

## Parâmetros sobre ciclagem de nutrientes em pastagens: Revisão

Victor Gabriel Souza de Almeida<sup>1\*</sup>, Daniel Oliveira Dias<sup>1</sup>, Ana Luiza Fontes Peixoto<sup>2</sup>, Ednaira Porto de Souza<sup>1</sup>, Silmara dos Santos<sup>2</sup>, Simone Bento da Silva<sup>3</sup>, Reizane Rocha de Jesus<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro(a) Agrônomo(a), Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

<sup>2</sup>Zootecnista, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

<sup>3</sup>Discente do Curso de Zootecnia, UFRB, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

\*Autor para correspondência, e-mail: [victor.gsa11@gmail.com](mailto:victor.gsa11@gmail.com).

**Resumo.** As discussões sobre as questões de produção agropecuária sustentável estão em evidência, isto se deve aos problemas atuais que a humanidade está enfrentando com as mudanças climáticas, degradação dos solos e produções agrícolas insustentáveis, visto que, na proporção que a população mundial aumenta, mais se torna necessário a produção de alimentos, porém as práticas agropecuárias não adequadas estão acelerando os problemas anteriores já citados. Diante do que foi exposto, surge o manejo de pastagens como um fator chave para a preservação ambiental e a qualidade de ecossistemas, visto que, a produção forrageira e a produção animal andam juntas e são responsáveis por grande parte da produção agropecuária ao redor do mundo. O presente trabalho objetiva explicar sobre a ciclagem de nutrientes em pastagens, cujo fenômeno é de extrema importância para a conscientização do correto manejo das pastagens e consequentemente da produção sustentável, desde o início do plantio da forrageira, seu crescimento e consumo pelos animais de produção. O correto manejo do pasto pode colaborar significativamente com a redução da degradação do solo ao redor do mundo.

**Palavras-chave:** Ciclagem, pastagem, sustentabilidade

### *Parameters on nutrient cycling in pastures: Review*

**Abstract.** In current times, discussions on issues of sustainable agricultural production are in evidence. This is due to the current problems that humanity is facing with climate change, soil degradation and unsustainable agricultural production since, in proportion to the world's population increase, food production becomes increasingly necessary. However, inadequate agricultural practices are accelerating the aforementioned problems. In view of the above, pasture management emerges as a key factor in environmental preservation and the quality of ecosystems, since forage production and animal production go hand in hand and are responsible for a large part of agricultural production around the world. The present work aims to explain the cycling of nutrients in pastures, which is of extreme importance for sustainable production and proper pasture management awareness, from the beginning of forage planting to its growth and consumption by production animals. Proper pasture management can contribute significantly to reducing soil degradation around the world.

**Keywords:** Cycling, pasture, sustainability

### *Parámetros sobre ciclo de nutrientes en pasturas: Revisión*

**Resumen.** Actualmente se evidencian discusiones sobre temas de producción agrícola sostenible, esto se debe a los problemas actuales que enfrenta la humanidad con el cambio climático, la degradación de los suelos y la producción agrícola no sostenible, ya que, en proporción a que aumenta la población mundial, a mayor cantidad de alimentos. la producción se hace necesaria, pero las prácticas agrícolas inadecuadas están acelerando los

problemas antes mencionados. Ante lo anterior, el manejo de los pastos surge como un factor clave para la preservación ambiental y la calidad de los ecosistemas, ya que la producción forrajera y la producción animal van de la mano y son responsables de gran parte de la producción agrícola a nivel mundial. El presente trabajo tiene como objetivo explicar acerca del ciclo de nutrientes en los pastos, cuyo fenómeno es de suma importancia para la concientización del correcto manejo de los pastos y consecuentemente de la producción sustentable, desde el inicio de la siembra de forrajes, su crecimiento y consumo por parte de los animales de producción. El manejo correcto de los pastos puede contribuir significativamente a reducir la degradación del suelo en todo el mundo.

**Palabras clave:** Ciclo, pasto, sustentabilidad

## Introdução

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas naturais é a chave para se compreender a estabilidade desses sistemas na ausência de incremento de nutrientes de fontes externas que são comuns na agricultura e na pecuária ([Adami & Soares, 2009](#); [Souza et al., 2018](#)). Nutrientes podem ser definidos como os elementos orgânicos e inorgânicos (e.g., C, N, P, K) presentes no ecossistema da pastagem. Estes nutrientes ciclam entre diferentes compartimentos deste ecossistema, tais como solo-planta-animal-atmosfera, passando por modificações moleculares que os tornam com maior ou menor disponibilidade para utilização pelos microrganismos do solo, comunidade vegetal e animais em pastejo ([Adami & Soares, 2009](#); [Gomide et al., 2003](#)).

De acordo com os últimos Censos Agropecuários realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ([IBGE, 2023](#)), a área total de pastagens em estabelecimentos rurais do Brasil era de 149,67 milhões de ha e a recomposição da fertilidade das terras por meio de fertilizantes químicos não é prática tão comum. Desta forma, todos os nutrientes são passíveis de estudos, desde os que representam a porção estrutural das plantas (C, H, O e N), os macronutrientes e os micronutrientes necessários para o metabolismo vegetal. Além de se considerar as entradas e saídas (perdas) dos elementos num ecossistema para o estudo dos ciclos biogeoquímicos, deve-se levar em conta como esses nutrientes retornam ao ambiente ([Souza et al., 2018](#)). O sistema de pastagens sustentável é aquele capaz de ser produtivo, atender as necessidades principais do produtor rural, sem deteriorar o seu solo e ser vantajoso financeiramente ([Barcellos et al., 2008](#)).

Este trabalho teve como objetivo, explanar sobre a ciclagem de nutrientes em pastagens, a importância de conhecer o processo e principalmente o que mudou em relação às técnicas aplicadas com as novas informações sobre a ciclagem de nutrientes.

## Histórico dos estudos sobre a ciclagem de nutrientes em pastagens

No Brasil, o tema da ciclagem de nutrientes em pastagens é relativamente recente, sendo alvo de estudos e pesquisas científicas, motivadas pela necessidade de evitar o desperdício de recursos com o uso excessivo de adubos químicos e, consequentemente, a preservação do solo e do meio ambiente ([Ferreira et al., 2011](#); [Souza et al., 2018](#)). [Monteiro & Werner \(1994\)](#) foram uns dos pioneiros a tratar sobre o assunto no país de forma mais detalhada com foco em pastagens. Na sua obra relataram sobre como os nutrientes minerais essenciais para o crescimento das plantas, saem e retornam para o pasto e de como as técnicas de manejo do solo influenciam na ciclagem dos nutrientes.

[Wandelli et al. \(2000\)](#) utilizaram dois sistemas agroflorestais (SAFS) para a promoção da ciclagem de nutrientes para a recuperação de área de pastagens degradadas. Neste estudo, foi comparada a dinâmica da fertilidade, a ciclagem de nutrientes e a cobertura vegetal com a vegetação secundária de uma pastagem abandonada em Manaus, Amazonas, Brasil, onde evidenciaram a eficiência do SAFS para a recuperação da paisagem e do solo. Esse progresso só foi alcançado com a reposição dos nutrientes no solo, da cobertura permanente do solo (material vivo e morto), dentre outras práticas que favoreçam a microbiota do solo agirem na ciclagem de nutrientes e nas condições físicas do solo. [McCafery et al. \(2000\)](#) obtiveram resultados similares ao utilizar os SAFS em área de pastagem degradada em comparação com floresta secundária, em que os sistemas agroflorestais com ingá, gliricídia e jenipapo, contribuíram para o estoque de carbono no solo e na ciclagem de nutrientes. [Maciel](#)

[et al. \(2014\)](#) e [Silva et al. \(2016\)](#) ao relatarem a quantidade de material morto em uma pastagem natural após cinco anos de aplicação de fertilizantes, diferimentos e pressões de pastejo, em que observaram o aumento do material morto e acúmulo de matéria seca em função da oferta de forragem e da adubação. Esse material morto contribui para a cobertura do solo, evitando a erosão e permite uma maior ciclagem de nutrientes, resultando em pastagens de melhor qualidade pela maior quantidade de folhas verdes ([Rodrigues et al., 2009](#)).

### Ciclos biogeoquímicos

A transferência de nutrientes envolvendo a biota e o meio físico dentro de um ecossistema inicia-se pela absorção de nutrientes do solo pelos organismos autotróficos e termina como o retorno desses nutrientes via resíduos animais e vegetais ([Ferreira et al., 2011](#); [Souza et al., 2018](#)). Segundo [Momolli & Schumacher \(2019\)](#), a compreensão de conhecer os mecanismos de ciclagem de nutrientes, se torna uma ferramenta essencial para auxiliar os produtores rurais em relação à fertilidade do solo. Em virtude da busca de formas de otimizar o sincronismo entre a disponibilidade e a demanda de nutrientes pelas culturas e pelos animais, com o objetivo de diminuir as perdas de nutrientes por lixiviação, desnitrificação e volatilização, ou até mesmo a imobilização microbiana por longos períodos, e otimizar a produção vegetal e animal nas pastagens ([Monteiro & Werner, 1994](#); [Souza et al., 2018](#); [Valente et al., 2011](#)).

Segundo [Anghinoni et al. \(2011\)](#), a ciclagem de nutrientes pode ser entendida, como o movimento (fluxo) dos nutrientes entre os diversos ambientes (atmosfera-vegetal-animal-solo) do sistema de produção forrageira, em uma série de processos e reações químicas nos respectivos ciclos biogeoquímicos. Desta forma, a ciclagem de nutrientes compreende a medição da quantidade de nutrientes e da velocidade de transferência destes de um ambiente para outro, chegando-se, finalmente, ao seu equilíbrio no sistema ([Souza et al., 2018](#)). A mais alta compreensão sobre a ciclagem de nutrientes é fundamental para o uso eficiente destes próprios nutrientes do solo, dos resíduos (animais e vegetais) e dos fertilizantes. Assim sendo, o profissional responsável pelo cultivo, deve saber relacionar a sincronia da disponibilização dos nutrientes pelas diferentes fontes com a demanda da cultura forrageira instalada, para estabelecer a adubação eficiente para o sistema. Segundo [Almeida et al. \(2015\)](#), para que a meta da sustentabilidade na produção forrageira seja alcançada, é necessário o entendimento do funcionamento dos compartimentos integrantes do ecossistema de pastagem. Este sistema permanece em constante perturbação humana, devido à necessidade de aumento da produtividade promovida pelas novas tecnologias e pelas necessidades do mercado ([Barcellos et al., 2008](#); [Rita et al., 2018](#)).

Os nutrientes presentes nos ecossistemas se movimentam (circulam) entre os seus diversos compartimentos em ciclos denominados biogeoquímicos, estudados em uma ciência (Biogeoquímica) que trata da troca ou da circulação de matéria entre os componentes vivos e físico-químicos da biosfera ([Anghinoni et al., 2011](#)). Ainda, segundo os mesmos autores, o termo (bio), estuda os fenômenos da ciclagem de nutrientes envolvendo os organismos vivos que interagem na ciclagem de nutrientes, criando ou decompondo substâncias. O termo (geo), se refere ao solo, como principal fonte de nutrientes para as plantas forrageiras e o termo químico faz referência ao ciclo de todos os elementos químicos.

Na prática, os ciclos biogeoquímicos normalmente começam a ser estudados, quando os vegetais absorvem a água e os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento a partir do solo. Com a senescência dos tecidos vegetais, após cumprirem com sua finalidade fisiológica, elas retornam ao solo, sofrem decomposição (mineralização), liberando CO<sub>2</sub> e nutrientes minerais na solução do solo. A entrada de animais no sistema de pastagens, modifica as quantidades e os fluxos dos nutrientes, uma vez que estes participam de forma direta e indireta na ciclagem de nutrientes no sistema de pastejo ([Gama et al., 2013](#); [Gomide et al., 2003](#)). De uma forma geral, na abordagem químico-mineralista da fertilidade do solo, a ciclagem é apresentada de forma individual para os nutrientes, com enfoques diferenciados, mais ou menos complexos. Mesmo assim, pode-se distinguir, dentre os macronutrientes, a predominância bioquímica em alguns nutrientes, como carbono, nitrogênio e enxofre, e predominância geoquímica em outros, como fósforo, potássio, cálcio e magnésio” ([Anghinoni et al., 2011](#)).

Segundo [Monteiro & Werner \(1994\)](#), o manejo da pastagem e do solo pode alterar a eficiência de utilização dos mesmos, além de afetar a ciclagem dos nutrientes de forma positiva (melhor utilização) ou negativa (perda de nutrientes), refletindo em aumento na produtividade ou até mesmo na degradação

dos solos. Somado a isso, fatores que influenciam a ciclagem de nutrientes entre os componentes do sistema (solo, planta, animal), como a intensidade de pastejo, a taxa de lotação de animais e a adubação nitrogenada precisam ser melhor correlacionados, com a finalidade de obter um melhor entendimento sobre os processos envolvidos e de propor práticas de manejo de pastagens, que permitam uma otimização do uso dos recursos naturais ([Euclides & Barbosa, 2008](#); [Fonseca & Santos, 2009](#); [Pereira et al., 2018](#)).

### Parte biológica do sistema

A decomposição da serrapilheira é uma das principais vias de fornecimento de elementos orgânicos e inorgânicos para os processos de ciclagem de nutrientes, além de controlar o retorno desses nutrientes ao ecossistema ([Crespo, 2016](#)). Uma parte dos nutrientes minerais, de maneira geral, retorna à superfície do solo por meio da decomposição da serrapilheira, que são em parte mineralizados no solo, aumentando assim a sua ofertabilidade para as plantas que irão crescer neste ambiente ([Teklay & Malmer, 2004](#)).

Segundo [Almeida et al. \(2015\)](#), a decomposição da matéria orgânica material oriundas das plantas e das excretas dos animais de produção, é um dos principais fatores que influenciam na ciclagem dos nutrientes, enquanto que os minerais poderão ser imobilizados ou não pela microbiota durante o processo de decomposição da matéria orgânica. A microflora e microfauna do solo possuem grande responsabilidade na ciclagem de nutrientes no sistema do solo ([Assis et al., 2019](#); [Ribeiro et al., 2009](#)). A liberação de nutrientes minerais dos resíduos animais e vegetais é dependente da atividade microbiológica.

A temperatura e a umidade atmosférica influenciam de forma considerável sobre taxas de decomposição, uma vez que a maior parte dos decompositores (macro e microbiota) responde em sua atividade metabólica à umidade do solo e cessam ou diminuem a sua atividade pelo menos em determinado período, quando a umidade diminui para um determinado valor crítico ([Isaac & Nair, 2005](#)). Segundo [Almeida et al. \(2015\)](#), além das condições climáticas (temperatura e umidade), as taxas de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes dependem da própria qualidade e quantidade da matéria orgânica disponíveis para ser decompostas no solo e de características físicas (textura, densidade), químicas (concentração de nutrientes) e biológicas (biomassa microbiana, composição e diversidade) do solo, com isso, pode-se perceber que a ciclagem de nutrientes é um processo complexo, e que depende de inúmeros fatores relacionados com a atmosfera, as plantas, os animais e do solo que está em processo de manejo, formando com todos esses fatores, o ambiente de produção.

A taxa de decomposição do material vegetal é um importante caminho para se determinar o ciclo de nutrientes minerais, indicando a eficiência do sistema ([Almeida et al., 2015](#)). Por outro lado, a remoção da biomassa vegetal do solo, associada ao pisoteio pesado dos animais em altas intensidades de pastejo, pode alterar as propriedades do solo, como a densidade, a umidade e a capacidade de troca de cátions, diminuindo a biomassa microbiana do solo a ponto de impactar negativamente as taxas de decomposição e ciclagem de nutrientes, afetando assim a produtividade primária (vegetal) e secundária (animal).

Todavia, a remoção da cobertura vegetal junto com altas intensidades de pastejo pode piorar as características do solo, como um aumento da densidade, redução da umidade e da comunidade microbiana, refletindo em menor taxa de decomposição da matéria orgânica ([Almeida et al., 2015](#); [Anghinoni et al., 2011](#); [Souza et al., 2018](#)). Todavia, a presença de árvores em pastagens torna o microclima favorável também para organismos decompositores de serapilheira ([Crespo, 2016](#)), aumentando, conseqüentemente, a velocidade da decomposição do material orgânico. As características da serapilheira, assim como o clima, são cruciais para o processo de decomposição ([Bradford et al., 2016](#)). Desta forma, sistemas pecuários com maior biodiversidade, podem beneficiar a decomposição da matéria orgânica, maximizar a ciclagem de carbono e a formação do material orgânico do solo ([Lu et al., 2017](#)), além de acelerar a disponibilização de outros nutrientes para as plantas.

### Sistema solo

De acordo com [Anghinoni et al. \(2011\)](#), a movimentação dos nutrientes entre os diversos compartimentos em sistemas que relacionam o solo, a planta e o animal é complexo. Somado a isto, as pesquisas sobre os ciclos biogeoquímicos ainda não estão bem avançados no país. Todavia, há uma urgência da necessidade de se conhecer o fluxo e a dinâmica dos nutrientes em todo o sistema, principalmente, no perfil do solo. Por isso, as definições tomadas para um melhor aproveitamento dos

nutrientes do solo e para o estabelecimento de uma adubação eficiente para os sistemas integrados de produção agropecuária apenas serão atingidas com a compreensão e a quantificação dos processos que envolvem a ciclagem dos nutrientes.

O solo é um sistema polifásico e cada um desses sistemas são fundamentais para o estabelecimento de qualquer empreendimento agrícola. Em todos os sistemas de cultivo, o solo é o componente principal para garantir a sustentação, oferta de água e nutrientes para as plantas. Um solo de qualidade é o que apresenta equilíbrio em suas características físicas, químicas e biológicas (Korb et al., 2022). O solo é o habitat natural de diversos tipos de organismos vivos, desde bactérias a pequenos animais, que regem um ecossistema e garante a boa qualidade do solo e conseqüentemente o desenvolvimento da planta.

De acordo com Vendramini et al. (2014), a disponibilidade dos nutrientes minerais está relacionada em função de alterações químicas com o destino de serem utilizados pelos microrganismos do solo, espécies vegetais e animais dentro do sistema de pastagem. Além de se considerar as entradas e saídas (perdas) dos elementos químicos dentro de um ecossistema para o estudo dos ciclos biogeoquímicos, deve-se considerar, como esses nutrientes retornam ao ambiente. Neste caso, os resíduos vegetais e animais depositados sobre o solo numa pastagem, são considerados as principais vias de retorno de nutrientes ao sistema (Vendramini et al., 2014).

A ciclagem de nutrientes, resume-se no processo de absorção dos elementos químicos minerais pelas plantas, translocação interna entre os tecidos vegetais e transferência desses nutrientes acumulados na fitomassa, novamente para o sistema do solo, tornando-se disponíveis para serem reabsorvidos novamente pelos vegetais, sendo um ciclo fundamental para a manutenção da vida de qualquer ecossistema (Carvalho et al., 2010).

### Ciclo da água

A água é um elemento necessário para o desenvolvimento das plantas (Araújo, 2011; Feitosa & Feitosa, 2011; Holanda et al., 2016; Uaciquete et al., 2022). A água é utilizada pelos vegetais para a dissolução e transporte dos nutrientes na planta e para a sobrevivência dos animais e organismos vivos do solo (Lacerda et al., 2016; Pough et al., 2009). Para o solo, a água pode também ser uma força destrutiva, causando erosão e perdas de nutrientes, como também compactação e selamento superficial do solo. Práticas de manejo do solo, que contribuem com a infiltração de água no perfil do solo e que possibilita a capacidade de retenção da água na solução do solo, para aumentar a produtividade, pelo maior fornecimento da água para o crescimento das plantas e maior retorno aos mananciais subterrâneos, minimizando o poder da água de causar perdas de nutrientes.

Segundo Klein & Klein (2014), a infiltração da água no solo compreende o processo de entrada de água através da superfície. A água que infiltra é responsável pela recarga de aquíferos e mananciais. Estas mesmas águas, armazenadas no solo, via infiltração, é utilizada também pelas plantas, para que estas desempenhem suas funções biológicas. Com isso, conhecer a taxa de infiltração de água no solo é imprescindível para definir técnicas de manejo e conservação do solo, além de auxiliar em futuros planejamentos de técnicas de irrigação e drenagem (Alencar et al., 2009; Andrade et al., 2010; Holanda et al., 2016; Santos et al., 2017). Dentre as práticas de manejo do solo para a retenção de água no mesmo, destacam-se o mulching vertical, terraceamento, sistema plantio direto e cobertura do solo (Fernandes et al., 2015; Klein & Klein, 2014). A água é um recurso essencial para a vida, provavelmente o único recurso natural utilizado em todos os aspectos da civilização. Desta forma, independente do setor, é fundamental a sua preservação. Logo, considerando o solo como um reservatório de armazenamento de água, é imprescindível que a infiltração seja eficiente.

Segundo Alencar et al. (2009) e Vitor et al. (2009), boas práticas de manejo de conservação de água e solo em pastagens incluem manejo do pastejo em intensidades adequadas, evitando a superlotação de animais e conseqüentemente a provável compactação do solo, manutenção da cobertura vegetal sob o solo e aumento do teor de matéria orgânica, como também a utilização de gramíneas e leguminosas no terreno, visto que, essas espécies apresentam sistemas radiculares diferentes e absorvem água e nutrientes do solo de forma diferenciada. Um solo saudável possui a capacidade de armazenar água, principalmente, no cultivo de espécies forrageiras perenes, certa vez que essas plantas melhoram a

estrutura do solo, pela senescência e renovação das raízes quando sob pastejo e protegem o solo da erosão hídrica ([Dias-Filho, 2003](#); [Pereira et al., 2018](#)).

### Ciclo do carbono

Em escala mundial, os solos são reservatórios de pelo menos duas vezes mais carbono (C) do que a atmosfera ([Trumbore & Camargo, 2009](#)). Por consequência, as mudanças nos estoques de carbono do solo têm a capacidade de influenciar um papel importante nas variações do ciclo mundial do carbono. O manejo do carbono durante o uso da terra, pode ocasionar dificuldades no cumprimento de termos de liberação do carbono. Os estoques de carbono na vegetação e no sistema do solo dependem muito das formas de manejo da área ([Don et al., 2011](#)). Junto com o nitrogênio, o carbono também é um dos principais elementos que compõem a matéria orgânica no solo ([Gehlen, 2020](#)).

O carbono é transformado a partir do dióxido de carbono da atmosfera, em células vegetais pelo processo fotossintético. Estas células compõem a estrutura básica do vegetal que realiza a fotossíntese. Após a senescência e decomposição das células, o carbono que foi fixado pela fotossíntese é liberado ao solo na forma de compostos orgânicos ([Adami & Soares, 2009](#)). Estes compostos atuam na estruturação do solo, melhorando a qualidade do solo ([Adami & Soares, 2009](#)). “A matéria orgânica do solo controla as propriedades chave do solo, em particular, aquelas associadas à disponibilidade de nutrientes como um todo, à capacidade de retenção hídrica, e à fertilidade que a torna importante, além de seu papel no ciclo global de C” ([Trumbore & Camargo, 2009](#)).

Segundo [Adami & Soares \(2009\)](#), quando o material vegetal é utilizado na alimentação animal e está presente na forma de feno, silagem ou pastagem, as células vegetais podem ser consumidas pelos animais. Nesse processo, parte do carbono e energia presentes nos carboidratos das plantas são absorvidas e incorporada às células dos animais que estão realizando o pastejo. Outra parte do carbono se perde para a atmosfera como dióxido de carbono e parte da energia é perdida na forma de calor durante a digestão, ao decorrer do tempo que o animal cresce e respira. Por fim, a parte dos carboidratos e outros nutrientes que não são aproveitados pelos animais, são depositados no solo, na forma de urina e esterco.

A presença do carbono em solos não é homogêneo. O carbono consiste de uma ampla variação de componentes e estruturas químicas, que diferem quanto às suas taxas intrínsecas de decomposição e ao grau em que podem ser estabilizados nas interações com superfícies minerais ou inclusão em agregados do solo. Uma das grandes dificuldades de pesquisas científicas nesta área, é mensurar a quantidade de carbono a partir de características observacionais dos solos em si mesmos ([Trumbore & Camargo, 2009](#)).

Os microrganismos vivos presentes no solo utilizam a matéria orgânica, para a produção de substâncias que unem as partículas do solo e os estruturam em agregados. Os resíduos de matéria orgânica, após decomposição pelos organismos do solo, formam o húmus do solo ([Alves & Steyer, 2019](#)). Este material orgânico do solo, rico em carbono, é estável e essencial para manter a capacidade dos solos de absorver água e nutrientes ([Adami & Soares, 2009](#)).

A substituição de uma floresta nativa por pastagem cultivada reduz os teores de carbono orgânico total, carbono microbiano e o quociente microbiano e eleva a respiração basal ([Cardoso et al., 2009](#)). O sistema de pastejo contínuo da pastagem nativa diminui os teores de carbono orgânico total e carbono microbiano, e três anos sem pastejo são insuficientes para a melhoria desses atributos. O carbono microbiano é a característica mais sensível às alterações no perfil do solo, promovidas pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada e pelo sistema de pastejo contínuo em pastagem nativa, no Pantanal. Com isso, podemos verificar a fragilidade que o solo apresenta, ao mudar o seu sistema natural para um sistema de pastejo e por isso, o correto manejo da pastagem é fundamental para garantir a melhor ciclagem de carbono.

Os SAFs entram como um sistema estratégico para garantir a ciclagem de carbono ([Korb et al., 2022](#)). Os SAFs são exemplos de modelo de sistemas que têm a capacidade de armazenar carbono por décadas pelo seu sistema radicular, por isso, o investimento em SAFs se torna ideal para o sequestro de carbono no solo. As árvores oferecem, como benefício, a disponibilidade e ciclagem de nutrientes que estão localizados nos perfis mais profundos do solo pelas suas raízes, beneficiando o produtor na redução de custo com adubação química ([Pereira et al., 2021](#)). O uso de pastagens, potencializa a renovação de

raízes, reciclagem de nutrientes, aumento da matéria orgânica e palha do solo quando corretamente manejado ([Korb et al., 2022](#)). Os SAFs proporcionam vários benefícios ambientais. Como por exemplo, melhor utilização dos recursos naturais, como os alimentos, maior incorporação de matéria orgânica no sistema, redução da perda de nutrientes e água e corredor ecológico. Além disso, atrai e mantém a fauna silvestre, garantindo a preservação da biodiversidade ([Campos et al., 2006](#); [Kitamura & Rodrigues, 2001](#); [Vale et al., 2009](#)). Além do mais, é um notável método de fixação de carbono tanto na biomassa vegetal, composta pela parte aérea das plantas, quanto no solo pelas raízes, auxiliando na geração de serviços ambientais dentro do sistema ([McCafery et al., 2000](#); [Salton et al., 2006](#); [Trumbore & Camargo, 2009](#)).

[Yu \(2004\)](#) afirma que o sequestro florestal do carbono envolve, de um lado, governos e autoridades públicas e/ou empresas transnacionais intensivas em emissão de carbono, com compromisso de redução especificado pelas convenções climáticas. Estes grandes grupos financiam os projetos de sequestro de carbono para obter os créditos de carbono, visando compensar parte das suas próprias emissões ([McCafery et al., 2000](#); [Salton et al., 2006](#)). Por outro lado, estão as empresas, a sociedade civil, Organizações Não Governamentais (ONGs) ou governo de países em desenvolvimento, interessados em adotar projetos sustentáveis, com intuito de obter esses recursos para variados fins.

### Ciclo do nitrogênio

Na maioria das terras agricultáveis, o nitrogênio é tido como o nutriente mais limitante para o desenvolvimento das culturas, devido à razão de sua baixa disponibilidade em regiões tropicais, o que pode ser um início de motivos para o aumento da degradação de pastagens ([Vendramini et al., 2007](#)). Somado a isso, a deposição de nitrogênio atmosférico é praticamente insignificante para suprir as culturas agrícolas com nitrogênio ([Dubeux Júnior et al., 2006](#)). Segundo [Dubeux Júnior \(2005\)](#), a adubação nitrogenada e a taxa de lotação animal no sistema de pastejo, afetam não só a quantidade de biomassa vegetal produzida e também, o padrão de retorno dos nutrientes ao solo e as taxas de decomposição no mesmo.

[Figueiredo et al. \(2020\)](#) revelam que os insumos utilizados para a adubação de pasto podem ser de origem mineral ou orgânica. O produtor rural toma a decisão de escolher o melhor adubo, pelo seu custo e a disponibilidade do nitrogênio. Com isso, a ureia se torna a escolha preferencial, pois tem o custo de nitrogênio menor comparado com as outras fontes ([Mello et al., 2008](#); [Silva et al., 2012](#)). A formulação mineral é mais utilizada por ter uma disponibilidade, uniformidade e constância bem definida. No entanto, a utilização de adubação mineral em pastagem é uma escolha cara, porém eficiente ([Vogel et al., 2013](#)).

O nitrogênio é o nutriente mais exigido pelas plantas e sua aplicação, principalmente nas pastagens, é de suma importância tanto para obter uma alta produtividade vegetal no verão, como animal durante o inverno ([Sandini et al., 2011](#)). Sendo assim, os estoques de elementos químicos serão variáveis conforme a perda pelos microorganismos presentes no solo e pela erosão e pela adição e adubação, resíduos animais e/ou vegetais ([Souza et al., 2009](#)).

[Bernardino & Garcia \(2009\)](#) afirmam que dentre as técnicas sustentáveis utilizadas para a ciclagem do nitrogênio, estão os sistemas silvipastoris, com a adoção do consórcio de leguminosas arbóreas e o cultivo de gramíneas forrageiras. O produtor rural evita a degradação da pastagem, auxilia na recuperação da qualidade do solo e promove o fornecimento de nitrogênio pelas bactérias diazotróficas que se associam com as raízes das árvores. Segundo [Ashworth et al. \(2015\)](#) esse processo é conhecido como Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), essas bactérias conseguem converter nitrogênio atmosférico ( $N^2$ ) em nitrogênio amoniacal ( $NH^{4+}$ ), disponibilizando desta forma, o nutriente prontamente absorvível para as gramíneas se desenvolverem.

Outro recurso, além da FBN com os sistemas silvipastoris, é a utilização da adubação com composto orgânico, para garantir o retorno do nitrogênio no sistema do solo. O esterco de aves poedeiras, por exemplo, devido sua grande quantidade de N (nitrogênio), vem tendo um aumento na sua utilização pelos produtores rurais ([Finatto et al., 2013](#); [Ribeiro Júnior et al., 2017](#); [Silva et al., 2013](#)). O uso de dejetos de aves aumenta os teores de matéria orgânica no solo, com isso, favorece a estruturação do solo, promovendo a atividade microbiana e originando uma melhor capacidade de troca catiônica do solo

(CTC), devido sua baixa relação carbono/nitrogênio ([Berté et al., 2010](#); [Silva et al., 2013](#); [Teixeira Filho et al., 2015](#)), além de outros benefícios para a saúde do solo.

### Ciclo do fósforo

O ciclo do fósforo trata-se de um ciclo sedimentar em que a reserva que consiste na atmosfera é tão pouca que o torna insignificante ([Pedreira et al., 2011](#)). A disponibilidade do fósforo controla diversos aspectos do funcionamento dos ecossistemas em escala local e a química global. Além disso, o ciclo do fósforo é muito importante, dentre todos os ciclos biogeoquímicos, visto que, esse elemento não produz em nenhum momento substâncias voláteis em grandes quantidades ([Aduan et al., 2004](#)).

Na implantação de pastagem de inverno, o fósforo da solução é absorvido e incorporado na biomassa vegetal, que será consumida pelo animal. Uma pequena quantidade é incorporada na carne e o restante do fósforo retorna ao solo, como resíduo da pastagem e da excreta animal (esterco e urina). A decomposição dos resíduos libera o nutriente para a solução do solo, biomassa microbiana e na forma orgânica de diferentes labilidades ([Anghinoni et al., 2011](#); [Carvalho et al., 2010](#)).

Nos sistemas agropecuários, o fósforo é um elemento de total importância e que se torna um fator limitante para a produção ([Aduan et al., 2004](#)). Além disso, o fósforo é um elemento que possui uma grande importância nos processos fisiológicos dos seres vivos ([Mottin et al., 2013](#); [Pedreira et al., 2011](#)). Nessa perspectiva, em sistemas de produção não se pode contar apenas com o fósforo disponível de forma natural no meio ambiente, pois acaba se exaurindo ao longo dos sucessivos cultivos. Nas grandes áreas agrícolas, em geral, grande quantidade de P é disponível pela aplicação de rochas fosfatadas, tratadas ou apenas moídas que são usadas como fertilizantes ([Profeta & Braga, 2011](#)).

Dentre as técnicas sustentáveis para favorecer a ciclagem do fósforo em pastagens, estão a utilização de espécie de gramíneas tropicais de cobertura, para integrarem programas de rotação de culturas no sistema de plantio direto, para otimizar o uso do fósforo do solo e proporcionar maior reciclagem desse nutriente ([Foloni et al., 2008](#)). Segundo os mesmos autores, o milho consegue produzir fitomassa e reciclar o fósforo em curto prazo (50 dias), sendo uma espécie estratégica para cobrir o solo e compor rotação de culturas. As plantas usadas em cobertura do solo, como a ervilhaca comum e o centeio, apresentam maior potencial para a ciclagem do fósforo ([Foloni et al., 2009](#); [Pedroso et al., 2009](#); [Simão et al., 2015](#)). Somado a isso, as plantas de cobertura do solo conseguiram liberar ao solo formas de fósforo equivalentes a 40% da demanda da cultura do milho que entrou no campo em sequência. Por isso, a cobertura do solo com determinadas gramíneas, se torna uma estratégia para promover a ciclagem do fósforo no solo ([Santos et al., 2010](#); [Torres & Pereira, 2008](#)).

### Ciclo do potássio

O ciclo do potássio, é de melhor compreensão e de rápida realização, se comparado a outros nutrientes, como no ciclo do N e P. Isto se deve ao fato de que o potássio não faz parte de nenhum composto orgânico, desta forma, seu ciclo é dependente, praticamente, da capacidade das trocas de cátions (CTC), pois ela está presente no solo e nos tecidos das plantas como cátion monovalente  $K^+$  ([Dubeux Júnior, 2005](#)). O potássio é um dos elementos mais relevantes dentro da ciclagem de nutrientes na integração lavoura pecuária ([Gehlen, 2020](#); [Parente et al., 2016](#); [Torres & Pereira, 2008](#)). A retirada de potássio pelas plantas é relativamente grande quando comparada a outros nutrientes, mas levando em consideração apenas o que é removido pelos grãos (aproximadamente 20%), o retorno do nutriente para o solo na matéria seca é muito significativo. Sendo assim, a ciclagem do potássio é potencializada pelo bom uso do solo e pela alta produtividade das culturas, que é o caso de um sistema de integração bem manejado ([Ferreira et al., 2011](#)). As adubações potássicas atualmente praticadas, estão sendo realizadas em excesso, uma vez que, quem realiza as adubações, desconsidera a quantidade de retorno de potássio via resíduos de palhada na superfície, das raízes no perfil do solo e dos resíduos dos animais ([Costa et al., 2015](#); [Ernani et al., 2008](#)). Vale lembrar que os sistemas de produção agropecuária em plantio direto, embora parte do potássio seja retirado do sistema via grãos, grande parte retorna ao solo via resíduo para a próxima cultura ali instalada, com balanço positivo desse nutriente resultando em aumentos em sua concentração no solo.



O potássio, como os outros nutrientes minerais presentes no solo, é ciclado a partir da absorção vegetal, consumo animal e deposição dos dejetos ou dos resíduos vegetais na superfície do solo, além deles, a água da chuva possui função importante na ciclagem deste nutriente, uma vez que a água que lava as plantas fica enriquecida com este elemento. Grande parte do potássio consumido pelos animais durante o pastejo, retorna para os solos na forma de urina, sendo que níveis excessivos de potássio podem ocorrer em áreas que recebem altas doses repetidas de esterco. A absorção do potássio aumenta com a aplicação de nitrogênio, desde que o solo tenha uma oferta adequada de potássio ([Adami & Soares, 2009](#)).

O incremento e a decomposição da matéria orgânica se torna uma ferramenta ideal para a promoção da ciclagem do potássio no solo. [Torres & Pereira \(2008\)](#) afirmam que a após a decomposição da serrapilheira, oriunda de galhos e folhas, proporciona a reciclagem do potássio, dentre as espécies utilizadas por eles, o milho; a aveia; a braquiária e a crotalária, proporcionaram maior retorno do potássio ao solo em 42 dias após o manejo em dois períodos avaliados.

### **Retorno dos nutrientes ao sistema**

Algumas boas práticas de manejo de pastagens, visando aumentar a produtividade, têm sido adotadas, com destaque, a utilização de fertilizantes e corretivos como alternativa para o manejo intensivo, em que existe a tendência de diminuir o ciclo e aumentar a utilização de biomassa, e por consequência, aumenta a extração de nutrientes pelas forrageiras. Assim, é essencial conhecer as taxas de entrada, as de saída e a translocação dos nutrientes minerais, para que sejam traçadas estratégias de adubação visando fornecer o suprimento adequado de nutrientes, aumentar a produtividade do sistema e garantir a ciclagem de nutrientes no sistema de pastejo ([Almeida et al., 2015](#)).

A utilização de fertilizantes em pastagens cultivadas, promove a elevação considerável na quantidade de nutrientes minerais no sistema, o fornecimento destes nutrientes em locais de deficiência mineral, geralmente nitrogênio em regiões de clima temperado e nitrogênio e fósforo em regiões de clima tropical, estimula a absorção dos outros nutrientes, resultando no aumento da produção das culturas, e também a taxa de ciclagem dos nutrientes ([Primavesi et al., 2004](#)). Elevadas doses de um único nutriente mineral, podem mudar rapidamente a condição do estado de equilíbrio do sistema do solo, processo conhecido como antagonismo ([Almeida et al., 2015](#)).

A matéria orgânica no solo contribui grandemente na entrada de nutrientes no sistema do solo, tanto pela decomposição dos resíduos vegetais, como pela excreção de fezes e urina na decomposição dos resíduos animais ([Almeida et al., 2015](#)). A deposição de matéria orgânica na camada superficial do solo, é considerada como um dos principais motivos pela ciclagem dos nutrientes no sistema. Enormes quantidades de matéria orgânica retornam ao solo constantemente. Todavia, existem poucas informações sobre a produção e composição química da matéria orgânica das pastagens tropicais ([Barcellos et al., 2008](#); [Barcellos et al., 2019](#)).

A utilização de resíduos orgânicos, deve ser utilizado sempre que possível, uma vez que é economicamente viável ([Barbosa et al., 2019](#); [Rodrigues et al., 2017](#)). A adição desses produtos melhora as propriedades físicas e biológicas do solo; contribui para a redução do processo erosivo, garante a maior disponibilidade de nutrientes, maior retenção de água, estimulação da atividade biológica, menor oscilação térmica, melhora a infiltração de água e possibilita uma maior agregação do solo ([Rodrigues et al., 2017](#); [Vacarin & Welter, 2016](#)).

O sistema de integração lavoura pecuária, traz diversos benefícios biológicos ao solo, sendo um dos principais, a ciclagem dos nutrientes ([Anghinoni et al., 2011](#); [Assis et al., 2019](#); [Ferreira et al., 2011](#); [Gehlen, 2020](#); [Santos et al., 2013](#)). Os animais presentes no sistema trabalham impulsionando este processo, pois uma grande quantidade de nutrientes retorna ao solo pela urina e fezes, ficando rapidamente disponibilizados às plantas ([Souza et al., 2009](#)). O ganho de peso dos animais presentes na integração lavoura pecuária, é basicamente um acúmulo de carbono, pois o animal recicla grande parcela dos nutrientes pelos dejetos, desta forma, a exportação de nutrientes na produção animal é extremamente baixa ([Carvalho et al., 2006](#)). A maior parte dos nutrientes ingeridos pelos animais de produção é excretada na forma de fezes e urina (60 a 95%), os bovinos defecam e urinam em média de 11 a 16 e 8 a 12 vezes por dia, respectivamente ([Adami & Soares, 2009](#)). Entretanto, estes números podem variar

bastante, de acordo com as condições ambientais e de pastejo. Dentro de um sistema de integração, a ciclagem dos nutrientes é de suma importância, sendo as excretas dos animais e o material vegetal como os fatores mais importantes neste processo (Almeida et al., 2015; Anghinoni et al., 2011; Ferreira et al., 2011; Gehlen, 2020; Souza et al., 2018). Além disto, a distribuição uniforme destas excreções pela área do terreno, é fundamental para que os nutrientes sejam repostos, pois aproximadamente 70 a 90% dos nutrientes ingeridos pelos animais, retornam às pastagens por seus dejetos (Vendramini et al., 2014). Todos os processos físico-químicos que ocorrem com os elementos químicos em um sistema de integração possuem uma relação direta com o manejo adotado pelo produtor (Almeida et al., 2015; Anghinoni et al., 2011; Ferreira et al., 2011; Gehlen, 2020; Souza et al., 2018). Sendo assim, com o conhecimento necessário, há a possibilidade da adoção de métodos simplificados que irão garantir a viabilidade ambiental e econômica da integração lavoura pecuária almeida (Almeida et al., 2015). As fezes dos animais de produção, são constituídos principalmente por água, material fibroso, resíduos das forragens não digeridas, produtos do metabolismo animal e uma variada população microbiana, que sofrem degradação, junto com processos físicos e biológicos (Adami & Soares, 2009). Os processos físicos ocorrem pelas gotas de água da chuva e da ação dos cascos dos animais, enquanto os processos biológicos ocorrem pela ação de organismos vivos no solo, como microrganismos, e personagens da macrofauna do solo, como os insetos, minhocas, entre outros.

### Considerações finais

Diante desta problemática, a ciclagem de nutrientes serve como um conhecimento multidisciplinar que orienta os profissionais das ciências agrárias a dispor dos nutrientes que já estão presentes no próprio sistema de pastejo, utilizando de formas alternativas, como a adoção de sistemas integrados, a integração lavoura-pecuária-floresta; sistemas agroflorestais; o uso da fixação biológica de nitrogênio; adubações orgânicas; cobertura do solo por espécies estratégicas e incremento de matéria orgânica no solo, são exemplos de estratégias duradouras, econômicas e ambientalmente corretas para retornar os nutrientes para o solo, diminuindo consideravelmente as adubações minerais que podem prejudicar a qualidade dos solos e da água, evitando desta forma, problemas ambientais recorrentes, como a eutrofização de mananciais pela lixiviação de adubos nitrogenados e fosfatados. Por isso, o objetivo do produtor rural é evitar a saída dos nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas, mantendo-os no solo através da cobertura vegetal; incremento de matéria orgânica; produção integrada, dentre outras técnicas.

### Referências bibliográficas

- Adami, P. F., & Soares, A. B. (2009). *Ciclagem de nitrogênio em pastagem. Sistema de produção agropecuário*. UTFPR.
- Aduan, R. E., Vilela, M. F., & Reis Júnior, F. B. (2004). Os grandes ciclos biogeoquímicos do planeta. In *EMBRAPA - Cerrados* (p. 25). Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.
- Alencar, C. A. B., Cunha, F. F., Martins, C. E., Cóser, A. C., Rocha, W. S. D., & Araújo, R. A. S. (2009). Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(Sup.), 98–108.
- Almeida, D. J., Meireles, A. C., S., N. R., & Morais, R. R. (2015). Ciclagem de nutrientes no ecossistema pastagens. *Terra – Saúde Ambiental e Soberania Alimentar*, 2, 76–86.
- Alves, L., & Steyer, S. (2019). Interação humano-animal: O apego interespecie. *Perspectivas em Psicologia*, 23(2), 124–142.
- Andrade, A. C., Rodrigues, B. H. N., Magalhães, J. A., Carneiro, M. S. S., Costa, N. L., Santos, F. J. S., & Bezerra, E. E. A. (2010). Teores de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido de gramíneas forrageiras sob irrigação e nitrogênio em Parnaíba, Piauí. *PUBVET*, 4(28), 899.
- Anghinoni, I., Assmann, J., Martins, A., Costa, S., & Carvalho, P. (2011). Ciclagem de nutrientes em integração lavoura-pecuária. *Synergismus Scientifica UTFPR*, 6(2), 1–10.
- Araújo, J. C. (2011). Gestão das águas de pequenos açudes na região semi-árida. In S. S. Medeiros, H. R. Gueyi, C. O. Galvão, & V. P. S. Paz (Eds.), *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Instituto Nacional do Semiárido.

- Ashworth, A. J., West, C. P., Allen, F. L., Keyser, P. D., Weiss, S. A., Tyler, D. D., & Beamer, K. P. (2015). Biologically fixed nitrogen in legume intercropped systems: Comparison of nitrogen-difference and nitrogen-15 enrichment techniques. *Agronomy Journal*, *107*(6), 2419–2430. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0639>.
- Assis, P. C. R., Stone, L. F. M., Oliveira, J., Wruck, F. J., Madari, B. E., & Heinemann, A. B. (2019). Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. *Agrarian*, *12*(43), 57–70. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p309-316>.
- Barbosa, A. P. F., Souza, R. C., Dias, J. F. M., Almeida, J. F. T., Borges, F. J., & Freitas, I. C. (2019). Reaproveitamento de resíduos sólidos orgânicos oriundo da merenda escolar por meio da compostagem/Reutilization of organic solid waste from school meals through composting. *Brazilian Applied Science Review*, *3*(2), 1161–1168.
- Barcellos, A. O., Ramos, A. K. B., Vilela, L., Júnior, M., & Bueno, G. (2008). Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *37*(Supl.), 51–67.
- Barcellos, R. R., Jamas, L. T., Menozzi, B. D., & Langoni, H. (2019). Family agriculture and animal health. *Veterinária e Zootecnia*, *26*, 1–9.
- Bernardino, F. S., & Garcia, R. (2009). Sistemas silvipastoris. *Pesquisa Florestal Brasileira*, *60*, 77–87.
- Berté, L. N., Castagnara, D. D., Bulegon, L. G., Kuhl, J. A., Eninger, E. M., Santos, L. B., Vendrame, J. P., Oliveira, P. S. R., & Neres, M. A. (2010). Associação da adubação química e orgânica na produção de milho para silagem no Oeste do Paraná. *28ª Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia*, *1*, 961–966.
- Bradford, M. A., Berg, B., Maynard, D. S., Wieder, W. R., & Wood, S. A. (2016). Future directions: Understanding the dominant controls on litter decomposition. *Journal of Ecology*, *1*, 229–238. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12507>.
- Campos, J. B., Tossulino, M. de G. P., & Müller, C. R. C. (2006). *Unidades de conservação: Ações para valorização da biodiversidade*. Instituto ambiental do Paraná.
- Cardoso, E. L., Silva, M. L. N., Moreira, F. M. D. S., & Curi, N. (2009). Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *44*, 631–637. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600012>.
- Carvalho, P. C. F., Anghinoni, I., Moraes, A., Souza, E. D., Sulc, R. M., Lang, C. R., & Bayer, C. (2010). Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *88*, 259–273. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9360-x>.
- Carvalho, P. C. F., Moraes, A., Anghinoni, I., Lang, C. R., Silva, J. L. S., Sulc, R. M., & Tracy, B. F. (2006). Manejo da integração lavoura-pecuária em sistema de plantio direto na região de clima subtropical. *Encontro Nacional de Plantio Direto na Palha, Uberaba*, 77–184.
- Costa, N. D. L., Paulino, V. T., Henrique, B., & Rodrigues, N. (2015). Adubação potássica na produção e composição química da forragem de *Arachis pintoi* cv. Amarillo. *PUBVET*, *9*(2), 65–69.
- Crespo, G. (2016). Factors influencing on nutrient recycling in permanent grasslands and development of their modeling. Cuban Journal of Agricultural Science, *49*(1). *Cuban Journal of Agricultural Science*, *49*(1).
- Dias-Filho, M. B. (2003). Degradação de pastagens. *EMBRAPA*, 319.
- Don, A., Schumacher, J., & Freibauer, A. (2011). Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. *Global Change Biology*, *17*(4), 1658–1670. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>.
- Dubeux Júnior, J. C. B. (2005). *Management strategies to improve nutrient cycling in grazed Pensacola bahiagrass pastures*. University of Florida.
- Dubeux Júnior, J. C. B., Lira, M. D. A., Santos, M. D., & Cunha, M. D. (2006). Fluxo de nutrientes em ecossistemas de pastagens: impactos no ambiente e na produtividade. *Simpósio Sobre Manejo da Pastagem*, 439–505.

- Ernani, P. R., Almeida, J. A., & Santos, F. C. (2008). Otimização da adubação em lavoura com altos tepres de potássio no solo: Uso da agricultura de precisão. *II Simposio Internacional Savanas Tropicais*, 1–7.
- Euclides, V. P. B., & Barbosa, R. A. (2008). Manejo de pastagem. In J. R. Verginassi & M. V Fonseca (Eds.), *Curso de formação, recuperação e manejo de pastagem*. EMBRAPA.
- Feitosa, F. A. C., & Feitosa, E. C. (2011). Realidade e perspectivas do uso racional de águas subterrâneas na região semiárida do Brasil. In S. S. Medeiros, H. R. Gueyi, C. O. Galvão, & V. P. S. Paz (Eds.), *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Instituto Nacional do Semiárido.
- Fernandes, F. B. P., Lacerda, C. F., Andrade, E. M., Neves, A. L. R., & Sousa, C. H. C. (2015). Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, 46(3), 506–515. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150032>.
- Ferreira, E. V. O., Anghinoni, I., Andrighetti, M. H., Martins, A. P., & Carvalho, P. C. F. (2011). Ciclagem e balanço de potássio e produtividade de soja na integração lavoura-pecuária sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(2), 161–169.
- Figueiredo, Â. L. V., Sandra, I. O., Santos, B. R. C., Filho, J. A. A., Guamán, C. A. G., & Gomes, F. A. (2020). Valor nutricional e ciclagem de nutrientes de pastagem *Urochloa brizantha* com esterco de galinha poedeira (*Gallus gallus domesticus*) na Amazônia Ocidental. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 47129–47150. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-375>.
- Finatto, J., Altmayer, T., Martini, M. C., Rodrigues, M., Basso, V., & Hoehne, L. (2013). A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. *Revista Destaques Acadêmicos*, 5(4), 85–93.
- Foloni, J. S. S., Garcia, R. A., Tiritan, C. S., & Silva, A. S. J. da. (2009). Adubação nitrogenada e qualidade dos restos vegetais de milho e aveia preta. *Agrarian*, 1(2), 45–57.
- Foloni, J. S. S., Tiritan, C. S., Calonego, J. C., & Alves Júnior, J. (2008). Rock phosphate fertilization and phosphorus recycling by pearl millet, *Brachiaria* sp., corn and soybean. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1147–1155. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300023>.
- Fonseca, D. M., & Santos, M. E. R. (2009). Diferimento de pastagens: Estratégias e ações de manejo. *Simpósio de Forragicultura e Pastagem*, 6(1), 65–88.
- Gama, T. C. M., Volpe, E., Lempp, B., & Costa Galdeia, E. (2013). Recuperação de pasto de capim-braquiária com correção e adubação de solo e estabelecimento de leguminosas. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14(4), 635–647.
- Gehlen, J. C. (2020). *Suplementação animal e trevo vesiculoso em sistemas integrados de produção: seus efeitos na produtividade do milho e soja e na ciclagem de nutrientes*. Universidade Federal Tecnológica do Paraná.
- Gomide, J. A., Cândido, M. J. D., & Alexabdrino, E. (2003). As interfaces solo-planta-animal da exploração da pastagem. *As Interfaces Solo-Planta- Animal da Exploração da Pastagem*, 4, 75–116.
- Holanda, J. S., Amorim, J. R. A., Ferreira Neto, M., Holanda, A. C., & Sá, F. V. S. (2016). Qualidade da água para irrigação. In H. R. Gueyi, N. Dias, C. F. Lacerda, & E. Gomes Filho (Eds.), *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados*. INCTSal.
- IBGE. (2023). *Estatística da produção pecuária*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- Isaac, S. R., & Nair, M. A. (2005). Biodegradation of leaf litter in the warm humid tropics of Kerala, India. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(9), 1656–1664. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.02.002>.
- Kitamura, P. C., & Rodrigues, G. S. (2001). Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais: métodos, problemas e perspectivas. *II Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, 55.
- Klein, C., & Klein, V. A. (2014). Influência do manejo do solo na infiltração de água. *Revista Monografias Ambientais*, 3915–3925. <https://doi.org/10.5902/2236130814989>.
- Korb, C. A., Göergen, C. T., Teixeira, C. A. M. B., Uhde, L. T., Pereira, E. A., & Lucchese, O. A. (2022). Atributos químicos do solo em um sistema silvipastoril de *Pinus elliottii* e forrageiras tropicais. *Salão do Conhecimento*, 8.

- Lacerda, C. F., Costa, R. N. T., Bezerra, M. A., Neves, A. L. R., Sousa, G. G., & Gheyi, H. R. (2016). Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In H. R. Gheyi, N. S. Dias, C. F. Lacerda, & E. Gomes Filho (Eds.), *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados*. INCTSal.
- Lu, W., Liu, N., Zhang, Y., Zhou, J., Guo, Y., & Yang, X. (2017). Impact of vegetation community on litter decomposition: evidence from a reciprocal transplant study with <sup>13</sup>C labeled plant litter. *Soil Biology and Biochemistry*, *112*, 248–257. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.05.014>.
- Maciel, M. S., Santana Júnior, H. A., Cardoso, E. O., Oliveira, E. S. C., Santos, M. S., & Abreu Filho, G. (2014). Avaliação de pastagem com animais: Do tradicional ao moderno. *Nutrime*, *11*(5), 3700–3713.
- McCafery, K., Fernandes, E. C., Wandelli, E. V., & Rondon, M. A. (2000). Estoques de carbono e nutrientes em sistemas agroflorestais implantadas em áreas de pastagens degradadas da Amazonia Ocidental. *Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, *3*.
- Mello, S. Q. S., França, A. F. S., Lanna, A. C., Bergamaschine, A. F., Klimann, H. J., Rios, L. C., & Soares, T. V. (2008). Adubação nitrogenada em capim-mombaça: produção, eficiência de conversão e recuperação aparente do nitrogênio. *Ciência Animal Brasileira*, *9*(4), 935–947.
- Momolli, D. R., & Schumacher, M. V. (2019). Sustentabilidade de povoamentos de *Acacia mearnsii* de Wild em diferentes idades: Uma revisão da ciclagem de nutrientes. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, *6*(12), 263–272. <https://doi.org/10.21438/rbgas.061220>.
- Monteiro, F. A., & Werner, J. C. (1994). Reciclagem de nutrientes em pastagens. *Anais de Campinas*.
- Mottin, C., Prado, I. N., Chefer, D. M., Eiras, C. E., & Rivaroli, D. C. (2013). Suplementação com minerais quelatados em bovinos: uma revisão. *Campo Digital: Rev. Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias*, *8*(2), 59–70.
- Parente, T. L., Lazarini, E., Caioni, S., Souza, L. G. M., Pivetta, R. S., & Bossolani, J. W. (2016). Potássio em cobertura no milho e efeito residual na soja em sucessão. *Revista Agro@biente*, *10*(3), 193–200.
- Pedreira, M. S., Berchielli, T. T., & FUNEP. (2011). Minerais. In T. T. Berchielli, A. V. Pires, & S. G. Oliveira (Eds.), *Nutrição de Ruminantes* (Vol. 1, Issue 2th ed., pp. 345–368). FUNEP.
- Pedroso, C. E. S., Monks, P. L., Ferreira, O. G. L., Tavares, O. M., & Lima, L. S. (2009). Características estruturais de milheto sob pastejo rotativo com diferentes períodos de descanso. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *38*(5), 801–808. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009000500004>.
- Pereira, L. F., Ferreira, C. F. C., & Guimarães, R. M. F. (2018). Manejo, qualidade e dinâmica da degradação de pastagens na Mata Atlântica de Minas Gerais-Brasil. *Nativa, Sinop*, *6*(4), 370–379. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i4.5542>.
- Pereira, S. M., Jacobson, T. K. B., Gomide, C. S., & Paula, A. M. (2021). Características químicas, físicas e microbiológicas de sistemas agroflorestais em diferentes estágios sucessionais em Brasília. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, *16*(3), 280–290. <https://doi.org/10.18378/rvads.v16i3.8638>.
- Pough, F. H., Janis, C. M., & Heiser, J. B. (2009). *Homeostase e energia: equilíbrio de água, regulação da temperatura e uso de energia*. Editora Atheneu.
- Primavesi, A. C., Primavesi, O., Corrêa, L. A., Cantarella, H., Silva, A. G., Freitas, A. R., & Vivaldi, L. J. (2004). Nitrogen fertilization in coastcross grass: effects on nutrient extraction and apparent nitrogen recovery. *Revista Brasileira de Zootecnia*, *33*, 68–78. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000100010>.
- Profeta, G. A., & Braga, M. J. (2011). Poder de mercado na indústria brasileira de fertilizantes NPK (04-14-08), no período de 1993-2006. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, *49*(4), 837–856. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032011000400002>.
- Ribeiro Júnior, M. R., Canaver, A. B., Rodrigues, A. B., Domingues Neto, F. J., & Spers, R. C. (2017). Desenvolvimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu submetidas a diferentes tipos de adubação (Química e Orgânica). *Revista Unimar Ciências*, *24*(1–2), 49–53.

- Ribeiro, M. R., Barros, M. F. C., & Freire, M. (2009). Química dos solos salinos e sódicos. In *Química e mineralogia do solo. Parte II–Aplicações* (pp. 449–484). Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Rita, C., Pires, D. S., Costa, S., T. L. A., Audileia, M., Estelita, A., & Carvalho, N. (2018). Sustentabilidade no sistema de produção de leite em pequenas propriedades rurais em Bragança – Pará. *PUBVET*, 12(1), 1–5.
- Rodrigues, A. C., Baum, C. A., Formentini, J., Bozzetto, C., Ritter, L. G., & Da Ros, C. O. (2017). Atributos químicos de resíduos orgânicos compostados. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 6(1), 193–208.
- Rodrigues, A. M., Cecato, U., Damasceno, J., Galbeiro, S., Gomes, J. A., & Avanzzi, L. (2009). Produção, quantidade e concentração de macronutrientes do material morto de capim-mombaça, fertilizado com fontes de fósforo. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61(2), 445–451.
- Salton, J. C., Mielniczuk, J., & Bayer, C. (2006). Índices de qualidade de sistemas de manejo do solo baseados no carbono. *Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo*.
- Sandini, I. E., Moraes, A. D., Pelissari, A., Neumann, M., Falbo, M. K., & Novakowski, J. H. (2011). Efeito residual do nitrogênio na cultura do milho no sistema de produção integração lavoura-pecuária. *Ciência Rural*, 41, 1315–1322. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782011005000099>.
- Santos, H. P., Fontaneli, R. S., Spera, S. T., & Dreon, G. (2013). Conversão e balanço energético de sistemas de produção com integração lavoura-pecuária, sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 8(1), 1–7. <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i1a1392>.
- Santos, M. M., Galvão, J. C. C., Silva, I. R., Miranda, G. V., & Finger, F. L. (2010). Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio (15N) na planta. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 34(4), 1185–1194.
- Santos, M. R., Silva, A. J. P., Fonseca, V. A., Campos, A. R. F., & Lisboa, M. A. (2017). Irrigação na palma forrageira. *Informe Agropecuário*, 38(296), 76–90.
- Silva, A., Simioni, G., & Lucena, A. (2013). Efeito da adubação orgânica no crescimento do capim *Brachiaria brizantha* cv. marandu em Parecis/Rondônia. *Enciclopédia Biosfera*, 9(16).
- Silva, G. M., Silva, F. F., Viana, P. T., Rodrigues, E. S. O., Moreira, C. N., Meneses, M. A., Abreu Júnior, J. S., Rufino, C. A., & Barreto, L. S. (2016). Avaliação de forrageiras tropicais: Revisão. *PUBVET*, 10, 190–270.
- Silva, T. C., Perazzo, A. F., Macedo, C. H. O., Batista, E. D., Pinho, R. M. A., Bezerra, H. F. C., & Santos, E. M. (2012). Morfogênese e estrutura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao corte e adubação nitrogenada. *Archivos de Zootecnia*, 61(233), 91–102.
- Simão, E. D. P., Gontijo Neto, M. M., Santos, E. A., & Wendling, I. J. (2015). Produção de biomassa e composição bromatológica de duas cultivares de milho semeado em diferentes épocas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 14(2), 196–206. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v14n2p196-206>.
- Souza, E. D. D., Costa, S. E. V. G. D. A., Anghinoni, I., Carvalho, P. C. D. F., Andrigueti, M., & Cao, E. (2009). Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 33, 1829–1836. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600031>.
- Souza, M. de S., Jardim, A. M. da R. F., Araújo Júnior, G. do N., Silva, J. R. I., Leite, M. L. de M. V., Teixeira, V. I., & Silva, T. G. F. da. (2018). Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. *Pubvet*, 12(5), 1–9. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v12n5a91.1-9>
- Teixeira Filho, A. J., Silveira, E. O., Silva, R. L., & Carvalho, D. M. G. (2015). Produção de matéria seca total de duas cultivares de milho submetido à adubação mineral e orgânica, Parintins-AM. *Revista Eletrônica Ciência e Desenvolvimento*, 1(2), 12–21.
- Teklay, T., & Malmer, A. (2004). Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shaded-coffee and agricultural land-uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(5), 777–786. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.12.013>.

- Torres, J. L. R., & Pereira, M. G. (2008). Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 32(4), 1609–1618.
- Trumbore, S., & Camargo, P. D. (2009). Dinâmica do carbono do solo. *Amazonia and Global Change*, 1, 451–462. <https://doi.org/10.1029/2008GM000741>.
- Uaciquete, J. M., Welengane, E., & Hayashi, C. (2022). Águas subterrâneas rasas na microbacia hidrográfica: Bairros Chinfura, Vila nova e 7 de Setembro–Chimoio, Moçambique. *PUBVET*, 16(3), 1–5. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v16n03a1074.1-1-5>.
- Vacarin, L., & Welter, M. (2016). Estudo da gestão dos resíduos orgânicos gerados pela avicultura industrial no município de Caibi-SC. *Revista Interativa*, 2(2), 1–21.
- Vale, M. M., Alves, M. A. S., & Lorini, M. L. (2009). Mudanças climáticas: desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade brasileira. *Oecologia Brasiliensis*, 13(3), 518–535. <https://doi.org/10.4257/oeco.2009.1303.07>.
- Valente, T. N. P., Lima, E. S., Henriques, L. T., Machado Neto, O. R., Gomes, D. Í., Sampaio, C. B., & Costa, V. A. C. (2011). Anatomia de plantas forrageiras e a disponibilidade de nutrientes para ruminantes: revisão. *Veterinária e Zootecnia*, 18(3), 347–358.
- Vendramini, J. M. B., Dubeux Júnior, J. C. B., & Silveira, M. L. (2014). Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 9(2), 308–315. <https://doi.org/10.5039/agraria.v9i2a3730>.
- Vendramini, J. M. B., Silveira, M. L. A., Dubeux Júnior, J. C. B., & Sollenberger, L. E. (2007). Environmental impacts and nutrient recycling on pastures grazed by cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36, 139–149. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000015>.
- Vitor, C. M. T., Fonseca, D. M., Cóser, A. C., Martins, C. E., Nascimento Júnior, D., & Ribeiro Júnior, J. I. (2009). Produção de matéria seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigação e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(3), 435–442.
- Vogel, G. F., Martinkoski, L., Mokochinski, F. M., Guilhermeti, P. G., & Moreira, V. S. (2013). Efeitos da adubação com dejetos suínos, cama de aves e fosfato natural na recuperação de pastagens degradadas. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 8(5), 1–9.
- Wandelli, E., Fernandes, E., Perin, R., Sousa, S. G. A., Matos, J. D. S., Coral, S. T., & Gallardo, J. (2000). Aspectos biofísicos da recuperação de áreas de pastagens degradadas através de sistemas agroflorestais. *Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais*, 3.
- Yu, C. M. (2004). *Seqüestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas*. Annablume.

**Histórico do artigo:****Recebido:** 7 de novembro de 2023**Aprovado:** 20 de novembro de 2023**Licenciamento:** Este artigo é publicado na modalidade Acesso Aberto sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 (CC-BY 4.0), a qual permite uso irrestrito, distribuição, reprodução em qualquer meio, desde que o autor e a fonte sejam devidamente creditados.