo no ano i em toneladas.

$Ne_i, Ke_i, Pe_i$  total de Nitrogênio, Potássio e Fósforo, respectivamente, introduzidos em solo brasileiro no ano i.

As entradas de N, P e K foram estimadas por meio da soma do montante introduzido no solo via fertilizantes químicos no cultivo das treze culturas consideradas, informação obtida por meio do Anuário da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2011) com a fixação biológica de nitrogênio e a fertirrigação com vinhaça, de áreas destinadas ao plantio de cana-de-açúcar, conforme explicitado na seção anterior. Tem-se assim (14). (15) e (16).

$$Ne_i = FBN_i + QN_i \quad (14)$$

$$Ke_i = V_i + QK_i \quad (15)$$

$$Pe_i = QP_i \quad (16)$$

Em que:

$QN_i$ ,  $QK_i$  e  $QP_i$  são as quantidades de N, K e P entregues no ano  $i$ .

$FBN_i$  é a quantidade de N fixada biologicamente pelas culturas da soja e do feijão, no ano  $i$ .

$V$  é a quantidade de K introduzido no solo pela fertirrigação da cana-de-açúcar com a vinhaça, no ano  $i$ .

O saldo obtido por meio da subtração da entrada pela saída de nutrientes é calculado em (17). Um resultado negativo indica que a entrada total não foi suficiente para repor a depleção causada pelo cultivo e, de modo oposto, um resultado positivo indica que a entrada total de N, P e K devolveu a fertilidade do solo e adicionou mais nutrientes. Embora não incorra em uma depleção nutritiva, a positividade do saldo de nutrientes pode gerar externalidades negativas associadas à eutrofização (VITOUSEK et al., 2009) e à desertificação (MANZATTO; FREITAS JUNIOR; PERES, 2002) e também ao aumento dos custos internos de produção, tendo em vista que o aumento da concentração de alguns nutrientes pode causar a inibição da absorção de outros (MEURER, 2006). O excesso é considerado um passivo ambiental. A nulidade revela que o balanço físico da quantidade de macronutrientes foi equilibrado, sem a presença de externalidades negativas, sendo este o resultado ideal.

$$SFNS_i = FBCNFfsolo_i - Dfsolo_i \quad (17)$$

Em que:

$SFNS_i$  é o Saldo Físico de Nutrientes do Solo no ano  $i$ ;

A monetização da exaustão nutritiva do solo após a colheita é realizada por meio da multiplicação da depreciação física ( $Dfsolo$ ) e da aplicação de fertilizantes ( $FBCNFfsolo$ ),

pelo preço de mercado dos principais fertilizantes utilizados para a reposição de cada um dos nutrientes, conforme (18) e (19).

$$Dmsolo_i = Pfe_i * Dfsolo_i \quad (18)$$

$$FBCNFmsolo_i = Pfe_i * FBCNFfsolo_i \quad (19)$$

Em que:

$Dmsolo_i$  é a depleção monetária do solo no ano  $i$ .

$FBCNFmsolo_i$  é o total monetário dispendido para a aplicação de nutrientes no solo no ano  $i$ .

$Pfe_i$  é o preço médio do fertilizante inorgânico no ano  $i$ .

A estimativa de preço médio do fertilizante foi realizada a partir de dados relativos aos preços de mercado, em 2010, do Superfosfato simples (SSP), para o fosfato; da Ureia para o nitrogênio e, além, do Cloreto de Potássio para o potássio, disponibilizados pelo Instituto de Economia Aplicada da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (IEA/SAA-ESP).

A partir das informações construídas, pode-se estimar o saldo monetário de nutrientes, como em (20).

$$SMNS_i = FBCNFmsolo_i - Dmsolo_i \quad (20)$$

Em que:

$SMNS_i$  é o saldo monetário de nutrientes do solo, no ano  $i$ . O saldo será incluído na MCSA por meio da inserção da FBCNFmsolo no bloco da Demanda Final, assim como a FBCF e da inserção de Dmsolo no bloco do Valor Adicionado.

### 4.3 Resultados

Ao se estimar o PIB ajustado ambientalmente, faz-se a adaptação do método de mensuração das atividades econômicas, para levar em conta o fluxo existente entre as atividades econômicas e o estoque de recursos naturais, aqui entendido como capital natural. Desse modo, o saldo positivo entre os fluxos de entrada e saída de nutrientes, poderia significar a formação de um estoque de nutrientes no solo, cujo valor não é observado no SNA. Por outro lado, um saldo negativo revelaria a exaustão do solo agrícola, uma perda de capital natural também não observada no sistema de contas nacionais. O saldo nulo indicaria que a quantidade de nutrientes disponíveis no solo permaneceu, após o fim da safra, idêntica à quantidade disponível antes da safra, mas nada informa sobre se houve ou não mudança na qualidade do solo, ou na fertilidade do solo.

O solo agrícola foi utilizado para ajustar o valor do PIB. A partir do Balanço de Nutrientes, foi possível identificar o total de N, P e K extraídos do solo nacional em função do cultivo agrícola das treze culturas consideradas e o total introduzido via fertilização, fertirrigação e fixação biológica.

Na Tabela 4.3, apresenta-se o resultado desta conta, que revelou um saldo positivo para os três nutrientes. Quanto à soma de N, P e K, o solo foi depreciado em R\$ 11.687 milhões, mas obteve aporte de R\$ 15.833 milhões, o suficiente para recuperar a depleção mensurada e garantir um excedente de R\$ 4.146 milhões. Este excesso de nutrientes é um passivo produtivo e ambiental. Produtivo, porque reflete a ineficiência na gestão de nutrientes que resulta em dispêndios, com a compra de fertilizantes, desnecessários para o desenvolvimento eficiente das plantas; ambiental, por os nutrientes, presentes em excesso no solo, tenderem a lixiviar com a água, atingir o lençol freático, provocando a eutrofização e prejudicando o consumo da água.

Em que pese suas consequências negativas, este resultado confirma as conclusões apresentadas em Cunha et alal (2014) e Cunha, Casarin e Prochnow (2011) que também encontraram o saldo positivo em suas estimações físicas do Balanço de Nutrientes para o Brasil, em 2010. Cabe observar que se trata apenas de um resultado quantitativo e não reflete os aspectos qualitativos da fertilidade do solo, dado de que não se conhece o resultado das reações desencadeadas no solo com a adubação NPK e o balanço final em relação ao solo

original. Assim, este resultado, como fundamentado no referencial teórico e na seção 3, traduz-se em déficit monetário em função da ineficiência de gestão e pelas consequências das externalidades negativas potencializadas e não computadas aqui.

**Tabela 4.3 – Saldo de Nutrientes no Solo Agrícola Brasileiro, 2010**

Nutrientes	Físico <sup>1</sup>			Preço	Monetário <sup>2</sup>		
	FBCNF Solo	Dsolo	Saldo		FBCNF Solo	Dsolo	Saldo
N	6.717.867	5.709.028	1.008.840	1	8.869.320	7.537	1.332
P	3.072.593	1.083.171	1.989.421	6	2.007.776	732	1.345
K	3.879.436	3.298.529	580.906	1	5.659.459	4.811	847
N, P e K	13.669.896	10.090.728	3.579.167	1	15.833.158	11.687	4.146

**Fonte:** Elaborado pelo autor. <sup>1</sup>Em toneladas. <sup>2</sup>Em um milhão de reais deflacionados para 2010. N é o nitrogênio. P é o fósforo. K é o potássio. FBCNF Solo é a Formação Bruta de Capital Natural Fixo do solo. Dsolo é a depreciação do capital natural solo. Preço é a média anual dos preços dos fertilizantes Superfosfato simples (P), Ureia (N) e Cloreto de Potássio (K), em reais por tonelada.

A maior parte da depleção identificada deve-se ao nitrogênio, cuja exportação foi concentrada nos cultivos de soja e milho, que consumiram 82% do total. No entanto, a fixação biológica, realizada pela soja e aproveitada nos dois cultivos, foi estimada em 4,4 milhões de toneladas, suficientes não só para a reposição do nitrogênio demandado por essas culturas, como também para o surgimento de um estoque temporário de um milhão de toneladas que equivalem a R\$ 1.332 milhões. O fósforo dispõe da menor depleção e reposição no ano, no entanto, apresenta maior saldo. O dispêndio com a FBCNF solo superou a depreciação em R\$ 1.345 milhões, sendo o maior entre os nutrientes abordados. O menor dispêndio se deve ao potássio, cerca de R\$ 847 milhões, resultado de um balanço mais próximo ao equilíbrio.

O saldo positivo do Balanço de Nutrientes não significa que houve ganho ou perda de valor após a safra de 2010, dado que não se contemplou todas as funções do solo, ao contrário, pode-se apenas considerar que o manejo executado nas unidades agrícolas brasileiras foi suficiente para repor a quantidade exportada pelas plantas e ainda produziu um excesso temporário de 3 milhões de toneladas de N, P e K, o que caracteriza ineficiência da gestão. Esse estoque temporário se refere ao excesso de N, P e K no solo e que se encontra uma parcela que fica armazenada no solo até que seja exposta a alguma reação, e outra seja lixiviada, outra agregada ao solo e outra evaporada. Assim, não se pode afirmar que todo o

estoque estará disponível para absorção na safra seguinte, , por isso, um estoque temporário e deve ser considerado como passivo monetário a ser computado na contabilidade social.

Essas reações podem levar ao surgimento de externalidades negativas, que acabam por reduzir o volume estocado, entre o fim da safra atual e o início da próxima. O excesso de N e de P é apontado por Vitousek et al., (2009) como o motivo da eutrofização ocorrida no Golfo do México, e o mesmo fenômeno foi observado no Espírito Santo (G1, 2016) e em São Paulo (G1, 2018). O saldo positivo de KCl pode levar à desertificação (MANZATTO; FREITAS JUNIOR; PERES, 2002). Além disso, as emissões atmosféricas de óxido nitroso também são apontadas como resultantes do excesso de N no solo (ONU, 2014).

Portanto, ainda que o resultado do saldo monetário de nutrientes do solo tenha retornado a um valor positivo, não se deve considerá-lo como um investimento em variação de estoque. Ao contrário, esse valor deve ser considerado um custo associado às externalidades negativas que produz ao não permanecer no solo. O saldo, portanto, deve ser descontado do PIB, como revela a Tabela 4.4 que dispõe o PIBA, calculado conforme as equações (1) e (2), em que o saldo monetário de nutrientes do solo é considerado.

Os resultados da Tabela 4.4 permitem confirmar que o modelo de mensuração do PIB, baseado no SNA 1993 e 2008, não é suficiente para apurar a interação entre o fluxo produtivo e o estoque de capital, inclusive de capital natural, pois não consegue captar a depleção e os custos associados às perdas relativas ao excesso de nutrientes. Por esse motivo é que se justifica a adoção do PIBA. A depleção causada pela produção agrícola representou um deságio de 0,30%, na produção nacional e de 7% na produção do setor agropecuário, montante recuperado por meio de dispêndios direcionados à reposição de N, P e K em 0,41% e 9,5% do PIB nacional e do PIB agropecuário, respectivamente. O saldo positivo do Balanço de nutrientes significou um desperdício de recursos de 0,11% do total gerado no Brasil em 2010 e de 2,42% da riqueza gerada pelo setor agropecuário. A FBCNFsolo foi 46% superior ao montante dedicado a FBCF deste setor.

O PIBA brasileiro seria, portanto, R\$ 3.881 bilhões e o PIBA agropecuário, de R\$ 162 bilhões. Este resultado vai de encontro com a conclusão alcançada por Brasileiro (2012), que estimou um PIBA da Amazônia legal, 15% menor em relação ao PIB em 2012. Na Colômbia, Maldonado e Lachaud (2011) concluíram pela sobrevalorização da taxa de crescimento do PIB em 0,9%, ao considerarem o esgotamento do gás natural e a poluição do

ar por gás carbônico, como fatores de ajustes ambientais. Ao considerar os recursos florestais, Haripriya (2001) registrou uma redução de 1,6% do produto interno indiano, enquanto Gndimeda et alal (2007) encontraram uma diferença de 1%.

Em que pese a similaridade dos resultados encontrados na literatura com os aqui apresentados enfatizasse que a superestimação realizada pelo PIB, em comparação ao PIBA no caso do solo brasileiro, não se deve à existência de uma depleção nutritiva do capital natural, como observado nos trabalhos citados. A busca pela manutenção da fertilidade do solo, em relação à safra imediatamente anterior, tem levado os produtores a aplicarem fertilizantes em quantidade superiores àquelas retiradas pelo cultivo. O montante investido e que excede o total extraído pela planta, portanto, se transforma em um custo.

**Tabela 4.4. Produto Interno Bruto Ajustado pela Depreciação do Solo Agrícola Brasileiro em 2010.**

Brasil		Setor agropecuário	
Conta	Milhões de R\$	Conta	Milhões de R\$
Consumo do governo	798.182	Salário	37.026
Consumo das Famílias	1.918.538	Lucro	122.906
FBCF	704.389	Impostos	7.072
Exportação	422.176	PIB agro	167.004
Importação	(-) 797.894	FBCF Solo	15.833
Variação de estoque	840.456	D solo	(-)11.687
PIB	3.885.847	SMNS	4.146
FBCF Solo	15.833		
D solo	(-) 11.687		
SMNS	4.146		
PIBA	3.881.701 <sup>1</sup>	PIBA	162.858 <sup>1</sup>

FBCNF Solo é a Formação Bruta de Capital Natural Fixo do solo. Dsolo é a depreciação do capital natural solo.

<sup>1</sup>O Saldo Monetário de nutrientes do solo (SMNS) positivo indica a ocorrência de custos de produção associados à perda de nutrientes, por este motivo, esse saldo é descontado do PIB.

**Fonte:** Elaborado pelo autor, a partir de dados do (IBGE, 2016c).

Além da influência da produção agropecuária sobre o solo, em 2010, a matriz de contabilidade social, ajustada ambientalmente (MCSA), apresentada no Apêndice E, permitiu a estimação dos coeficientes de impacto do setor sobre toda a economia e também sobre o solo. A partir desses coeficientes, foi possível mensurar em quanto a fertilidade do solo será comprometida a cada incremento na demanda exógena e, também, o montante que deverá ser investido na aplicação de nutrientes. A MCSA incorpora as ações realizadas pelos agentes

econômicos, detentores dos fatores de produção e dos agentes institucionais, permitindo, assim, que indicadores que revelam a relação destes com os setores produtivos, o valor adicionado, os impostos, as importações e com os componentes da demanda final sejam estimados.

Neste sentido, a propensão média a gastar pelo setor agropecuário é apresentada na Tabela 4.5 e revela que, a cada R\$ 1 milhão produzido, cerca de R\$ 355 mil estão relacionados à aquisição de insumos, principalmente, da indústria de transformação, da própria agropecuária e do comércio. Para esse mesmo real, a remuneração dos fatores de produção representou R\$ 592 mil sendo que 77% são destinados ao pagamento de lucros.

**Tabela 4.5 – Propensão Média a Gastar do Setor Agropecuário Brasileiro em 2010.**

<b>Setores</b>	<b>R\$</b>
Indústria de transformação	193.374,93
Agropecuária	46.967,98
Comércio	444.212,77
Outros setores	70.378
<b>Contas</b>	<b>R\$</b>
Salários	136.932
Lucros	454.539,1

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Na Tabela 4.6, apresenta-se o efeito transferência da agropecuária para os outros setores. O aumento de R\$ 1 milhão na demanda exógena por produtos desse setor levaria à ampliação total da produção em R\$ 635 mil, sendo R\$ 69 mil devido ao aumento da produção da própria atividade agropecuária e o restante à transferência do estímulo inicial para as outras atividades. Desse modo, seriam R\$ 308 mil da produção relativa à indústria de transformação, R\$ 70 mil da produção do comércio, além do aumento de R\$ 47 mil do setor de logística e de R\$ 45 mil em produção de distribuição de energia, gás, água, esgoto e limpeza urbana. Como esse efeito capta somente as transações intersetoriais, não é possível estimar a  $D_{solo}$  e a  $FBCF_{solo}$ , pois estão relacionadas com os impactos da produção sobre o valor adicionado e a sua apropriação pelas instituições, respectivamente.

**Tabela 4.6 - Efeito Transferência do Setor Agropecuário Brasileiro em 2010**

<b>Setores</b>	
Indústria de transformação	308.154,76
Comércio	70.581,94
Agropecuária	69.600,17
Transporte, armazenagem e correio	47.016,59
Produção e distribuição de eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	45.743,45
Outros setores	93.992,32

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Além da transferência da agropecuária para os demais setores, do estímulo provocado pelo aumento da demanda exógena, foi possível estimar os efeitos de transbordamento gerados pela agropecuária e apropriados pelas instituições. Esses efeitos são captados pela matriz de efeitos cruzados e apresentam o aumento do valor adicionado e do consumo endógeno, conforme a Tabela 4.7. A maior parte do valor adicionado é destinado ao pagamento de lucros, R\$ 596 mil, enquanto que as famílias respondem pelo maior aumento na demanda endógena, R\$ 338 mil. Os dispêndios em nutrição do solo seriam ampliados em R\$ 5.735,46, cerca de 13% da FBCF de máquinas e equipamentos e que supera a depleção nutritiva do solo em 26%.

**Tabela 4.7. Efeitos cruzados da agropecuária brasileira em 2010**

<b>Instituições</b>	
Consumo do Governo	289.139,01
Consumo das famílias	338.001,80
Formação Bruta de Capital Fixo	43.970,26
Formação Bruta de Capital Fixo do solo agrícola	5.735,46
<b>Contas</b>	
Salários	244.737,69
Lucros	596.225,19
Depreciação do solo agrícola	(-) 4.233,58

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Além de ampliar a produção de toda a economia e de aumentar o valor adicionado que é apropriado e consumido pelas instituições, o aumento da produção agropecuária, provocado pelo incremento de R\$ 1milhões na demanda exógena, pode provocar um segundo aumento na demanda por produtos agropecuários. Trata-se do efeito mercado, denominado efeito

circular, que surge do aumento da demanda por produtos da agropecuária que eleva a produção do setor e, conseqüentemente, amplia a procura por insumo de outros setores. Como consequência, os outros setores ampliam sua própria produção e passam a demandar mais insumos, entre eles, produtos oriundos da agropecuária. Assim, a agropecuária recebe novo estímulo, sendo este derivado do aumento inicial da demanda exógena por produtos da própria agropecuária.

Esse efeito é apresentado na Tabela 4.8 e revela que, além dos R\$ 69 mil correspondentes ao efeito de transferência, a agropecuária incrementa sua produção em R\$ 114,8 mil a cada R\$ 1 milhão de reais ampliados da demanda exógena por seus produtos. Esse mesmo real provocaria um aumento de R\$ 892,6 mil na produção da indústria de transformação, R\$ 614,5 mil na oferta de outros serviços, R\$ 646,7 mil na oferta de administração pública, saúde, educação e seguridade social, além de R\$ 366,2 mil na oferta de produtos relacionados ao comércio. Essas 5 atividades correspondem a 36% de todo o efeito circular provocado pelo aumento das exportações da agropecuária.

**Tabela 4.8 – Efeito Circular da Agropecuária Brasileira em 2010.**

<b>Setores</b>	
Indústria de transformação	892.627,50
Administração, saúde e educação públicas e seguridade social	646.741,78
Outros serviços	614.512,81
Comércio	366.272,30
Agropecuária	114.810,67
Outros setores	1.059.481,33
<b>Instituições</b>	
Consumo do Governo	445.779,29
Consumo das famílias	1.188.988,61
Formação Bruta de Capital Fixo	67.791,03
Formação Bruta de Capital Fixo do solo agrícola	8.842,62
<b>Contas</b>	
Salários	1.045.198,93
Lucros	919.228,58
Depreciação do solo agrícolas	(-) 6.527,11

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O efeito circular permite ainda constatar o impacto sobre o consumo das famílias, quando do aumento da produção de produtos agropecuários. Nesse mesmo contexto, seriam exigidos um total de R\$ 8.842,62 para cada um milhão efetivamente elevado da demanda exógena, para a manutenção da fertilidade do solo, em resposta à ampliação em um milhão de reais da demanda e uma depleção de R\$ 6.527,11, apenas para manter o equilíbrio físico do balanço de macronutrientes.

Conforme a equação 7, a matriz de multiplicadores globais é o resultado da soma dos efeitos de transferência, cruzado e circular, e revela todos os efeitos gerados, na economia, a partir da indução da atividade agropecuária por meio do aumento de R\$ 1 milhão em sua demanda exógena. Esses efeitos globais são apresentados na Tabela 4.9 e sintetizam todos os efeitos diretos e indiretos, que surgem das interações setoriais, intersetoriais e com as instituições.

**Tabela 4.9 – Multiplicador Global da Agropecuária Brasileira em 2010.**

<b>Setores</b>	
Indústria de transformação	1.200.782,26
Agropecuária	1.184.410,84
Outros serviços	650.167,08
Administração, saúde e educação públicas e seguridade social	646.741,78
Comércio	436.854,24
Outros setores	1.210.578,41
<b>Instituições</b>	
Consumo do Governo	734.918,31
Consumo das famílias	1.526.990,41
Formação Bruta de Capital Fixo	111.761,30
Formação Bruta de Capital Fixo do solo agrícola	14.578,08
<b>Contas</b>	
Salários	1.289.936,62
Lucros	1.515.453,77
Depreciação do solo agrícolas	(-) 10.760,69

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O estímulo inicial, ocasionado pelo aumento da demanda exógena, provoca uma repercussão de R\$ 5.329,5 mil na economia como um todo. O nível de produção nacional, portanto, mais que quadruplica a cada elevação em R\$ 1 milhão das exportações de produtos

da agropecuária. Este resultado confirma o potencial do campo como indutor do crescimento econômico brasileiro, principalmente quanto à interação vertical com a indústria de transformação, que engloba o agronegócio nacional. As repercussões econômicas da produção agropecuária também estimulam a demanda por serviços públicos, exigindo, em contrapartida, que os governos estaduais, municipais e federais ampliem a oferta em R\$ 646,7 mil para cada aumento de R\$ 1 milhão nas exportações agropecuárias.

Com efeito, o aumento da produção elevaria o valor adicionado para R\$ 2.805,3 mil. Deste valor, cerca de 55% são apropriados pelas famílias e 5% seriam destinados para a formação bruta de capital fixo. No entanto, a indução da produção agropecuária, pelo aumento de um milhão de reais da exportação, possibilita o crescimento da produção ao custo da depreciação do capital natural brasileiro em R\$ 10.760,69. Os dispêndios totais em FBCF solo totalizam R\$ 14.578,08.

#### **4.4 Conclusões**

Os resultados confirmam um desgaste, devido ao uso intensivo dos recursos do solo, mas revelam também um saldo positivo de R\$ 4.146 milhões oriundos de dispêndios destinados à aplicação de nutrientes. Portanto, não se registrou um comprometimento da fertilidade, mas, ao contrário, tem-se um excedente de nutrientes. A partir desse saldo positivo, pode-se inferir pela refutação da hipótese elencada de que a produção agrícola brasileira, em 2010, estaria causando a depleção nutritiva do solo.

No entanto, não se pode afirmar que inexistam outros tipos de depleção do solo. O próprio excedente pode provocar externalidades negativas, pois esses tendem a lixiviar e escoar com água, evaporar ou ainda serem perdidos por meio do processo erosivo. Esses outros fluxos de saída de nutrientes conformam passivos ambientais relacionadas à contaminação de rios e lagos, acidificação e salinização do solo. O excedente também permite identificar equívocos na gestão de nutrientes, pois dispêndios superiores ao efetivamente necessário são realizados e podem levar à inibição da absorção de micronutrientes. Portanto, se o saldo negativo de nutrientes do solo levaria à aceitação de existência de depleção nutritiva, o resultado positivo mensura o passivo ambiental oriundo da gestão equivocada de

nutrientes. A existência desse passivo ambiental faz com que o saldo positivo do Balanço Monetário de Nutrientes do solo seja entendido como um custo de produção que deve ser subtraído do PIB. Como resultado, tem-se um PIBA de R\$ 3.881 bilhões.

A partir da estrutura produtiva, realizada em 2010, pode-se afirmar que, a cada incremento de um milhão de reais das exportações de produtos agropecuários, os demais setores produtivos são induzidos ao aumento da produção que somaria R\$ 5.329,5 mil. No entanto, essa elevação da produção estaria gerando uma redução da fertilidade do solo equivalente a R\$ 10.760,69 que é totalmente reposta pelos dispêndios na aplicação de nutrientes.

## 5 FECHAMENTO

A relevância da agricultura para o crescimento econômico está centrada em alguns canais que permitem a transmissão, para os outros setores da economia, dos efeitos positivos de mudanças estruturais ocorridas no campo. Neste sentido, o aumento da produtividade agrícola poderia acarretar o aumento da produtividade dos demais setores, expandindo a renda, o consumo e a produção. A mensuração dos impactos do campo sobre os outros setores da economia foi realizada na quarta seção, por meio da matriz de efeitos globais, coeficientes calculados a partir da matriz de contabilidade social ajustada ambientalmente (MCSA).

Os resultados confirmam a relevância do setor para a dinâmica econômica nacional. A cada incremento de R\$ 1 milhão na demanda exógena por produtos agropecuários, os demais setores são estimulados a produzir R\$ 5.329,5 mil, dada a soma dos efeitos de transferência, cruzado e circular. O valor adicionado bruto seria elevado em R\$ 2.794,6 mil e o consumo das instituições seria ampliado em R\$ 2.388,2 mil. Esses efeitos podem ser amplificados mediante a elevação da produtividade, que depende, dentre outros fatores, da fertilidade do solo, exigindo dos produtores o manejo que garanta a quantidade ideal de nutrientes para que as plantas se desenvolvam e para que não ocorra contaminação da água e do solo.

A utilização de fertilizantes é, portanto, essencial para a manutenção e o aumento da produtividade agrícola. A demanda brasileira por fertilizantes foi estimada, na seção 2, para o período de 1996 a 2015, tendo, como principal variável determinante, a precipitação pluviométrica. Esse resultado indica que qualquer política estatal de incentivo à produção agrícola deve antes considerar se os níveis de chuva estão de acordo com as necessidades exigidas pelas plantas. A redução dos preços ou o aumento da oferta de créditos para a compra de fertilizantes podem surtir pouco efeito, frente a uma quantidade excessiva ou insuficiente de chuvas.

Considerando a relação entre a fertilidade do solo, a produtividade agrícola e o crescimento econômico nacional é que se objetivou mensurar o impacto do crescimento econômico brasileiro sobre o estoque de nutrientes no solo agrícola. Essa mensuração depende da obtenção de dados referentes à depleção e à aplicação de fertilizantes. Os dados foram estimados na terceira seção, que apresentou os fluxos de nutrientes no solo agrícola brasileiro, permitindo a estimação dos saldos anuais de N, P e K entre 1970 e 2015. Os resultados revelam que ocorreu uma depleção nutritiva entre 1970 e 1995 de

aproximadamente R\$ 6,5 bilhões para o N e de R\$ 5,2 bilhões para o K. Essa depleção foi recuperada nos anos seguintes, via intensificação tecnológica ocorrida no campo e popularização do manejo do solo e, como resultado, entre 1996 e 2015, o estoque de nutrientes não só é recuperado, como produz um excedente de R\$ 26,4 bilhões para o nitrogênio e de R\$ 25,5 bilhões para o potássio. O fósforo apresentou saldo positivo ao longo de toda a série.

As mudanças, nas práticas de gestão e com o uso de novas tecnologias, permitiram, portanto, que, em 2010, o país apresentasse um Balanço de Nutrientes com saldo positivo. Utilizando os dados relativos à depleção nutritiva e a dispêndios com a aplicação de fertilizantes desse ano, foi possível corrigir o PIB e quantificar o Produto Interno Bruto ajustado Ambientalmente. Em 2010, portanto, a depreciação foi de R\$ 11.687 milhões relativos à saída de 10 milhões de toneladas de N, P e K por meio da absorção das plantas. Em contrapartida, os produtores rurais dispenderam R\$ 15.833 milhões na aplicação de 13,7 milhões de toneladas, desses nutrientes, tendo, como resultado, um saldo positivo de R\$ 4.146 milhões. Com esse resultado, pode-se refutar a hipótese proposta e afirmar que a produção agrícola não gera uma depleção nutritiva do solo nacional.

O resultado pode ser explicado pelo impacto que a degradação do solo gera sobre a produção da própria unidade rural. Ao não executar o manejo do solo corretamente, o produtor incorre no risco de acidificação e de salinização, fenômenos que demandam a realização de manejo específico e mais dispendioso para que o solo volte a sua capacidade total de produção. Outrossim, o tempo necessário para que o solo recupere, naturalmente, sua capacidade total de produção é maior que aquele desejado pelo produtor, que decide aplicar fertilizantes e acelerar o processo de resiliência desse recurso natural. A depleção nutritiva, portanto, entra na estrutura de custos da produção rural por meio da aquisição e aplicação dos fertilizantes e da adoção de práticas de manejo sustentáveis como a fertirrigação da cana-de-açúcar com a vinhaça e a exploração do nitrogênio fixado por oleaginosas e a rotação de culturas.

O PIBA brasileiro resultante foi de R\$ 3.881 bilhões, menor que o PIB, portanto. Esta subtração do PIB não se deve à existência de depleção nutritiva, pois, além de repor o total de nutrientes extraído pelas plantas, a produção agrícola incorporou cerca de 3,6 milhões de toneladas de N, P e K ao solo nacional. Fato é que esse excedente não permanecerá disponível para a absorção da planta na safra seguinte, motivo pelo qual se torna um passivo ambiental que deve ser considerado como uma externalidade negativa e, por isso, é identificado como

um custo de produção. O resultado do PIBA, menor que o PIB, se justifica, portanto, pela existência de externalidade negativas relacionadas à aplicação excessiva de fertilizantes.

## REFERÊNCIAS

- ACOSTA, A. V. R. et al. **Concentração e Extração de Macro e Micronutrientes Pela Cultura do Fumo (*Nicotiana tabacum* L.) VAR. Goianinho**. Anais da E.S.A. “Luiz de Queiroz” Volume XLI. **Anais...**1984
- ALLEONI, L. R. F. et al. Química dos Solos Altamente Intemperizados. In: MELO, V. DE F.; ALLEOLI, L. R. F. (Eds.). . **Química e Mineralogia do Solo**. 1º ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 382–429.
- ALMEIDA, L. G. DE. **Nutrição do Tomateiro Cultivado em Sistema Orgânico com a Aplicação de Biofertilizantes Através da Fertirrigação**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2017.
- ANA, A. N. DE Á.; IBGE, I. B. DE G. E E. **Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2018.
- ANDA, A. N. PARA D. DE A. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, 2002**São PauloANDA, , 2003.
- ANDA, A. N. PARA D. DE A. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, 2006**São PauloNagy, , 2007.
- ANDA, A. N. PARA D. DE A. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, 2010**São PauloNagy, , 2011.
- ANDA, A. N. PARA D. DE A. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes, 2015**São PauloNagy, , 2016.
- ANDRADE, J. C. DE. Conceitos Básicos de Química. In: MELO, V. DE F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). . **Química e Mineralogia do Solo**. 1 v1 ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. p. 695.
- ARACRI, L. A. DOS S.; AMARAL, G. M. DE O.; LOURENÇO, T. C. M. A Expansão do Cultivo da Soja e as Transformações do Espaço Agrário no Cerrado Mineiro. **Revista de Geografia**, v. 2, n. 1, p. 1–9, 2011.
- ARAUJO, J. P. C. DE. **Crescimento e Marcha de Absorção de Nutrientes de Bananeira (*Musa sp.* AAA), “Grande Naine” no Primeiro Ciclo de Produção**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.
- AUSTIN, D.; CAO, K.; RYS, G. **Modelling Nitrogen Fertiliser Demand in New Zealand**. New Zealand Agricultural and Resource Economics Society. **Anais...**: Conference Paper.Nelson, New Zealand: 2006Disponível em: <<http://purl.umh.edu/31970>>
- BANERJEE, O. et al. The SEEA-Based Integrated Economic-Environmental Modelling Framework: An Illustration with Guatemala’s Forest and Fuelwood Sector. **Environ and Resource Econ**, p. 1–20, 2017.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. Porto Alegre: Booksman, 2012.
- BRAKE, J. R. Fertilizer Demand in the South Atlantic and East North Central Regions. **Am J Agric Econ**, v. 42, n. 3, p. 676–686, 1960.
- BRASIL BACEN, B. C. DO B. **Anuário Estatístico do Crédito Rural, 2012**.

BRASIL MAPA, M. DA A. P. E A. **Balança Comercial**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/internacional/indicadores-e-estatisticas/balanca-comercial>>. Acesso em: 7 nov. 2015.

BRASIL MME, M. DAS M. E E. **Perfil dos Fertilizantes N-P-K** Relatório Técnico-75, , 2009. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P49\\_RT75\\_Perfil\\_dos\\_Fertilizantes\\_N-P-K.pdf/f2785733-90d1-46d5-a09e-62f94ca302ad](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256652/P49_RT75_Perfil_dos_Fertilizantes_N-P-K.pdf/f2785733-90d1-46d5-a09e-62f94ca302ad)>

BRASILEIRO, A. C. B. **Produto interno bruto ajustado ambientalmente para Amazônia legal brasileira: uma análise de matriz de insumo-produto e matriz de contabilidade social**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2012.

BRITO, M. DE M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. DA. Marcha de Absorção do Nitrogênio do Solo, do Fertilizante e da Fixação Simbiótica em Feijão-Caupi () e Feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) Determinada com uso de N. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, n. 4, p. 559–565, 2009.

BUAIANAIN, A. M. et al. Quais os riscos mais relevantes nas atividades agropecuárias ? In: **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: EMBRAPA, 2014. p. 175–208.

BURRELL, A. THE DEMAND FOR FERTILISER IN THE UNITED KINGDOM. **Journal of agricultural economics**, v. 40, n. 1, p. 1–20, 1989.

BUSTOS, P.; CAPRETTINI, B.; PONTICELLI, J. Agricultural Productivity and Structural Transformation: Evidence from Brazil. **Am. Econ. Rev.**, v. 106, n. 6, p. 1320–1365, 2016.

CARMAN, H. F. The Demand for Nitrogen , Phosphorous and Potash Fertilizer Nutrients in the Western United States. **Western Journal of Agricultural Economics**, v. 04, n. 01, p. 23–32, 1977.

CARMO, A. J. B. DO. **Demanda de Fertilizantes a Nível Regional e de Brasil, 1954-79**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 1982.

CARMO, M. et al. The N-P-K soil nutrient balance of Portuguese cropland in the 1950s: The transition from organic to chemical fertilization. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–14, 2017.

CARVALHO, M. DA C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. Nutrição, Calagem e Adubação do Algodoeiro. In: FREIRE, E. C. (Ed.). . **Algodão no Cerrado do Brasil**. 1ª ed. Brasília: ABRAPA, Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2007. p. 918.

CEPEA, C. DE E. A. EM E. A. **PIB do Agronegócio BRASILESA/LQ/USP**, , 2016. Disponível em: <[http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio\\_PIBAGRO\\_Brasil\\_DEZEMBRO.pdf](http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relatorio_PIBAGRO_Brasil_DEZEMBRO.pdf)>

CHAKRABORTY, K. Determinants of Demand for Fertilizer : A Case for India. **Asian Journal of Agriculture and Development**, v. 13, n. 1, 2016.

CHEN, M.; SUN, F.; SHINDO, J. China's agricultural nitrogen flows in 2011: Environmental assessment and management scenarios. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 111, p. 10–27, 2016.

CIBANTOS, J. S.; LARSON, D. W. A Demanda Para Fertilizantes em um País Desenvolvido: O caso de São Paulo, Brasil, 1948-71. **R. Adm. Emp.**, v. 14, n. 5, p. 46–53, 1974.

CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 1055–1064, 2002.

- COBO, J. G.; DERCON, G.; CADISCH, G. Nutrient balances in African land use systems across different spatial scales: A review of approaches, challenges and progress. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, n. 1–2, p. 1–15, 2010.
- COELHO, A. M. Nutrição e Adubação do Milho. **Circular Técnica**, n. 78, p. 1–10, 2006.
- CONAB, C. N. DE A. **Série Histórica de Produção - Milho 1ª e 2ª safras.**, 2016.
- CUNHA, J. F. DA et al. Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira - 2009 a 2012. **Informações Agronômicas nº 145 - International Plant Nutrition Institute (IPNI)**., p. 1–13, 2014.
- CUNHA, J. F. DE; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira. **Informações Agronômicas nº 130 - International Plant Nutrition Institute (IPNI)**., v. Junho, p. 1–11, 2010.
- CUNHA, J. F. DE; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira no Período de 1988 a 2010. **Informações Agronômicas nº 135 - International Plant Nutrition Institute (IPNI)**., n. 19, p. 1–7, 2011.
- DAVIS, J. H.; GOLDBERG, R. A. **A Concept of Agribusiness**. Boston: Harvard University, 1957.
- DE RESENDE, A. S. et al. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E. Brazil. **Plant and Soil**, v. 281, n. 1–2, p. 339–351, 2006.
- DVARSKAS, A. Experimental ecosystem accounting for coastal and marine areas: A pilot application of the SEEA-EEA in Long Island coastal bays. **Marine Policy**, n. August, p. 1–11, 2018.
- EDENS, B.; GRAVELAND, C. Experimental valuation of Dutch water resources according to SNA and SEEA. **Water Resources and Economics**, v. 7, p. 66–81, 2014.
- EMBRAPA, E. B. DE P. A. Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2011. **Sistemas de Produção**, n. 14, p. 255, 2010.
- FAPESPA, F. A. DE A. A E. E P. DO P. **Medidas da Atividade Econômica no Estado do Pará: Tabelas de Recursos e Usos (TRU), Matriz Insumo- -Produto (MIP) e Matriz de Contabilidade Social (MCS) do estado do Pará**. Belém, PA: FAPESPA, 2015.
- FEIJÓ, C. A.; RAMOS, R. L. O. **Contabilidade Social - A Nova Referência das Contas Nacionais do Brasil**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2013.
- FERNANDES, A. M.; SORATTO, R. P.; SILVA, B. L. Extração e exportação de nutrientes em cultivares de feijoeiro, sob níveis de adubação: I - Macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 1027–1042, 2013.
- FERNANDES, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: LIER, Q. DE J. VAN (Ed.). **Física do Solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1–27.
- FGV, F. G. V. **Índice de Preço Recebido pelos Produtores (IPR)** Rio de Janeiro FGV, , 2016.
- FILHO, F. R. F. et al. **Feijão-Caupi no Brasil: Produção, Melhoramento Genético, Avanços e Desafios**. 1. ed. Teresina-PI: Embrapa Meio-Norte, 2011.

FRIEDRICH, M. **Uma Análise da Demanda por Fertilizantes no Brasil no Período de 1970 à 2010.** [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2012.

G1, G. **Plantas aquáticas denunciam poluição em lagoa na Serra, ES.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2016/07/plantas-aquaticas-denunciam-poluicao-em-lagoa-na-serra-es.html>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

G1, G. **Prefeitura retira uma tonelada de peixes mortos do Rio Tietê em Sabino.** Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2018/12/05/mortandade-de-peixes-no-rio-tiete-preocupa-moradores-de-sabino.ghtml>>. Acesso em: 2 fev. 2019.

GALLOWAY, J. N. The global nitrogen cycle: changes and consequences. **Environmental Pollution**, v. 102, n. 1, p. 15–24, 1998.

GALLOWAY, J. N. et al. Nitrogen Cycles: Past, Present, and Future. **Biogeochemistry**, v. 70, n. 2, p. 153–226, 2004.

GITTI, D. DE C. Manejo da Adubação do Milho Safrinha. In: **Tecnologia e Produção: Milho Safrinha e Culturas de Inverno.** Maracaju, MS: Fundação MS, 2013. p. 12–30.

GONZALEZ, D. J. V. et al. Application of the System of Environmental Economic Accounting for Water SEEAW to the Spanish part of the Duero basin: lessons learned. **Science of the Total Environment**, v. 563–4, p. 611–622, 2016.

GOODMAN, D.; WILKINSON, J.; SORJ, B. **DA LAVOURA ÀS BIOTECNOLOGIAS: Agricultura e Indústria No Sistema Internacional.** Rio de Janeiro: CEPS -Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2008.

GREENLAND, D. J. Bringing the Green Revolt itioii to the Shifting Cultiv rator. v. 190, n. 4217, p. 841–844, 1975.

GRILICHES, Z. The Demand for Fertilizer: An Economic Interpretation of a Technical Change. **Am J Agric Econ**, v. 40, n. 3, p. 591–606, 1958.

GRILICHES, Z. Distributed Lags, Disaggregation, and Regional Demand Functions for Fertilizer. **Am J Agric Econ**, v. 41, n. 1, p. 90–102, 1959.

GUERRA, F. **Cadmio Cadeia Alimentar: Proveniente de Vegetais e Avaliação da sua Disponibilidade no Solo com Auxilio do Cd.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica.** 5. ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda., 2011.

GUNDIMEDA, H. et al. Natural resource accounting for Indian states - Illustrating the case of forest resources. **Ecological Economics**, v. 61, n. 4, p. 635–649, 2007.

GUNJAL, K. R.; ROBERTS, R. K.; HEADY, E. O. Fertilizer Demand Functions for five crops in the United States. **Southern Journal of Agricultural Economics**, v. 12, n. 02, p. 111–116, 1980.

GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; BORREGO-MARÍN, M. M.; BERBEL, J. The economic analysis of water use in the water framework directive based on the system of environmental-economic accounting for water: A case study of the Guadalquivir river basin. **Water (Switzerland)**, v. 9, n. 3, 2017.

HARIPRIYA, G. S. Integrated Environmental and Economic Accounting: An application to the forest resources in India. **Environmental and Resource Economics**, v. 19, n. 1, p. 73–95, 2001.

HEADY, E. O.; YEH, M. H. National and Regional Demand Functions for Fertilizer. **Am J**

**Agric Econ**, v. 41, n. 2, p. 332–348, 1959.

HOFFMANN, R. A Dinâmica da Modernização da Agricultura em 157 microgeriões homogêneas do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 4, n. 30, p. 271–290, 1992.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Estatísticas do século XX. - Estatísticas Econômicas**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Contas Nacionais Trimestrais**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>>. Acesso em: 20 jun. 2017a.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Produção Agrícola Municipal, 2015**Rio de JaneiroIBGE, , 2016b.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Matriz de Insumo-Produto 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Contas Nacionais, 2016c.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Sistema de Contas Nacionais: Brasil 2010-2014**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016d.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Produção Agrícola Municipal, 2017**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>>. Acesso em: 28 dez. 2018.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=sobre>>.

IFA, I. F. A. **Global nitrogen fertiliser demand and supply : trend , current level and outlook7º Intenational Nitrogen Initiative Conference**Melbourne, Australia, 2016.

IMEA, I. M. DE E. A. **Boletim Conjuntura Econômica**, 2018. Disponível em: <<http://www.imea.com.br/upload/publicacoes/arquivos/17122018205120.pdf>>

INPE, I. N. DE P. E. **Agritempo - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico**. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>>. Acesso em: 24 jul. 2017.

KOYCK, L. M. **Distributed Lags and Investment Analysis By L.M. Koyck**. Amsterdam, Holanda: North Holland Publishing Company, 1954.

KUZNETS, S. **Toward a Theory of Economic Growth with Reflections on the Economic Growth of Modern Nations**. Nova York: Norton, 1968.

LAMOND, R. E.; WESLEY, T. L. Adubação nitrogenada no momento certo para soja de alta produtividade. **Informações Agrônomicas nº 95**, v. 95, p. 6–7, 2001.

LANGE, A. et al. Alterações em atributos do solo decorrentes da aplicação de nitrogênio e palha em sistema semeadura direta na cultura do milho. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 460–467, 2006.

LEWIS, W. A. Economic Development with Unlimited Supplies of Labour. **The Manchester School**, v. 22, n. 2, p. 139–191, 1954.

LINDHJEM, H. et al. **The Use of Economic Instruments in Nordic Environmental Policy 2006–2009**. Copenhagen, DK: Norden, 2009.

MACDONALD, G. K. et al. Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 7, p. 3086–3091, 2011.

MALDONADO, J. H.; LACHAUD, M. A. Aproximacion calculo del crecimiento real de

Colombia: aportes metodológicos para la inclusión en las cuentas nacionales de los impactos del agotamiento del carbón y del gas natural. **Revista de Economía del Rosario**, v. 14, n. 1, p. 1–29, 2011.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. DE F.; PERES, J. R. R. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002.

MARCOS, R. P.; AZZONI, C. R.; GUILHOTO, J. J. M. DECOMPOSIÇÃO DA QUEDA NA DESIGUALDADE DE RENDA NO BRASIL: UMA ANÁLISE VIA MATRIZ DE CONTABILIDADE SOCIAL PARA OS ANOS DE 2004 e 2009. **Textos para discussão - NEREUS**, v. 05/2014, p. 2014, 2009.

MARDONES, C.; SAAVEDRA, J. Matriz De Contabilidad Social Extendida Ambientalmente para Analises Economico de la Region Del Bio Bio. **Revista de Análisis Económico**, v. 26, n. 1, p. 17–51, 2011.

MAZZANTI, B. et al. The UN System for Environmental-Economic Accounts for Water (SEEA-W) and groundwater management: the experience of the Arno River Basin Authority within the PAWA project. **Italian Journal of Groundwater**, v. 137, n. 3, p. 73–77, 2014.

MCARTHUR, J. W.; MCCORD, G. C. Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. **Journal of Development Economics**, v. 127, n. September 2016, p. 133–152, 2017.

MELLO, J. W. V. DE; PEREZ, D. V. Equilíbrio Químico das Reações do Solo. In: MELO, V. DE F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.). **Química e Mineralogia do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

MERGOS, G. J.; STOFOROS, C. E. Fertilizer demand in Greece. **Agricultural Economics**, v. 16, n. 3, p. 227–235, 1997.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006.

MEURER, E. J. Fatores que Influenciam o Crescimento e o Desenvolvimento das Plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. 1ª ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1017.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. 2ª edição ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

MUSTAPHA, A. B.; SAID, R. Factors Influencing Fertilizer Demand in Developing Countries: Evidence From Malawi. **Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies**, v. 6, n. 1, p. 59–71, 2016.

NASCIMENTO, J. A. S.; GÓES, G. S. **Contas Econômicas Ambientais de Florestas-Ceaf: Uma proposta de trajetória metodológica e institucional para aplicação no Brasil** Concurso de Monografias - IV Prêmio Serviço Florestal Brasileiro em estudos de economia e mercado florestal ESAP, , 2017.

NASCIMENTO, M.; MONTE, M. B. D. M.; LOUREIRO, F. E. L. Agrominerais – Potássio. In: LUZ, A. B. DA; LINS, F. A. F. (Eds.). **Rochas e Minerais Industriais**. 1. ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2008. p. 175–209.

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.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C. Influência das chuvas na oferta de castanha-do-brasil e o impacto no benefício socioeconômico e ambiental, no Oeste do estado do Pará.

**Desenvolvimento e Meio Ambiente (UFPR)**, v. 45, p. 215–230, 2018.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 472–550.

OECD, O. FOR E. C. AND D. **Crop production (indicator)**.

OLIVEIRA, E. C. A. DE et al. Extração e Exportação de Nutrientes por Variedade de Cana-de-Açúcar Cultivadas Sob Irrigação Plena. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1343–1352, 2010.

ONU, O. DAS N. U. **System of Environmental- Economic Accounting for Water**. Nova York: Organização das Nações Unidas, 2012.

ONU, O. DAS N. U. **System of Environmental-Economic Accounting 2012: Central Framework**. Nova York: United Nations, 2014.

PESCARIN, R. M. C.; LARSON, D. W. Relações Estruturais da Demanda de Fertilizantes no Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola**, v. Ano XXI, n. Tomo III, p. 89–127, 1974.

PINGALI, P. L. Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 31, p. 12302–12308, 31 jul. 2012.

PPI, P. & P. I. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: International Plant Nutrition Institute, 1998. v. 2

PROFETA, G. A.; BRAGA, M. J. **COMPORTAMENTO DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE FERTILIZANTES NPK (04.14.08)**. 47º Congresso da Sober. **Anais...**Porto Alegre: 2009

PYATT, G.; ROUND, J. I. Accounting and fixed price multipliers in social accounting matrix framework. **The Economic Journal**, v. 89, n. 356, p. 850–873, 1979.

QUDDUS, M. A.; SIDDIQI, M. W.; RIAZ, M. M. THE DEMAND FOR NITROGEN , PHOSPHORUS AND POTASH FERTILIZER NUTRIENTS IN PAKISTAN. **Pakistan Economic and Social Review**, v. 46, n. 2, p. 101–116, 2008.

RAWASHDEH, R. AL; XAVIER-OLIVEIRA, E.; MAXWELL, P. The potash market and its future prospects. **Resources Policy**, v. 47, n. March, p. 154–163, 2016.

REPETTO, R. et al. **Wasting assets: natural resources in the national income accounts**. Washington, DC: World Resources Institute, 1989.

RICKER-GILBERT, J.; JAYNE, T. S. Estimating the Enduring Effects of Fertiliser Subsidies on Commercial Fertiliser Demand and Maize Production: Panel Data Evidence from Malawi. **Journal of Agricultural Economics**, v. 68, n. 1, p. 70–97, 2017.

RODRIGUES ALVES, B. J. et al. Fixação biológica de nitrogênio e fertilizantes nitrogenados no balanço de nitrogênio em soja, milho e algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 449–456, 2006.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. **Informações Agrônomicas**, v. 7, n. 68, p. 1–18, 1994.

ROSSETTO, R. **Extração e Exportação**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONT000fkch7tf302wyiv80sq98yqb30ndaq.html>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

- ROUND, J. Social Accounting Matrices and SAM-based Multiplier Analysis. In: BOURGUIGNON, F.; SILVA, L. A. P. DA (Eds.). . **The Impacts of economic policies on poverty and Income distribution: Evaluation techniques and tools**,. Washington, DC: World Bank, 2003. p. 22.
- SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. **Exigência Nutricional do Feijão-Caupi**. (E. B. de P. A. EMBRAPA, Ed.)Anais do II CONAC: Congresso Nacional de Feijão-Caupi. **Anais...**Belém-PA: 2009
- SANTANA, A. C. DE. **A Dinâmica do Complexo Agroindustrial e o Crescimento no Brasil**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- SANTANA, A. C. DE. **Métodos Quantitativos em Economia: Elementos e Aplicações**. Belém: [s.n.].
- SANTANA, A. C. DE. **Elementos de Economia, Agronegócio e Desenvolvimento Local**. Belém, PA: UFRA, 2005.
- SANTOS, M.; GLASS, V. **Atlas do Agronegócio: Fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos 2018**. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2018.
- SBCS, S. B. DE C. DO S. C. DE Q. E F. DO S. **Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. v. 10 ed.
- SCHULTZ, T. W. **A Transformação da Agricultura Tradicional**. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1965.
- SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo: Nova Cultura, 1997.
- SETLHOGILE, T.; ARNTZEN, J.; PULE, O. B. Economic accounting of water: The Botswana experience. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 100, p. 287–295, 2017.
- SFREDO, G. J. Soja no Brasil: Calagem, Adubação e Nutrição Mineral. **Embrapa Soja**, v. 305, p. 148, 2008.
- SGOBI, M. A. **Acúmulo de Matéria Seca, Extração e Exportação de Nutrientes de Cultivares de Trigo Inoculados com Azospirillum brasilense**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2016.
- SHELDRIK, W. F.; SYERS, J. K.; LINGARD, J. Soil nutrient audits for China to estimate nutrient balances and output/input relationships. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 94, n. 3, p. 341–354, 2003.
- SILVA, E. B. DA; NETO, J. R. DE A.; LIMA, B. P. Similaridade de Eutrofização das Águas Superficiais da Bacia do Alto Jaguaribe, Ceará. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 4, p. 343–351, 2018.
- STIGLITZ, J. E.; SEN, A.; FITOUSSI, J.-P. **Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress**. Disponível em: <<http://www.ssrn.com/abstract=1714428>>. Acesso em: 16 jan. 2017.
- STONE, R. The disaggregation of the household sector in the national accounts. In: PYATT, G.; ROUND, J. I. (Eds.). . **Social accounting matrices: a basis for planning**. Washington, DC: World Bank, 1985. p. 146–185.
- TERRONES-CORDERO, A.; MATÍNEZ-DAMIÁN, M. Á. Agricultural inputs demand in Mexico : a dual approach. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 3, n. 1, p. 51–65,

2012.

TONGEREN, J. VAN et al. Integrated Environmental and Economic Accounting: A Case Study For Mexico. **The World Bank**, n. Working Paper nº 50, 1991.

URANI, A. et al. Construção de uma Matriz de Contabilidade Social para o Brasil. **Texto para Discussão IPEA**, v. 346, 1994.

VALARINI, V. **Demanda de Macronutrientes Pelas Folhas e Frutos em Cultivares de Café Arábica de Porte Baixo**. [s.l.] Instituto Agroeconômico de Campinas, 2005.

VALENTE, J. P. S.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. DA. Contribuição da cidade de Botucatu - SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética Química**, v. 22, p. 31–48, 1997.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Expansão da Fronteira Agrícola no Brasil: Desafios e Perspectivas. **IPEA - Texto para discussão**, n. 2223, p. 36, 2016.

VITOUSEK, P. M. et al. Nutrient Imbalances in Agricultural Development. **Science**, v. 324, n. 5934, p. 1519 LP – 1520, 19 jun. 2009.

VITTI, G. C.; CABRITA, R. M. Nutrição E Adubação De Citros. **Boletim Citrícola**, n. 4, p. 36, 1998.

WORD BANK, T. **World Development Indicators**. Disponível em: <<http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=AG.LND.AGRI.ZS&country=WLD#>>. Acesso em: 1 jan. 2016.

WORLD BANK. **Forum on Natural Capital Accounting for Better Policy Decisions: Talking Stock and Moving Forwar**. Washington, DC: World Bank, 2017.

YAMADA, T.; LOPES, A. S. Balanço de Nutrientes na Agricultura Brasileira. **Informações Agronômicas nº 84 - International Plant Nutrition Institute (IPNI)**, p. 1–8, 1998.

**APÊNDICE A** – Publicações sobre Função Demanda por Fertilizantes.

Item	Autores	Área de estudo	Período Da Série	Principais Variáveis Explicativas <sup>1</sup>	Insumo	Elasticidade Preço da Demanda	
						Curto Prazo	Longo Prazo
Internacionais							
1	Griliches (1958)	EUA	1911-1956	Preço recebido pelos produtores e Demanda por NPK (-1)	NPK	-0,5	-2
2	Griliches (1959)	Regiões dos EUA	1931-1956	Preço recebido pelos produtores e Demanda por NPK (-1)	NPK	-0,12 a 0,78	-0,86 a -4,30
3	Heady e Yeh (1959)	Regiões dos EUA	1910-1956	Preço da produção (-1), pagamentos ao setor agropecuário(-1)	NPK		-0,49 e -1,71
4	Brake <i>et al</i> (1960)	Regiões dos EUA	1930-1958	Consumo e preço de fertilizantes (-1)	NPK	-0,48 e -0,57	-2,02 e -9,11
5	Hsu (1972)	Taiwan	1950-1966	Produção de arroz (-1)	N	-2,02	-2,96
6	Carman (1973)	Estados dos EUA	1955-1976	Preço do fertilizante (-1), rendimento da lavoura, preço da terra	N, P e K	-	-0,20 a -1,8
7	Gunjal <i>et al</i> (1980)	EUA	1952-1976	Preço do fertilizante (-1) e estoque de capital físico	NPK	-	-0,31 a -0,99
8	Burrell (1989)	Inglaterra	1964-1984	Valor esperado para a produção agrícola e pecuária	N e NPK	-	-0,40 a -0,64
9	Denbaly e Vroomen (1993)	EUA	1964-1989	Índice de arrendamento de terra e salário	N, P e K	-0,21, -0,25, -0,19	-0,41, -0,37, -0,31

10	Mergos e Stoforos (1997)	Grécia	1961-1993	Salário, irrigação, temperatura e precipitação	NPK	-0,36	-0,81	
11	Austin <i>et al</i> (2006)	Nova Zelândia	1980-2005	Valor da produção, produtividade	N	-	-0,96	
12	Quddus, Siddqi e Riaz (2008)	Paquistão	1970-2001	Área, disponibilidade de água, demanda por fertilizantes (-1)	N, P e K	-0,14, -0,35, - 1,85	-0,40, -0,68, - 3,26	
13	Lingard (1971)	Reino Unido	1956-1958	*	N	-0,6	-1,18	
14	England (1986)	Reino Unido	1971-1958	*	N	-		
15	Boyle (1981)	Irlanda	1953-1977	*	NPK	-	-0,62	
16	Higgings (1986)	Irlanda	1982	*	NPK	-	-1,38	
17	Bonnieux e Rainelli	França	1959-1984	*	NPK	-0,33	-1,1	
18	Anker e Schmitz	Alemanha	1964-1983	*	NPK	-	-0,19	
19	Dubgaard (1986)	Dinamarca	1956-1984	*	N	-	-0,19	
20	Ray (1982)	Estados Unidos	1939-1977	*	NPK	-	-0,4875	
21	Weaver (1983)	Estados Unidos	1950-1970	*	NPK	-	-1,377	
22	Terrones-Cordero e Martínez-Damián (2012)	México	1970-2016	Máquinas, Crédito e fertilizantes (N, P e K)	N, P e K		-0,12, -0,28, -0,22	
23	Rodrigo e Abeysekera (2015)	Sri Lanka	1990-2011	Máquinas e materiais, dummy subsídio, salário	NPK	-	-	
24	Chakraborty (2016)	Índia	1991-2012	Irrigação, Produção de fertilizantes, crédito e subsídio	NPK	-	-	
25	Ricker-Gilbert e (2017)	Jayne	Assentamento em Malawi	2003-2011	Subsídios (-1), preço do milho	NPK	-	-

Nacionais							
26	Cibantos e Larson (1974)	Brasil (São Paulo)	1949-1971	Volume de fertilizantes (-1)	NPK	-2,48	-0,25
27	Pescarin e Larson (1974)	Brasil (São Paulo)	1948-1972	Volume de fertilizantes (-1), crédito e preço recebido	N, P e K	-1,12, -0,76, -0,60	-0,48, -0,31, -0,30
28	Carmo (1982) <sup>2</sup>	Brasil e regiões	1954-1979	Preço do fertilizante, IPR, Valor da produção e área	N, P e K	-0,23	-0,73
29	Nicolella <i>et al</i> (2005)	Brasil	1970-2002	Preço do fertilizante, IPR e crédito,	NPK	-	-0,65
30	Profeta e Braga (2009)	Brasil	1993-2006	Preço do fertilizante, Exportações agropecuárias, crédito rural	NPK	-	-2,28
31	Friedrich (2012) <sup>2</sup>	Brasil e regiões	1970-2010	Preço do fertilizante, IPR, área e crédito	NPK	-	-0,99

<sup>1</sup>Todos os trabalhos contemplaram a variável Preço do fertilizante. <sup>2</sup>Elasticidades relativas ao Brasil. \*Publicações citadas por Burrell (1989), Denblay e Vroomen (1993), cujos trabalhos completos não estão disponíveis.

**Fonte:** Adaptado pelo autor a partir de Friedrich (2012), itens de 1 a 12 e Nicolella, Dragone e Bacha (2005), itens

**APÊNDICE B – Quantidade Produzida das Culturas Consideradas, em Toneladas.**

Ano	Algodão	Arroz	Banana	Batata	Café	Cana-de-açúcar	Feijão Comum	Feijão Caupi	Fumo	Laranja	Milho 1ª safra	Milho 2ª safra	Soja	Tomate	Trigo
1996	952.013	8.652.328	496.171	2.412.546	2.738.391	317.105.981	2.072.461	379.575	476.638	105.395.214	27.755.012	18.977.786	23.166.874	2.648.627	3.292.777
1997	821.271	8.351.665	541.236	2.670.493	2.457.025	331.612.687	2.400.573	439.670	596.952	115.234.005	30.839.369	21.086.748	26.392.636	2.717.965	2.489.070
1998	1.172.017	7.716.090	532.220	2.784.181	3.378.731	345.254.972	1.851.963	339.190	505.353	104.252.518	27.707.241	18.945.122	31.307.440	2.784.111	2.269.847
1999	1.477.030	11.709.694	547.835	2.904.950	3.263.704	333.847.720	2.392.689	438.226	629.525	114.466.558	30.176.152	20.633.267	30.987.476	3.305.053	2.461.856
2000	2.007.102	11.134.588	566.336	2.606.932	3.807.124	326.121.011	2.583.175	473.114	579.727	106.651.289	30.252.456	20.685.440	32.820.826	3.004.797	1.725.792
2001	2.643.524	10.184.185	6.177.293	2.848.664	3.639.138	344.292.922	2.073.851	379.830	568.505	16.983.436	39.276.877	26.855.984	37.907.259	3.103.363	3.366.599
2002	2.166.014	10.445.986	6.689.179	3.126.411	2.610.524	364.389.416	2.589.886	474.342	670.309	18.530.582	33.640.619	23.002.132	42.107.618	3.652.923	3.105.658
2003	2.199.268	10.334.603	6.800.981	3.089.016	1.987.074	396.012.158	2.790.883	511.155	656.200	16.917.558	45.234.374	30.929.487	51.919.440	3.708.602	6.153.500
2004	3.798.480	13.277.008	6.583.564	3.047.083	2.465.710	415.205.835	2.507.714	459.293	921.281	18.313.717	39.113.154	26.744.037	49.549.941	3.515.567	5.818.846
2005	3.666.160	13.192.863	6.703.400	3.130.174	2.140.169	422.956.646	2.553.891	467.750	889.426	17.853.443	32.866.060	22.472.520	51.182.074	3.452.973	4.658.790
2006	2.898.721	11.526.685	6.956.179	3.151.721	2.573.368	477.410.655	2.922.485	535.259	900.381	18.032.313	39.931.330	27.303.473	52.464.640	3.362.655	2.484.848
2007	4.110.822	11.060.741	7.098.353	3.550.511	2.249.011	549.707.314	2.678.740	490.616	908.679	18.684.985	48.777.035	33.351.819	57.857.172	3.431.232	4.114.057
2008	3.983.181	12.061.465	6.998.150	3.676.938	2.796.927	645.300.182	2.925.401	535.793	851.058	18.538.084	55.161.613	37.717.342	59.833.105	3.867.655	6.027.131
2009	2.897.542	12.651.144	6.783.490	3.443.712	2.440.056	691.606.147	2.947.012	539.751	863.079	17.618.450	47.473.753	32.460.686	57.345.382	4.310.477	5.055.525
2010	2.949.845	11.235.986	6.969.306	3.547.510	2.907.265	717.463.793	2.669.907	488.998	787.817	18.503.139	51.820.958	35.433.133	68.756.343	4.106.846	6.171.250
2011	5.070.717	13.476.994	7.329.471	3.917.234	2.700.540	734.006.059	2.903.571	531.795	951.933	19.811.064	52.097.980	35.622.550	74.815.447	4.416.652	5.690.043
2012	4.969.064	11.549.881	6.902.184	3.731.798	3.037.534	721.077.287	2.362.211	432.643	810.550	18.012.560	66.524.150	45.486.598	65.848.857	3.873.985	4.418.388
2013	3.417.196	11.782.549	6.892.622	3.553.772	2.964.538	768.090.444	2.444.825	447.774	850.673	17.549.536	75.135.689	51.374.830	81.724.477	4.187.646	5.738.473
2014	4.236.763	12.175.602	6.946.567	3.689.836	2.804.070	737.155.724	2.784.584	510.002	862.396	16.927.637	74.765.540	51.121.737	86.760.520	4.302.777	6.261.895
2015	4.066.791	12.301.201	6.844.491	3.867.681	2.645.494	748.636.167	2.611.680	478.334	867.355	16.746.247	79.826.438	54.582.180	97.464.936	4.187.729	5.508.451

Fonte: Dados referentes ao período de 1970 à 2014 (IBGE, 2007). Dados referentes ao ano de 2015 (IBGE, 2016b).

**APÊNDICE C** – Quantidade<sup>1</sup> Anual de Fertilizantes Aplicados no Solo Brasileiro, entre 1996 e 2015

Ano	N	P	K
	t		
1996	1.086.960,68	1.550.307,25	1.762.328,48
1997	1.185.221,86	1.763.605,76	2.035.728,79
1998	1.321.238,45	1.932.378,48	2.052.701,02
1999	1.264.609,88	1.785.611,73	1.887.200,91
2000	1.514.387,42	2.122.304,77	2.325.719,15
2001	1.488.714,84	2.253.395,63	2.465.494,93
2002	1.648.329,68	2.548.141,95	2.776.517,19
2003	2.018.107,49	3.099.484,29	3.460.366,56
2004	2.037.747,74	3.138.363,55	3.550.064,47
2005	1.998.434,55	2.631.137,56	3.110.453,24
2006	2.085.099,49	2.858.894,60	3.140.923,55
2007	2.497.203,47	3.321.821,76	3.789.923,38
2008	2.271.538,01	2.901.268,89	3.348.521,07
2009	2.318.533,00	3.034.400,48	2.858.954,51
2010	2.591.601,96	3.072.592,53	3.535.053,09
2011	3.055.964,36	3.503.630,50	4.022.029,69
2012	3.118.120,52	3.926.580,87	4.397.012,82
2013	3.357.485,59	4.212.781,16	4.624.395,84
2014	3.514.998,88	4.313.859,25	4.897.272,35
2015	3.207.004,12	3.995.109,79	4.686.485,73
<b>Total</b>	<b>43.581.302,00</b>	<b>57.965.670,79</b>	<b>64.727.146,75</b>

<sup>1</sup>considerando os fertilizantes aplicados em solos cultivados com as 13 culturas consideradas, correspondendo à 90,78% do total de fertilizantes utilizados.

Fonte: (ANDA, 2003, 2016)

**APÊNDICE D** – Introdução de Nitrogênio, via FBN<sup>1</sup> e de Potássio, via Fertirrigação com Vinhaça<sup>2</sup> em Solo Brasileiro, entre 1996 e 2015.

Ano	FBN <sup>3</sup> (N)	FIV <sup>4</sup> (K)
	t	
1996	1.528.645,55	152.210,87
1997	1.734.054,50	159.174,09
1998	1.938.074,01	165.722,39
1999	1.961.083,56	160.246,91
2000	2.059.919,64	156.538,09
2001	2.404.146,87	165.260,60
2002	2.570.083,37	174.906,92
2003	3.199.732,06	190.085,84
2004	3.006.451,65	199.298,80
2005	3.023.710,95	203.019,19
2006	3.173.719,16	229.157,11
2007	3.537.934,84	263.859,51
2008	3.713.105,54	309.744,09
2009	3.504.200,48	331.970,95
2010	4.126.265,33	344.382,62
2011	4.443.793,63	352.322,91
2012	4.128.555,04	346.117,10
2013	5.032.631,19	368.683,41
2014	5.293.550,03	353.834,75
2015	5.889.714,29	359.345,36
<b>Total</b>	<b>66.269.371,68</b>	<b>4.985.881,50</b>

<sup>1</sup>Considerando que 100% do nitrogênio exportados pela soja, 74% do milho de segunda safra, 55,45% do feijão-comum e 75,74% do feijão-caupi foram originados da FBN. <sup>2</sup>considerando que 50% do total de potássio exportado pela Cana-de-açúcar é oriundo da fertirrigação com vinhaça.

**Fonte:** <sup>3</sup>Calculo realizado pelo autor a partir dos parâmetros publicados por, Brito, Muraoka e Silva (2009), Gitti (2013), SBCS (2004) e Sfredo (2008). <sup>4</sup>Calculado pelo autor a partir de parâmetros publicados por Cunha, casarin e Proxnow (2010).

## APÊNDICE E – Matriz de Contabilidade Social Ajustada Ambientalmente do Brasil em 2010

MCS		Atividades Econômicas												Instituições				VA			Contas exógenas			Demanda Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
														CG	CF	FBC F	FBC F Solo	Salários	Lucros	D do solo	Imp.	Exp.	VE	
1	Agropecuária	12700	1	137484	17	361	4493	0	0	0	0	3657	1770	155	53709	10830	15833	0	0	-11687	0	37340	3734	270397
2	Indústria extrativa	247	8333	85201	4409	4509	44	4	3	0	142	40	64	0	0	8532	0	0	0	0	0	79271	5107	195906
3	Indústria de transformação	52288	21511	584365	14473	100975	40644	60244	9102	4314	2862	64958	26053	3706	553924	187178	0	0	0	0	0	238373	299952	2264922
4	Produção e distribuição de eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	7504	1948	32465	44132	578	11368	1996	1911	1586	378	15700	14395	0	63220	0	0	0	0	0	0	593	23540	221314
5	Construção civil	166	3056	1800	3725	43876	804	1108	4098	1009	1039	3299	11643	0	0	376869	0	0	0	0	0	2137	-12812	441817
6	Comércio	11955	4544	129297	2726	19705	14366	12568	5807	1577	720	23264	9800	2204	313077	51180	0	0	0	0	0	9407	17269	629466
7	Transporte, armazenagem e correio	6043	11210	90165	2428	5464	27742	35257	2194	5346	271	18943	8248	40	78984	3321	0	0	0	0	0	15332	9406	320394
8	Serviços de informação	36	811	15642	1196	1307	10023	3111	36576	15437	583	38736	15278	0	77547	31184	0	0	0	0	0	1791	29825	279083
9	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	3926	4246	37242	4188	6258	14906	7898	6228	44352	7546	14463	35344	2093	159505	0	0	0	0	0	0	5983	46615	400793
10	Atividades imobiliárias	14	235	4025	820	938	22965	2414	3496	4743	1063	17201	2761	0	263721	0	0	0	0	0	0	3183	-34476	293103
11	Outros serviços	1094	11989	91741	9013	12705	51697	18956	35882	41185	2577	85301	60591	87569	354851	35295	0	0	0	0	0	28766	-49059	880153
12	Administração, saúde e educação públicas e seguridade social	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	702415	0	0	0	0	0	0	0	0	32471	734886
13	Consumo do Governo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	798182
14	Consumo das famílias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1661078	257460	0	0	0	0	1918538
15	Formação Bruta de Capital Fixo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	121382	0	583007	0	0	704389

