

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

WAGNER ALEXANDER GROENWOLD

“Farm gate”: balanço de nutrientes em fazendas produtoras de gado de leite.

CURITIBA

2022

WAGNER ALEXANDER GROENWOLD

“Farm gate”: balanço de nutrientes em fazendas produtoras de gado de leite.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-graduação em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito para obtenção de certificado de Especialização.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Verediana Fernanda Cherobim

CURITIBA

2022

RESUMO

A disposição correta do esterco gerado pela produção de gado de leite é de grande preocupação ambiental. A aplicação do esterco é realizada em áreas agricultáveis, o que pode beneficiar a fertilidade e a qualidade do solo. Porém, para que ocorram esses benefícios, e para que essa ação não resulte em problemas ambientais, é necessário a utilização de critérios para a correta aplicação. Métodos de quantificação de nutrientes, também conhecido como “farm gate” são uma ferramenta importante para o manejo do esterco em sistemas de produção animal. Neste trabalho foi realizado uma revisão bibliográfica sobre balanço de nutrientes e as implicações do uso de esterco como adubo.

Palavras chave: Manejo de nutrientes. Quantificação de nutrientes. Produção leite. Esterco bovino

ABSTRACT

The correct disposal of the manure generated by the dairy cattle is a great concern world wide. Manure is commonly applied in croplands, which can be good for the quality and fertility of the soil. Although is necessary that the application use criteria to not cause environmental problems. Nutrient budgeting methods are also known as “farm gate” can be used as an important tool to manage the manure efficiently in animal production systems. The aim of this study is to realize a literature review about nutrient budgeting and the impacts of the use of manure in agriculture.

Key-words: Nutrient Management. Nutrient budgeting. Animal production. Dairy manure.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. OBJETIVO	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	9
4.1 CONTEXTO	9
4.2 FARM GATE	11
4.3 NUTRIENTES	17
4.3.1 Nitrogênio	17
4.3.2 Fósforo	20
4.3.3 Potássio	21
5. CONCLUSÕES	23
6. REFERÊNCIAS	24

1. INTRODUÇÃO

O esterco produzido pela criação de animais é aplicado na superfície do solo em áreas agricultáveis, o que pode ser benéfico, porém também pode causar problemas ambientais, sendo necessário métodos para que seja possível manejar esse esterco de forma adequada (CAVALCANTE et al., 2019; ZAVATTARO, et al., 2017).

A aplicação de esterco em lavouras quando realizada de forma eficiente, pode diminuir a dependência de fertilizante importado, impactando positivamente a economia da fazenda (SVANBÄCK, et al. 2019). O objetivo geral de um manejo sustentável de nutriente deveria ser chegar em um equilíbrio, tanto em escala global como regional, de maneira que consiga manter a produção agrícola enquanto busca-se o fechamento do ciclo do nutriente dentro da região de interesse (HAYGARTH, et al. 2014).

A produção intensiva de leite, com aumento do volume produzido por unidade de área, geralmente em manejos de confinamento ou semiconfinamento tende a causar maiores problemas ambientais, aumentando o fluxo de nutrientes, o que pode levar a contaminações ambientais mais severas (GOURLEY, et al. 2012).

Para termos ciência do fluxo de nutrientes importados e exportados da fazenda produtora de leite pode ser realizado o balanço de nutrientes, também denominado “Farm Gate”. O “Farm Gate” pode ser definido como uma quantificação de entradas, saídas e estocagem de nutrientes. Esse método tem grande aceitação pois é fácil de calcular e utiliza dados que são obtidos com facilidade. O objetivo geral de um manejo sustentável de nutriente é chegar em um equilíbrio entre as entradas e saídas do elemento na fazenda.

Realizar o “Farm Gate” tem como principal objetivo a redução do excedente de entradas do elemento e seu potencial perda para o ambiente, além de auxiliar no manejo do esterco e aplicação de adubos minerais. O balanço de nutrientes abordado pelo “Farm Gate” se tornou um elemento fundamental no aspecto de leis de nutrientes de vários países do oeste Europeu; os produtores devem contabilizar nos seus balanços a maior parte das entradas e saídas de nutrientes, de maneira que o excedente não seja maior que um limite permitido,

que pode ser definido levando em consideração o tipo de solo e cultura utilizado na área (D'Haene, et al. 2006).

Este trabalho visa esclarecer os impactos do uso do esterco na agricultura e abordar como o método de quantificação de nutrientes (Farm Gate) pode auxiliar o produtor neste manejo.

2. OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo descrever um método de contabilização de nutrientes denominado “Farm Gate” e suas aplicações. Além de esclarecer sobre os impactos da aplicação de esterco na agricultura, bem como entender a dinâmica de nutrientes dentro do sistema de produção animal.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido através de pesquisa literária, sendo utilizados artigos nacionais e internacionais, estudos de caso e livros que abordam o tema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CONTEXTO

O sul do Brasil tem uma significativa produção animal em sistemas de confinamento, incluindo gado de leite. Segundo o IBGE, a produção nacional de leite em 2019 foi de 34,84 bilhões de litros, sendo que os cinco maiores estados em produção concentraram quase 70% do total nacional, com Minas Gerais detendo participação de 27,11%, seguido do Paraná e Rio Grande do Sul, com 12,45% e 12,26%, respectivamente (ANUÁRIO LEITE 2021).

Uma das maiores preocupações ao redor do mundo sobre a produção animal é a destinação correta do esterco gerado através da atividade. O aumento da demanda por produtos lácteos tem crescido mais do que o aumento populacional, devido ao aumento no poder aquisitivo e dos hábitos de consumo contribuem positivamente para o aumento do consumo per capita em países emergentes (VILELA, et al. 2017).

O esterco produzido por esses sistemas tem sido usualmente aplicado na superfície do solo em áreas de agricultura em sistema sem revolvimento do solo (CAVALCANTE et al., 2019). A aplicação de esterco em áreas agricultáveis é capaz de melhorar diversos atributos do solo, sendo esta aplicação, quando utilizada com critério de dose e momento correto, é benéfica e desejável. O esterco é considerado um ótimo fertilizante orgânico, fornecendo diversos nutrientes, afetando positivamente as características físicas do solo, ativando sua biota e ajuda a aumentar os níveis de matéria orgânica; tendo um ótimo potencial para substituição da adubação mineral (ZAVATTARO, et al., 2017).

Em áreas agricultáveis, o esterco promove melhoraria na fertilidade do solo e conseqüentemente na produtividade das culturas. Barth et al., (2020) constatou aumento de produtividade de soja e milho e melhoria nos atributos químicos do solo devido a aplicação de dejetos líquido bovino. A aplicação de esterco líquido bovino também melhora a agregação do solo, geralmente devido ao aumento do teor de carbono orgânico total do solo, sendo assim, a aplicação de esterco também é uma prática benéfica para sequestrar carbono atmosférico (CAVALCANTE et al. 2019).

Mellek et al. (2010) constatou melhoria na qualidade estrutural do solo com a aplicação de dejetos líquidos bovinos, ao alterar atributos físicos como densidade, macroporosidade e tamanho médio de agregados; além disso, atributos hidráulicos como taxa de infiltração de água no solo. Todos esses fatores contribuem para reduzir as perdas de água e solo por escoamento superficial e consequentemente diminuir as perdas de P (fósforo) e N (nitrogênio) a longo prazo em sistema de plantio direto, se opondo ao fato geralmente entendido de que aplicação de esterco contribui para a deterioração da qualidade da água.

Em um estudo no sul do Brasil, Favaretto et al., (2022) constatou que após a aplicação de 9 anos de dejetos líquidos bovinos, as perdas de P, N, o volume de escoamento superficial de água e perdas por erosão foram reduzidas. Nesse trabalho o dejetos era aplicado superficialmente em áreas com sistema de plantio direto. Essa redução nas perdas foi explicada devido a melhoria da qualidade física do solo promovida pelo esterco, além da melhoria da matéria orgânica do solo. Sendo esperado através da aplicação também melhoria do ponto de vista biológico (GONG et al., 2009).

No entanto, em situações em que o esterco é aplicado indiscriminadamente, sem critério para volume aplicado ou quando sua distribuição é realizada de forma não homogênea, pode ocorrer efeitos ambientais indesejáveis, assim como não ocorrer os benefícios agrônômicos da aplicação do dejetos.

A perda de nutrientes da lavoura para os rios e lagos causa crescimento acelerado de algas e plantas aquáticas, processo conhecido como eutrofização, causando um desequilíbrio ecológico com consequências bem conhecidas, podendo ser uma área de disseminação de doenças, além de tornar o local impróprio para o lazer e atividades piscícolas (HANIFZADEH, et al. 2017; VALENTE, et al. 2018).

Esses nutrientes que chegam até rios e lagos podem ser diretamente do esterco aplicado, quando por exemplo, ocorre uma chuva logo após a aplicação do dejetos; ou também o esterco pode ter um papel indireto nessa situação, em que mais nutrientes chegam até corpos aquáticos devido ao enriquecimento excessivo do solo com nutrientes, além do desejado agronomicamente. Isso

ocorre geralmente quando não se contabiliza o dejetos juntamente com o fertilizante mineral utilizado.

Entretanto, manejar o esterco de forma eficiente e econômica é algo desafiador. Seu alto volume em relação a quantidade de nutrientes torna elevado o custo de transporte, além disso, o esterco tem uma discrepância em valores de nutriente em relação ao exigido pelas culturas, principalmente na relação N/P (TOTH, 2006; SVANBÄCK, 2019). A diferença na relação N/P pode causar excesso de P caso a aplicação de esterco seja determinada a partir da necessidade de N das culturas, podendo elevar o P nas áreas a um nível além do desejado para ótima produção (KLEINMAN, 2012). Aplicá-lo com nível de acurácia desejado nem sempre é possível, pois o conteúdo de nutrientes presentes no material é variável e a acurácia de protocolos de amostragem são desconhecidos (MILLER, et al. 2019).

4.2 FARM GATE

Uma importante ferramenta para manejar nutrientes em um sistema, é o balanço de nutrientes, ou “nutrient budgeting”. O balanço de nutrientes é uma ferramenta de gestão que pode identificar se as entradas e saídas de nutrientes de uma área de interesse específica estão equilibradas (entradas = saídas), ou se a área tem déficit de nutrientes (entradas < saídas) ou excedente (entradas > saídas). O balanço de nutrientes pode ser realizado em diversas dimensões. Comumente é realizado para potássio a nível de lavoura; em maior escala, também é realizado o balanço em bacias hidrográficas, estados ou países. Para auxílio no manejo de dejetos, o balanço de nutrientes é realizado a nível da propriedade produtora de leite.

O balanço de nutrientes pode ser definido como uma quantificação de entradas, saídas e estocagem de nutrientes (GOURLEY, et al. 2007) e são utilizados desde o início do século na União Europeia (GOODLASS, et al. 2003), nos Estados Unidos (KOELSCH. 2005) e Nova Zelândia, (SNEATH and FURNESS, 2006). O balanço de nutrientes, em uma determinada região pode se comportar de três maneiras, equilíbrio de entradas e saídas do nutriente,

entrada maior que saídas (balanço positivo) e saídas maior que entradas (balanço negativo); o objetivo geral de um manejo sustentável de nutriente deveria ser chegar em um equilíbrio, tanto em escala global como regional, de maneira que consiga manter a produção agrícola enquanto busca-se o fechamento do ciclo do nutriente dentro da região de interesse (HAYGARTH, et al. 2014).

O método de quantificação de nutrientes realizado em fazendas leiteiras é comumente denominado “Farm gate” (Figura 1), que é um método de balanço de nutrientes que consiste em contabilizar as entradas e saídas de uma fazenda, subtraindo as exportações do nutriente das suas respectivas importações, sendo que um balanço positivo ou negativo acarreta diferenças do teor do nutriente no solo.

O balanço de nutrientes abordado pelo “Farm Gate” se tornou um elemento fundamental no aspecto de leis de nutrientes de vários países do oeste Europeu; os produtores devem contabilizar nos seus balanços a maior parte das entradas e saídas de nutrientes, de maneira que o excedente não seja maior que um limite permitido, que pode ser definido levando em consideração o tipo de solo e cultura utilizado na área; um excedente maior que o limite considerado pode ser motivo para multas, impostos proibitivos ou outros tipos de sanções (D’HAENE, et al. 2007). Esse método é muito comum pois geralmente é fácil de calcular a partir dos dados prontamente disponíveis e tendem a ser precisos (ÖBORN, et al. 2003).

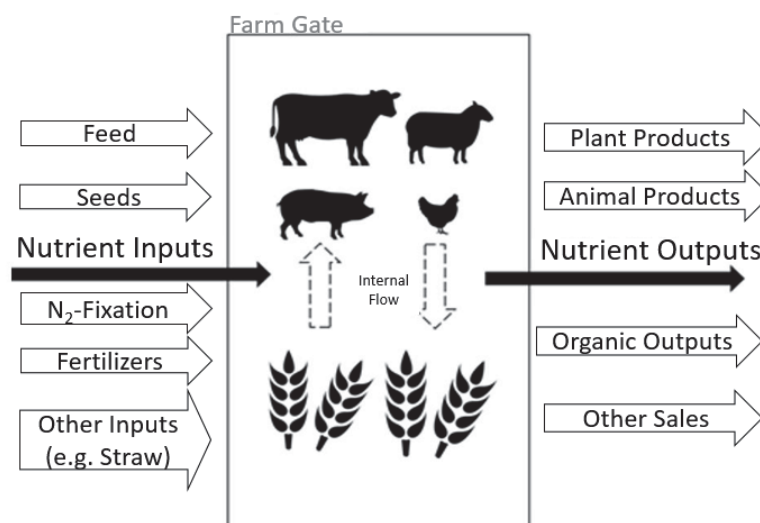


Figura 1. Esquema de Farm gate.

Para realizar os cálculos de balanço são utilizadas as fórmulas a seguir. Sendo que é obtido o teor do nutriente do item importado ou exportado e multiplicado pela sua respectiva quantidade. Área de contato é definida como a área que ao mesmo tempo é destino e origem do fluxo interno de nutrientes, sendo área de produção de forragem e que recebe o esterco.

Total de entradas = *entradas (animais + forragens + concentrados + esterco + fertilizante mineral + grãos + deposição + fixação) (kg do nutriente)*

Total de saídas = *saídas (animais + mortalidade + produtos de origem animal + produtos de origem vegetal + esterco + diferença produtos estocados) (Kg do nutriente)*

Balanço = *Total entradas – Total saídas*

Eficiência de uso = $\frac{\text{Total saídas}}{\text{Total de entradas}}$

Balanço por hectare = $\frac{\text{Balanço}}{\text{Área de contato}}$

A divisão do balanço pela área nos auxilia a ter noção da dimensão do balanço. Como recomendação, o esterco gerado na propriedade deve ser aplicado sobre toda a área produtora de forragem, sendo assim, o valor gerado pelo balanço por hectare se aproxima mais da realidade.

Em um balanço utilizando este método (Figura 2), o esterco utilizado na própria propriedade e o cultivo de forragens que não são exportados são considerados como fluxos internos; fertilizantes, compra de alimentos para os animais, exportação de produtos agrícolas são os principais constituintes contabilizados pelo método (SCHRÖDER, et al. 2004).

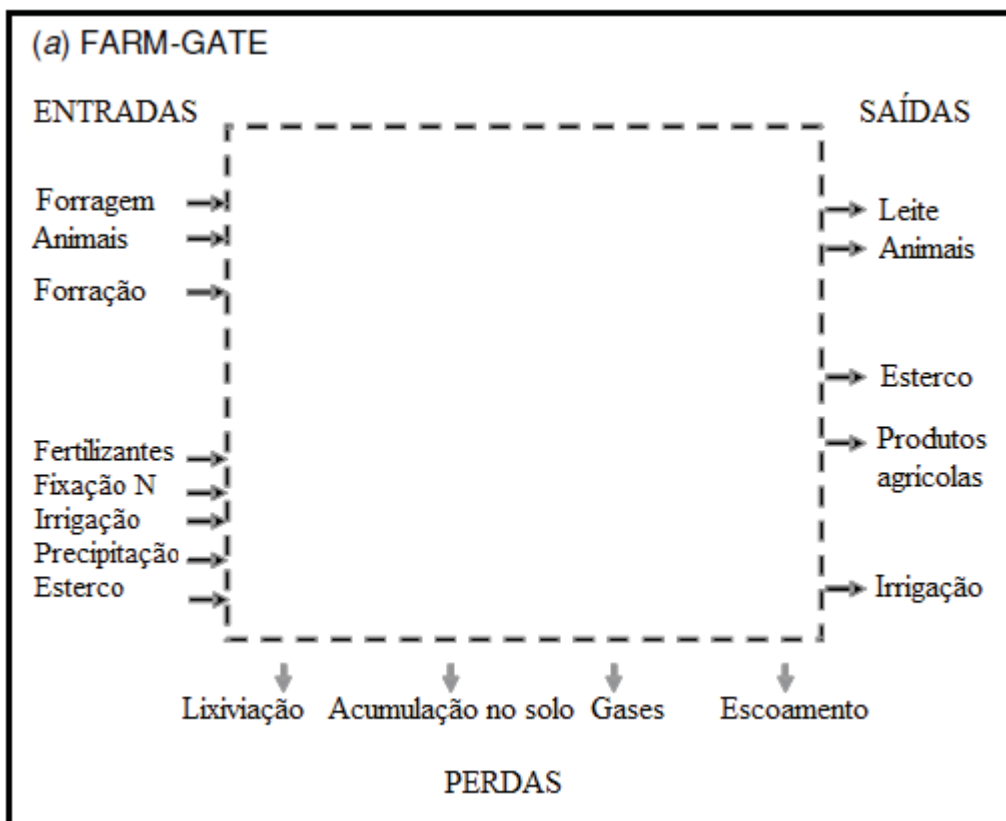


Figura 2. Exemplo de possíveis entradas e saídas de uma propriedade. Forragem, esterco e outros itens que são produzidos e utilizados na própria fazenda não são contabilizados. Adaptado de Gourley, et al. (2007).

Embora o balanço através do “Farm Gate” pode indicar acumulação de nutrientes e riscos ambientais, o método não descreve as transformações e distribuição do nutriente dentro da propriedade assim como não contabiliza também as perdas para o ambiente; um grande interesse deste método reside em auxiliar a decisão do manejo de fertilizantes, sendo seu principal objetivo a redução do excedente de entradas do elemento e sua potencial perda para o ambiente (GOURLEY, et al. 2007).

Porém, ainda existem algumas variabilidades e incertezas inerentes ao método, por isso, é importante realizar o método por vários anos, além de monitorar os teores do nutriente no solo, que pode conferir a acurácia da prática. Apesar de suas limitações, o “farm-gate” é o método que menos leva incertezas em relação a excedente de nutrientes, sendo o mais recomendado para o uso em políticas públicas (OENEMA, et al. 2003).

A produção intensiva de leite, com aumento do volume produzido por unidade de área, geralmente em manejos de confinamento tende a causar maiores problemas ambientais, aumentando o fluxo de nutrientes, podendo ter um excesso de importações em detrimento das exportações, o que pode levar a contaminações ambientais mais severas (GOURLEY, et al. 2012).

A contabilização do esterco como fonte de nutriente e sua utilização como agente melhorador de fertilidade é benéfico do ponto de vista agrônomo e econômico, pois pode melhorar a fertilidade do solo como um todo e ainda substituir parte do fertilizante utilizado pela fazenda; além de que sua correta distribuição evita problemas ambientais. Adenuga et al. (2018) constata que ocorre uma relação positiva entre o desempenho econômico e ambiental de fazendas leiteiras, e que propriedades que tem um balanço de fósforo menor são mais rentáveis em relação às de maior balanço.

Pode-se combater a entrada excessiva de adubos minerais na fazenda leiteira, realizando aplicação eficiente de esterco em lavouras, o que pode diminuir a dependência de fertilizante importado, o que é positivo para a economia da fazenda (SVANBÄCK, et al. 2019). A aplicação eficiente se baseia na distribuição homogênea na área de produção forrageira, pois muitas vezes a disposição é realizada apenas perto do local de armazenagem e que leva em consideração a quantidade de nutrientes aplicado por área.

Sendo assim, uma forma de diminuir as importações é substituir fertilizantes minerais por esterco produzido na fazenda. Outra forma é diminuir a compra de concentrados. Os resultados obtidos na fazenda experimental De Marke mostraram que através da diminuição de importação de adubo mineral e de alimentos o balanço de N diminuiu de forma que a concentração de NO_3 na água subterrânea abaixou até o limite máximo permitido de 50 mg de NO_3 por litro (NEETESON, 2000).

Introduzir balanço de nutrientes em fazendas aumenta a consciência do fluxo de nutrientes no sistema e a informação pode servir de guia para melhorar o manejo de nutrientes; em Flemish (sul da Holanda), fazendas produtoras de leite aumentaram a eficiência de uso de 1989 até 2001, diminuindo o balanço de N de 378 kg ha^{-1} para 238 kg ha^{-1} ; a relativa eficiência de uso foi de 15% para 22%; isso significa que o aumento na eficiência de uso (e diminuição do balanço

positivo) também é benéfico do ponto de vista econômico (NEVENS et al., 2006). Sendo assim, o método se torna um aliado à análise de solo, podemos entender melhor as dinâmicas de teor dos nutrientes tendo em mãos o balanço.

Em Portugal, Fangueiro et al., 2008 analisou o balanço de N, P e K em três grupos de produtores de leite, sendo essas propriedades consideradas de produção medianamente intensiva, intensiva e muito intensiva durante os anos de 2003, 2004 e 2005. Os resultados mostraram que o balanço positivo de N por hectare variou entre 200 e 850 kg ha⁻¹ e que foi positivamente correlacionado com a produção de leite e quantidade de vacas por hectare. Em todas as fazendas, as principais fontes de importação eram fertilizantes minerais e concentrados, enquanto o leite era a principal exportação. Os produtores envolvidos no estudo foram comunicados em termos de manejo de nutrientes e durante os três anos de estudo diminuíram significativamente o balanço, principalmente devido a diminuição de importação de adubos minerais. Sendo o assim, o estudo concluiu que campanhas de conscientização entre os proprietários é eficiente para reduzir o balanço positivo.

Em Lincoln University Dairy Farm, Nova Zelândia, Moir 2007 ao fazer a quantificação de nutriente dividido pela área que recebe o dejetos, foi possível diminuir a adubação em 185 kg de N; 20 kg de P; 201 kg de K e 16 kg de S por hectare por ano. O trabalho nos dá um panorama sobre como a ferramenta pode ser eficiente em manejar os nutrientes na propriedade.

Na Austrália, Gourley et al., (2012) analisou as importações e exportações de N, P, K, e S (enxofre), durante um ano em 41 propriedades leiteiras. Nesse estudo, o leite era o principal exportador de nutrientes da fazenda, sendo que na média das propriedades, fertilizantes eram os maiores responsáveis por entradas de N, P e K. O balanço de N variou de 47 a 601 kg ha⁻¹ ano⁻¹ com média de 193 kg ha⁻¹ ano⁻¹; o balanço de P variou de -7 a 133 kg de P ha⁻¹ ano⁻¹ com média de 26 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e o balanço de potássio de 13 a 452 kg ha⁻¹ ano⁻¹, com média de 74 kg ha⁻¹ ano⁻¹. O trabalho afirma que os balanços tiveram alta correlação com a densidade de animais por hectare e a produção de leite por hectare; sendo que maior produção de leite por unidade de área leva a maior balanço de nutrientes, o que pode aumentar o potencial de impactos ambientais.

No entanto, o balanço ideal pode depender do teor do elemento no solo; caso esteja excessivamente alto, seria desejável um balanço negativo, para que diminua as reservas do solo, caso os teores do elemento no solo estejam menores que os desejados, seria interessante um balanço positivo, para construir a fertilidade do mesmo (OENEMA, et al. 2003); tendo cautela para que caso o balanço positivo, não leve a perdas do elemento para o ambiente.

Essa cautela reside no fato de que, como relatado por NÉMERY & GARNIER (2016), ocorre o aumento na concentração de P em bacias hidrográficas quando foi aplicado grandes quantidades de fertilizantes, e que essa concentração entrou em declínio quando a saída do elemento da bacia foi maior que a entrada dentro da mesma; a autora chama a atenção da importância de identificação de áreas de acumulação de fósforo para melhores práticas de manejo, como redução na adubação fosfatada mineral, melhoria no manejo do esterco e práticas de controle de erosão.

O balanço positivo de nutrientes tende a aumentar os teores do elemento no solo podendo chegar a teores acima do recomendado para o cultivo agrícola. Como exemplo, segundo Toth et al. (2006), devido à imobilidade do nutriente, o P que é aplicado no solo e não é retirado pelas plantas, tende a acumular no solo, podendo levar a teores muito mais elevados que o necessário para o ótimo crescimento das culturas.

Para que seja possível realizar o manejo de nutrientes de forma eficiente, é importante conhecer sua dinâmica no sistema de produção de leite pois diferentes nutrientes podem variar de comportamento no solo e no ambiente, sendo necessário diferenças de práticas e de abordagem.

4.3 NUTRIENTES

4.3.1 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um dos nutrientes primários e é crítico para a sobrevivência de todos os organismos vivos; mesmo que este elemento seja

muito abundante na atmosfera, o nitrogênio é inacessível para a maior parte dos organismos nesta forma (BERNHARD, 2010).

A atividade humana cria formas reativas de nitrogênio através de três mecanismos: 1) fixação biológica de N associado à agricultura 2) produção de fertilizante nitrogenado 3) através da queima de combustíveis fósseis (reação N e O (oxigênio)); sendo que a maior mudança no século 20 foi devido a produção de fertilizantes nitrogenados; a fixação sintética de nitrogênio agora domina as entradas de N na agricultura. A descoberta do processo Haber Bosch alimentou a revolução verde e permitiu uma expansão em massa da agricultura mundial, sendo que em 2008 foi estimado que 80% do N nas proteínas do humano é derivado inicialmente do processo Haber-Bosch, utilizado como processo industrial para obtenção do N atmosférico. Globalmente, a produção de nitrogênio sintético fertilizante é o sozinho, o maior responsável pela alteração do ciclo do N por humanos, sendo que em muitas regiões, a agricultura domina o fluxo de nitrogênio. (HOWARTH, p. 14-20, 2008).

Globalmente, a adição de N para produção agrícola, incluindo fertilizantes orgânicos e sintéticos, fixação biológica e deposição atmosférica tem quadruplicado desde 1960, em 40 TgN ano⁻¹, alcançando 161 TgN ano⁻¹; a remoção de N através da colheita foi 22 TgN ano⁻¹ em 1961 e 73 TgN ano⁻¹; sendo que as dimensões de balanços de nutriente são dominados por alguns países ou regiões, incluindo China, Índia, os Estados Unidos, Rússia e Brasil, que contabilizam 56-64% das entradas e saídas do N global em 2000, e 56-66% em 2010 (ZHANG, et al. 2021).

Em maior parte, o ciclo do N não é um ciclo global, e o nitrogênio reativo se move geralmente centenas de metros e talvez centenas de quilômetros através da atmosfera, rios e oceanos. Uma exceção é o gás N₂O (potente gás de efeito estufa que também contribui para a destruição do ozônio na estratosfera), que tem um tempo de residência na atmosfera de aproximadamente 120 anos. Em contraste, compostos reativos como amônio e nitrato tem tempo de residência no planeta de aproximadamente um dia devido a rápida assimilação em processos biológicos. Devido à maior parte do nitrogênio reativo se mover apenas a pequenas distancias e a quantidade de nitrogênio criado tanto da forma natural quanto de formas artificiais variam de

região para região ao redor do planeta. As consequências da aceleração humana do ciclo do N também diferem em escalas regionais. (HOWARTH, p. 14-20, 2008).

O destino do N que é adicionado em excesso é altamente variável e difícil de prever, ele é afetado por fatores internos da fazenda como tipo de solo, hidrologia, intensidade do uso da terra, práticas de manejo e através de fatores externos como condições meteorológicas; no entanto, grande parte pode ser perdido para o ambiente por processos como desnitrificação, volatilização de amônia, escoamento superficial e lixiviação de nitrato, sendo que a dimensão do excesso de N é um indicador útil para a sustentabilidade do sistema, menor o balanço, menor o risco de danificar o ambiente (TREACY et al., 2008).

A adição de N é crucial para produção alimentar, porém, sua adição em excesso em muitas partes do mundo contribui para problemas ambientais (KANTER, et al. 2020 p. 27-32).

A saída não intencional de formas de N reativas de solos agricultáveis causa contaminação de lençol freático, eutrofização de rios e ecossistemas aquáticos, poluição atmosférica ligada a emissão de óxidos de N e gás amônia, e acumulação de óxido nítrico; sendo o balanço de N um útil indicador para se reconhecer potenciais perdas de N para o ambiente por solos agricultáveis; alguma parte do excedente de N aplicado recicla dentro do solo, mas a maior parte do excesso é perdido para o ambiente a longo prazo, porque a diferença entre entrada anual e saída é geralmente grande em relação a diferenças de estoque de N no solo (ZHANG, et al. 2015).

As estimativas de entrada e saída de N de lavoura é essencial para melhorar o seu manejo e entender melhor o seu ciclo global. Esse método começou a ser utilizado por políticas públicas para monitorar o impacto ambiental da produção agrícola e estimar os impactos em bacias hidrográficas em escalas regionais e nacionais (ZHANG, et al. 2021).

Decisões a nível de fazenda é crucial para melhorar o manejo de N e sua eficiência de uso, comumente denominado como a razão entre a saída e entrada, é um indicativo popular para medir a melhora (KANTER, et al. 2020).

Os indicadores de N são um fator chave para caracterizar a performance da fazenda, porque devido ao papel do N na produção de alimento e

sustentabilidade ambiental. Um monitoramento sistemático do balanço de N ao nível de fazenda pode contribuir para entender as diferenças no manejo e nos impactos entre as fazendas entre as regiões, sendo que agricultores são de longe os mais importantes manejadores de N em termos de fluxo de N total (QUEMADA, et al. 2020 p. 102689).

4.3.2 Fósforo

Para as plantas, a origem do P nos solos provém do resíduo mineral dos solos ou aplicação de fertilizantes minerais e dejetos orgânicos; o P só pode ser restituído ao solo através de fontes externas (não pode ser fixado igual ao nitrogênio) e sua saída do sistema se dá por produtos agrícolas ou por erosão (Fageria, 2016).

O P foi provado essencial para as plantas em 1839, por Justus von Liebig e sua adubação, mesmo que não intencional, sempre ocorreu desde o início da agricultura; através da aplicação de esterco, biomassa animal e vegetal (Barker & Pilbeam, 2006). O elemento está sempre presente no metabolismo das plantas, entre suas funções principais, o nutriente é: constituinte de moléculas grandes ou agrupamento de moléculas como o DNA e o RNA; é o elemento transferidor de energia química no ATP; participa como regulador de diversas vias sintéticas (Kerbaui, 2004). Vastas áreas da agricultura brasileira apresentavam deficiência de P nas últimas décadas, porém, essa situação foi reduzida com o uso crescente de fertilizantes minerais e calagem (Van Raij, 2017).

Em decorrência da alta adsorção do P com a fração mineral do solo, a concentração do elemento na solução do solo geralmente é baixa; sendo precipitado na forma de fosfato de cálcio, magnésio, ferro e alumínio (Grant, et al. 2001). O fósforo tem três compartimentos no solo: fósforo em solução, fósforo lábil e fósforo não lábil; as plantas adquirem o fósforo a partir da solução do solo, e a solução do solo está em equilíbrio rápido com o fósforo lábil, e este, com o fósforo não lábil, que é representado por compostos insolúveis e que somente lentamente podem se transformar em fosfatos lábeis (Van Raij, 2017). Devido à natureza praticamente imóvel no solo, ele é aderido às partículas minerais

superficiais; solos com um teor de P excessivamente alto é associado a maiores taxas de escoamento do nutriente para fora das áreas agricultáveis (Sharpley, et al. 1994; Toth, 2006).

O P utilizado em fertilizantes químicos é minerado de rochas e tem seu estoque finito (Elser & Bennett, 2016). Atualmente, três quartos das reservas que conhecemos do elemento encontram-se no Marrocos, a possibilidade de escassez do elemento e volatilidade de preço é uma ameaça à produção de alimentos e segurança alimentar (Macintosh, et al. 2019).

O ciclo biogeoquímico do fósforo difere de outros grandes ciclos devido ao elemento não apresentar nenhuma forma volátil; por ocorrer ausência do elemento na atmosfera, não há a suspensão do elemento das regiões oceânicas de volta para as regiões continentais mais altas, sendo assim, em uma menor escala de tempo o ciclo é basicamente unilateral, sendo o fluxo proveniente do continente e de áreas altas, chegando até o oceano através dos rios na forma de sedimento (Aduan et al, 2004).

4.3.3 Potássio

As principais fontes de adição de potássio para crescimento de plantas são fertilizantes químicos, resíduos de culturas, esterco e rochas potássicas; sendo que as principais formas de extração do solo são remoção pela culturas, perdas por lixiviação, erosão e escoamento superficial; sendo que a maior parte do potássio está presente na palha, que quando é retirado a extração de potássio do solo será muito mais rápido; sendo assim, suprir adequadamente o potássio para culturas não só apenas é importante para aumentar a produtividade mas também para reduzir o custo de produção, reduzir a poluição ambiental e maximizar a eficiência de uso do K (FAGERIA, 2016).

Características do solo como tipos de minerais, capacidade de troca catiônica afetam a disponibilidade de K, além de práticas como aplicação de fertilizantes e a ciclagem de nutrientes pelas plantas; então a aplicação insuficiente de adubo pode levar ao esgotamento das reservas do solo, e a

aplicação excessiva pode intensificar as perdas, mesmo em solos com média e alta capacidade de troca catiônica (WERLE, 2016).

O potássio é um elemento que se encontra no esterco totalmente na forma solúvel e se torna disponível às plantas logo após a sua aplicação, com efeito residual muito curto (DURIGON et al., 2002).

Além de impactos ambientais, excesso de acumulação de nutriente e consequentemente excessiva absorção do mesmo pela planta, pode causar problemas na saúde animal e impactar a produção; o K quando fornecido em excesso para os ruminantes, podem causar problemas metabólicos graves (GOURLEY et al., 2012).

5. CONCLUSÕES

O método Farm Gate se mostra apto para auxiliar no manejo de nutrientes dentro de um sistema de produção animal, além de útil para identificar acúmulos de nutrientes e fazendas que podem estar causando problemas ambientais através de balanços excessivamente altos; sendo um método simples de ser realizado e podendo ser difundido entre os produtores.

Em doses corretas, o esterco é uma boa fonte de nutrientes, melhora a qualidade do solo e aumenta a produção agrícola. Podendo muitas vezes, substituir os fertilizantes minerais, beneficiando economicamente a fazenda e sendo mais ambientalmente correto. Porém são necessários métodos auxiliares para quantificarmos essas doses. Para isso, o método Farm Gate se mostra um método eficiente.

6. REFERÊNCIAS

Anuário leite 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1132875/anuario-leite-2021-saude-unica-e-total#:~:text=Resumo%3A%20Nesta%20edi%C3%A7%C3%A3o%20do%20Anu%C3%A1rio,biosseguridade%20em%20fazendas%20de%20leite.>

ADENUGA, Adewale Henry et al. Estimation and determinants of phosphorus balance and use efficiency of dairy farms in Northern Ireland: A within and between farm random effects analysis. **Agricultural Systems**, v. 164, p. 11-19, 2018.

BARTH, Gabriel et al. Does Dairy Liquid Manure Complementary to Mineral Fertilization Increase Grain Yield Due to Changes in Soil Fertility?. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, 2020.

BERNHARD, Anne. The nitrogen cycle: processes. **Players, and Human**, 2010.

CAVALCANTE, J. S. et al. Long-term surface application of dairy liquid manure to soil under no-till improves carbon and nitrogen stocks. **European Journal of Soil Science**, v. 71, n. 6, p. 1132-1143, 2020.

DURIGON, R. et al. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 983-992, 2002.

D'HAENE, Karoline et al. Nitrogen and phosphorus balances of Hungarian farms. **European journal of agronomy**, v. 26, n. 3, p. 224-234, 2007

FAGERIA, Nand Kumar. **The use of nutrients in crop plants**. CRC press, 2016. 91-123p.

FANGUEIRO, David et al. NPK farm-gate nutrient balances in dairy farms from Northwest Portugal. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 625-634, 2008.

FAVARETTO, Nerilde et al. Can application of liquid dairy manure onto no-tillage oxisols reduce runoff, sediment, phosphorus, and nitrogen losses over 9 years of natural rainfall?. **Geoderma**, v. 405, p. 115406, 2022.

Gong, W., Yan, X., Wang, J., Hu, T., Gong, Y., 2009. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat–maize cropping system in northern China. *Geoderma* 149 (3-4), 318–324. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.12.010>.

GOODLASS, G.; HALBERG, Niels; VERSCHUUR, G. Input output accounting systems in the European community—an appraisal of their usefulness in raising awareness of environmental problems. **European Journal of Agronomy**, v. 20, n. 1-2, p. 17-24, 2003.

GOURLEY, Cameron JP et al. Farm-scale nitrogen, phosphorus, potassium and sulfur balances and use efficiencies on Australian dairy farms. **Animal Production Science**, v. 52, n. 10, p. 929-944, 2012.

GOURLEY, C. J. P. et al. Nutrient budgeting as an approach to improving nutrient management on Australian dairy farms. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 47, n. 9, p. 1064-1074, 2007.

HANIFZADEH, Mohammadmatin et al. Life cycle assessment of superheated steam drying technology as a novel cow manure management method. **Journal of environmental management**, v. 199, p. 83-90, 2017.

HAYGARTH, Philip M. et al. Sustainable phosphorus management and the need for a long-term perspective: The legacy hypothesis. 2014.

HOWARTH, Robert W. Coastal nitrogen pollution: a review of sources and trends globally and regionally. **Harmful algae**, v. 8, n. 1, p. 14-20, 2008.

KANTER, David R. et al. Nitrogen pollution policy beyond the farm. **Nature Food**, v. 1, n. 1, p. 27-32, 2020.

KOELSCH, Rick. Evaluating livestock system environmental performance with whole-farm nutrient balance. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, n. 1, p. 149-155, 2005.

KLEINMAN, Peter et al. Managing manure for sustainable livestock production in the Chesapeake Bay Watershed. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 67, n. 2, p. 54A-61A, 2012.

MELLEK, Jose Elias et al. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 69-76, 2010.

MILLER, Christine MF et al. Optimizing accuracy of sampling protocols to measure nutrient content of solid manure. **Waste Management**, v. 85, p. 121-130, 2019.

MOIR, James L.; CAMERON, Keith C.; DI, Hong J. Nutrient management on the Lincoln University dairy farm:" nutrient budgeting for efficient production". 2007.

NEETESON, J. J. Nitrogen and phosphorus management on Dutch dairy farms: legislation and strategies employed to meet the regulations. **Biology and fertility of soils**, v. 30, n. 5, p. 566-572, 2000.

NÉMERY, Julien; GARNIER, Josette. Biogeochemistry: The fate of phosphorus. **Nature Geoscience**, v. 9, n. 5, p. 343, 2016.

NEVENS, Frank et al. Farm gate nitrogen surpluses and nitrogen use efficiency of specialized dairy farms in Flanders: evolution and future goals. **Agricultural systems**, v. 88, n. 2-3, p. 142-155, 2006.

ÖBORN, I. et al. Element balances as a tool for sustainable nutrient management: a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic and environmental context. **European Journal of Agronomy**, v. 20, n. 1-2, p. 211-225, 2003.

OENEMA, Oene; KROS, Hans; DE VRIES, Wim. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. **European Journal of Agronomy**, v. 20, n. 1-2, p. 3-16, 2003.

SCHRÖDER, J. J. et al. The effects of nutrient losses from agriculture on ground and surface water quality: the position of science in developing indicators for regulation. **Environmental Science & Policy**, v. 7, n. 1, p. 15-23, 2004.

SNEATH, G.; FURNESS, H. Progress in developing and implementing nutrient management tools and systems for New Zealand agriculture. Implementing sustainable nutrient management strategies in agriculture. In: **Proceedings of the Fertilizer and Lime Workshop'**.(Eds LD Currie, JA Hanly)(Massey University: Palmerston North, New Zealand). 2006.

TREACY, Mark et al. Farm-gate nitrogen balances on intensive dairy farms in the south west of Ireland. **Irish Journal of Agricultural and Food Research**, p. 105-117, 2008.

QUEMADA, M. et al. Exploring nitrogen indicators of farm performance among farm types across several European case studies. **Agricultural Systems**, v. 177, p. 102689, 2020.

SVANBÄCK, Annika et al. Reducing agricultural nutrient surpluses in a large catchment—Links to livestock density. **Science of the total environment**, v. 648, p. 1549-1559, 2019.

TOTH, John D. et al. Nitrogen-vs. phosphorus-based dairy manure applications to field crops. **Journal of environmental quality**, v. 35, n. 6, p. 2302-2312, 2006.

VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; DA SILVA, Assunta Maria Marques. Contribuição da cidade de Botucatu-SP com nutrientes (fósforo e nitrogênio) na eutrofização da represa de Barra Bonita. **Eclética Química Journal**, v. 22, n. 1, 2018.

WERLE, Rodrigo; GARCIA, Rodrigo Arroyo; ROSOLEM, Ciro Antonio. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2297-2305, 2008.

ZHANG, Xin et al. Managing nitrogen for sustainable development. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 51-59, 2015.

ZHANG, Xin et al. Quantification of global and national nitrogen budgets for crop production. **Nature Food**, v. 2, n. 7, p. 529-540, 2021.