

FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS DE RESÍDUOS DO AGRONEGÓCIO: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ECONÔMICO BRASILEIRO

André Camargo Cruz

Felipe dos Santos Pereira

*Vinicius Samu Figueiredo**

Palavras-chave: Indústria química. Fertilizantes. Fertilizantes organominerais. Economia circular. Agronegócio.

* Respectivamente, economista, gerente setorial e gerente operacional do Departamento de Indústria Química da Área de Insumos Básicos do BNDES. Os autores agradecem os comentários de Priscila Branquinho das Dores, Monique Perin, Martim Francisco de Oliveira e Silva e Maurício Neves; respectivamente: chefe de departamento, engenheira e engenheiro do departamento já mencionado e superintendente da área supracitada. Os autores também agradecem a colaboração da Embrapa Solos e da Embrapa Suínos e Aves, que disponibilizaram grande parte dos dados necessários para o cálculo da oferta de nutrientes presentes nos resíduos dos segmentos selecionados, bem como na metodologia para cálculo da mesma oferta.

ORGANIC-MINERAL AGRI-WASTE FERTILIZERS: EVALUATION OF THE BRAZILIAN ECONOMIC POTENTIAL

André Camargo Cruz

Felipe dos Santos Pereira

*Vinicius Samu Figueiredo**

Keywords: Chemical industry. Fertilizers. Organomineral fertilizers. Circular economy. Agribusiness.

* Respectively, economist, sector manager and operations manager of the Chemical Industry Department of BNDES' Primary Industry Division. The authors thank the comments of Priscila Branquinho das Dores, Monique Perin, Martim Francisco de Oliveira e Silva, respectively, head of department and engineers of the Department of Chemical Industry, and Maurício Neves, superintendent of Basics Input Division. The authors also gratefully acknowledge the contribution of EMBRAPA Soils and EMBRAPA Pigs and Poultry, which provided much of the data needed for the calculation of the supply of nutrients present in the waste of the selected segments, as well as in the methodology for its calculating.

Resumo

O déficit estrutural na demanda por macronutrientes no mercado brasileiro é decorrente da pujança e competitividade do agronegócio e das restrições estruturais da indústria de produção de fertilizantes, uma vez que o país carece de insumos dessa indústria. Entretanto, a abundante produção de resíduos por alguns setores do agronegócio possibilita que os nutrientes presentes nesses rejeitos possam ser reaproveitados, reduzindo, assim, a destinação ambientalmente incorreta e atribuindo maior contorno de economia circular ao agronegócio brasileiro. A produção de resíduos dos setores sucroalcooleiro, bovino, suíno e avicultor de corte poderia suprir, aproximadamente, metade da demanda de macronutrientes brasileira em um cenário hipotético de aproveitamento de todos os resíduos gerados por esses segmentos. Apenas a conversão dos nutrientes presentes nos segmentos que apresentam menos desafios logísticos (sucroalcooleiro, suíno e avicultor de corte) representaria um mercado potencial superior a US\$ 1 bilhão anuais.

Abstract

The structural deficit in the demand for macro-nutrients in the Brazilian market is due to the strength and competitiveness of agribusiness and the structural constraints of the fertilizer production industry, since the country lacks this industry's inputs. However, the abundant production of waste by some sectors of agribusiness enables the nutrients present in such waste to be reused, thereby environmentally reducing incorrect disposal and assigning to Brazilian agribusiness a character more akin to that of a circular economy. The production of waste by the sugar and ethanol, cattle, pig and broiler sectors could supply approximately half the Brazilian macro-nutrients demand in a hypothetical scenario of utilization of all wastes generated by these segments. The conversion of nutrients present in segments that feature less logistical challenges only (sugar and ethanol, pig and broiler sectors) would represent a potential market of more than US\$ 1 billion annually.

Introdução

O estudo foi estruturado em seis seções. A primeira seção do artigo é esta introdução. A segunda seção traça um panorama da indústria química e de seu subsegmento de fertilizantes. A terceira detalha a indústria de fertilizantes e aborda seu paradigma atual de déficit estrutural da demanda brasileira por macronutrientes. A quarta seção detalha o segmento de fertilizantes organominerais, apresentando o conceito desse tipo específico de fertilizante, a importância de seu uso, desafios técnicos e suas principais fontes de matérias-primas. Na quinta seção, é realizado o cálculo de nutrientes presentes nos principais resíduos agroindustriais produzidos, bem como o potencial de mercado para conversão desses nutrientes em fertilizantes. Por fim, a sexta é dedicada às conclusões do estudo.

A indústria química tem relevância na estrutura produtiva brasileira, sendo o terceiro maior produto interno bruto (PIB) industrial. É composta por diversos tipos de empresas em diferentes setores e é importante fornecedora de insumos que englobam uma ampla gama de aplicações, como: produtos químicos de uso industrial; produtos químicos de uso no setor agropecuário, como fertilizantes e defensivos químicos; e produtos químicos para uso do consumidor final, como produtos de higiene pessoal ou de limpeza.

O setor do agronegócio tem significativa importância para a economia brasileira pela geração de empregos, pelos saldos comerciais positivos com o resto do mundo e pela contribuição para o crescimento e desenvolvimento econômico do país. Ele cresceu 1,8% em 2015, enquanto, no mesmo período, houve recuo de 2,7%, no setor de serviços, e de 6,2%, na indústria, segundo IBGE (2016). Nesse setor, o segmento de fertilizantes

representa um importante elo, sendo o Brasil o quarto maior consumidor de nutrientes vegetais do mundo.

Entre 2000 e 2015, o uso de fertilizantes no país cresceu 87%, contribuindo, em parte, para o significativo aumento da produção de grãos, no país, no mesmo período, de 150%. Entretanto, a produção nacional de fertilizantes é historicamente inferior à demanda nacional e não apresentou crescimento similar ao da demanda. Em função disso, a dependência em relação às importações vem aumentando ano após ano, e, em 2015, cerca de 65% do consumo total de fertilizantes foi suprido por importações.

Nesse contexto de déficit estrutural de produção nacional de nutrientes vegetais, o segmento de fertilizantes orgânicos e organominerais surge como alternativa para a correção de deficiências estruturais do solo brasileiro e a diminuição da dependência em relação ao produto externo. O desempenho do setor foi positivo desde o início dos anos 2000, chegando ao fornecimento de aproximadamente 11% dos nutrientes entregues aos produtores em 2012, conforme Polidoro (2013).

Apesar de a turfa¹ ser a principal matéria-prima para esse segmento de fertilizantes, o uso e o aproveitamento de resíduos gerados por diversos segmentos do agronegócio vêm despontando como alternativa. Setores como sucroalcooleiro, bovinos de corte e leite, suínos e aves são grandes geradores de rejeitos, que representam, em graus distintos de intensidade, passivos ambientais para seus respectivos segmentos. Tais rejeitos, além de apresentarem um bom potencial para suprimento de parte da necessidade de nutrientes para vegetais, podem contribuir para a solução de significativos passivos ambientais das culturas mencionadas.

¹ Turfa é um material poroso de origem vegetal, proveniente do acúmulo de restos de vegetais, em ambientes subaquáticos rasos, com variados graus de decomposição (LUZ *et al.*, 2010). Além disso, tem ocorrência natural, normalmente, em regiões pantanosas, e é considerada um recurso não renovável.

Além do aproveitamento e da correta destinação dos resíduos, o uso desse tipo de fertilizante melhora a estrutura do solo por meio da adição de matéria orgânica, da qual o solo brasileiro é deficitário, propiciando benefícios adicionais à planta, por meio do aumento da taxa de absorção dos nutrientes. Esse efeito, aliado à oferta de nutrientes provenientes dos resíduos, representa significativo potencial de economia de nutrientes e, conseqüentemente, de redução da dependência externa atual que o setor agrícola brasileiro apresenta.

Indústria química e o setor de fertilizantes

A indústria química desempenha um importante papel na cadeia produtiva brasileira, pois fornece insumos para diversos segmentos. Estimativa para 2016 prevê que esta já representa a terceira maior participação no PIB industrial brasileiro, com faturamento estimado de R\$ 379,2 bilhões, ou US\$ 113,5 bilhões, segundo a Associação Brasileira da Indústria Química (Abiquim).

A indústria química é composta por diversos segmentos que abrangem grandes diferenças nas características de seus produtos e nos processos de produção envolvidos. Esses segmentos englobam desde produtos químicos de uso industrial até fibras artificiais e sintéticas, passando por fertilizantes e defensivos agrícolas, conforme Tabela 1.

Conforme Gomes-Casseres e McQuade (1991), os produtos químicos classificam-se em *commodities* ou especialidades. Segundo os autores, as *commodities* são produtos que têm elevado grau de padronização, fabricados e comercializados em grandes quantidades em processos produtivos,

geralmente, contínuos. Em função dessas características, a concorrência nos mercados de *commodities* se dá, sobretudo, em função dos preços praticados, o que tende a acarretar menores margens. O segmento de fertilizantes se enquadra majoritariamente nessa categoria. Já as especialidades são produtos com menor grau de padronização, fabricadas em escalas de produção reduzidas em comparação às *commodities*.

Tabela 1 | Participação de diferentes segmentos da indústria química no faturamento total, Brasil

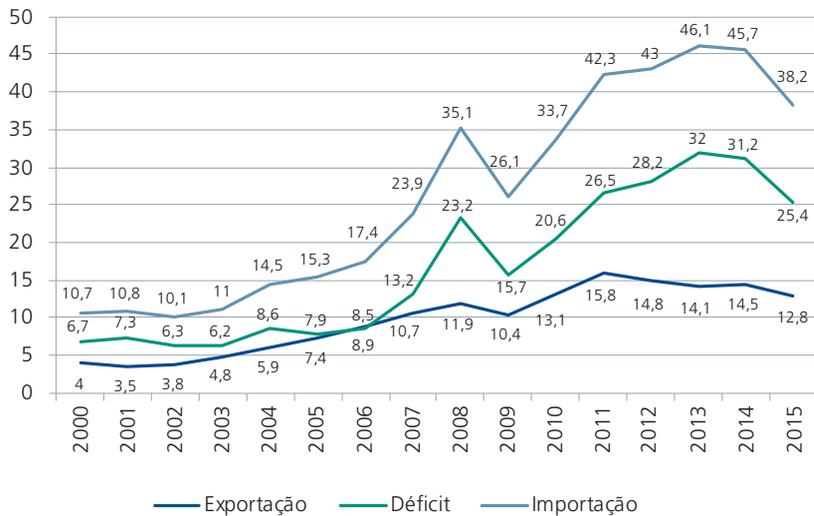
| Segmento da indústria química | % do faturamento do setor |
|--|---------------------------|
| Produtos químicos de uso industrial | 48,4 |
| Produtos farmacêuticos | 12,0 |
| Fertilizantes | 11,1 |
| Higiene pessoal, perfumaria e cosméticos | 10,1 |
| Defensivos agrícolas | 8,0 |
| Sabões e detergentes | 5,6 |
| Tintas, esmaltes e vernizes | 2,5 |
| Fibras artificiais e sintéticas | 0,7 |
| Outros | 1,7 |
| Total | 100,0 |

Fonte: Abiquim (2016a).

A balança comercial da indústria química vem apresentando resultados negativos crescentes, como ilustrado no Gráfico 1. Os produtores na indústria química no Brasil concentram-se em segmentos predominantemente de *commodities*, como produtos químicos de uso industrial (49%) e fertilizantes (11%), que têm margens menores e são mais sensíveis à competição de preços, à volatilidade do câmbio e a variações de custos das principais matérias-primas, além de sofrerem competição

direta dos produtos importados. O déficit anual do segmento ultrapassa os US\$ 25 bilhões desde 2011, com as importações alcançando quase US\$ 40 bilhões e as exportações, US\$ 13 bilhões, em 2015.

Gráfico 1 | Evolução dos déficits na balança comercial da indústria química (US\$ bilhões)



Fonte: Abiquim (2016b).

O desempenho da indústria química em geral acaba se refletindo de maneiras distintas em seus segmentos. A demanda do setor de fertilizantes é crescente no país há mais de vinte anos, sem que a produção nacional, contudo, acompanhasse o mesmo ritmo de crescimento. Desse modo, esse setor acaba tendo desempenho análogo ao da indústria como um todo, apresentando déficits crescentes e significativos nos últimos anos. Por se tratar de um segmento majoritariamente de *commodities* e pelo fato de o país não contar com reservas significativas dos minerais que são insumos para esse segmento, o setor importou mais de 65% de todo o consumo nacional em 2015.

O segmento de fertilizantes

Fertilizantes são substâncias minerais ou não minerais, de origem natural ou sintética, que são capazes de dar às plantas um ou mais nutrientes essenciais a seu desenvolvimento. Os elementos não minerais são carbono, hidrogênio e oxigênio. Entre os minerais, os mais importantes são divididos em três grupos segundo o grau de importância e a quantidade necessária às plantas:

- macronutrientes primários – assim denominados por serem absorvidos em grandes quantidades pelas plantas, como: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), normalmente fornecidos às plantas na forma de misturas ou formulações, pertencentes ao grupo NPK;
- macronutrientes secundários – que são absorvidos em menores quantidades pelas plantas, como: cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e enxofre (S);
- micronutrientes – assim chamados por serem administrados em quantidades menores do que as dos macronutrientes, como: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn), níquel (Ni) – se presentes no solo em quantidade excessiva à demanda das plantas, podem ser tóxicos aos vegetais.

O nitrogênio é utilizado pelos vegetais para a metabolização de proteínas fundamentais para o crescimento e desenvolvimento da planta. O fósforo é utilizado na geração de energia pela planta, sendo necessário ao processo de fotossíntese e de reprodução, bem como ao processo de crescimento e sustentação dos vegetais e animais (LOPES, 1998). O potássio é o responsável por resistência a doenças, manuseio e durabilidade das plantas. O enxofre, apesar de ser um macronutriente secundário, é essencial na solubilização do fósforo e, conseqüentemente, em sua absorção pelos vegetais (LOBO, 2008).

O uso de fertilizantes proporciona o aumento da produção agrícola, desde que eles sejam aplicados da forma adequada e nas quantidades técnicas recomendadas para correção de deficiências nutricionais do solo e da cultura correspondente. Em razão das características do solo brasileiro, a aplicação de fertilizantes é normalmente acompanhada de outras medidas, como a correção da acidez do solo, que permitam melhorar a taxa de absorção dos nutrientes pela planta.

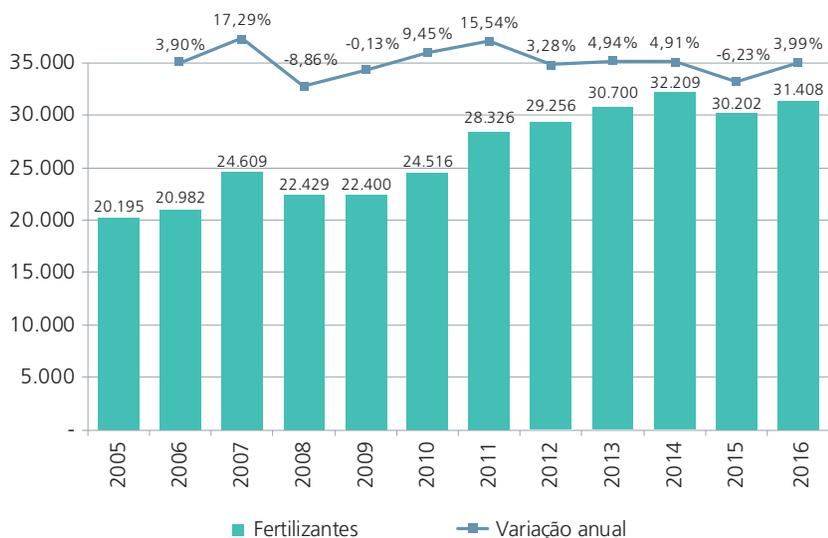
Em 2016, foram entregues no mercado brasileiro 31,4 milhões de toneladas de fertilizantes de janeiro a novembro, representando uma ampliação de 4% em relação a 2015, mesmo sem a disponibilidade dos dados de dezembro. Desse modo, no ano de 2016, houve uma recuperação em relação a 2015, quando havia ocorrido uma queda de 6,23% relativamente a 2014, sobretudo, em função das mudanças ocorridas no Plano Safra de 2015, aliadas à expressiva desvalorização do real nesse mesmo ano. O plano para a produção agropecuária no período 2015-2016 foi apresentado no meio de 2015 e continha aumentos das taxas de juros aplicadas, quando comparadas às de anos anteriores, bem como aumentava seu foco na agricultura familiar. Desse modo, as condições de acesso aos insumos tornaram-se mais restritivas, o que foi prejudicado com a forte desvalorização do real em relação ao dólar, ao longo de 2015, uma vez que os fertilizantes têm preços dolarizados.

Segundo dados oficiais obtidos no sítio eletrônico do Banco Central,² a taxa de câmbio saiu de patamares em torno de R\$ 2,50 por US\$ 1,00, no início de 2015, para valores em torno de R\$ 4,00 para cada US\$ 1,00, no fim do mesmo ano. Como aproximadamente 70% dos fertilizantes são importados e os produtos são comercializados com preços dolarizados, desvalorizações do real tendem a pressionar os custos de

² Taxas aproximadas retiradas da base de dados oficial do Banco Central. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpeq.asp?id=txcotacao>>. Acesso em: 30 set. 2016.

produção agrícola, em um cenário em que o acesso e as condições do Plano Safra ficaram mais restritivas. Entretanto, o desempenho de longo prazo tem sido de constante crescimento, totalizando uma evolução de 50% em relação a 2005, como indicado no Gráfico 2.

Gráfico 2 | Entregas de fertilizantes a produtores no Brasil (mil t)



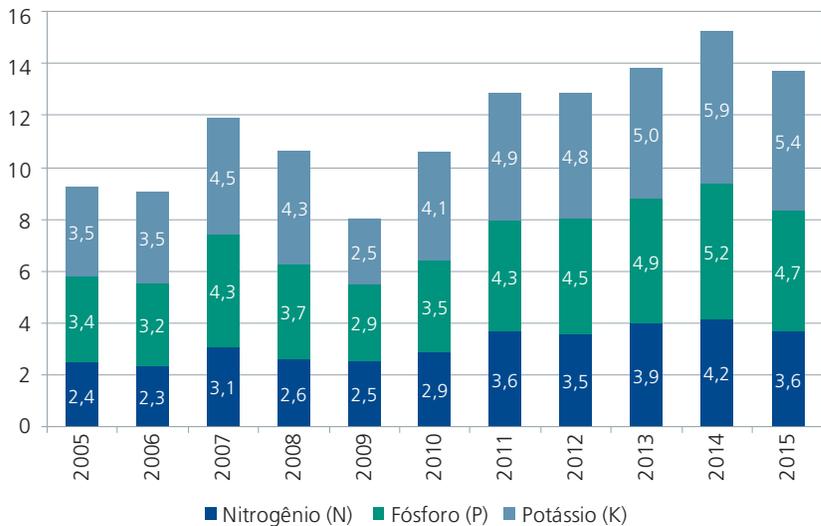
Fonte: Anda (2015).

A proporção relativa do consumo dos macronutrientes primários NPK tem se mantido similar ao longo dos últimos anos no Brasil, com sua soma alcançando um valor de 13,7 milhões de toneladas em 2015, conforme mostra o Gráfico 3. Entre 2005 e 2015, os três macronutrientes tiveram um expressivo crescimento de sua demanda: a quantidade de nitrogênio entregue aos produtores foi elevada em 50%; a de fósforo, em 39%; e a de potássio, em 55%.

A cadeia produtiva da indústria de fertilizantes está organizada em cinco etapas, da extração mineral ou do processamento de derivados do

petróleo até a distribuição do produto final ao setor agrícola, passando pelo processamento industrial de cada um de seus produtos. Nos segmentos iniciais da cadeia de produção, estão presentes as empresas de grande porte, como: Vale Fertilizantes, Petrobras e Anglo American, que sintetizam os fertilizantes minerais.

Gráfico 3 | Consumo de macronutrientes primários no Brasil (milhões de t)



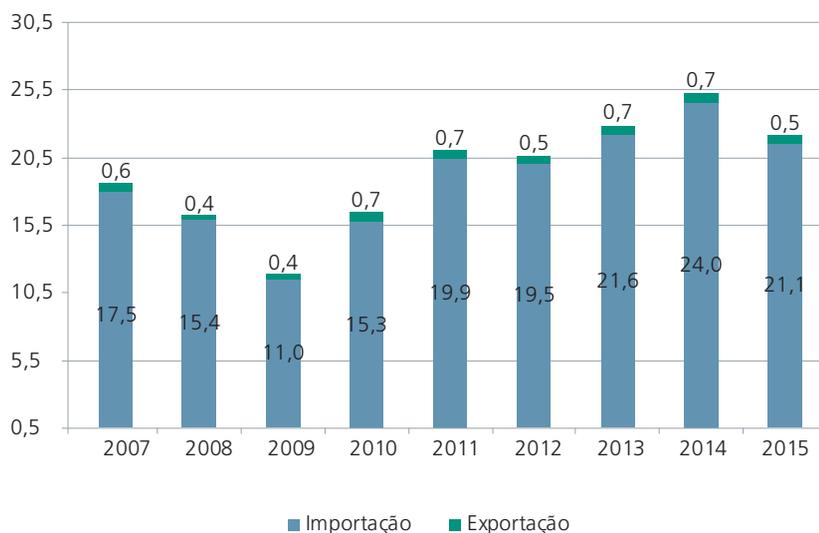
Fonte: IPNI (2016).

Além dos produtores de fertilizantes, outro elo importante abrange as empresas que misturam os fertilizantes, fabricando os produtos formulados e finais da cadeia, que são comercializados com distribuidores que os vendem aos produtores agrícolas. As quatro principais empresas nesse elo são Heringer, Mosaic, Yara e Fertipar.

O setor agrícola brasileiro é o principal cliente da cadeia de fertilizantes no Brasil, cujas exportações representam menos de 2,5% da corrente de

comércio dos fertilizantes do país com o mundo, conforme Gráfico 4. Desse modo, o desempenho do agronegócio no Brasil é de fundamental importância para a indústria de fertilizantes nacional.

Gráfico 4 | Corrente de comércio de fertilizantes do Brasil (milhões de toneladas)



Fonte: Anda (2015).

O agronegócio e o setor de fertilizantes

O agronegócio é um importante segmento da economia brasileira e um dos mais dinâmicos e competitivos no mundo. Sua participação no PIB brasileiro, em 2015, foi de 21,4%, ou R\$ 1,28 trilhão (CEPEA; USP; CNA, 2015). O país ocupa as primeiras posições entre os maiores produtores e os maiores exportadores do mundo nas principais culturas agropecuárias.

O setor do agronegócio é composto por quatro grandes elos: o segmento de insumos, do qual a indústria de fertilizantes faz parte; a produção agropecuária propriamente dita; a indústria agropecuária, que utiliza

a produção como insumo; e o segmento de serviços associados a toda a cadeia. Todo o setor vem apresentando altos índices de crescimento nas últimas três décadas, sobretudo, em função do aumento da produção agrícola – que cresceu cerca de 100% em relação aos volumes produzidos em 1990 –, bem como o da produção pecuária, de aproximadamente 200% no mesmo período (OCDE; FAO, 2015). Em alguns segmentos específicos da agricultura, o país é o maior exportador, ou está entre os maiores, como se pode ver na Tabela 2.

O setor foi responsável por aproximadamente 46% de todas as exportações brasileiras em 2015, com superávit de US\$ 75,1 bilhões, totalizando US\$ 88,2 bilhões em vendas totais com destino ao exterior. Desse modo, o setor contribuiu, significativamente, para o superávit da balança comercial brasileira, que no mesmo ano foi de US\$ 19,7 bilhões.

Tabela 2 | Posição do Brasil quanto às principais culturas produtoras e exportadoras

| Produtos | Produção | Exportações |
|----------|----------|-------------|
| Grãos | 5º | 2º |
| Café | 1º | 1º |
| Soja | 2º | 1º |
| Milho | 3º | 2º |
| Algodão | 5º | 5º |

Fonte: OCDE; FAO (2015).

A demanda por *commodities* agrícolas tem aumentado em ritmo significativo no mundo, sobretudo em função do crescimento natural da população, da elevação da renda em mercados emergentes e do uso de produtos agrícolas para a produção de combustíveis a partir de fontes renováveis. Conforme estimativa da Organização das Nações Unidas

(UN, 2015), a população mundial deve aumentar 75 milhões de pessoas anualmente, e estima-se que atinja 9,5 bilhões em 2050. Paralelamente ao crescimento populacional, a elevação da renda *per capita* nos países desenvolvidos e em desenvolvimento também leva ao aumento da demanda por alimentos. Por fim, o desenvolvimento de tecnologias para obtenção de biocombustíveis, ou seja, combustíveis derivados de bases renováveis, também eleva a demanda por produtos agrícolas como o milho, sobretudo nos Estados Unidos, e a cana-de-açúcar, no Brasil.

A pressão na demanda por *commodities* exige o contínuo aumento da produção agropecuária, que, segundo OCDE e FAO (2015), precisará elevar 70% seus níveis atuais para atender ao aumento da demanda mundial até 2050. Esse crescimento poderá ser obtido por meio da expansão das terras agricultáveis ou pelo aumento da produtividade das terras já utilizadas. Existem fronteiras agropecuárias significantes a serem exploradas na África e na América do Sul. Contudo, a capacidade de exploração dessas terras é limitada, seja pela própria escassez de terras disponíveis para agricultura, seja por questões ambientais, políticas e fundiárias. Por essa razão, o aumento da produtividade agrícola é um fator-chave para a expansão da produção agrícola.

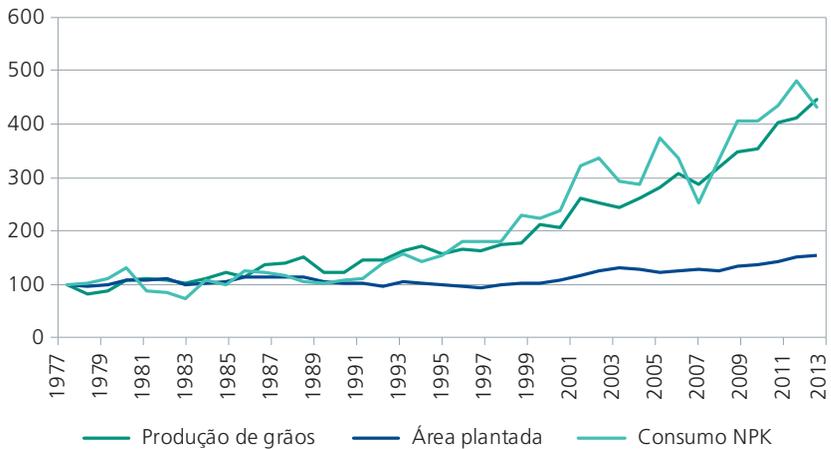
A produtividade agrícola pode ser ampliada por meio da utilização de técnicas modernas de cultivo e manejo, mecanização, aprimoramento genético das sementes e uso de defensivos, bem como pelo emprego de fertilizantes. O uso destes últimos permite o incremento de eficiência no crescimento das plantas, sobretudo se combinados com métodos avançados de aplicação de precisão. Em função disso, a demanda por fertilizantes varia de maneira diretamente proporcional à produção agrícola.

Desse modo, o desempenho da produção agropecuária das últimas décadas tem levado ao aumento do uso de fertilizantes, e a necessidade

de crescimento da produção projeta uma demanda ainda maior por fertilizantes pelo agronegócio brasileiro no futuro.

Pode-se notar, no Gráfico 5, que o uso de fertilizantes no Brasil é um importante fator de aumento da produtividade agrícola. Percebe-se significativa associação entre o crescimento da produção agrícola, entre 1977 e 2014, e o uso de fertilizantes, com a área total plantada tendo se mantido relativamente estável no período.

Gráfico 5 | Crescimento relativo – produção, área plantada e consumo de fertilizantes no Brasil (ano-base 1977 = 100)



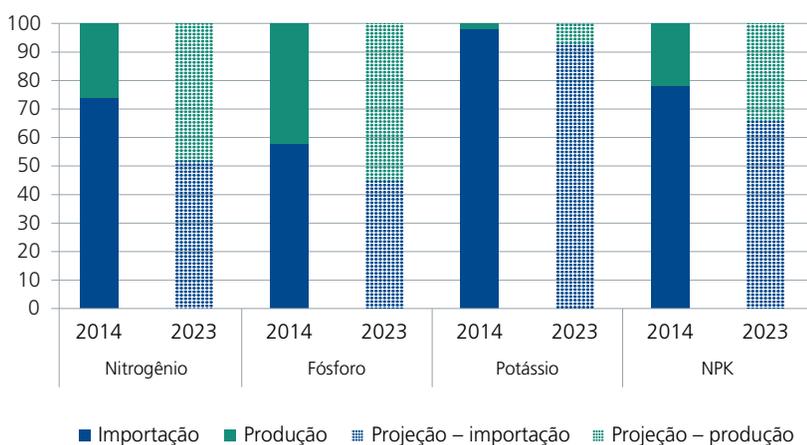
Fonte: Conab (2016).

O Brasil conta com uma significativa produção de fertilizantes. Entretanto sua capacidade produtiva é insuficiente para atender a sua demanda. Em 2015, a demanda total de fertilizantes foi de 30,2 milhões de toneladas, das quais 13,7 milhões representavam o total de macronutrientes primários. Apesar de ser o quarto maior consumidor no mundo, o uso de fertilizantes por hectare no Brasil ainda não se equipara ao praticado em outras grandes regiões produtoras no mundo, como Europa, Estados Unidos e China, encontrando-se em patamares inferiores.

Mesmo o Brasil sendo um grande produtor, sua demanda por fertilizantes é superior à produção local, significando um desbalanceamento entre sua oferta e sua demanda. Como resultado, o consumo interno vem sendo suprido, principalmente, por importações. A baixa disponibilidade de matérias-primas, além de questões logísticas, tributárias e ambientais, constitui importante gargalo para novos investimentos.

O Brasil tem uma produção relevante de fertilizantes fosfatados e nitrogenados, que representaram, em 2014, 42% e 26% do consumo nacional, respectivamente, segundo Fiesp (2016). Como se observa no Gráfico 6, nos fertilizantes potássicos, a produção nacional representou apenas 2% do consumido em 2014. Caso sejam realizados os grandes projetos de fertilizantes nitrogenados e fosfatados anunciados, projeta-se que a dependência em relação às importações alcance, respectivamente, 52% e 45% em 2023. Apesar de melhora em relação a 2014, a projeção para a necessidade de importação de potássio, em 2023, é de 93%.

Gráfico 6 | Produção e importação de NPK no Brasil (%)



Segmento de fertilizantes organominerais

Segundo legislação brasileira,³ os fertilizantes organominerais são produtos que combinam um componente mineral com um componente de material orgânico. Para serem classificados como organominerais, esses fertilizantes precisam apresentar concentrações mínimas de nutrientes (primários, secundários ou micronutrientes) e carbono orgânico. No Apêndice A, detalham-se os termos e conceitos que a legislação estabelece acerca do setor.

Até 2000, o principal componente orgânico utilizado na formulação de fertilizantes orgânicos e organominerais era a turfa, de origem sedimentar. Novos conhecimentos e tecnologias vêm incorporando diferentes fontes de biomassa, tais como os resíduos da agroindústria. Essa mudança tem conduzido à tendência de substituição de fontes não renováveis por fontes renováveis no setor de fertilizantes, atendendo inclusive à Política Nacional de Resíduos Sólidos, que determina a correta destinação e tratamento dos resíduos gerados ao longo das cadeias produtivas.

O componente orgânico do fertilizante é entendido como a matéria orgânica proveniente de resíduos de origem vegetal e animal, como esterco, restos de culturas que permanecem no campo, palhadas, folhas, cascas e galhos de árvores, raízes de plantas, além de pequenos animais que vivem no solo, como insetos, fungos, bactérias e outros microrganismos.

³ A legislação brasileira que aborda o tema de fertilizantes é a Lei Federal 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (BRASIL, 1980), com sua regulamentação efetivada pelo Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004), bem como a Instrução Normativa SDA/Mapa 25, de 23 de julho de 2009 (BRASIL, 2009).

A parcela orgânica desses fertilizantes traz vantagens quando aplicada no solo, conforme detalhado na subseção “Importância no uso da matéria orgânica”. Para que essa matéria orgânica possa ser utilizada na nutrição da planta, há necessidade de um processo de bioestabilização dessa matéria, conforme será explicado na subseção “Necessidade de estabilização dos nutrientes provenientes da matéria orgânica”.

Importância no uso da matéria orgânica

A presença de matéria orgânica no solo traz diversos benefícios, por meio da decomposição dos resíduos orgânicos, dentre os quais se destacam:

- Na fertilidade do solo (atributos químicos e físico-químicos do solo):
 - Depois da decomposição e da mineralização, a matéria orgânica torna-se fonte de macro e micronutrientes para as culturas.
 - Muitos nutrientes presentes no solo estão na forma de cátions. A matéria orgânica aumenta a capacidade de troca de cátions do solo, ou seja, proporciona maior capacidade de adsorver (reter) os cátions presentes no solo que são posteriormente disponibilizados para as plantas.
 - Aumento da superfície específica do solo: quanto maior a superfície específica, maior a capacidade de retenção de nutrientes.
 - Complexação de substâncias tóxicas: a matéria orgânica em estágios avançados de decomposição tem a capacidade de controlar a toxidez causada por certos elementos presentes no solo em teores acima do normal e, por isso, tóxicos.
- No condicionamento físico do solo:
 - Melhoria da estrutura do solo: tem a capacidade de agregar as partículas do solo, formando “grumos”. Esse efeito agregador desencadeia benefícios nas outras características físicas do solo.

- Densidade do solo: redução da densidade aparente do solo, tornando-o mais “leve” e solto.
- Porosidade do solo: melhoria da circulação de ar e água nos poros (espaços vazios entre as partículas) do solo.
- Capacidade de retenção e infiltração de água: aumento da capacidade de armazenamento da água do solo.
- Biota do solo:
 - Atua como uma fonte de alimento para microrganismos decompositores, que a utilizam como substrato e são responsáveis pela decomposição e mineralização da matéria orgânica no solo.

Em suma, a matéria orgânica, quando presente no solo, auxilia na manutenção de sua estrutura física, na retenção de nutrientes, na infiltração e no armazenamento da água. Da mesma forma, sabe-se que a presença de matéria orgânica em níveis adequados interfere positivamente nas propriedades químicas, físicas e biológicas dos solos. Especialmente nos solos tropicais, a preservação da matéria orgânica tem efeito protetor contra a intensidade das chuvas e dos ventos. Ademais, observou-se que a presença de matéria orgânica tem consequências sobre o aumento da atividade biológica e do fluxo energético de biotransformação dos elementos orgânicos e minerais em nutrientes disponíveis para as plantas.

A ausência de matéria orgânica está associada a um aumento das perdas de macronutrientes presentes no solo. O aproveitamento de nutrientes disponíveis é superior no emprego dos fertilizantes organominerais quando comparados aos fertilizantes convencionais. Estes últimos podem apresentar aproveitamento de cerca de 70% para nitrogênio, 40% para fósforo e 75% para potássio, quando comparados aos organominerais. A Tabela 3 mostra a relação do aproveitamento do NPK pelo uso do adubo organomineral comparativamente ao fertilizante convencional.

Tabela 3 | Aproveitamento de nutrientes por tipo de fertilizante (%)

| Fertilizante | N | P | K |
|---------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| Mineral | 50 | 20-50 | 60 |
| Organomineral | 70 | >50 | 80 |
| Perdas | Volatilização e lixiviação | Precipitação/fixação ao solo | Lixiviação |

Fonte: Laforet (2013).

Necessidade de estabilização dos nutrientes provenientes da matéria orgânica

A composição da matéria orgânica é bastante diversa, sendo possível encontrar nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes. A decomposição do nitrogênio e do enxofre, elementos necessários ao crescimento das plantas, normalmente é lenta e não está disponível imediatamente para a planta no solo.

Conforme a matéria orgânica decompõe-se, os minerais são liberados; porém, o nitrogênio e o enxofre podem permanecer imobilizados. Isso ocorre porque o nitrogênio é utilizado pelos microrganismos para decompor a matéria orgânica para a consequente formação de proteínas. Assim, há a quebra da matéria orgânica em partes menores. Durante a decomposição, os elementos químicos que antes estavam na forma orgânica são convertidos para a forma mineral. Os nutrientes são absorvidos pelas raízes das plantas quando se encontram na forma mineral.

A parte viva da matéria orgânica é composta, sobretudo, por carbono. Se a relação de carbono/nitrogênio (C/N) for elevada, o nitrogênio disponível no solo ou proveniente de fertilizantes será utilizado para

a quebra da matéria orgânica pelos microrganismos. Posteriormente, o nitrogênio retorna ao solo quando esses microrganismos morrem e decompõem-se em seu ciclo natural.

Conforme Oliveira (2010), quando a matéria orgânica apresenta alta relação C/N, é demandado longo período de tempo para a bioestabilização do nutriente. No caso de uma relação C/N de 60/1, são necessários até sessenta dias para a bioestabilização, e a imobilização do nitrogênio presente na matéria orgânica vai se suceder nos primeiros trinta dias. Nos 15 a trinta dias posteriores, não ocorre imobilização e mineralização do elemento em questão. A partir daí, com a relação de C/N abaixo de 17/1, observa-se a mineralização do nitrogênio e, posteriormente, do húmus. Por isso, há necessidade do processo de compostagem da matéria orgânica, de modo que esta seja estabilizada e os nutrientes fiquem disponíveis para absorção dos vegetais. Desse modo, a principal desvantagem do processo de compostagem é o tempo necessário para mineralização do nitrogênio a ser disponibilizado à planta.

Novos processos, além da compostagem, para decomposição da matéria orgânica e disponibilização dos nutrientes estão em desenvolvimento no momento. A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), por exemplo, desenvolve pesquisas para formas alternativas de processamento dos resíduos. Entretanto, essas tecnologias não foram testadas em escala comercial, e a compostagem é o processo mais utilizado pelas empresas presentes no setor.

Oportunidade de inovação no segmento de fertilizantes organominerais

O crescimento da produtividade da agricultura brasileira mantém relação com a necessidade de fertilizantes para nutrição vegetal e aumenta a demanda por nutrientes. Entretanto, a oferta é, majoritariamente,

atendida pela importação de insumos que entram na fabricação de fertilizantes, sobretudo NPK. Novas pesquisas ligadas a novas tecnologias de fertilizantes e à identificação de fontes alternativas de nutrientes são maneiras de mitigar a dependência atual em relação às importações e, sobretudo, de promover a destinação ambientalmente mais adequada de resíduos agroindustriais.

Dessa maneira, o segmento de fertilizantes organominerais representa oportunidades para inovação no setor de fertilizantes. A origem desses fertilizantes remonta a misturas artesanais adotadas tradicionalmente nas práticas agrícolas. Originam-se da adição de resíduos orgânicos a quantidades de NPK. Essas misturas foram sendo aperfeiçoadas com a introdução de maior quantidade de nutrientes minerais, de acordo com as respostas das culturas. Entretanto, se a mistura artesanal entre frações orgânicas e minerais não resultar em eficiência nutricional superior ao adubo orgânico simples e não atender à legislação quanto às quantidades mínimas de nutrientes, não é possível considerá-la fertilizante organomineral.

Conforme Laforet (2013), existe uma correlação entre a alta produtividade, pelo manejo intensivo dos solos, com perdas de carbono orgânico e biomassa microbiana dos solos, o que leva a possível queda de produtividade do solo. Entretanto, os teores de carbono orgânico podem ser recompostos pela reintrodução de matéria orgânica e pela adoção de técnicas conservacionistas de manejo. Condicionadores de solos, bioestimulantes e uma nova geração de fertilizantes orgânicos e organominerais são exemplos de produtos que aliam a nutrição da planta à preservação dos ecossistemas dos solos. Esses produtos permitem economia com gastos de insumos químicos, e promovem o reaproveitamento de subprodutos das agroindústrias e de outras fontes de biomassa.

Para o aproveitamento dos benefícios que o uso de organominerais pode representar para a adubação, mesmo nas grandes culturas agrícolas,

é preciso resolver gargalos tecnológicos associados à conversão da matéria orgânica e ao aproveitamento dos nutrientes disponíveis. Ainda restam dúvidas e questões relativas ao entendimento dos fenômenos ligados à biotransformação das frações minerais e orgânicas, segundo Laforet (2013). Nesse sentido, é necessário o aprofundamento da cooperação técnica entre os institutos de ciência e tecnologia que pesquisam sobre o tema no Brasil, como a Embrapa Solos, e as empresas do setor, com vistas à diferenciação dos produtos, à agregação de valor e a inovações, de forma a consolidar o segmento de insumos orgânicos e fomentar a ampliação de seu mercado.

O crescimento recente do mercado de fertilizantes especiais decorre justamente da percepção de valor diferenciada que o mercado passou a ter em relação aos fertilizantes minerais, tradicionalmente utilizados pelo agronegócio. Isso se deve ao incremento tecnológico das formulações e de processos de produção, para a geração de produtos de qualidade e eficiência agronômica superior ao do fertilizante convencional.

Embora o uso de resíduos vegetais e animais *in natura* seja uma tradição nas áreas rurais, o aproveitamento industrial em larga escala de subprodutos das agroindústrias para fabricação de fertilizantes é uma prática ainda recente no Brasil.

Fontes principais de matéria-prima

Todo fertilizante organomineral deve conter uma parcela mínima de matéria orgânica proveniente de diferentes fontes categorizadas conforme suas procedências. A matéria-prima que tem maior potencial de aproveitamento econômico, em função da eficiência do setor agrícola brasileiro, para o setor de organominerais, é proveniente de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, nos quais não

sejam empregados metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando, assim, em produto de utilização segura na agricultura.

Algumas fontes de insumo têm se destacado por seu potencial e pela quantidade de nutrientes que contêm, bem como pelas vantagens logísticas para coleta e processamento dos resíduos. A produção de suínos, aves de corte e bovinos de corte e o setor sucroalcooleiro apresentam potencial expressivo, em função da alta quantidade de nutrientes ofertados ao ano.

Cana-de-açúcar

O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, com destaque para São Paulo, Paraná, Triângulo Mineiro e Zona da Mata Nordestina. A produção dessa cultura gera grande quantidade de resíduos ao longo de toda a cadeia produtiva. Os resíduos mais representativos para a produção de fertilizante orgânico são a vinhaça⁴ e a torta do filtro.⁵ O bagaço da cana também tem potencial de uso na agricultura. O setor sucroalcooleiro utiliza o bagaço para geração de energia elétrica por meio de sua queima, o que condiciona seu uso como fonte de nutrientes para a indústria de fertilizantes organomineral ao preço da energia elétrica no país. Na Tabela 4, pode-se observar o montante de cada um desses resíduos gerados para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, bem como a extrapolação dos cálculos para a safra 2015-2016, que totalizou, segundo Conab (2016), 665 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

4 A vinhaça é o resíduo da destilação fracionada do caldo de cana-de-açúcar fermentado, para a obtenção do etanol. A vinhaça originária da fermentação do melão, resíduo da fabricação do açúcar, apresenta maior concentração em relação à vinhaça gerada na fermentação do caldo de cana (ROSSETTO; SANTIAGO, [2008]).

5 A torta de filtro é um importante resíduo da indústria sucroalcooleira composto da mistura de bagaço moído e lodo da decantação, sendo proveniente do processo do tratamento e clarificação do caldo da cana-de-açúcar (ALMEIDA JUNIOR *et al.*, 2011).

Tabela 4 | Geração de resíduos por tonelada de cana-de-açúcar processada

| Processamento de cana | Produção de resíduos | | |
|-----------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| | Vinhaça (l) | Torta de filtro (kg) | Bagaço (kg) |
| 1 t | 800-1.000 | 100-400 | 260 |
| 665,6 milhões t | Vinhaça (bilhões de l) | Torta de filtro (milhões de t) | Bagaço (milhões de t) |
| | 532,5-665,6 | 66,6-266,2 | 173,1 |

Fontes: Ipea (2012) e Conab (2016).

Em função do elevado volume de resíduos provenientes do processamento de cana-de-açúcar e considerando as composições que a literatura apresenta em relação aos nutrientes NPK, é grande o potencial de obtenção de nutrientes, conforme se visualiza na Tabela 5. Tomando-se por base a produção da safra 2015-2016, chega-se ao potencial de fornecimento de nutrientes – provenientes exclusivamente da vinhaça e tomando como base uma composição média para mosto de caldo – no total de 160 mil toneladas (N), 106 mil toneladas (P_2O_5) e oitocentas mil toneladas (K_2O). Esse montante representou, de forma agregada, 8% de toda a demanda brasileira por esses nutrientes em 2015. No Apêndice B, está detalhada a metodologia de cálculo.

Tabela 5 | Composição de vinhaças quanto a NPK e matéria orgânica

| Tipo de vinhaça | N (kg/m ³) | P ₂ O ₅ (kg/m ³) | K ₂ O (kg/m ³) | Matéria orgânica (%) |
|------------------|------------------------|--|---------------------------------------|----------------------|
| Mosto de melação | 0,8 | 0,2 | 6,0 | 49 |
| Mosto misto | 0,5 | 0,2 | 3,1 | 24 |
| Mosto de caldo | 0,3 | 0,2 | 1,5 | 31 |

Fonte: Lopes (1998).

Pecuária bovina, suína e galinácea

O setor de pecuária brasileiro compreende uma importante parcela da economia nacional e vem obtendo crescimento significativo, mesmo quando comparado com o agronegócio. Enquanto o PIB do agronegócio se manteve praticamente estável, com variação de 0,01%, o setor da pecuária cresceu 0,54% em 2015 (CEPEA; USP; CNA, 2015). Esse desempenho reflete questões conjunturais de toda a economia brasileira, que, em 2015, se retraiu 3,8% segundo IBGE (2016).

A disponibilidade de matéria-prima no país para a produção de fertilizantes orgânicos ou organominerais com resíduos da pecuária varia em função da quantidade de animais existentes, bem como do modelo de criação deles. Os dejetos animais têm elevado potencial de fornecimento de nutrientes para o solo, como indicado na Tabela 6, e são considerados resíduos do processo produtivo de proteína animal. Se não receberem destinação e tratamento adequados, esses resíduos podem contaminar o solo e a água, tendo assim elevado potencial de degradação do meio ambiente.

Tabela 6 | Composição de esterco de determinados grupos animais (base matéria seca)

| Fonte de resíduo | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | C/N |
|--------------------|-----|-------------------------------|------------------|------|
| Esterco de bovinos | 1,7 | 0,9 | 1,4 | 32/1 |
| Esterco de equinos | 1,4 | 0,5 | 1,7 | 18/1 |
| Esterco de suínos | 1,9 | 0,7 | 0,4 | 16/1 |
| Esterco de ovinos | 1,4 | 1,0 | 2,0 | 32/1 |
| Esterco de aves | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 11/1 |

Fonte: Adaptado de Lopes (1998).

Nota: % x 10 = g/kg.

De acordo com dados do último censo agropecuário, de 2012, o rebanho brasileiro alcançou um total de cerca de 218,8 milhões de cabeças de animais de grande porte (bovino, bubalino, equino e asinino), 64,2 milhões de cabeças de animais de médio porte (suíno, caprino e ovino) e 1,2 bilhão de cabeças de animais de pequeno porte (frango(a), galo e galinha) (IBGE, 2012b).

A região Centro-Oeste é a que conta com maior quantidade de cabeças de bovinos. A região Sul destaca-se pelos rebanhos de suínos e galos, frangos e pintos (ovos de corte). Já a região Sudeste tem o maior rebanho de galinhas (ovos de postura), conforme Tabela 7. O Apêndice B mostra a distribuição da produção de aves e suínos, que no Brasil são as duas principais culturas de criação de animais de forma confinada, o que torna mais fácil e barata a logística da coleta dos resíduos.

Tabela 7 | Efetivo dos rebanhos

| | Norte | Nordeste | Sudeste | Sul | Centro-Oeste | Brasil |
|------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Bovinos | 43.815.346 | 28.244.899 | 39.206.257 | 27.627.551 | 72.485.098 | 211.279.082 |
| % | 20,7 | 13,4 | 18,6 | 13,1 | 34,3 | 100,0 |
| Suínos | 1.489.219 | 5.857.733 | 7.131.055 | 19.212.426 | 5.199.649 | 38.795.902 |
| % | 3,8 | 15,1 | 18,4 | 49,5 | 13,4 | 100,0 |
| Aves de postura | 9.548.496 | 40.346.524 | 75.091.730 | 63.040.545 | 26.003.198 | 213.230.493 |
| % | 4,5 | 18,9 | 35,2 | 29,6 | 12,2 | 100,0 |
| Aves de corte | 17.242.993 | 96.739.180 | 290.889.618 | 510.868.050 | 124.299.151 | 1.032.038.992 |
| % | 1,7 | 9,4 | 28,2 | 49,5 | 12,0 | 100,0 |
| Total | 72.096.054 | 171.188.336 | 412.318.660 | 620.748.572 | 227.987.096 | 1.495.344.469 |
| % | 4,8 | 11,4 | 27,6 | 41,5 | 15,2 | 100,0 |

Fonte: IBGE (2012b).

A extensão dos rebanhos bovinos, suínos e de aves, sobretudo frango, determina diretamente o potencial de geração de resíduos para a fabricação de fertilizantes orgânicos. A criação de aves se destaca não apenas pela extensão do rebanho – 1,2 bilhão de cabeças –, mas, sobretudo, pelo fato de esses animais serem criados de forma confinada, o que facilita a coleta dos resíduos gerados no processo produtivo.

A quantidade de resíduo gerado por animal é proporcional a sua massa viva e à quantidade de água ingerida. Na Tabela 8, pode-se verificar a geração média de resíduos por tipo de rebanho. Os segmentos de gado de leite e de corte são os maiores produtores de rejeitos líquidos e sólidos de forma individual, uma vez que têm animais com maiores massas que ingerem mais água ao longo do dia.

Tabela 8 | Produção diária de dejetos líquidos e sólidos de animais

| Origem do resíduo | Líquido (%/dia) | Sólido (kg/animal/dia) |
|-------------------|-----------------|------------------------|
| Suíno | 5,1 | 2,3-2,5 |
| Frango de corte | 6,6 | 0,12-0,18 |
| Gado de corte | 4,6 | 10-15 |
| Gado de leite | 9,4 | 10-15 |

Fonte: Embrapa Suínos e Aves (2004).

A produção total de resíduos gerados pela pecuária, levando em conta o tamanho do rebanho nacional, é significativa, principalmente por o país figurar entre os maiores rebanhos em várias classes de animais, e sua

destinação deve ser realizada de forma correta, haja vista seu potencial poluidor. Por isso, destaca-se seu elevado potencial de aproveitamento econômico para fertilização orgânica e organomineral.

Ao analisar a geração média de resíduos por animais, o tamanho do rebanho nacional e a composição média de nutrientes presentes nos resíduos, conforme detalhado no Apêndice B, é possível calcular que os macronutrientes primários presentes nos resíduos da pecuária, contando-se apenas suínos, bovinos e aves de corte, totalizaram 4,2 milhões de toneladas, em 2015, o que representou 31% do consumo anual desses nutrientes nesse ano.

Potencial de economia de nutrientes

Algumas fontes de insumo têm se destacado por seu potencial e pela quantidade de nutrientes que contêm, bem como pelas vantagens logísticas para coleta e processamento dos resíduos. A produção de suínos, aves de corte, bovinos de corte e do setor sucroalcooleiro apresenta potencial expressivo, em função da grande quantidade de nutrientes presentes em seus resíduos ao ano, conforme mostra a Tabela 9. Os cálculos estão detalhados no Apêndice B deste artigo. Nesses segmentos, a suinocultura e avicultura dispõem das melhores condições logísticas, uma vez que a criação dos animais ocorre de forma confinada.

O consumo de macronutrientes primários contidos nos fertilizantes em 2015, conforme Gráfico 3, foi de 13,7 milhões de toneladas. Assim, pode-se notar que a quantidade de nutrientes contidos nos resíduos gerados pelos setores selecionados, cerca de 5,3 milhões de toneladas, correspondeu a 38% da demanda nacional por NPK em 2015. Entretanto,

essa comparação não representa o total do potencial de economia de nutrientes possibilitada pela destinação dos resíduos agroindustriais, uma vez que não incorpora o efeito de melhoria na eficácia agrônômica que os fertilizantes organominerais propiciam para a absorção dos nutrientes pela planta.

Tabela 9 | Estimativa de quantidade anual de NPK presente em resíduos de bovinos, suínos, aves de corte e sucroalcooleiro

| Fonte do resíduo | Quantidade de nutrientes (mil t/ano) | | |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------|
| | N | P ₂ O ₅ | KO ₂ |
| Sucroalcooleiro* | 159,7 | 106,5 | 798,7 |
| Bovino | 1.638,7 | 867,6 | 1.349,5 |
| Suinocultura | 59,1 | 34,2 | 32,4 |
| Avicultura | 69,6 | 73,3 | 64,1 |
| Total | 1.927,2 | 1.081,6 | 2.244,7 |

Fonte: Elaboração própria.

* Cálculos realizados conforme apêndices e apenas para nutrientes disponíveis na vinhaça.

Como apresentado na subseção “Importância no uso da matéria orgânica”, a presença de matéria orgânica no solo possibilita diminuição das perdas de nutrientes, o que aumenta o aproveitamento dos nutrientes por parte dos vegetais. Ao se incorporar esse efeito aos nutrientes presentes nos resíduos, conforme Tabela 10, chega-se a um potencial de fornecimento de N, P e K disponível para as plantas de, respectivamente, 74%,

33% e 56% da demanda de 2015 por macronutrientes, o que representa 53% da demanda nacional por macronutrientes.

Esses números correspondem ao potencial máximo, caso fosse possível utilizar e transformar todo o resíduo gerado nos quatro setores selecionados: sucroalcooleiro, bovino de corte, suinocultura e avicultura. Porém, o aproveitamento desse potencial total está limitado pelos seguintes gargalos:

- A extração dos nutrientes dos resíduos e a disponibilidade para sua utilização como fertilizante dependem de melhorias tecnológicas que levem a alternativas viáveis à compostagem, uma vez que essa técnica requer utilização de amplas áreas e longo tempo para estabilização do nutriente.
- Limitação logística para aproveitamento desse potencial, em função da dificuldade de se transportar resíduos por longas distâncias, sem que se incorra em custos elevados.
- Aprimoramento das especificações agronômicas de utilização, bem como dos benefícios decorrentes do uso dos fertilizantes organominerais, de modo a incentivar o aumento da demanda por esse tipo de fertilizante.

Dos quatro segmentos apresentados neste artigo, o de bovinos de corte é o que mais tem dificuldades e desafios para aproveitamento, sobretudo em função da dispersão do rebanho pelo país e da preponderância da produção extensiva, o que aumenta o desafio logístico. Desse modo, optou-se por realizar o cálculo de economia potencial de nutrientes sem levar em consideração esse segmento, como disposto na Tabela 10.

Se analisados apenas esses setores, o potencial de economia de nutrientes chega a 1.900 mil toneladas por ano, o que representa 14% de toda a demanda por macronutrientes em 2015. Esses nutrientes foram convertidos nos produtos tradicionalmente utilizados pelos agricultores,

ou seja, ureia para nitrogênio, superfosfato triplo (TSP) para fósforo e cloreto de potássio (KCl) para potássio. Desse modo, foi possível estimar o tamanho potencial do mercado para uso dos nutrientes presentes nos resíduos dos segmentos selecionados, conforme Tabela 11, com base no preço médio dos últimos três anos para cada um dos produtos. Calculou-se, assim, que o mercado potencial dos resíduos disponíveis nos setores sucroalcooleiro, suinocultor e avicultor foi de, aproximadamente, US\$ 1,1 bilhão.

Tabela 10 | Potencial de economia de nutrientes para os setores sucroalcooleiro, suinocultura e avicultura

| Potencial de economia de nutrientes | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|--|-------|-------------------------------|------------------|
| Total de nutrientes provenientes de resíduos* (mil t/ano) | 288 | 214 | 895 |
| Aumento da eficiência de aproveitamento dos nutrientes pelo uso de fertilizantes organominerais (%) | 40 | 43 | 33 |
| Potencial total de economia de nutrientes (mil t/ano) | 404 | 306 | 1.191 |
| Demanda em 2015 (mil t/ano) | 3.647 | 4.661 | 5.383 |
| % do total do consumo em 2015 | 11,07 | 6,56 | 22,12 |

Fonte: Elaboração própria.

* Não foram incluídos os nutrientes potencialmente advindos da bovinocultura. Para o setor sucroalcooleiro, calcularam-se apenas os nutrientes provenientes da vinhaça.

Contudo, frisa-se que essa estimativa apresenta as simplificações utilizadas no cálculo de nutrientes disponíveis nos resíduos, bem como a incerteza quanto ao efeito de eficiência no uso de matéria orgânica com os fertilizantes minerais. Por isso, sugerem-se novas pesquisas e testes

agronômicos quanto à efetiva disponibilidade dos nutrientes presentes nos resíduos e às novas tecnologias para disponibilização dos nutrientes.

Tabela 11 | Estimativa do mercado potencial para uso dos nutrientes presentes nos resíduos de segmentos selecionados

| | Ureia | TSP | KCl |
|---|------------|------------|------------|
| Potencial total de economia de nutrientes (mil t/ano) | 404 | 300 | 1.191 |
| Taxa de conversão de nutriente para fertilizante* | 4,29 | 2,17 | 0,79 |
| Volume equivalente de fertilizantes** (mil t/ano) | 1.731 | 651 | 937 |
| Preços*** (US\$/t) | 310 | 385 | 326 |
| Total (US\$ milhões) | 536 | 251 | 306 |

Fonte: Elaboração própria.

* Taxa de conversão de nutrientes para fertilizante. A conversão de nitrogênio para volume equivalente de ureia foi feita considerando massa molar da ureia de 60 e massa molar de nitrogênio de 14. A conversão de P_2O_5 para volume equivalente de TSP foi feita considerando um percentual de 46% de P_2O_5 na composição do TSP. A conversão de K_2O para volume equivalente de KCL foi feita considerando massa molar de K_2O de 94 e massa molar de KCL de 74.

** Volume equivalente em produtos comercializados no mercado de fertilizantes, considerando o teor de macronutriente disponível nos resíduos provenientes dos segmentos selecionados.

*** World DataBank (2016). Foi utilizada a média de preços dos últimos três anos para cada um dos produtos.

Como a maior parte dessa demanda é atendida por importações, sua substituição representaria diminuição da exposição dos produtores brasileiros em relação à volatilidade cambial ou a uma possível restrição de oferta da produção internacional.

No caso do potássio, haveria possibilidade de mitigar parte das deficiências estruturais brasileiras, uma vez que o país importa 98% do consumo desse macronutriente, conforme Gráfico 6, principalmente por não dispor de reservas minerais de qualidade internacional. O aproveitamento dos resíduos gerados apenas pelos três segmentos selecionados

na Tabela 10 permitiria, além de mitigar impactos ambientais graves causados pela destinação incorreta desses rejeitos, atender a cerca de um sétimo da demanda nacional por fertilizantes, já incorporando o efeito do aumento do aproveitamento possibilitado pela utilização de fertilizantes organominerais.

Conclusão

Ao longo deste trabalho, detalhou-se a importância do setor de fertilizantes no Brasil, sobretudo em função da relevância que o agronegócio tem na economia brasileira. A demanda por macronutrientes primários vem crescendo a taxas médias superiores a 5% nos últimos dez anos, à exceção de 2015, quando a demanda retraiu-se 10%. O país tem deficiências estruturais – uma vez que não dispõe de minas significativas para produção de fósforo e potássio – que o impedem de produzir os principais nutrientes de forma a atender adequadamente a sua demanda, que hoje é a quarta maior do planeta. Como a produtividade agrícola é diretamente proporcional ao uso de fertilizantes, o dinamismo do agronegócio gera forte pressão demandante por nutrientes, levando a uma situação de exposição do país às flutuações de fornecimento e preços internacionais.

A fim de minimizar essa exposição, o setor de fertilizantes organominerais surge como alternativa competitiva de fornecimento ao agronegócio de parte da matéria orgânica e dos nutrientes necessários à adequada correção do solo e à nutrição das plantas. Os resíduos gerados no processo produtivo dos setores sucroalcooleiro, suínos e aves teriam o potencial para fornecer, aproximadamente, 14% da demanda por fertilizantes N, P e K, em relação à demanda de 2015, levando-se em conta a

melhoria propiciada pela presença de matéria orgânica com os nutrientes. Ao se converterem esses nutrientes nos produtos comercializados com os agricultores, estimou-se que o mercado potencial para esses resíduos era de US\$ 1,1 bilhão em 2015. Considerando o setor bovino, o qual apresenta desafios logísticos mais complexos, poder-se-ia atingir patamar de oferta de nutrientes de 53% da demanda por macronutrientes em 2015.

Entretanto, para o aproveitamento desse potencial é necessária a superação dos gargalos atuais. Atualmente, os processos empregados nessa conversão exigem um tempo elevado, o que acarreta na necessidade de se manter o material em amplas áreas até sua correta estabilização. Existem, portanto, limitações tecnológicas para correta e eficiente conversão dos resíduos em fertilizantes, demandando o desenvolvimento de novas maneiras de converter o resíduo em fertilizantes em um tempo reduzido. Outra limitação, em especial para o aproveitamento dos resíduos provenientes do setor de bovinos de corte, é em função do tratamento logístico dos resíduos, uma vez que existem restrições regulatórias e ambientais para transporte de resíduos, bem como em função de sua composição, que é, preponderantemente, água.

São necessárias mais pesquisas para a superação desses gargalos tecnológicos, envolvendo institutos de pesquisa como a Embrapa, que tem iniciativas como a Rede BiogásFert,⁶ entre outras que buscam criar novas tecnologias de conversão dos rejeitos em fertilizantes. Paralelamente, incentivos que estimulem a utilização dos fertilizantes organominerais e que reduzam os custos de implantação ou desenvolvimento poderiam ser indutores tecnológicos, na medida em que diminuiriam os custos e incertezas do desenvolvimento das tecnologias necessárias.

⁶ Rede BiogásFert consiste em uma cooperação entre as empresas Embrapa e Itaipu Binacional. O projeto consiste em "Tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC", ou Rede BiogásFert.

A complexidade para a superação do gargalo logístico é maior e exigirá, provavelmente, esforços para aproveitamento dos nutrientes provenientes daquelas culturas com cultivo, processamento ou criação mais concentradas, como os setores sucroalcooleiro, de suinocultura ou de avicultura. Por sua concentração produtiva natural, os rejeitos gerados na produção desses setores, uma vez transformados em fertilizantes, poderiam suprir demandas produtivas que tenham o próprio setor como mercado de destino. Os fertilizantes gerados utilizando vinhaça como insumo poderiam se destinar ao plantio da cana-de-açúcar, ou os fertilizantes gerados a partir dos rejeitos da avicultura poderiam ser destinados à adubação das culturas de milho, que, por sua vez, têm o setor avicultor como um de seus principais consumidores.

Além dos benefícios econômicos, a possibilidade de gerar insumos por meio de rejeitos do agronegócio brasileiro, que é um dos mais competitivos mundialmente, permitiria reduzir os impactos ambientais derivados da destinação incorreta dos resíduos, dar uma característica circular ao agronegócio reduzindo emissões de carbono ao longo de toda sua cadeia produtiva e aperfeiçoar a utilização dos recursos naturais escassos.

O BNDES, ao atuar como indutor do desenvolvimento econômico, tem como diretriz incentivar os segmentos da economia que geram externalidades positivas. Como exemplos de tipos de projetos que se enquadram nessa forma de atuação, podem-se citar aqueles cujo foco seja a solução de questões socioambientais e os destinados à inovação. A nova Política Operacional do Banco, vigente desde janeiro de 2017, inclui como linha incentivada o apoio direto à produção de fertilizantes orgânicos em escala industrial ou de mistura dos fertilizantes orgânicos com fertilizantes minerais, restrito aos projetos que utilizem resíduos gerados por segmentos do agronegócio como fonte de matéria-prima. Para esses projetos, dados seus qualificadores de potencial impacto socioambiental, a linha vigente

do BNDES oferece condições mais favoráveis de apoio, com maior participação em taxa de juros de longo prazo (TJLP) e valor mínimo de financiamento inferior àqueles exigidos pelas demais linhas.

Referências

ABIQUIM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA. *Relatório de Acompanhamento Conjuntural*. Ano 25, n. 11, 2016a. ISSN 1517-6967.

_____. *O desempenho da indústria química brasileira em 2016*. São Paulo: 2016b.

ALMEIDA JUNIOR, A. B. *et al.* Fertilidade do solo e absorção de nutrientes em cana-de-açúcar fertilizada com torta de filtro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [on-line]*, v. 15, n. 10, p. 1.004-1.013, 2011. ISSN 1415-4366. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001000003>>. Acesso em: 30 set. 2016.

ANDA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBO. *Estatística planilhas*. 2015. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.01.00&ver=por>>. Acesso em: 28 out. 2015.

BRASIL. Lei 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/1980-1988/L6894.htm>. Acesso em: 15 jan. 2017.

_____. Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 15 jan. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm>. Acesso em: 15 jan. 2017.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa 25, de 23 de julho de 2009. *Diário Oficial*, Brasília, DF, 28 de junho de 2009. Seção 1, p. 20.

CEPEA; USP; CNA – CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO; CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. *PIB do agronegócio – dados de 1994 a 2015*. 2015. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Pib_Cepea_1994_2015_V2.xlsx>. Acesso em: 13 abr. 2016.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Série histórica de produção no Brasil por unidades da Federação*. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=>>>. Acesso em: 28 out. 2016.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos – Manual de boas práticas*. Concórdia, 2004.

FATMA – FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa 11, de 21 de fevereiro de 2009. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/instrucoes-normativas>>. Acesso em: 30 out. 2016.

FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Outlook Fiesp 2026*. Projeções para o agronegócio brasileiro. 2016. Disponível em: <<http://apps2.fiesp.com.br/outlookDeagro/pt-BR>>. Acesso em: 28 out. 2016.

GOMES-CASSERES, B.; MCQUADE, K. *Hoechst and the German chemical industry*. Boston: Harvard Business School, 1991.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *IBGE: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Indústria, Pesquisa Industrial Anual – Produto 2012*. Brasília: 2012a.

_____. *IBGE: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Pesquisa da Pecuária Municipal 2011-2012*. Brasília: 2012b.

_____. *IBGE: Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Contas Nacionais, Contas Nacionais Trimestrais – Indicadores de Volume e Valores Correntes*. Brasília: jul.-set. 2016.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. *Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas*. Brasil, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso em: 28 out. 2015.

IPNI – INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. *Fertilizantes*. 2016. Disponível em: <<http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>>. Acesso em: 30 nov. 2016.

LAFORET, M. R. *A transferência de tecnologia de processos de produção de fertilizantes organominerais: pesquisa-ação sobre uma parceria público-privada*. Dissertação (Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual, Inovação e Desenvolvimento) – Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), Rio de Janeiro, 2013.

LOBO, V. *O mercado e o desafio da indústria de fertilizantes no Brasil – Bunge fertilizantes*. 2008. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwi8nZWP6o_SAhVFfZAKHXPTBG0QFggcMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ibram.org.br%2Fcbminas%2Fpalestras%2F25_11_00_Vicente%2520Lobo.pdf&usq=AFQjCNFaKwv9-gSNrW43u5lb_RwY8RRL1Q&sig2=RH025_ZrcRuLPWirvF9vdA>. Acesso em: 28 out. 2015.

LOPES, A. S. *Manual internacional de fertilidade do solo*. Tradução e adaptação de Alfredo Scheid Lopes. 2 ed., rev. e ampl. Piracicaba: Potafos, 1998.

LUZ, A. B. *et al.* Rochas, minerais e rotas tecnológicas para a produção de fertilizantes alternativos. In: FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHO, Z. C. (ed.). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/MCT, 2010, p. 61-88.

OCDE; FAO – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO; ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. *Perspectivas agrícolas no Brasil: desafios da agricultura brasileira 2015-2024*. 2015. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2015.

OLIVEIRA, J. V. *Aspectos técnicos-econômicos da cadeia de fertilizantes organominerais no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos

Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2010.

POLIDORO, J. C. Fertilizantes Organominerais: Aspectos Mercadológicos e Tecnológicos – Rede FertBrasil. In: V FÓRUM ABISOLO. Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil: V Fórum Abisolo. 2013.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. *Adubação – resíduos alternativos*. [2008]. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 20 jul. 2016.

UN – UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, (ST/ESA/SER.A/366). 2015.

WORLD DATABANK. *Global Economic Monitor (GEM) Commodities*. [2016]. Disponível em: <[http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=global-economic-monitor-\(gem\)-commodities#](http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=global-economic-monitor-(gem)-commodities#)>. Acesso em: 20 out. 2016.

Apêndices

Apêndice A | Legislação acerca dos fertilizantes

A legislação brasileira que trata o tema de fertilizantes é composta da Lei Federal 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (BRASIL, 1980), de sua regulamentação dada pelo Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004), bem como da Instrução Normativa SDA/Mapa 25, de 28 de julho de 2009 (BRASIL, 2009).

Os regulamentos estabelecem as normas relativas ao registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. O papel de órgão fiscalizador é exercido pelo Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento (Mapa).

Destacam-se algumas definições que a legislação detalha acerca do mercado de fertilizantes:

- Fertilizante é a substância mineral ou orgânica, de origem natural ou sintética, que forneça pelo menos um nutriente para a planta. Os fertilizantes são classificados quanto à matéria da qual são compostos, bem como quanto a sua quantidade de macro e micronutrientes. Destacam-se as seguintes classificações:
 - Fertilizante mineral “é o produto de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico, fornecedor de um ou mais nutrientes de plantas” (BRASIL, 2009).
 - Fertilizante orgânico
 - é o produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural,

vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais (BRASIL, 2009).

- Fertilizante organomineral “é o produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos” (BRASIL, 2009).
- Corretivo é o produto de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usado para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, não tendo em conta seu valor como fertilizante, além de não produzir característica prejudicial ao solo e aos vegetais. Há as seguintes subclassificações:
 - Corretivo de acidez: usado para corrigir a acidez do solo, além de fornecer cálcio, magnésio ou ambos.
 - Corretivo de alcalinidade: usado para redução da alcalinidade do solo.
 - Corretivo de sodicidade: produto que promove a redução da saturação de sódio no solo.
 - Condicionador do solo: produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo.
- Inoculante é o produto que contém microrganismos com atuação favorável ao crescimento de plantas.
- Biofertilizante é o produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando sua produtividade, sem ter em conta seu valor hormonal ou estimulante.
- Remineralizador é o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho de partícula por processos mecânicos e que, aplicado ao solo, altere seus índices de fertilidade, por meio da adição de macronutrientes e micronutrientes para as plantas, e promova a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo.

Segundo a Instrução Normativa SDA/Mapa 25/2009, os fertilizantes organominerais podem ser classificados de acordo com a fonte de origem da matéria orgânica presente em sua composição, conforme Quadro 1.

Quadro 1 | Classificação de fertilizantes orgânicos e organominerais quanto à origem da matéria orgânica

| Classe | Descrição |
|--------|--|
| A | Fertilizante que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, em que não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura. |
| B | Fertilizante que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, em que metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura. |
| C | Fertilizante que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura. |
| D | Fertilizante que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura. |

Fonte: Brasil (2009).

Apêndice B | Cálculos dos nutrientes para resíduos agroindustriais selecionados

Apêndice B1 | Setor sucroalcooleiro

Na subseção “Cana-de-açúcar”, viu-se que, para o setor sucroalcooleiro, os resíduos mais representativos para a produção de fertilizante orgânico são a vinhaça e a torta do filtro, além do bagaço de cana. Como apresentado, para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, geram-se de 800 l a 1.000 l de vinhaça; de 100 kg a 400 kg de torta de filtro; bem como 260 kg de bagaço, conforme Ipea (2012).

Para estimar a disponibilidade de nutrientes nos resíduos do setor sucroalcooleiro, realizaram-se os cálculos apenas para disponibilidade de vinhaça, uma vez que não foi encontrada a composição média de macronutrientes para a torta de filtro, nem para o bagaço de cana. Na safra 2015-2016, foram processadas 665,6 milhões toneladas de cana-de-açúcar no Brasil. Desse modo, foram gerados de 532,5 bilhões de litros a 665,5 bilhões de litros de vinhaça nessa safra.

A vinhaça pode apresentar composições médias diferentes dependendo do tipo de mosto da qual se origina, conforme Tabela 4. Utilizou-se como simplificação para o cálculo da disponibilidade de nutrientes a composição com os menores valores percentuais para cada macronutriente, ou seja, a vinhaça de mosto de caldo que apresenta, respectivamente, 0,3 kg, 0,2 kg e 1,5 kg de nitrogênio, fósforo e potássio para cada m³ de vinhaça.

Desse modo, chegou-se que o total de nitrogênio, fósforo e potássio disponíveis para uma produção de 532,5 bilhões de litros seria, respectivamente, de 160 mil toneladas, 106 mil toneladas e oitocentas mil toneladas.

Produção anual de vinhaça x kg de nutriente por m³ = nutrientes presentes no resíduo
532,5 bilhões de l de vinhaça x 0,3 kg de nitrogênio/m³ = 160 mil t de nitrogênio
532,5 bilhões de l de vinhaça x 0,2 kg de fósforo/m³ = 106 mil t de P₂O₅
532,5 bilhões de l de vinhaça x 1,5 kg de potássio/m³ = 800 mil t de K₂O

Apêndice B2 | Setor agropecuário

Apêndice B2.1 | Bovinocultura

Para estimar a disponibilidade de nutrientes nos resíduos sólidos do setor de bovinos de corte, utilizaram-se os dados do censo agropecuário de 2012, segundo o qual o Brasil conta com um rebanho total de 211 milhões de animais. Conforme Tabela 7, cada animal produz em média, por dia, de 10 kg a 15 kg de resíduo sólido. Uma vez que a composição média desse material, conforme Tabela 5, é de 1,7 g de nitrogênio, 0,9 g de fósforo e 1,4 g de potássio para cada quilo de dejetos, obteve-se que a oferta anual de macronutrientes presentes nos resíduos do rebanho bovino brasileiro foi, em 2012, de 1.639 mil toneladas, 868 mil toneladas e 1.350 mil toneladas de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente.

Rebanho bovino x produção média diária de dejetos sólidos x 365 dias x gramas de nutriente por quilograma de dejetos = oferta anual de nutrientes presentes nos resíduos bovinos

211.279.082 x 12,5 kg x 365 x 1,7 g de nitrogênio/kg de resíduo sólido = 1.639 mil t de N

211.279.082 x 12,5 kg x 365 x 0,9 g de P₂O₅/kg de resíduo sólido = 868 mil t de P₂O₅

211.279.082 x 12,5 kg x 365 x 1,4 g de K₂O/kg de resíduo sólido = 1.350 mil t de K₂O

Apêndice B2.2 | Suinocultura

Para estimar a disponibilidade de nutrientes nos resíduos do setor de suinocultura, utilizaram-se os dados do censo agropecuário de 2012, segundo o qual o Brasil conta com um rebanho total de 38,8 milhões de suínos. O rebanho total abrange diferentes tipos de animais em diferentes graus de maturidade. Para segmentar o total de animais segundo cada categoria, baseou-se nos dados médios de produtividade de suinocultura no Brasil com o intuito de determinar o número de matrizes produtoras, para o qual existe o dado médio de geração de resíduos por dia, segundo Instrução Normativa 11 da Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (Fatma) (FATMA, 2009).

Cada matriz é composta, em média, por uma leitoa, 28,2 leitões desmamados por matriz por ano e 27 suínos terminados por ano. A produção de dejetos, por matriz alojada, é de 47,1 litros por dia. De acordo com a Instrução Normativa 11, cada matriz oferta, por ano, em seus resíduos, 85,7 quilos, 49,6 quilos e 46,9 quilos de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. Desse modo, foi possível calcular que a oferta anual de macronutrientes presentes nos resíduos do rebanho suíno brasileiro foi, em 2012, de 59,1 mil toneladas, 34,2 mil toneladas e 32,4 mil toneladas de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente.

Rebanho suíno/(número médio de animais em uma matriz) x quilos de nutriente excretado por ano = oferta anual de nutrientes presentes nos resíduos suínos

$[38.795.902/(1+28,2+27)] \times 85,7 \text{ kg N/ano} = 59,1 \text{ mil toneladas de nitrogênio por ano}$

$[38.795.902/(1+28,2+27)] \times 49,6 \text{ kg P/ano} = 34,2 \text{ mil toneladas de } P_2O_5 \text{ por ano}$

$[38.795.902/(1+28,2+27)] \times 46,9 \text{ kg K/ano} = 32,4 \text{ mil toneladas de } K_2O \text{ por ano}$

Apêndice B2.3 | Avicultura

Para estimar a disponibilidade de nutrientes nos resíduos do setor de suinocultura, utilizaram-se os dados do censo agropecuário de 2012, segundo o qual o Brasil tem um total de aproximadamente um bilhão de aves de corte. Essas aves, em geral, são criadas confinadas e excrementam sobre o que se chama cama de frango. Para calcular o total de cama de frango produzido por ano foi necessário adotar algumas premissas com base nos dados médios fornecidos pela Embrapa.

O volume de cama foi calculado considerando uma densidade média de 13 aves por metro quadrado de aviário e uma altura de cama de 0,1 metro. O peso da cama foi estimado considerando uma densidade média de seiscentos quilos por metro cúbico de cama de frango. E a produção de cama por ano foi estimada considerando que os produtores utilizam a mesma cama para 15 lotes de aves (cada lote leva em média 42 dias para maturação e há uma pausa de cinco dias entre um lote e outro; desse modo, cada cama é removida a cada 712 dias em média). A quantidade de NPK na cama foi calculada com base no manual e adubação e calagem para Rio Grande do Sul e Santa Catarina, segundo o qual a cama de aves tem, em média, 75% de matéria seca e 3,8% de nitrogênio, 4% de fósforo e 3,5% de potássio da matéria seca.

Número de aves de corte / (aves m² x altura da cama) x densidade média da cama / (número em função da utilização da mesma cama para vários lotes de aves) x percentual médio de matéria seca x percentual médio do macronutriente por matéria seca = oferta anual de nutrientes presentes por ano para o total de aves

$$\{[(1.032.038.992/13*0,1) \times 0,6]/(712/365)\} \times 0,75 \times 3,8\% \text{ de N por ano} = 69,6 \text{ mil t de N}$$

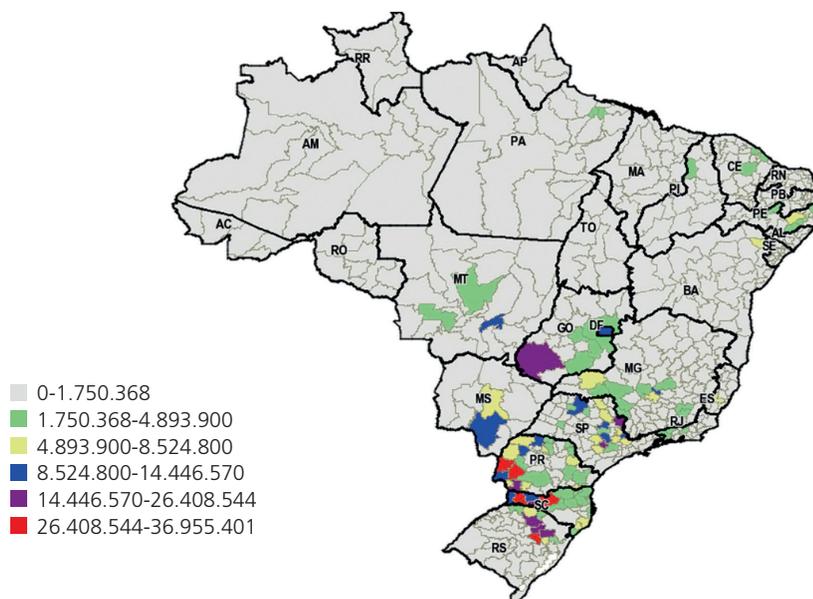
$$\{[(1.032.038.992/13*0,1) \times 0,6]/(712/365)\} \times 0,75 \times 4\% \text{ de P por ano} = 73,3 \text{ mil t de P}_2\text{O}_5$$

$$\{[(1.032.038.992/13*0,1) \times 0,6]/(712/365)\} \times 0,75 \times 3,5\% \text{ de K por ano} = 64,1 \text{ mil t de K}_2\text{O}$$

Anexo

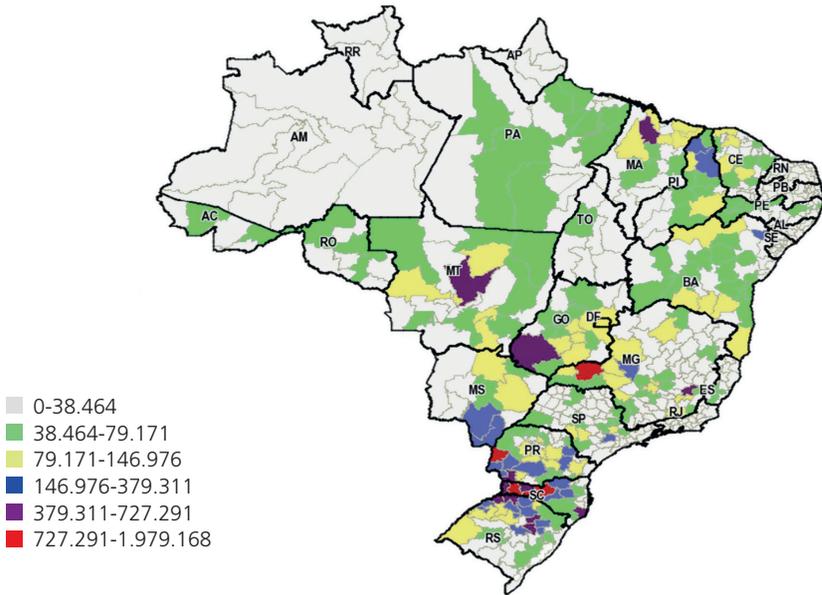
Anexo A | Distribuição da produção de aves e suínos no território brasileiro

Anexo A1 | Setor de avicultura



Fontes: IBGE; Embrapa Suínos e Aves/NTOP; Santos Filho et al. (2008).

Anexo A2 | Setor de suinocultura



Fontes: IBGE; Embrapa Suínos e Aves/NTOP; Santos Filho *et al.* (2008).