UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA

DIOGENES JESUINO PEREIRA LIMA

A INFLUÊNCIA DA CALAGEM E DA ADUBAÇÃO NA MANUTENÇÃO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS

RIO LARGO

2025

DIOGENES JESUINO PEREIRA LIMA

A INFLUÊNCIA DA CALAGEM E DA ADUBAÇÃO NA MANUTENÇÃO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte do requisito para obtenção do título de bacharel em Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Philipe Lima de Amorim

RIO LARGO

2025

Catalogação na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

L732i Lima, Diogenes Jesuino Pereira.

A influência da calagem e da adubação na manutenção e produtividade das pastagens. / Diogenes Jesuino Pereira Lima. – 2025.

30 f.: il.

Orientador(a): Philipe Lima de Amorim.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) – Graduação em Zootecnia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Calagem. 2. Adubação. 3. Fertilidade do solo. 4. Pastagens. 5. Produtividade pecuária. I. Título.

CDU: 633.02.3: 631.874

Folha de Aprovação

DIOGENES JESUINO PEREIRA LIMA

A INFLUÊNCIA DA CALAGEM E DA ADUBAÇÃO NA MANUTENÇÃO E PRODUTIVIDADE DAS PASTAGENS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte do requisito para obtenção do título de bacharel em Zootecnia

Orientador: Prof. Dr. Philipe Lima de Amorim

Aprovado em: 24/10/2025

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br PHILIPE LIMA DE AMORIM
Data: 18/11/2025 14:19:10-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____ _____

(Prof. Dr. Philipe Lima de Amorim, CECA-UFAL)
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSE TEODORICO DE ARAUJO FILHO
Data: 19/11/2025 09:47:30-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

(Prof. Dr. José Teodorico de Araújo Filho, CECA-UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br FABIO LUIZ FREGADOLLI
Data: 19/11/2025 15:22:13-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

(Prof. Dr. Fabio Luiz Fregadolli, CECA-UFAL)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida, pela força concedida em todos os momentos e pelas bênçãos derramadas ao longo desta jornada, que tornaram possível a realização deste trabalho.

Aos meus pais, George Paz e Rosimilda Lima, por todo amor, apoio incondicional, orientação e pelos valores que me ensinaram e que foram fundamentais para a minha formação pessoal e acadêmica.

Às minhas irmãs, pelo incentivo constante, pela compreensão e por sempre acreditarem no meu potencial.

À minha namorada, Laura Gabriela, pela paciência, companheirismo e apoio emocional em cada etapa deste processo, tornando os desafios mais leves.

Aos meus amigos do Campus, que estiveram comigo durante toda a caminhada acadêmica, compartilhando aprendizados, dificuldades, conquistas e momentos que tornaram essa trajetória mais enriquecedora e significativa.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso, deixo aqui o meu sincero agradecimento.

RESUMO

A pecuária brasileira ocupa posição estratégica no agronegócio, sendo as pastagens a principal fonte de alimentação dos ruminantes e determinantes para a produtividade animal. No entanto, fatores como acidez do solo, manejo inadequado e deficiência de nutrientes comprometem a sustentabilidade e a produção forrageira, exigindo a adoção de práticas corretivas eficazes. Este trabalho tem como objetivo analisar a influência da calagem e da adubação na manutenção, fertilidade e desempenho das pastagens. A calagem atua na correção da acidez e na disponibilização de cálcio e magnésio, melhorando a absorção de nutrientes e a eficiência dos fertilizantes. A adubação, por sua vez, assegura o suprimento adequado de macro e micronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo, potássio, zinco e enxofre, promovendo crescimento vigoroso, aumento da matéria seca e melhor qualidade nutricional da forragem. A integração dessas práticas potencializa a capacidade de suporte animal, prolonga a longevidade das áreas de pastagem e contribui para sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e economicamente viáveis no contexto da pecuária nacional.

Palavras-chave: calagem; adubação; fertilidade do solo; pastagens; produtividade pecuária.

ABSTRACT

Brazilian livestock plays a strategic role in agribusiness, with pastures being the main source of feed for ruminants and crucial for animal productivity. However, factors such as soil acidity, inadequate management, and nutrient deficiencies compromise sustainability and forage production, requiring the adoption of effective corrective practices. This study aims to analyze the influence of liming and fertilization on the maintenance, fertility, and performance of pastures. Liming corrects soil acidity and provides calcium and magnesium, improving nutrient absorption and fertilizer efficiency. Fertilization, in turn, ensures the adequate supply of essential macro- and micronutrients such as nitrogen, phosphorus, potassium, zinc, and sulfur, promoting vigorous growth, increased dry matter production, and improved forage nutritional quality. The integration of these practices enhances animal carrying capacity, extends pasture longevity, and contributes to more efficient, sustainable, and economically viable livestock production systems in Brazil.

Keywords: liming; fertilization; soil fertility; pastures; livestock productivity.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classificação do Calcário pelo PRNT 14

Tabela 2 - Grau de adaptação de gramíneas forrageiras às condições de fertilidade de solo e saturação por bases adequada 14

Tabela 3 - Comparativo entre a utilização ou não do calcário 16-17

Tabela 4 - Eficiência da incorporação do calcário em comparativo a utilização do calcário superficial (não incorporado) 17-18

Tabela 5 - Efeito da Gessagem como Fonte de Enxofre (S) em Pastagens 19

Tabela 6 - Rendimento acumulado de MS de *Brachiaria decumbens* para diferentes doses de gesso em um período de três anos após a semeadura 19

Tabela 7 - Comparação de dois tipos de adubação 20-21

Tabela 8 - Tipos de Nitrogenio disponível na forma mineral 22

Tabela 9 - Tipos de Fosfóro disponível na forma mineral 24-25

Tabela 10 - Tipos de Potássio disponível na forma mineral 27

Tabela 11 - Principais micronutrientes essenciais para pastagens 29

Lista de Figuras

Figura 1 - Representação esquemática da lei do mínimo de Liebig 12

Figura 2 - Representação pH x disponibilidade de nutrientes 12

Figura 3 - Comparativo de produtividade em virtude da adubação nitrogenada 23

Sumário

1. INTRODUÇÃO..... 11

2. REVISÃO DE LITERATURA..... 12

2.1 LEI DO MÍNIMO.....12

3. CALAGEM 12

3.1. TIPOS E CLASSIFICAÇÕES DO CALCÁRIO.....13

3.2. CALCARIO NO ESTABELECIMENTO DA PASTAGEM 14

3.4. APLICAÇÃO DE CALCARIO NO ESTABELECIMENTO.....15

3.5. CONSEQUÊNCIAS DA CALAGEM TARDIA OU AUSENTE.....15

3.6. CALCÁRIO EM PASTAGENS ESTABELECIDAS 16

3.7. COMPARATIVO DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E EFEITOS DA INCORPORAÇÃO OU NÃO INCORPORAÇÃO 16

4. GESSAGEM E ADUBAÇÃO COM ENXOFRE 18

5. ADUBAÇÃO 20

5.1. TIPOS DE ADUBAÇÃO 20

5.2. IMPORTÂNCIA DA NUTRIÇÃO MINERAL DAS PASTAGENS.....21

5.3. ADUBAÇÃO NITROGENADA.....21

5.3.1. FONTES DE NITROGÊNIO 22

5.3.2. ABSORÇÃO DO NITROGÊNIO PELA PLANTA E RESPOSTA DAS PASTAGENS A ADUBAÇÃO NITROGENADA.....22

5.4. ADUBAÇÃO FOSFATADA.....23

5.4.1. FONTES DE FÓSFORO 24

5.4.2. RESPOSTA DAS PASTAGENS À ADUBAÇÃO COM FÓSFORO.....25

5.5. ADUBAÇÃO POTÁSSICA 26

5.5.1. FONTES DE POTÁSSIO PARA UTILIZAÇÃO EM PASTAGENS.....27

5.5.2. RESPOSTA DAS PASTAGENS À ADUBAÇÃO POTÁSSICA 28

6. MICRONUTRIENTES.....28

6.1. FONTES DE MICRONUTRIENTES UTILIZADAS NA ADUBAÇÃO DE PASTAGENS.....28

6.1.1. RESPOSTA DAS PASTAGENS À ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES 29

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....29

8. REFERÊNCIAS 30

1. INTRODUÇÃO

A atividade pecuária brasileira tem um papel fundamental na economia, representando uma das principais atividades do agronegócio nacional. O Brasil possui um dos maiores rebanhos comerciais do mundo e, para sustentar essa produção, as pastagens exercem uma função estratégica, sendo a base da alimentação dos ruminantes em grande parte do território nacional. Em sua grande maioria, a alimentação dos bovinos é composta por forragens cultivadas ou nativas, reforçando a importância das pastagens não apenas como recurso alimentar, mas também como papel fundamental para a viabilidade econômica e ambiental da pecuária.

No entanto, a utilização das pastagens de forma intensa e sem devida manutenção e reposição de nutrientes, faz com que manter a produtividade das pastagens ao longo do tempo seja um desafio complexo, especialmente em regiões de clima tropical, como é o caso da maior parte do território brasileiro. Entre os principais problemas enfrentados no Brasil são eles, acidez elevada, manejo inadequado, a superlotação animal, a compactação do solo, a alta deficiência de nutrientes como fósforo, nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio, o que prejudica diretamente o desenvolvimento das plantas forrageiras e a ausência de práticas de conservação do solo. Esses fatores contribuem para a degradação agrícola e/ou biológica das áreas de pastagem, com consequências diretas na redução da capacidade de suporte e na eficiência da produção animal.

Neste contexto, a adoção de práticas corretivas e de manejo adequado do solo, como a calagem e a adubação, torna-se essencial. A aplicação de calcário e adubação é uma prática comum na agricultura de grãos em diversas regiões do Brasil, entretanto, essas técnicas ainda são pouco utilizadas na pecuária. Dentre elas, a calagem é a que mais tem sido empregada na formação de pastagens, tendo como objetivo principal corrigir a acidez do solo, aumentando o pH e disponibilizando nutrientes como cálcio e magnésio, ao mesmo tempo que reduz a toxicidade por alumínio. Já a adubação busca suprir as necessidades nutricionais das plantas, promovendo maior crescimento, persistência e valor nutritivo das pastagens. Quando realizadas de forma planejada e com base em análises de solo, essas práticas contribuem significativamente para a recuperação de áreas degradadas, o aumento da produtividade forrageira e a sustentabilidade da atividade pecuária.

Diante da relevância das pastagens para a pecuária brasileira e dos desafios enfrentados para manter sua produtividade, a compreensão desses fatores é fundamental

para subsidiar práticas de manejo mais eficientes, sustentáveis e compatíveis com as exigências da produção animal moderna.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 LEI DO MÍNIMO

De acordo com (Liebig, 1840), o desempenho de uma cultura estará limitado ao nutriente que se encontra em menor concentração, mesmo que os demais estejam em condições ideais. Nesta situação, mesmo se aumentarmos a concentração dos demais nutrientes, a produtividade ficará ainda limitada pelo nutriente em menor disponibilidade. Também conhecida como "Lei do barril" (Figura 1).

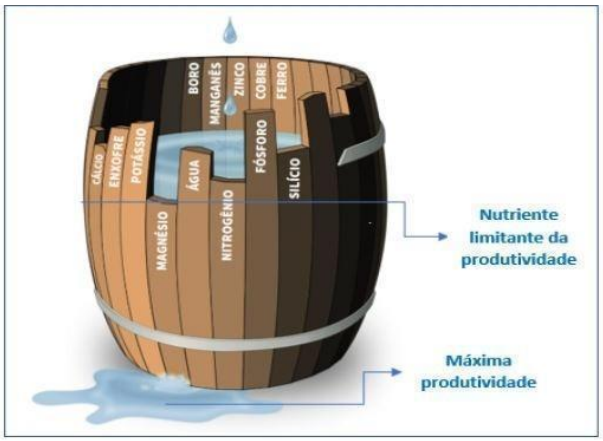


Figura 1. Representação esquemática da lei do mínimo.

3. CALAGEM

A calagem é uma prática utilizada e essencial que visa corrigir/neutralizar a acidez nos solos, que tem como característica o baixo PH. A acidez excessiva do solo se dá pela alta concentração de Alumínio (Al3+), o que inibe também a disponibilidade de outros nutrientes, como o fósforo, comprometendo o crescimento e desenvolvimento adequado. Portanto a calagem consiste na aplicação de Carbonato de Cálcio (CaCO3) e Carbonato de Magnésio (MgCO3) elevando o PH e neutralizando a ação do alumínio.

Além da correção da acidez do solo, a calagem traz inúmeros benefícios, fornecendo cálcio e magnésio para a planta, que são minerais fundamentais para saúde e crescimento da mesma, outros benefícios são vistos, entre eles, um melhor equilíbrio entre os minerais, pois na figura 2, vemos um aumento na disponibilidade de outros micro e macro minerais tornando-os mais absorvíveis pela planta através do sistema radicular.

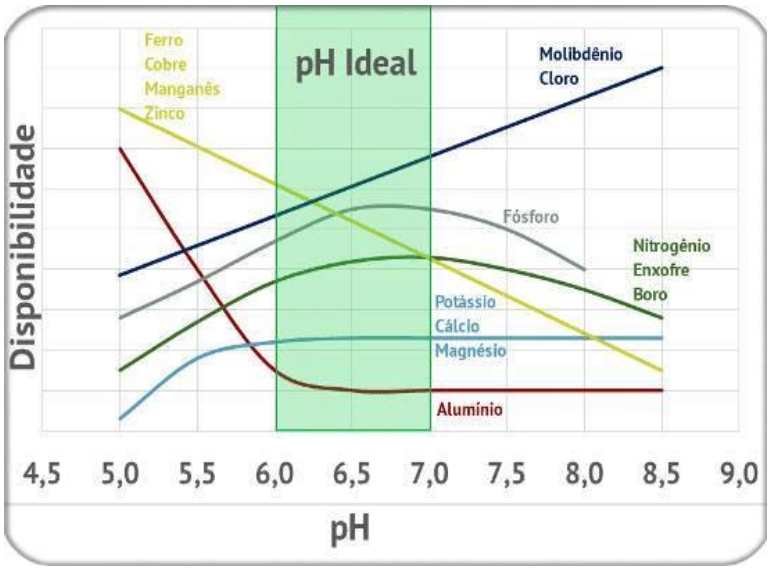


Figura 2: pH do solo x disponibilidade de nutrientes. Malavolta (1980)

Outro objetivo/benefício da calagem é a melhoria na eficiência de uma adubação, pois a adubação feita em solos ácidos, acaba não tendo o resultado esperado, pois a disponibilidade do nutriente é menor, tornando-se uma prática pouco sustentável no que diz respeito ao meio ambiente e retorno de investimento.

A calagem corrige a acidez e a deficiência de cálcio e de magnésio na camada arável (0 a 20 cm). Assim, abaixo dessa camada, pode-se continuar com excesso de alumínio tóxico associado ou não à deficiência de cálcio (SOUSA; LOBATO, 2004).

3.1. TIPOS E CLASSIFICAÇÕES DO CALCÁRIO

O calcário agrícola é o corretivo mais utilizado dentre as opções disponíveis no setor agrícola para a correção de acidez, são classificados em função do teor de Carbonato de Calcio (CaCO3) e Carbonato de Magnesio (MgCO3) e quanto ao seu grau de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

Em função aos teores de CaCO3 e MgCO3, temos:

- Calcario Calcitico: 1% a 5% de Mg e 45% a 55% de Ca.
- Calcario Magnesiano: 5% a 12% de Mg e 40% a 42% de Ca.
- Calcario Dolomitico: 13% a 21% de Mg e 35% de Ca.
- Calcario Filler: possui as características do Calcario dolomitico, granulometria mais fina que os demais, consequentemente absorve e reage no solo mais rapidamente.

A escolha de um deles deve ser feita com base na análise de solo, pois é o teor de Calcio e Magnesio que vai ser determinante na escolha de um deles.

De acordo com a Tabela 1 classificação do calcário pelo PRNT é feita em grupos, da seguinte maneira:

GRUPOS	**PRNT**
A	**Entre 45 e 60%**
B	**Entre 60,1 e 75%**
C	**Entre 75,1 e 90%**
D	**Acima de 90%**

Tabela 1.

3.2. CALCÁRIO NO ESTABELECIMENTO DA PASTAGEM

Vários fatores precisam ser levados em conta na tomada de decisão sobre qual dosagem aplicar no estabelecimento da pastagem, entre eles, podemos citar: características do solo, exigências nutricionais das espécies forrageiras, preparo do solo e intensificação do uso da pastagem. Dentro do grupo de plantas forrageiras, existem diferentes graus de exigências e adaptação das mesmas, podemos ver nos grupos abaixo (Tabela 2) um exemplo.

Tabela 2. Grau de adaptação de gramíneas forrageiras às condições de fertilidade de solo e saturação por bases adequada.

Espécies	**Grau de adaptação à baixa fertilidade**	**Saturação por bases (%)**
Pouco Exigentes		
Andropogon Gayanus	alto	30 a 35
Brachiaria Decumbens	alto	30 a 35
Brachiaria Humidicola	alto	30 a 35
Brachiaria Ruziziensis	médio	30 a 35
Exigentes		
Hyparrhenia Rufa (Capim-Jaraguá)	baixo a médio	40 a 45
Brachiaria Brizantha Cv. Marandu	baixo	40 a 45
Setaria Anceps	baixo	40 a 45
Panicum Maximum Cv. Vencedor	baixo	40 a 45
Panicum Maximum Cv. Centenário	baixo	40 a 45
Panicum Maximum Cv. Colonião	muito baixo	40 a 45
Panicum Maximum Cv. Tanzânia-1	muito baixo	40 a 45
Panicum Maximum Cv. Tobiatã	muito baixo	40 a 45
Panicum Maximum Cv. Mombaça	muito baixo	40 a 45
Muito Exigentes		
Pennisetum Purpureum (Elefante, Napier)	muito baixo	50 a 60
Coast-Cross, *Tifton*	muito baixo	50 a 60

Fonte: (VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G. de; MACEDO, M. C. M, 1998)

De acordo com a Tabela 2 as espécies pouco exigentes e exigentes em fertilidade, recomenda-se elevar a saturação por bases do solo para 35% e 45% em média, respectivamente.

3.4. APLICAÇÃO DE CALCARIO NO ESTABELECIMENTO

Diversas pesquisas recomendam que a calagem seja realizada com antecedência mínima de 60 dias antes da semeadura das pastagens, podendo se estender até 90 dias, especialmente em solos mais argilosos ou com maior acidez (SOUSA & LOBATO, 2004.). Esse período é necessário para que haja tempo suficiente de reação do calcário, o que promove uma melhor distribuição do pH e dos nutrientes no perfil do solo.

Além disso, a incorporação do corretivo ao solo por meio de aração e gradagem é fundamental para acelerar esse processo, aumentando a área de contato entre o calcário e as partículas do solo (RIBEIRO et al., 1999). Em doses inferiores a 3 t/ha é recomendado fazer uma única aplicação, seguida de grade ou arado, porém acima de 3 t/ha, para melhor incorporação do calcário ao solo, é necessário fazer uma aplicação com metade da dosagem recomendada antes de gradear a primeira vez e depois faça a aplicação do restante da dose e repita gradagem novamente para incorporar, contudo, o período de reação também é influenciado pela ação da chuva, pois ela é quem vai fazer esse calcário reagir no solo.

3.5. CONSEQUÊNCIAS DA CALAGEM TARDIA OU AUSENTE

Quando a calagem é feita próximo à semeadura ou não é realizada, os efeitos benéficos são bastantes reduzidos. A baixa disponibilidade de nutrientes e a toxicidade do alumínio comprometem a emergência das plantas, o enraizamento e, consequentemente, o vigor e a uniformidade da pastagem (CANTARUTTI et al., 2007).

Sem a correção da acidez, os fertilizantes aplicados no solo não são bem aproveitados. A ausência de calagem reduz a eficiência da adubação fosfatada e potássica, exigindo doses maiores para alcançar os mesmos efeitos, o que encarece e pode inviabilizar o sistema produtivo.

Em sistemas de pecuária extensiva, onde a reposição de nutrientes é menos frequente, um erro no momento da calagem pode significar a perda do potencial produtivo da área por vários anos.

3.6. CALCÁRIO EM PASTAGENS ESTABELECIDAS

O uso do calcário em pastagens já estabelecidas também é uma prática indispensável para a manutenção da fertilidade do solo, aumento da produtividade e sustentabilidade do sistema produtivo, porém exige um pouco de atenção na aplicação, pois é importante que a pastagem não esteja alta no momento da aplicação para que o calcário chegue ao solo, granulometria mais fina e o grau de PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) deve ser alto, pois partículas finas tem maior área de contato e reage mais rapidamente com o solo, sendo mais eficiente em correções superficiais, comuns em pastagens onde a incorporação mecânica não é possível.

A aplicação/reaplicação do calcário pode se tornar necessária para corrigir a acidez resultante em virtude da adubação nitrogenada e/ou simplesmente para repor Ca e Mg ao solo, é recomendado fazer essa intervenção quando os níveis de saturação por bases reduzir a 20% e 30% em média, para plantas pouco exigentes e exigentes, respectivamente. (VILELA et al, 1998).

3.7. COMPARATIVO DE APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E EFEITOS DA INCORPORAÇÃO OU NÃO INCORPORAÇÃO

A aplicação de calcário é uma ferramenta indispensável para o sucesso das pastagens tropicais, a exemplo as do gênero Brachiaria (ou Urochloa). A Tabela 3 a seguir nos mostra os benefícios decorrentes da calagem e neutralização do Alumínio toxico.

Tabela 3: Comparativo entre a utilização ou não do calcário

Parâmetro Avaliado	Com Aplicação de Calcário	Sem Aplicação de Calcário	Referência
pH do Solo	Aumenta (ex.: de 4,8 para 5,8 ou mais)	Permanece ácido (ex.: pH < 5,0)	Cantarutti et al. (2007) - Embrapa
Saturação por Bases (V%)	Aumenta para 50-70%, ideal para gramíneas tropicais	Mantém-se baixa (<30%)	Vilela et al. (2002) - Embrapa Cerrados
Disponibilidade de Nutrientes (Ca, Mg, P)	Aumenta significativamente, favorecendo o crescimento forrageiro	Nutrientes limitados, menor desenvolvimento das plantas	Sousa & Lobato (2004)
Produção de Matéria Seca (MS)	Aumento de até 30-40% no primeiro ano após aplicação	Redução de produtividade em até 50% em solos com acidez elevada	Werner et al. (1996); Oliveira et al. (2011)
Crescimento Radicular	Maior profundidade e volume de raízes	Raízes superficiais e atrofiadas	Malavolta (1980); Cantarutti et al. (2007)
Eficiência da Adubação Fosfatada	Elevada, devido à menor fixação de fósforo no solo	Baixa, com grande parte do P indisponível	Novais et al. (2007)

Estabelecimento de Pastagem	Rápido, com maior cobertura do solo e vigor inicial	Lento, com falhas de plantio e maior infestação de plantas daninhas	Sousa et al. (2004)
Qualidade da forragem (digestibilidade)	Aumento da digestibilidade.	Níveis mais baixos de digestibilidade	Embrapa (2020); Sousa e Lobato (2004)
Custo-benefício	Alto retorno sobre investimento em médio prazo	Baixo, com prejuízos pela baixa produtividade	Vilela et al. (2002); Moreira et al. (2012)

A eficiência da calagem está diretamente relacionada à forma de aplicação do corretivo. A incorporação do calcário ao solo tende a apresentar maior eficiência, pois proporciona contato mais íntimo entre o corretivo e as partículas do solo, acelerando a reação e promovendo correção mais homogênea da acidez em profundidade (RAIJ, 2011).

Essa prática resulta em maior disponibilidade de nutrientes e melhor desenvolvimento radicular das forrageiras, sendo especialmente recomendada para o preparo de áreas em formação de pastagens. Por outro lado, a aplicação superficial do calcário, sem incorporação, apresenta reação mais lenta e limitada à camada superficial do solo, o que pode restringir os benefícios da calagem em camadas mais profundas (ERNANI; RIBEIRO, 1996).

No entanto, em sistemas já estabelecidos, como pastagens formadas, a aplicação superficial é a alternativa viável, pois mesmo de forma gradual, o corretivo consegue neutralizar a acidez do horizonte superior e, ao longo do tempo, pode proporcionar efeitos positivos também em subsuperfície, especialmente em solos com boa movimentação de água. De acordo com a Tabela 4 a seguir, observamos uma comparação da incorporação ou não do calcário e seus benefícios quando possível realizar.

Tabela 4: Eficiência da incorporação do calcário em comparativo a utilização do calcário superficial (não incorporado)

Parâmetro Avaliado	Com Incorporação de Calcário	Sem Incorporação de Calcário	Referência
Espécie Avaliada	*Brachiaria brizantha* cv. Marandu	*Brachiaria brizantha* cv. Marandu	Vilela et al. (2002); Sousa & Lobato (2004)
Dose aplicada de calcário	2,5 t/ha, incorporado a 20 cm	2,5 t/ha, aplicado em superfície, sem incorporação	Vilela et al. (2002); Embrapa (2020)
PRNT do calcário	85%	85%	Embrapa (2020)
Produtividade de matéria seca (MS)	12,0 a 13,5 t/ha/ano	8,0 a 9,5 t/ha/ano	Sousa & Lobato (2004); Marques et al. (2017)
Saturação por bases no solo (V%)	Atinge 60–70% nas camadas superficiais	Atinge apenas 40–45%, efeito mais superficial	Ribeiro et al. (1999); Embrapa (2020)

Profundidade do sistema radicular	> 60 cm	20–30 cm	Caires et al. (2005); Sousa & Lobato (2004)
Persistência da pastagem (anos)	Maior persistência (5–6 anos sem degradação significativa)	Degradação precoce (após 3 anos, queda expressiva de vigor)	Embrapa Cerrados (2020); Vilela et al. (2002)
Eficiência do uso de nutrientes (N, P)	Alta (melhor aproveitamento de N, P e S)	Baixa (pH ácido limita disponibilidade de P e eficiência do N)	Novais et al. (2007); Sousa & Lobato (2004)
Custo-benefício	Maior no médio/longo prazo (melhor retorno por produtividade)	Menor retorno, exige correções mais frequentes	Vilela et al. (2002); Ribeiro et al. (1999)

Dessa forma, percebemos a importância da incorporação do calcário, pois promove maior correção do pH, maior volume radicular, e, como consequência, maior produtividade da forragem e longevidade da pastagem. Por outro lado, a aplicação sem incorporação ainda assim traz algum benefício a pastagem, no entanto é limitado a camada mais superficial e com resposta mais lenta e menos eficaz.

4. GESSAGEM E ADUBAÇÃO COM ENXOFRE

A gessagem é uma prática complementar à calagem, utilizada para melhorar a fertilidade do solo e o ambiente radicular, consiste na aplicação de gesso agrícola (CaSO4·2H2O) ao solo com o objetivo principal de fornecer cálcio e enxofre às camadas subsuperficiais, além de reduzir os efeitos tóxicos do alumínio (Al3+). A gessagem deve vir logo em seguida da aplicação do calcario, aplicada em superfície, sem necessidade de incorporação.

O gesso, por ser mais solúvel que o calcário, apresenta maior mobilidade no perfil do solo, permitindo a correção química em profundidade, especialmente em camadas de 20 a 40cm, promovendo melhorias e ampliando o crescimento radicular das pastagens, beneficiando a fase inicial da formação.

A utilização do gesso como fonte de enxofre, tem como benefício:

i. Cerca de 12 a 16% de enxofre na forma de sulfato (SO_4^{2-}), prontamente assimilável pelas plantas.
ii. A solubilidade do gesso permite que o S atinja camadas mais profundas do solo do que fontes menos móveis, a exemplo do superfosfato simples.
iii. É uma alternativa econômica e eficiente em solos com deficiência de enxofre, comum em solos arenosos e muito intemperizados, como exemplo, o solo do cerrado brasileiro.

De acordo com a Tabela 5, observamos o efeito da gessagem utilizada como fonte de Enxofre (S) em pastagens e seus benefícios quando bem utilizado.

Tabela 5: Efeito da Gessagem como Fonte de Enxofre (S) em Pastagens

Parâmetro Avaliado	Com Gessagem (20-40 kg/ha de S)	Sem Gessagem	Referência
Teor de S no solo (0–20 cm)	Aumento de 60 a 100% no teor de S no solo, com maior mobilidade para camadas profundas.	Teores frequentemente abaixo de 5 mg/dm³, insuficientes para pastagens exigentes.	Sousa & Lobato (2004); Marques et al. (2017)
Teor de proteína bruta na forragem	Incremento de 1 a 2% na proteína bruta em cultivares como *Panicum maximum* e *Brachiaria spp.*	Proteína bruta limitada, mesmo com adubação nitrogenada isolada.	Marques et al. (2017); Embrapa (2020)
Produção de matéria seca (MS)	Aumento médio de 20 a 35% na produtividade de MS por hectare após gessagem com 1–2 t/ha.	Produção limitada por deficiência de S, com crescimento radicular superficial.	Caires et al. (2004); Embrapa (2020)
Eficiência da adubação nitrogenada	Alta eficiência devido ao sinergismo entre N e S na síntese de aminoácidos essenciais e proteínas.	Baixa eficiência do N aplicado isoladamente, com acúmulo de nitrato e baixa conversão proteica.	Sousa & Lobato (2004); Ribeiro et al. (1999)
Crescimento radicular	Sistema radicular mais profundo, com maior absorção de água e nutrientes, especialmente em solos ácidos do Cerrado.	Crescimento restrito às camadas superficiais, com baixa resiliência à seca e à competição por nutrientes.	Caires et al. (2004); Embrapa (2020)
Custo-benefício da gessagem com foco em S	Elevado retorno, especialmente em solos arenosos ou intemperizados, onde há resposta rápida da pastagem com maior qualidade forrageira.	Baixo retorno do investimento em adubação nitrogenada sem correção de S; prejuízos com baixa produtividade e valor nutritivo da forragem.	Marques et al. (2017); Embrapa (2020); Sousa & Lobato (2004)

Em experimento conduzido no campo, em um latossolo vermelho-amarelo de cerrado com 26% de argila, foi comparado um tratamento com gesso e sem gesso durante um período de três anos, e foi observado um aumento na produtividade de matéria seca da *Brachiaria decumbens* de até 52% em razão do uso de gesso, de acordo com (SOUSA, D. M. G. de VILELA, L. LOBATO, E. SOARES, W. V., 2001), podendo ser observado abaixo na Tabela 6.

Tabela 6. Rendimento acumulado de matéria seca de *Brachiaria decumbens* para diferentes doses de gesso em um período de três anos após a semeadura.

Dose de gesso (kg/ha)	Rendimento de matéria seca (t/ha)
0	21,9
200	31,4
600	32,6
1.200	33,4
1.800	32,6

Fonte: (SOUSA, D. M. G. de VILELA, L. LOBATO, E. SOARES, W. V., 2001),

5. ADUBAÇÃO

A adubação em pastagens é uma prática fundamental para a manutenção da produtividade e qualidade do pasto. Os solos brasileiros são geralmente pobres em nutrientes, o que compromete o desenvolvimento das forrageiras. A correta adubação, seja ela orgânica ou mineral (química), aliada à calagem, é imprescindível para garantir uma boa produção de massa de forragem, perenidade da pastagem e o aumento de produção e produtividade, pois assim como uma simples aplicação de calcário, também podemos aumentar o número de unidade animal (UA) por hectare (ha) com uma adubação.

5.1. TIPOS DE ADUBAÇÃO

Orgânica: utiliza materiais de origem biológica (animal ou vegetal) a fim de fornecer nutrientes às plantas.

- Exemplo: Esterco animal (Aves, suínos, bovinos, caprinos e ovinos), compostagem de orgânicos.

i. Vantagens: disponibilização dos nutrientes, que ocorre de forma mais lenta e gradual. Melhorias químicas, físicas e biológicas do solo.

ii. Desvantagens: Os adubos orgânicos, quando comparados com os minerais, possuem baixos teores de nutrientes, como também podem estar desbalanceados em relação à necessidade da cultura e liberação lenta.

Mineral (Química): É utilizado produtos produzidos industrialmente, apresenta disponibilidade específicas para as plantas, fornecendo um ou mais nutrientes.

- Exemplo: NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio), Super Fosfato Simples ou Triplo (Fonte de Fósforo), Cloreto de Potássio (fonte de Potássio).

i. Vantagens: Nutrientes em concentração conhecida e mais absorvíveis, resposta mais rápida quando comparada à orgânica, pode ser direcionada a necessidades específicas.

ii. Desvantagens: Pode causar acúmulo de sais e desequilíbrio no solo, aumento da acidez (principalmente adubos nitrogenados).

Na Tabela 7, notamos algumas diferenças entre os dois tipos de adubação, com características peculiares e nuances em cada uma delas.

Característica	Adubação Orgânica	Adubação Mineral (Química)
Origem	Natural (vegetal ou animal)	Industrial/sintética
Liberação de nutrientes	Lenta e gradual	Rápida
Efeito no solo	Melhora a estrutura e a vida microbiana	Não melhora a estrutura; pode desgastar
Risco de contaminação	Baixo	Médio a alto (se mal utilizada)

Custo	Geralmente mais barato (ou gratuito)	Pode ser mais caro
Controle de nutrientes	Menor precisão	Alta precisão (quantidades conhecidas)
Indicação	Cultivos orgânicos, solos pobres	Plantas exigentes, correções rápidas

Tabela 7

Organomineral: Combina componentes minerais e orgânicos em sua composição, podendo extrair o melhor entre os dois tipos, uma melhorando as características de solo, com disponibilidade contínua, e a mineral suprindo de forma mais rápida as deficiências e corrigindo os desequilíbrios.

5.2. IMPORTÂNCIA DA NUTRIÇÃO MINERAL DAS PASTAGENS

A mineralização das pastagens é considerada um fator chave para garantir boas produtividade e sustentabilidade nos sistemas de produção animal a pasto, tendo em vista que os minerais não estão ocasionalmente presentes nas plantas, mas sim por serem essenciais à saúde da mesma, assegurando um bom desempenho planta-animal. A nutrição influencia diretamente em inúmeros fatores, entre eles, aumento da rebrota, aumento do vigor da pastagem e melhora da capacidade de suporte (UA/ha).

5.3. ADUBAÇÃO NITROGENADA

O nitrogênio é o principal nutriente em promover o crescimento das plantas e influencia a altura das plantas, o número de perfilhos e a produção de forragem (Irving, 2015). O nitrogênio está presente na composição de diversas moléculas, desde aminoácidos e proteínas, enzimas de diversas vias metabólicas e na composição do DNA, sendo essencial para a vida (Scharf, 2015).

O aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo é uma das práticas mais utilizadas para aumentar a produtividade e interfere positivamente em fatores fisiológicos das plantas forrageiras estimulando o seu crescimento, aumento na atividade fotossintética e aumento da velocidade de rebrota. Sendo assim, o nitrogênio é considerado a “testosterona” do capim, pois rejuvenesce a pastagem, estimulando a renovação da parte aérea, aumentando a taxa de aparecimento de perfilhos jovens e formação de novas folhas. (Dias-Filho, 2022, p. 52). Em consonância a isso, ainda é possível elevar o desempenho dos animais, através de melhorias no manejo de pastejo, em função de uma oportunidade de aumentar o consumo de folhas de maior valor nutricional.

Dessa forma, a utilização de fertilizantes nitrogenados, em sistemas voltados à produção animal sob pastejo, tem objetivos claros, o aumento da rentabilidade do negócio, aumento produtividade das pastagens, recuperação mais rápida após o pastejo,

e consequentemente do animal, garante também uma maior perenidade da pastagem. Além disso, a adubação nitrogenada exige um planejamento e um manejo pré e pós adubação.

5.3.1. FONTES DE NITROGÊNIO

A fonte de nitrogênio no solo é a matéria orgânica, porém não é diretamente absorvida pelas plantas, necessitando de atividade dos microrganismos para fazer a decomposição afim de liberar N prontamente assimilável. De forma mineral (Tabela 8), há diversas fontes de Nitrogenio disponível no mercado, são elas:

Fonte Mineral	Forma de N	% de Nitrogênio (N)	Outros Nutrientes Presentes
Ureia	Amídica ($CO(NH_2)_2$)	45–46%	—
Sulfato de Amônio	Amoniacal (NH_4^+)	20–21%	24% Enxofre (S) – na forma de SO_4^{2-}
Nitrato de Amônio	Nítrico (NO_3^-) + Amoniacal	33–34%	—
Nitrato de Cálcio	Nítrico (NO_3^-)	15–16%	18–19% Cálcio (Ca)
Nitrato de Potássio	Nítrico (NO_3^-)	13%	44% Potássio (K_2O)
Cloreto de Amônio	Amoniacal (NH_4^+)	25–26%	66% Cloro (Cl^-)
Nitrato de Magnésio	Nítrico (NO_3^-)	11%	9% Magnésio (Mg)
Nitrato de Sódio	Nítrico (NO_3^-)	16%	26% Sódio (Na)
MAP	Amoniacal (NH_4^+)	11%	(P_2O_5): 52%

Tabela 8

Observando as formas disponíveis, de forma expressiva a Ureia é a fonte de maior concentração de N que encontramos, porém tem alto risco de volatilização quando aplicada a superfície do solo, essa volatilização nada mais é do que a perda de N no solo em forma de gás NH3. No caso do nitrato e do sulfato de amônio, a principal vantagem estaria relacionada com as menores perdas do N-aplicado, geralmente, inferiores a 5 %, no caso do nitrato de amônio, e menores que 10 %, no caso do sulfato de amônio (PRIMAVESI et al., 2001; MARTHA JÚNIOR et al., 2004a, b).

5.3.2. ABSORÇÃO DO NITROGÊNIO PELA PLANTA E RESPOSTA DAS PASTAGENS A ADUBAÇÃO NITROGENADA

As plantas absorvem o nitrogênio essencialmente em duas formas inorgânicas, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). Ambas são absorvidas pelas raízes, sendo que a preferência por uma ou outra forma pode variar conforme a espécie vegetal, pH do solo e temperatura (Cantarella, 2007).

De acordo com (MARTHA JUNIOR, G. B. VILELA, L. SOUSA, D. M. G. de), a resposta das gramíneas tropicais ao N-fertilizante é expressiva até 180kg N/ha/ciclo de

crescimento, isso reflete as condições de crescimento de uma planta forrageira durante um período em rebrota.

A adubação com nitrogênio deve ser feita na estação chuvosa, quando as condições ambientais, como a umidade do solo e a temperatura, são mais favoráveis ao crescimento das forrageiras e vai variar de acordo com o nível tecnológico da propriedade, dosagens abaixo de 30kg N/ha não é tão interessante de se fazer de acordo com (MARTHA JUNIOR, G. B. VILELA, L. SOUSA, D. M. G. de).

O parcelamento da aplicação do nitrogênio ao longo desse período é uma estratégia vantajosa, pois aumenta a eficiência da adubação e reduz a possibilidade de resultados negativos na produção de forragem e no desempenho animal devido ao uso do adubo nitrogenado. É recomendado que as dosagens sejam divididas em torno de 50kg N/ha a cada ciclo de pastejo.

Ao contrário do que ocorre em demais áreas da agricultura, a resposta da aplicação pode ser ainda mais evidente, em virtude ao efeito sobre a produção de biomassa total, capacidade de suporte e melhor produtividade.

Segundo Santos & Fonseca (2016) apud (GOMIDE, C. A. de M. PACIULLO, D. S. C. MARTINS, C. E., 2020). O aumento no desempenho individual de novilhos é de apenas 9,5% em resposta ao aumento da dose de nitrogênio, comparativamente a um incremento de 90,8% na produção por área, vemos isso na Figura 3.

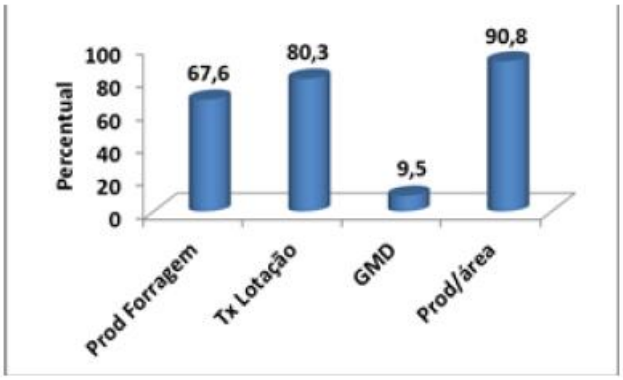


Figura 3 - Fonte: (GOMIDE, C. A. de M. PACIULLO, D. S. C. MARTINS, C. E., 2020)

5.4. ADUBAÇÃO FOSFATADA

O fosforo é um dos nutrientes que limitam a produção e desempenho da agropecuária em grande parte do país, pois a disponibilidade desse elemento é muito baixa, em condições naturais. Para o sucesso de estabelecimento de qualquer atividade agrícola, inclusive as pastagens, é imprescindível a utilização de fosforo no plantio, pois de acordo com (Dias-Filho, 2022, p. 60) o fosforo é o “colostro” do capim, considerado

também o nutriente da largada. A ação do fosforo no solo proporciona uma formação de touceiras de maior porte, mais vigorosas, fazendo com que o solo seja coberto com maior velocidade. Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo, depois de sua dissolução, praticamente todo o P é retido na fase sólida, formando compostos menos solúveis. Todavia, grande parte do P retido é aproveitada pelas plantas. (MARTHA JUNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de, 2007).

5.4.1. FONTES DE FÓSFORO

As principais fontes de fósforo disponíveis para utilização em sistemas de pastagens podem ser divididas em três grupos: (i) fertilizantes minerais solúveis, como superfosfato simples (SSP), superfosfato triplo (TSP), fosfato monoamônico (MAP) e fosfato diamônico (DAP), que apresentam rápida solubilidade e promovem resposta imediata das plantas (PROCHNOW; LANTMANN; KLEPKER, 2003); (ii) rochas fosfáticas reativas (RPR), que liberam o nutriente de forma gradual, sendo mais eficientes em solos ácidos e de maior regime hídrico; e (iii) fontes orgânicas, como estercos, compostos e farinha de ossos, que além de fornecer fósforo, contribuem para a melhoria da matéria orgânica e da atividade biológica do solo (SANTOS et al., 2018).

A escolha da fonte de fósforo deve considerar fatores edafoclimáticos, o nível tecnológico da propriedade e as exigências nutricionais da espécie forrageira. Em sistemas de pecuária extensiva, a aplicação de rochas fosfáticas pode representar uma alternativa de menor custo e efeito residual mais prolongado, enquanto em situações que demandam rápida resposta da pastagem recomenda-se o uso de fertilizantes solúveis. Assim, a adoção de estratégias que aliem eficiência de uso do nutriente e sustentabilidade econômica é indispensável para garantir maior longevidade e produtividade das áreas de pastagens. De forma mineral (Tabela 9), temos diversas fontes de Fosfóro disponível no mercado, entre elas são:

Fonte	Teor de P_2O_5 (%)	Solubilidade	Vantagens	Limitações	Recomendações de uso
Superfosfato simples (SSP)	16–20% P_2O_5 + 10–12% S	Alta (solúvel em água)	Liberação rápida; fornece também enxofre	Baixa concentração de P; maior volume de transporte e aplicação	Formação de pastagens em solos deficientes em S; aplicação a lanço ou incorporada
Superfosfato triplo (TSP)	44–46% P_2O_5	Muito alta (solúvel em água)	Alta concentração de P; menor custo logístico por	Não fornece S; suscetível à fixação em solos muito intemperizados	Estabelecimento de pastagens exigentes em P; aplicação localizada

			unidade de nutriente		
MAP (fosfato monoamônico)	48–52% P_2O_5 + 11% N	Alta	Fornece N junto com P; boa eficiência em solos corrigidos	Custo elevado; pode acidificar o microambiente	Estabelecimento rápido; recomendado em semeadura de alto investimento
DAP (fosfato diamônico)	44–46% P_2O_5 + 18% N	Alta	Fornece P + N; alta concentração	Hygroscópico; pode causar perdas se mal armazenado	Uso localizado no plantio; resposta rápida
Rochas fosfáticas reativas (RPR)	20–35% P_2O_5 (variável)	Baixa a média (dependente de pH e umidade)	Menor custo; efeito residual prolongado	Eficiência inicial reduzida; depende de acidez e regime hídrico	Manutenção de pastagens em solos ácidos e úmidos
Fontes orgânicas (esterco, farinha de ossos, compostos)	Variável (baixa a moderada)	Muito baixa (dependente da mineralização)	Contribuem com MO e ciclagem de nutrientes	Baixa concentração; logística desfavorável	Complemento de adubação em sistemas integrados pecuária-agricultura

Tabela 9. Fonte: Adaptado de Prochnow, Lantmann e Klepker (2003); Sale e Melloni (1997); Vilela, Resende e Macedo (2004).

5.4.2. RESPOSTA DAS PASTAGENS À ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

A resposta da planta forrageira à adubação fosfatada depende, entre outros fatores, da disponibilidade de P e de outros nutrientes no solo, do nível de acidez, da espécie e/ou cultivar e das condições climáticas.

A adubação fosfatada desempenha papel fundamental na produtividade e persistência das pastagens tropicais, uma vez que o fósforo é um dos nutrientes mais limitantes nos solos brasileiros, especialmente em regiões de Cerrado, onde predominam Latossolos e Argissolos com elevada fixação de P (NOVAIS; SMYTH, 1999). A baixa disponibilidade natural desse nutriente compromete o desenvolvimento radicular, o perfilhamento e, consequentemente, a produção de matéria seca das forrageiras (VILELA et al., 2004). Estudos mostram que a resposta das pastagens à adubação fosfatada é significativa, principalmente na fase de estabelecimento.

A aplicação de fontes solúveis, como o superfosfato triplo ou MAP, promove rápido crescimento inicial e acelera o fechamento da cobertura vegetal, reduzindo a competição com plantas invasoras (CANTARUTTI et al., 1999). Em longo prazo, entretanto, o efeito residual das rochas fosfáticas reativas também se mostra relevante, garantindo manutenção da produtividade quando aplicadas em solos ácidos e com boa disponibilidade hídrica.

A resposta à adubação fosfatada é influenciada por fatores como espécie forrageira, condições edafoclimáticas e manejo. Espécies do gênero Brachiaria e Panicum, largamente utilizadas na pecuária nacional, apresentam incrementos expressivos na produção de forragem com a correção da deficiência de P, refletindo-se em maiores taxas de lotação e ganhos por área. Além do aumento da produtividade, o fósforo contribui para a melhoria da qualidade nutricional da forragem, elevando a concentração de proteína bruta e a digestibilidade, o que favorece o desempenho animal (VILELA; MACEDO, 2000).

Em sistemas intensivos de produção, a manutenção de níveis adequados de fósforo no solo é estratégica para sustentar altas taxas de lotação. A recomendação técnica envolve aplicações iniciais mais elevadas no estabelecimento da pastagem e doses de manutenção em cobertura, parceladas ou associadas a outras práticas de adubação, a fim de otimizar a eficiência de uso do nutriente (RESENDE et al., 2016).

Portanto, a adubação fosfatada deve ser entendida não apenas como fator de aumento da produção de massa forrageira, mas também como estratégia de sustentabilidade dos sistemas de produção pecuária, assegurando maior longevidade das pastagens e melhor aproveitamento dos recursos naturais.

5.5. ADUBAÇÃO POTÁSSICA

De acordo com (MARTHA JUNIOR, G. B. et al, 2007), o potássio (K) é o segundo elemento mais absorvido pelas plantas, e as quantidades mobilizadas são em função da produção, sua atuação está relacionada à regulação osmótica, fotossíntese, translocação de açúcares e à ativação de diversas enzimas (MARSCHNER, 2012). Apesar da relativa abundância do potássio total nos solos tropicais, a fração disponível para as plantas é frequentemente insuficiente para atender às altas demandas de forrageiras intensivamente manejadas, especialmente em solos arenosos e de baixa CTC (RAIJ, 2011).

A deficiência de potássio em pastagens pode resultar em redução do crescimento, menor perfilhamento, baixa resistência ao estresse hídrico e maior suscetibilidade ao acamamento e doenças (WERNER et al., 1996). Assim, a adubação potássica torna-se indispensável para sustentar altas produtividades e garantir longevidade das pastagens, principalmente em sistemas intensivos de produção animal.

5.5.1. FONTES DE POTÁSSIO PARA UTILIZAÇÃO EM PASTAGENS

As principais fontes comerciais de potássio utilizadas em pastagens são os sais solúveis, entre os quais o cloreto de potássio (KCl) se destaca por ser a fonte mais concentrada e economicamente viável, contendo entre 58 a 62% de K_2O. Outras fontes incluem o sulfato de potássio (K_2SO_4), que fornece cerca de 50% de K_2O juntamente com enxofre, e o nitrato de potássio (KNO_3), com 44% de K_2O e 13% de N na forma nítrica, sendo mais empregado em cultivos de maior valor agregado (RAIJ, 2011).

Na forma de mineral de acordo com a Tabela 10, temos diversas fontes de Potássio disponível no mercado, entre elas são:

Fonte de K	Teor de K_2O (%)	Nutrientes adicionais	Solubilidade	Formas de uso em pastagens	Referências
Cloreto de potássio (KCl)	58–62	–	Alta (totalmente solúvel em água)	Fonte mais utilizada; aplicação a lanço ou localizada; indicada para manutenção e formação de pastagens	Yamada & Roberts (2005); Raij (2011)
Sulfato de potássio (K_2SO_4)	48–52	17–18% S	Alta	Indicado para solos ou forrageiras que necessitam de S; aplicação a lanço ou localizada	Raij (2011); Werner et al. (1996)
Nitrato de potássio (KNO_3)	44	13% N (nítrico)	Alta	Uso restrito devido ao custo; mais comum em cultivos de maior valor; pode ser aplicado em fertirrigação em pastagens irrigadas	Marschner (2012); Raij (2011)
Cinza vegetal	5–15 (variável)	Ca, Mg, micronutrientes	Moderada	Fonte alternativa de liberação gradual; usada em sistemas agroecológicos	Theodoro & Leonardos (2006)
Rochas potássicas (fonolito, glauconita, verdete)	3–12 (dependendo do tipo)	Si, Mg, Fe, outros minerais	Baixa (liberação lenta)	Aplicação em maiores doses; efeito residual prolongado; recomendada para manejo sustentável e remineralização	Theodoro & Leonardos (2006)

Tabela 10

5.5.2. RESPOSTA DAS PASTAGENS À ADUBAÇÃO POTÁSSICA

A resposta das pastagens à adubação potássica é geralmente positiva, sobretudo em solos de baixa disponibilidade do nutriente. Segundo Werner et al. (1996), a aplicação de K aumenta a produção de matéria seca, o perfilhamento e a persistência das gramíneas tropicais, como Brachiaria brizantha e Panicum maximum.

Por outro lado, em solos com alta disponibilidade de K, ou quando aplicadas doses excessivas, pode ocorrer desequilíbrio nutricional, favorecendo a absorção excessiva do nutriente e resultando em distúrbios minerais nos animais, como a hipomagnesemia (RAIJ, 2011). Portanto, o manejo adequado da adubação potássica deve estar baseado na análise de solo e nas exigências da espécie forrageira, de modo a garantir eficiência técnica e econômica.

6. MICRONUTRIENTES

Os micronutrientes são elementos essenciais requeridos pelas plantas em pequenas quantidades, porém sua presença é indispensável para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das pastagens. Apesar de serem absorvidos em menores concentrações em comparação aos macronutrientes, os micronutrientes desempenham funções vitais em processos fisiológicos e bioquímicos, como a fotossíntese, respiração, síntese de proteínas, ativação de enzimas e produção de hormônios vegetais (MARSCHNER, 2012; MALAVOLTA et al., 1997).

Em pastagens do gênero Brachiaria e outras forrageiras tropicais, a deficiência de micronutrientes pode resultar em redução significativa da produtividade de biomassa, menor perfilhamento, atraso no desenvolvimento e redução da eficiência de utilização de macronutrientes. Por exemplo, a deficiência de zinco pode comprometer a síntese de triptofano e hormônios de crescimento; o boro é essencial para a divisão celular e crescimento de tecidos meristemáticos; enquanto o cobre atua diretamente na fotossíntese e no metabolismo de carboidratos (TAIZ et al., 2017).

6.3. FONTES DE MICRONUTRIENTES UTILIZADAS NA ADUBAÇÃO DE PASTAGENS

A adubação com micronutrientes pode ser realizada por via solo ou foliar, dependendo do elemento, da urgência de correção e das condições edafoclimáticas. A Tabela 11 apresenta os principais micronutrientes essenciais para pastagens, suas funções fisiológicas e as principais fontes comerciais utilizadas na agricultura.

Micronutriente	Função principal na planta	Principais fontes comerciais	Concentração média do nutriente
Boro (B)	Crescimento de tecidos meristemáticos, transporte de açúcares e divisão celular	Ácido bórico, Borato de sódio, Ulexita	10–20% B
Zinco (Zn)	Síntese de hormônios de crescimento, ativação enzimática, formação de clorofila	Sulfato de zinco, Óxido de zinco, Quelato de Zn	20–35% Zn
Cobre (Cu)	Fotossíntese, lignificação, metabolismo de carboidratos e proteínas	Sulfato de cobre, Óxido cuproso, Quelato de Cu	20–25% Cu
Manganês (Mn)	Ativação enzimática, fotólise da água na fotossíntese	Sulfato de manganês, Óxido de manganês	25–32% Mn
Ferro (Fe)	Formação de clorofila, respiração celular e transporte de elétrons	Sulfato ferroso, Quelato de ferro, Óxido de ferro	15–30% Fe
Molibdênio (Mo)	Fixação biológica de nitrogênio, metabolismo do nitrogênio	Molibdato de amônio, Molibdato de sódio	50–60% Mo

Tabela 11

6.3.1. RESPOSTA DAS PASTAGENS À ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

A resposta das pastagens à aplicação de micronutrientes varia conforme o tipo de solo, espécie forrageira, manejo adotado e nível de deficiência existente. Em solos tropicais intemperizados, especialmente aqueles de baixa fertilidade natural e alta acidez, é comum a ocorrência de deficiências de zinco, cobre, boro e molibdênio (FAGERIA, 2016).

Estudos demonstram que a aplicação de micronutrientes pode aumentar significativamente a produtividade de matéria seca e melhorar a qualidade nutricional da forragem. Em pesquisa realizada com Brachiaria brizantha, a adubação com zinco e cobre elevou a produção de biomassa em até 20% e aumentou o teor proteico da forragem (SANTOS et al., 2020). Além disso, a suplementação com molibdênio em solos com baixo teor do elemento potencializou a fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas associadas, reduzindo a necessidade de adubação nitrogenada mineral (MARSCHNER, 2012).

A correção do perfil de micronutrientes também favorece a eficiência de uso dos macronutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, resultando em maior aproveitamento do potencial produtivo das pastagens e maior sustentabilidade do sistema de produção animal (MALAVOLTA et al., 1997).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada ao longo deste trabalho evidenciou a importância das práticas de calagem e adubação para a manutenção e o desempenho das pastagens no Brasil.

Considerando que a pecuária nacional ocupa posição de destaque no cenário econômico e depende majoritariamente da produção forrageira, torna-se imprescindível adotar manejos que garantam a sustentabilidade dos sistemas de produção.

A calagem mostrou-se fundamental não apenas para a correção da acidez do solo, mas também para a disponibilização de cálcio e magnésio, aumento da saturação por bases e redução da toxidez por alumínio, criando condições mais favoráveis ao desenvolvimento radicular e à absorção de nutrientes. Os resultados dos estudos apontam que a eficiência da prática está diretamente relacionada ao modo de aplicação, sendo a incorporação a alternativa mais eficiente, embora a aplicação superficial também represente ganhos em sistemas já estabelecidos.

A adubação, por sua vez, destacou-se como prática essencial para suprir as deficiências nutricionais características dos solos tropicais brasileiros, sobretudo no que se refere ao nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e micronutrientes. A adoção de estratégias de manejo que considerem o tipo de solo, a exigência das espécies forrageiras e o nível tecnológico da propriedade é determinante para assegurar o aumento da produção de biomassa, a perenidade das pastagens e a qualidade nutricional da forragem.

Outro aspecto relevante discutido foi a complementaridade entre práticas, como a associação da calagem à gessagem, bem como o parcelamento da adubação nitrogenada, que contribuem para maior eficiência do uso de nutrientes e melhor relação custo-benefício. Dessa forma, as evidências apontam que a integração de diferentes práticas corretivas e de adubação é a estratégia mais adequada para enfrentar os desafios impostos pela acidez dos solos, pela baixa fertilidade natural e pela intensificação da produção pecuária.

Conclui-se, portanto, que a adoção planejada e tecnicamente fundamentada de calagem, gessagem e adubação representa um dos pilares para o fortalecimento da pecuária brasileira, permitindo não apenas a elevação da produtividade, mas também a sustentabilidade dos sistemas de produção animal. Dessa maneira, a integração entre conhecimento científico, análise de solo e manejo eficiente constitui ferramenta indispensável para assegurar a viabilidade econômica e ambiental da pecuária nacional a longo prazo.

8. REFERÊNCIAS

CAIRES, E. et al. **Surface application of lime and gypsum for improved root growth of annual crops in a no-till system**. *Soil Use and Management*, v. 21, n. 2, p. 267–272, 2005.

CANTARELLA, H. **Nitrogênio**. In: NOVAIS, R. F. et al. (org.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375–470.

CANTARUTTI, R. B. et al. **Pastagens: estabelecimento e manejo**. In: ALVAREZ, V. H. et al. (org.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289–301.

CANTARUTTI, R. B. et al. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa: CFSEMG, 2007.

DIAS-FILHO, M. B. *Pastagens: manejo para alta produtividade e sustentabilidade*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2022.

EMBRAPA. *Pastagens: estabelecimento, manejo e adubação*. Brasília: Embrapa Cerrados, 2020.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. F. *Química do solo e disponibilidade de nutrientes*. Florianópolis: UDESC, 1996.

FAGERIA, N. K. *Nutrient management for improving crop production in tropical regions*. CRC Press, 2016.

GOMIDE, C. A. de M.; PACIULLO, D. S. C.; MARTINS, C. E. **Adubação nitrogenada em pastagens tropicais**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 49, e20200021, 2020.

IRVING, A. **Nitrogen fertilization and grass growth**. *Journal of Agronomy*, v. 12, p. 45–58, 2015.

LIEBIG, J. *Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology*. London: Taylor and Walton, 1840.

MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARQUES, D. C. et al. **Efeito da aplicação de gesso e enxofre em pastagens tropicais**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, e016043, 2017.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 3. ed. London: Academic Press, 2012.

MARTHA JÚNIOR, G. B. et al. **Adubação nitrogenada em pastagens tropicais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004a.

MARTHA JÚNIOR, G. B. et al. **Fertilidade do solo para pastagens tropicais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004b.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de. **Fósforo em pastagens tropicais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999.

NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

OLIVEIRA, P. P. A. et al. **Calagem e produtividade de pastagens tropicais**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 5, p. 565–573, 2011.

PRIMAVESI, A. C. et al. **Perdas de nitrogênio por volatilização de ureia em pastagens**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n. 5, p. 791–799, 2001.

PROCHNOW, L. I.; LANTMANN, A. F.; KLEPKER, D. **Fertilizantes fosfatados: características e recomendações de uso**. Piracicaba: IPNI Brasil, 2003.

RAIJ, B. van. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: IPNI, 2011.

RESENDE, A. V. et al. **Adubação fosfatada em sistemas intensivos de produção animal**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2016.

RIBEIRO, A. C. et al. **Calagem e correção de acidez do solo**. In: RIBEIRO, A. C. et al. (org.). *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 43–50.

SALE, P. W. G.; MELLONI, R. **Phosphate fertilizers and soil chemistry**. *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, p. 785–792, 1997.

SANTOS, M. E. R. et al. **Adubação fosfatada e produtividade de pastagens**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, e016039, 2018.

SANTOS, M. E. R. et al. **Micronutrientes em pastagens tropicais**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 49, e20200120, 2020.

SCHARF, P. C. **Nitrogen dynamics in grassland systems**. *Agronomy Journal*, v. 107, p. 25–33, 2015.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Calagem e adubação para pastagens**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

SOUSA, D. M. G. de; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Efeito do gesso em pastagens tropicais**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

TAIZ, L. et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. *Agrominerais para agricultura sustentável*. Brasília: Embrapa, 2006.

VILELA, L. et al. **Pastagens no cerrado brasileiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998.

VILELA, L. et al. **Respostas de pastagens à adubação potássica**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, p. 1251–1258, 2004.

VILELA, L. et al. **Adubação fosfatada e produção de forragem**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.

VILELA, L.; MACEDO, M. C. M. **Fósforo e qualidade da forragem**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2000.

WERNER, J. C. et al. *Fertilidade do solo e nutrição de pastagens*. Piracicaba: Potafos, 1996.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. *Fertilizantes potássicos na agricultura brasileira*. Piracicaba: IPNI Brasil, 2005.