



UNIVERSIDADE FEDERAL DO NORTE DO TOCANTINS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTEGRADO EM ZOOTECNIA NOS
TRÓPICOS

ESTRATÉGIAS DE CORREÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO PARA A
PRODUTIVIDADE E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DO CAPIM MARANDU

JOÃO LUCAS DA SILVA ABREU

ARAGUAÍNA, TO
2023

João Lucas da Silva Abreu

Estratégias de correção da fertilidade do solo para a produtividade e desenvolvimento radicular do capim Marandu

Dissertação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, junto ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Norte do Tocantins – Centro de Ciências Agrárias.

Área de concentração: Produção Animal

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Donizetti dos Santos.

Araguaína, TO
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

D229e da Silva Abreu, João Lucas.
Estratégias de correção da fertilidade do solo para a produtividade e desenvolvimento radicular do capim Marandu. / João Lucas da Silva Abreu. – Araguaína, TO, 2023.

87 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Araguaína - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciência Animal Tropical, 2023.

Orientador: José Geraldo Donizetti dos Santos

1. Adubação. 2. Calagem. 3. Gessagem. 4. Pastagem degradada.
I. Título

CDD 636.089

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

JOÃO LUCAS DA SILVA ABREU

ESTRATÉGIAS DE CORREÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO PARA A
PRODUTIVIDADE E DESENVOLVIMENTO RADICULAR DO CAPIM MARANDU

Dissertação apresentado ao programa de Pós-graduação em Ciência Animal Tropical da Universidade Federal do Norte do Tocantins, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciência Animal Tropical, aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 04/08/2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. José Geraldo Donizetti dos Santos, Orientador, UFNT.

Prof. Dr. Elcivan Bento da Nóbrega, Examinador, UFNT

Dr. Tiago Barbalho André, Examinador, UFNT

Prof. Dr. Durval Nolasco das Neves Neto, Examinador, UNITPAC

*Dedico aos meus pais, Lucilene e Raimundo,
aos meus sobrinhos Sara, Elisa e Natã
e a minha companheira de vida Gisele,
pelo o apoio e inventivo.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu guia, autor do meu destino, por me conceder chegar até esse momento e a realizar esse sonho.

Aos meus pais Lucilene Gonçalves de Abreu e Raimundo da Silva Oliveira, que sempre estiveram ao meu lado incentivando, apoiando e por acreditar em mim. O apoio de vocês foi crucial para eu ter chegado até aqui. Eterna gratidão.

A minha companheira, Gisele, pelo seu apoio, cuidado, incentivo e por toda ajuda nas coletas do experimento e auxílio em laboratório.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Geraldo, por sua orientação, confiança, incentivos, conversas, ensinamentos e conhecimentos compartilhados, e por contribuindo em todas as fases desse trabalho, do desenvolvimento a conclusão.

Ao Prof. Dr. Elcivan por ceder parte de sua propriedade para execução do experimento e pela ajuda e apoio no desenvolvimento e condução do experimento, e ao Prof. Dr. Antônio Clementino dos Santos pelo apoio e conhecimento compartilhado.

A Sâmia, Daniel, Kaio e Andressa pela ajuda nas coletas a campo e auxílios no laboratório.

Aos técnicos de Laboratório Lucas e Klezion, por toda orientação e suporte durante as realizações das análises laboratoriais.

Aos professores, técnicos e colegas da pós-graduação que direta e indiretamente contribuíram com minha formação.

Ao grupo de solo, por todo o conhecimento compartilhado.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram dessa jornada, agradeço pelas contribuições.

Muito obrigado!

RESUMO

A baixa fertilidade natural dos solos e a sazonalidade de produção de forragem em ambiente tropical são os grandes desafios da produção animal a pasto, principalmente em solos mais arenosos. Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição da gessagem (0, 200, 750, 1.500 e 2.250 kg ha⁻¹) combinada com calagem + adubação com NPK, além dos tratamentos apenas NPK e a testemunha (sem adubação ou corretivos), na produção de forragem e desenvolvimento radicular do capim Marandu (*Urochloa brizantha*). O experimento foi conduzido a campo, em um delineamento em blocos ao acaso, com sete tratamentos e quatro repetições. Aplicou-se 3000 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico e para o NPK aplicou-se 100 kg ha⁻¹ de N (ureia), 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (superfosfato triplo) e 100 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio). As estratégias de melhoria da fertilidade do solo promoveram mudanças nos atributos químicos do solo aos seis e doze meses. Na camada superficial, a presença do calcário e gesso aumentaram o pH e o teor de cálcio no solo, além de reduzir a saturação por alumínio, enquanto a adubação elevou os níveis de fósforo e potássio. Em subsuperfície, de 50 a 110 cm, os teores de cálcio e magnésio aumentaram e a saturação por alumínio diminuiu pela aplicação de gesso. A massa de raiz do capim Marandu no perfil do solo aumentou com aplicação da adubação com NPK e do gesso. No primeiro e segundo ano de avaliação, as estratégias de combinação ou não do gesso + calcário e adubação apresentaram maiores altura, densidade de perfilhos e massa de forragem, por ciclo e total, em relação a testemunha. No entanto, apenas no segundo ano verificou-se diferença entre as estratégias, sendo que a aplicação do gesso permitiu maiores incrementos na altura, densidade de perfilhos e massa de forragem por ciclo e total. A estratégia que envolve calcário e gesso promove melhores benefícios sobre a fertilidade do solo em superfície e subsuperfície e se destaca por minimizar a sazonalidade de produção de forragem ao estimular o crescimento da forrageira nos períodos de transição águas-seca e seca-águas. A melhoria da fertilidade do solo aumenta a massa de raiz do capim Marandu no perfil do solo. A combinação de adubação com NPK mais calcário e gesso melhora o desempenho da forrageira durante a recuperação de pastagem.

Palavras chaves: Adubação. Calagem. Gessagem. Pastagem degradada. Raiz.

ABSTRACT

In the tropical environment, the low soil's natural fertility and forage yield seasonality are significant challenges for animal production on pasture, especially in sandy soils. Thus, the aim of this study was to evaluate the contribution of gypsum (0, 200, 750, 1500, and 2250 kg ha⁻¹) combined with liming + NPK fertilization, in addition to the treatments only NPK and the control (without fertilization or correctives), on forage production and root development of Marandu grass (*Urochloa brizantha*). The experiment was conducted under field conditions, in a randomized block design, with seven treatments and four replications. 3000 kg ha⁻¹ of dolomitic lime was applied and for the NPK we used 100 kg ha⁻¹ of N (urea), 50 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (triple superphosphate) and 100 kg ha⁻¹ of K₂O (chloride of potassium). Soil fertility improvement strategies promoted changes in soil chemical attributes at six and twelve months. In the soil surface layer, the lime and gypsum increased pH and calcium content, in addition to reducing aluminum saturation, in addition, the fertilization increased phosphorus and potassium levels too. In the subsurface layers, from 50 to 110 cm, calcium and magnesium contents increased and aluminum saturation decreased due gypsum addition. The Marandu grass root mass increased, in the soil profile, with NPK and gypsum application. In the first and second years of evaluation, the strategies of combining or not gypsum + lime and fertilization showed greater height, tiller density, and forage mass per cycle and total compared to the control. Only in the second year was observed difference between the strategies, and the application of gypsum allowed greater increments in height, tiller density and forage mass per cycle and total. The strategy that involves limestone and gypsum promotes better benefits on surface and subsurface soil fertility and stands out for minimizing the seasonality of forage production by stimulating forage growth in the wet-dry and dry-wet transition periods. Fertilization with NPK and gypsum increases Marandu grass root mass in the soil profile. The combination of fertilization with NPK plus lime and gypsum presents better performance on production and pasture recovery.

Keywords: Fertilization. Gypsum. Lime. Degraded pasture. Root.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO CAPIM MARANDU SOB EFEITO DO MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

- Figura 2.1 - Temperatura máxima e mínima, precipitação acumulada mensal e média histórica, registradas durante o período experimental.....27
- Figura 2.2 - Croqui da área experimental.....29
- Figura 2.3 - Valores de pH do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.....33
- Figura 2.4 - Teor de cálcio (Ca^{2+}) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.....35
- Figura 2.5 - Teor de magnésio (Mg^{2+}) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.....37
- Figura 2.6 - Teor de alumínio (Al^{3+}) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.....39
- Figura 2.7 - Teor de potássio (K^{+}) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.....41
- Figura 2.8 - Teor de fósforo (P) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.....43
- Figura 2.9 - Saturação por alumínio (m) do solo em profundidades aos seis (a) e doze meses (b) após a aplicação da combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.45
- Figura 2.10 - Massa seca total de raiz do capim Marandu em profundidade (0 a 190 cm) na avaliação de seis e doze meses, após diferentes estratégias de manejo da fertilidade do solo.....50

CAPÍTULO III - CALAGEM, GESSAGEM E ADUBAÇÃO EM PASTAGEM DE CAPIM MARANDU EM ESTÁGIO INICIAL DE DEGRADAÇÃO

- Figura 3.1 - Temperatura máxima e mínima, precipitação acumulada mensal e média histórica, registrada durante o período experimental.60
- Figura 3.2 - Croqui da área experimental.....62
- Figura 3.3 - Massa seca acumulada do primeiro e segundo ano do capim Marandu sob diferentes estratégias de manejo da fertilidade de solo.....73

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO CAPIM MARANDU SOB EFEITO DO MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

- Tabela 2.1 - Características químicas do solo da área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.....28
- Tabela 2.2 - Matéria orgânica e textura do solo na área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.....28
- Tabela 2.3 - Quantidade de fertilizantes, calcário e gesso aplicados em cada tratamento.29
- Tabela 2.4 - Massa seca de raiz do capim Marandu na profundidade de 0 a 190 cm, sob efeito do manejo da fertilidade do solo, após seis meses.....47
- Tabela 2.5 - Massa seca de raiz do capim Marandu na profundidade de 0 a 190 cm, sob efeito do manejo da fertilidade do solo, após doze meses.48

CAPÍTULO III - CALAGEM, GESSAGEM E ADUBAÇÃO EM PASTAGEM DE CAPIM MARANDU EM ESTÁGIO INICIAL DE DEGRADAÇÃO

- Tabela 3.1 - Características químicas do solo da área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.....61
- Tabela 3.2 - Matéria orgânica e textura do solo na área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.....61
- Tabela 3.3 - Quantidade de fertilizantes, calcário e gesso aplicados em cada tratamento.62
- Tabela 3.4 - Numero e data dos cortes durante o período experimental.63
- Tabela 3.5 - Altura do capim Marandu, no primeiro ano (2021/2022), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.....65
- Tabela 3.6 - Altura do capim Marandu, no segundo ano (2022/2023), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.....66
- Tabela 3.7 - Densidade de perfilhos do capim Marandu, no primeiro ano (2021/2022), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.68
- Tabela 3.8 - Densidade de perfilhos do capim Marandu, no segundo ano (2022/2023), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.69
- Tabela 3.9 - Massa seca de forragem do capim Marandu, no primeiro ano (2021/2022), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.71
- Tabela 3.10 - Massa seca de forragem do capim Marandu, no segundo ano (2022/2023), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.....71

SUMARIO

CAPÍTULO I	11
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo.....	13
1.2 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Pastagem e fertilidade do solo.....	14
2.2 Uso de gesso agrícola	15
REFERÊNCIAS.....	19
CAPÍTULO II	22
ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO CAPIM MARANDU SOB EFEITO DO MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO.....	22
RESUMO.....	23
ABSTRACT	24
1 INTRODUÇÃO	25
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4 CONCLUSÃO	52
REFERENCIAS.....	53
CAPITULO III	56
CALAGEM, GESSAGEM E ADUBAÇÃO EM PASTAGEM DE CAPIM MARANDU EM ESTÁGIO INICIAL DE DEGRADAÇÃO	56
RESUMO.....	57
ABSTRACT	58
1 INTRODUÇÃO	59
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4 CONCLUSÕES.....	75
REFERENCIAS.....	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
APÊNDICE	79

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O sistema de produção de bovinos no Brasil é principalmente a pasto, em áreas marginais de aptidão agrícola desfavorável e solos naturalmente de baixa fertilidade (DIAS-FILHO, 2014). Segundo este autor, na maioria dos sistemas de produção à pasto raramente utiliza-se corretivos e fertilizantes para melhorar a fertilidade do solo e a produção das forrageiras, além de prevalecer o manejo extensivo do rebanho, o que agrava o problema de baixa fertilidade dos solos tropicais, limitando a produção de forragem e agravando os baixos índices zootécnicos e a rentabilidade.

Sob este manejo pouco tecnificado, no qual não se faz a reposição de nutrientes, há o comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular (BACKES et al., 2017; PIETRAMALE et al., 2020). O principal efeito é sobre o aprofundamento das raízes, fazendo com que estas se concentrem na camada superficial do solo, onde concentra maior teor de matéria orgânica (MULLER et al., 2001). Esta condição reduz a exploração daqueles nutrientes mais móveis (nitrogênio, enxofre e potássio), lixiviados para camadas inferiores do solo, e os imóveis (fosforo), esgotados nas camadas superiores (BACKES et al., 2018), além de menor acesso à água no subsolo (SAINJU et al., 2017), no período de estiagem. Tais condições deixam a planta mais vulnerável ao ataque de pragas e doenças, susceptível a veranicos e a seca, agravando o problema da sazonalidade de produção de forragem e baixa produção animal.

O comprometimento do desenvolvimento radicular em profundidade, em solos de baixa fertilidade, ácidos, está intimamente relacionado com a toxidez por alumínio e/ou deficiência de cálcio (SILVA et al., 2014). O alumínio reduz o crescimento e provoca deformações nas raízes, por outro lado, o cálcio funciona como um ativador de crescimento para as raízes, pois a absorção do cálcio é muito dependente da interceptação radicular e da zona de alongação da raiz (BRISKIN; BLOOM, 2013). Desta forma, altas concentrações de alumínio e baixas de cálcio, podem prejudicar o desenvolvimento da raiz em profundidade, diminuindo a eficiência de absorção de nutrientes e água, limitando a produção da planta.

Os solos tropicais muitas vezes não apresentam acidez só na camada superficial, mas na subsuperfície também. Desta forma, sob essas circunstâncias a melhoria da condição química em superfície e subsuperfície se faz necessária para

promover um ambiente adequado ao desenvolvimento radicular das plantas e obter maior produtividade.

Para a correção da acidez da superfície do solo utiliza-se a prática de calagem, que neutraliza o alumínio e fornece cálcio e magnésio, além de elevar o pH. Contudo, a curto prazo, a calagem não corrige a camada abaixo da qual foi aplicada e/ou incorporada. A gessagem complementa os efeitos da calagem, atuando em camada subsuperficial corrigindo a deficiência de cálcio, reduzindo a saturação por alumínio e fornecendo enxofre (SOUSA et al., 2001; VICENSI et al., 2020).

Tem sido registrado respostas positivas de gramíneas à correção da camada superficial e subsuperficial do solo, apresentando melhor distribuição e aprofundamento do sistema radicular, aumento no número de perfilhos e incremento na produtividade de matéria seca (BACKES et al., 2017; SOUSA et al., 2001).

Contudo, existem poucos estudos avaliando o sistema radicular de plantas forrageiras, sob condições de campo e em camadas mais profundas do subsolo (SILVA et al., 2014). As informações existentes se restringem a avaliação de camadas superficiais ou subsuperficiais de solos rasos e não abordam a utilização de estratégias de manejo que visam a melhoria da fertilidade do solo em subsuperfície de solos profundos como os latossolos do cerrado. Além disso, faltam informações para sistemas nos quais não se faz a incorporação do corretivo no solo, a exemplo de pastagens já estabelecidas e plantio direto.

Diante disso, a melhoria da condição química do solo, em subsuperfície, pode estimular o desenvolvimento radicular em profundidade e aumentar a produtividade da planta forrageira, reduzindo ainda o impacto da sazonalidade climática na produção anual de forragem, tornando o sistema mais produtivo e sustentável.

1.1 Objetivo

Estudar o efeito do manejo da fertilidade do solo, com calagem, gessagem e adubação com NPK, na recuperação e produção da pastagem, desenvolvimento radicular e sazonalidade de produção de forragem pelo capim Marandu em solo de textura média.

1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito combinado ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK sobre atributos químicos do solo, em superfície e subsuperfície, em pasto de capim Marandu;
- Avaliar o efeito combinado ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK sobre o desenvolvimento em profundidade do sistema radicular do capim Marandu;
- Avaliar o efeito combinado ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK sobre o desenvolvimento e produtividade do capim Marandu.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Pastagem e fertilidade do solo

As áreas de pastagens no Brasil estão estimadas em 180,7 milhões de hectares de pastagem cultivada (112,6 milhões) e naturais (68,1 milhões) (MIRANDA et al., 2017), aproximadamente 47 milhões de hectares das pastagens cultivadas estão localizados no bioma cerrado, o que representa 41,7% da área de pastagem do território nacional (MAPBIOMAS, 2021). Esse dado mostra a importância desse bioma para a produção de bovinos no país.

No cerrado os solos têm como característica predominante baixa fertilidade, com elevada acidez e saturação por alumínio e baixos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo. Essa característica está presente tanto na camada superficial quanto em subsuperfície (SOUSA et al., 2001).

Estudos tem mostrado que nessa região o teor de cálcio é muito baixo, em mais de 80% das áreas é inferior a $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e a saturação por alumínio é superior a 40% em mais de 70% das áreas (LOPES; COX, 1977; COCHRANE; AZEVEDO, 1988), sendo essa característica mais marcante em subsuperfície. Essas condições comprometem o desenvolvimento do sistema radicular da forrageira, limitando a absorção de nutrientes e água em subsuperfície, e conseqüentemente a produção da pastagem.

A condição química mínima adequada de solo para não limitar o desenvolvimento radicular em subsuperfície, conseqüentemente, a produção de forragem, é uma saturação por alumínio inferior a 20% e teor de cálcio maior que $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (SOUSA et al., 2001). Diante disso, se faz necessário a correção do solo, tanto em superfície quanto em subsuperfície.

A calagem é a tecnologia mais difundida para contornar parte das limitações químicas dos solos tropicais, pois corrige a acidez, neutraliza o alumínio, eleva os teores de cálcio e magnésio, aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, e a disponibilidade de macro e micronutrientes. Contudo, a calagem se restringe praticamente à camada de incorporação do corretivo e quando aplicada e sem incorporação a ação fica mais restrita aos primeiros 10 cm de profundidade. Essa restrição se deve a baixa solubilidade e mobilidade do calcário. Um insumo que comumente pode ser usado para complementar esta limitação do calcário, em subsuperfície, é gesso, porém sem efeito sobre o pH do solo.

2.2 Uso de gesso agrícola

O gesso agrícola é um insumo de grande importância na agropecuária, classificado como condicionador de subsuperfície e corretivo de sodicidade do solo. Também, pode ser utilizado como fonte de cálcio e enxofre, por apresentar em média 19% de Ca e 15% de S, representando uma excelente fonte deste nutriente, além de solubilidade e mobilidade no solo muito superior ao calcário.

O gesso agrícola ou gesso tem sido usado genericamente como termo para identificar a gipsita e o fosfogesso. A atuação destes dois produtos é praticamente semelhante como condicionador do subsolo, no entanto, apresenta diferença de composição química. Ambos apresentam alta pureza em sua constituição, sendo em torno de 95% de sulfato de cálcio dihidratado ($2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), excluindo-se a água (MALAVOLTA; ROMERO; LIEM, 1979 apud SILVA, 2018).

O fosfogesso é um produto de origem não geológica, obtido como subproduto do processo de produção de ácido fosfórico pelas indústrias de fertilizantes fosfatados. A matéria prima utilizada é a rocha fosfatada (apatita), que no processo é atacada por ácido sulfúrico mais água, produzindo como subprodutos dessa reação sulfato de cálcio (fosfogesso) e ácido fluorídrico. Segundo Brasil et al. (2020), o fosfogesso é produzido em torno de 4 a 5 t para cada tonelada de P_2O_5 produzida.

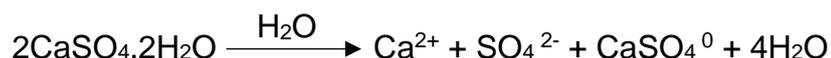
As impurezas contidas no fosfogesso são principalmente P e F, oriundos da rocha fosfatada original. As concentrações podem variar de acordo com a eficiência do processo de fabricação de ácido fosfórico e do tipo de rocha submetida ao ataque ácido, podendo chegar a 0,2% de F e 0,8% de P (DIAS, 1992; TIECHER et al., 2018). Também pode apresentar em concentrações menores de Mg e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Ni) e de outros elementos (Co, Na, Al, As, Ti, Sb, Cd) (Alvarez V. et al., 1999), além de poder conter compostos radioativos (RUTHERFORD; DUDAS; SAMEK, 1984; ZOCCA; PENN, 2017).

A gipsita ou gesso mineral é sulfato de cálcio de origem mineral, obtido a partir de rochas gipsíferas, associada a quantidade menores de calcita, anidrita, dolomita, halita, quartzo, enxofre e minerais de argila, que se origina em bacias sedimentares por evaporação, sendo está a principal reserva de gipsita no país (BRASIL et al., 2020).

Segundo Brasil et al. (2020), as principais bacias sedimentares de gipsita no Brasil estão localizadas nos estados do Amazonas e Pará (Bacia Amazônica); Maranhão e Tocantins (Bacia do Meio Norte ou Bacia do Parnaíba); Rio Grande do

Norte (Bacia Potiguar); Piauí, Ceará e Pernambuco (Bacia Sedimentar do Araripe); e Bahia (Bacia do Recôncavo).

Ao se aplicar gesso no solo, havendo umidade suficiente, inicia o processo de hidrólise do sulfato de cálcio, com a perda de suas moléculas de água, sofre dissolução do gesso, com a formação dos íons de cálcio (Ca^{2+}) e sulfato (SO_4^{2-}), e a do complexo neutro de sulfato de cálcio (CaSO_4^0), conforme a reação a seguir:



Após dissolução os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} podem participar da troca iônica na superfície dos coloides do solo, atuando como fontes de cálcio e de enxofre para as plantas.

Com a liberação do íon Ca^{2+} , na solução do solo e o aumento de sua concentração, este pode reagir no complexo de troca do solo, deslocando para a solução do solo cátions como Al^{3+} , K^+ , Mg^{2+} , esses tendo potencial de reagir com o SO_4^{2-} que foi liberado após a dissolução do gesso, formando a complexo AlSO_4^+ e os pares iônicos neutros K_2SO_4^0 , CaSO_4^0 , MgSO_4^0 .

Os pares iônicos neutros formados (K_2SO_4^0 , CaSO_4^0 , MgSO_4^0) apresentam grande mobilidade, permitindo a movimentação desses cátions para camadas mais profunda do solo, sendo que este efeito é predominantemente para o cálcio (VICENSI et al., 2020). A decida desses cátions no perfil do solo aumenta suas concentrações no complexo de troca nas camadas mais profundas, além de promover a redução da saturação por Al^{3+} ao ligar ao sulfato e produzir uma molécula de baixa solubilidade. Sendo esta umas das maiores vantagem da aplicação do gesso.

A intensidade de movimentação dos cátions básicos, no perfil do solo, após aplicação de gesso, é influenciada por vários fatores. Dentre eles destaca-se: quantidade de gesso aplicado no solo; capacidade de troca catiônica do solo; condutividade elétrica da solução do solo; textura do solo; volume de água que se aporta ao solo (ALVAREZ V. et al., 1999).

Ao estudar a aplicação (0, 3, 6, 9 e 12 t ha⁻¹) e o parcelamento do gesso (100%, 50% e 33%) em sistema de plantio direto e solo classificado como muito argiloso, Vicensi et al. (2016) não observaram efeito para o parcelamento da dose. No entanto observaram resposta linear positiva para incremento no teor de cálcio até 0,8 m de profundidade, com o aumento da dose de gesso. Quando observado o magnésio a

resposta foi inversamente proporcional, com decréscimo do teor deste nutriente associado ao aumento na dose de gesso, até a profundidade 0,6 m de perfil no solo. Os autores não observaram efeito sobre o potássio.

Em outro estudo avaliando aplicação de gesso (0, 1, 2, 3, 4 e 5 t ha⁻¹), em duas áreas de Latossolo Vermelho eutrófico de textura argilosa, com ou sem Al trocável, em sistema de plantio direto com rotação de culturas, Rampim et al. (2011) observaram comportamento linear positivo para incremento no teor de cálcio em todas as profundidades avaliadas (0 a 0,10, 0,10 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m), comportamento observado aos seis e doze meses após aplicação do gesso. Decréscimo no teor de magnésio foi observado, nos primeiros seis meses apenas nas profundidades de 0 a 0,10 e 0,10 a 0,20 m, e com doze meses apresentou uma ligeira redução para as doses mais altas aplicadas (4 e 5 t ha⁻¹). Neste estudo os autores encontraram uma queda no teor de potássio apenas na profundidade de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m após seis meses e após doze meses apenas na de 0 a 0,10 m. Os autores não constataram efeito para a área com ou sem alumínio trocável sobre os atributos químicos do solo avaliados.

Em um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa no cerrado, sob pastagem, avaliando o efeito de doses crescente de gesso (0, 450, 900, 1.800 e 3.600 kg ha⁻¹), Backes et al. (2017) observaram incremento no teor de Ca na camada 0 a 0,20 m e na de 0,20 a 0,40 m, o magnésio apresentou redução nas duas camadas avaliadas, já o potássio não apresentou lixiviação significativa.

A elevação do teor do cálcio em profundidade é o principal benefício da aplicação do gesso, pois o aumento de Ca²⁺ no complexo de troca, promove a redução da saturação por Al³⁺, a qual apresenta um papel mais importante com relação a toxidez para as plantas do que o teor dele no solo.

Com relação ao magnésio, apesar de ser observado grandes movimentações desse nutriente no perfil do solo, podendo ocasionar o seu desbalanço, em relação aos demais nutrientes, talvez esse não seja grande problema. Comumente, quando realizado a gessagem, faz-se o uso combinado com calagem e dado o predomínio de indicação de calcário que contenha Mg em sua composição (dolomítico), desta forma reduz-se os riscos do desbalanço desse nutriente.

O potássio não apresenta perdas substanciais por lixiviação excessiva, aponta os estudos, apesar de haver a possibilidade de lixiviação. Isso pode ser explicado por ele ser monovalente, ter apenas uma carga positiva disponível, enquanto o Ca e o Mg

são bivalentes e o Al tóxico é trivalente. Desta forma, após dissolução, o SO_4^{2-} terá preferência primeiro pelo Al^{3+} , em função da maior força de ligação, em seguida pelo Mg^{2+} e por último o K^+ (BRASIL et al., 2020).

Na formação do complexo de AlSO_4^+ há a redução do alumínio trocável e a atividade do íon Al^{3+} na solução do solo, isto torna esse menos tóxico a plantas, pois passa a ser menos absorvido pelas raízes das plantas (PANVA & BINGHAM, 1982).

Contudo, além do complexo AlSO_4^+ , o alumínio pode ser neutralizado pela sua precipitação em função da adsorção do sulfato, que irá liberar a hidroxila (OH^-), para a solução e com ela se associando, formando $\text{Al}(\text{OH})_3$ (REEVE; SUMNER, 1972), que é bastante instável e reversível (RAIJ, 2008). Além deste processo já descrito, o fosfogesso apresenta um potencial benefício extra, em relação á gipsita, para minimizar o efeito do Al tóxico, que é a formação do par iônico AlF_2^+ , por conter o F em sua composição (RAIJ, 2008).

Em solos de textura arenosa, que apresenta baixa CTC e baixa capacidade de adsorção de sulfato, apresenta auto potencial de lixiviação de bases, portanto, deve-se dar atenção extra para a quantidade de gesso aplicada (DIAS, 1992; ALVAREZ V. et al., 1999).

Com a melhoria da condição química do solo após aplicação do gesso as gramíneas têm apresentado repostas positivas. Sousa et al. (2001) conduziram um estudo em Latossolo Vermelho amarelo, em área do Cerrado com 26% de argila, com *Brachiaria decumbens*, corrigida com calcário e macro e micronutrientes, observaram um aumento de 52%, em três anos, na matéria seca acumulada, em razão do uso do gesso.

Em um estudo que avaliou o estabelecimento do capim Tanzânia sob Latossolo vermelho escuro, com aplicação de gesso (0, 250, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 kg ha^{-1}), conduzido em casa de vegetação, Custódio et al. (2005) observaram incremento de produtividade até a dose 3.000 kg ha^{-1} de gesso.

Na recuperação de uma pastagem de capim Marandu em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, Backes et al. (2018) observaram que o uso de gesso incrementou de até 26% a massa de seca de forragem por ciclo, durante a estação de chuvosa. Já durante a estação da seca esse incremento foi ainda maior, chegando a 37%, isso no primeiro ano de aplicação do gesso. No segundo ano, no período das chuvas o incremento foi 25%, enquanto na seca foi de 15%.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V., V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. de. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. capítulo 10, p. 67-78.
- BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; BESSA, S. V.; RIBON, A. A.; TEODORO, A. G.; RODRIGUES, L. M.; TOMAZELO, D. A.; LEITE, L. F. Taxa de cobertura verde e exportação de macronutrientes pelo capim Marandu em função da aplicação de gesso. **Archivos de Zootecnia** v. 67, n. 258, p. 234-242, 2018.
- BACKES, C.; SANTOS, A. J. M., RODRIGUES, L. M., TEODORO, A. G., RIBON, A. A., VILLAS BÔAS, R. L., PEREIRA, L. M.; FRANCO, Y. M. Recovery of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) and pasture as a function of gypsum in the Cerrado biome. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 46, p. 286-295, 2017.
- BRASIL, E. C.; LIMA, E. V.; CRAVO, M. S. Uso de gesso na agricultura. in: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIEGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2ª ed. rev. e atual. Brasília: Embrapa, 2020. parte 1, capítulo 11, p. 133-145.
- BRISKIN, D. P.; BLOOM, A. Nutrição Mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. Cap. 5.
- COCHRANE, T. T.; AZEVEDO, L. G. As savanas do trópico sul-americano: uma visão geral dos seus recursos de clima e solo para desenvolvimento agrotecnológico baseado no inventário computadorizado de sistema de terra do CIAT/EMBRAPA. In: Simpósio sobre o cerrado, 6. 1982. Brasília. Savanas: alimento e energia. **Anais [...]**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1988. p. 773-801.
- CUSTÓDIO, D. P.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, R. S. M.; FARIA, C. D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim-tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, v. 6, p. 27-34. 2005.
- DIAS, L. E. Uso de gesso como insumo agrícola. **Embrapa Agrobiologia – Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**. 1992. P. 6. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/623368/1/cot007.pdf>>. Acesso em: 17 de março de 2022.
- DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Doc.402. 2014. 38p.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under “cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, 41(4): 742-7, 1977.
- MAPBIOMAS. Cerrado: Evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2021). 2021. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Infograficos/Cole%C3%A7%C3%A3o%207.1/MBI-Infograficos-7.1-cerrado-BR.jpg>>. Acessado em: 01 de julho de 2023.
- MIRANDA, E. E. DE; CARVALHO, C. A.; CASTRO, G. S. A.; MAGALHÃES, L. A.; FONSECA, M. F.; OSHIRO, O. T.; MARTINHO, P. R. R.; DALTIO, J. Agricultura e

preservação ambiental: primeiras análises e resultados do CAR no Brasil. **Seed News**. Pelotas – RS, v.21, n. 7, p. 28-33, 2017.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. D. E. F.; DESJARDINS, T.; SILVA, M. P. F. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 1409-1418, 2001.

PAVAN, M.A. & BINGHAM, F.T. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Sci. Soco Am. J.** v. 46, n. 5, p. 993-997, 1982.

PIETRAMALE, R. T. R.; VALENTIM, J. K.; MARQUES, O. F. C.; LEITE, B. K. V.; PETROMALI, G. F. S. G.; DE CASTILHO, V. A. R.; BARBOSA, D. K.; RUVIARO, C. F.; OLIVEIRA NETO, S. S.; HEINRICHS, R. Produção de capim Marandu em condições deficitárias de nutrientes em diferentes épocas de corte. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e170943058, 2020.

Raij B. Van. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008.

RAMPIM, L.; LANA, M. D. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1687-1698, 2011.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surfaceapplied amedments. **Agrochemophysica**, v. 4, p.1-6, 1972.

RUTHERFORD, P. M.; DUDAS, M. J.; SAMEK, R. A. Environmental impacts of phosphogypsum. **Science of the total environment**, v. 149, n. 1-2, p. 1-38, 1994.

SAINJU, U. M.; ALLEN, B. L.; LENSSEN, A. W.; GHIMIRE, R. P. Root biomass, root/shoot ratio, and soil water content under perennial grasses with different nitrogen rates. **Field Crops Research**, v. 210, p. 183-191, 2017.

SILVA, G.L.S.; CARNEIRO, M. S. S; FURTADO, F. M. V., SANTOS, F. J. S.; SILVA, M. S., COSTA, N. L.; MAGALHÃES, J. A. Algumas considerações sobre o sistema radicular de plantas forrageiras. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Londrina, v. 8, n. 6, ed. 255, art. 1687, 2014.

SILVA, R. C. **Efeito do gesso nos teores de fósforo avaliados por três métodos de análise de solo**. 2008. 182 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SOUSA, D. M. G.; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagem no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados - Circular técnica n. 12, p. 1-22, 2001.

TIECHER, T.; PIAS, O. H. DE C.; BAYER C.; MARTINS, A. P.; DENARDIN, L. G. DE O.; ANGHINONI, I. Crop Response to Gypsum Application to Subtropical Soils Under No-Till in Brazil: a Systematic Review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 42, 2018.

VICENSI, M.; LOPES, C.; KOSZALKA, V.; UMBURANAS, R. C.; VIDIGAL, J. C. B.; DE ÁVILA, F. W.; MÜLLER, M. M. L. Soil fertility, root and aboveground growth of black oat under gypsum and urea rates in no till. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1271-1286, 2020.

VICENSI, M.; MÜLLER, M. M. L.; KAWAKAMI, J.; NASCIMENTO, R. D.; MICHALOVICZ, L.; LOPES, C. Do rates and splitting of phosphogypsum applications influence the soil and annual crops in a no-tillage system?. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0150155, 2016.

ZOCA, S. M.; PENN, C. An importante tool with no instruction manual: a review of gypsum use in agriculture. **Advances in Agronomy**, v. 144, p. 1-44, 2017.

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DO CAPIM MARANDU SOB EFEITO DO MANEJO DA FERTILIDADE DO SOLO

RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito combinado ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK sobre atributos químicos do solo e o desenvolvimento do sistema radicular do capim Marandu, em pastagem em processo de degradação. O experimento foi conduzido a campo em delineamento em bloco casualizado, com sete tratamentos e quatro repetições. Aplicou-se seis estratégias de manejo da fertilidade de solo: adubação, adubação mais calcário, adubação mais calcário e quatro taxas de aplicação de gesso (200, 750, 1500 e 2250 kg ha⁻¹) e uma testemunha (sem adubação e corretivos). Na camada superficial do solo, de 0 a 10 cm, o pH aumentou pela aplicação do calcário em combinação ou não com gesso, aos seis e doze meses, o teor Ca aumentou com aplicação do calcário e maiores níveis foram observados com combinação com gesso, o teor e saturação por Al reduziu pelo calcário em combinação ou não com gesso, o nível de K diminuiu com aplicação do gesso e a disponibilidade de P aumentou. Em subsuperfície, de 50 a 110 cm, os teores de cálcio e magnésio aumentou e a saturação por alumínio diminuiu pela aplicação de gesso acima de 1500 kg ha⁻¹. A massa de raiz aumentou na camada de 0 a 10 cm com seis meses e de 0 a 20 cm com doze meses, em todas as estratégias. Em profundidade a massa de raiz, com seis meses, aumentou com a combinação de gesso na dose 200 kg ha⁻¹ e com doze meses o tratamento apenas com adubação e a combinação de gesso na dose de 750 kg ha⁻¹ apresentaram maior massa de raiz em relação a testemunha. A combinação do calcário e gesso promove melhores benefícios sobre a fertilidade do solo em superfície e subsuperfície. Adubação com NPK e a gesso aumenta a massa de raiz do capim Marandu no perfil do solo.

Palavras-chaves: Adubação. Calcário. Gesso. Raiz de capim. Pastagem degradada.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the combined effect or not of liming, plastering and NPK fertilization on soil chemical attributes and the development of the root system of Marandu grass from pasture in the process of degradation. The experiment was conducted in the field in a randomized block design with seven treatments and four repetitions. Six soil fertility management strategies were applied: fertilization, fertilization plus limestone, fertilization plus limestone and four gypsum application rates (200, 750, 1500 and 2250 kg ha⁻¹) and a control (without fertilizer and correctives). In the superficial layer of the soil, from 0 to 10 cm, the pH increased by the application of lime in combination or not with gypsum, at six and twelve months, the Ca content increased with the application of lime and higher levels were observed with combination with gypsum. The Al content and saturation reduced by lime in combination or not with gypsum. Furthermore, the K level decreased with gypsum application and P availability increased. In the subsurface, from 50 to 110 cm, calcium and magnesium contents increased and aluminum saturation decreased with gypsum application above 1500 kg ha⁻¹. Root mass increased in the layer from 0 to 10 cm at six months and from 0 to 20 cm at twelve months, in all strategies. In-depth, at six months root mass increased with the application of the 200 kg ha⁻¹ of gypsum, while at twelve months, the treatment with only NPK and the treatment that received 750 kg ha⁻¹ of gypsum showed greater root mass, in contrast to the control. The combination of lime and gypsum promotes better benefits on surface and subsurface soil fertility. Fertilization with NPK or NPK plus liming in the gypsum presence increases Marandu grass root mass in the soil profile.

Keywords: Lime. Gypsum. Fertilization. Grass root. Degraded pasture.

1 INTRODUÇÃO

A produção e o desenvolvimento das gramíneas forrageiras são regulados pela parte aérea e sistema radicular, numa íntima relação de dependência. As raízes têm função de suprimento de nutrientes e água, e a parte aérea de assimilados. Fatores que afetam um desses dois processos influenciam diretamente no desenvolvimento do outro, por fim na produção da planta.

A disponibilidade de nutrientes interfere no desenvolvimento das raízes das gramíneas nos ambientes que se desenvolvem. A deficiência de nutrientes ou a presença de elementos tóxicos restringem o crescimento e desenvolvimento ao longo do perfil do solo. No geral, os estudos têm mostrado que os nutrientes que têm restringido, em função da deficiência, são o nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio, cálcio e enxofre (BATISTA & MONTEIRO, 2006; GARCEZ et al., 2011; PIETRAMALE et al., 2020). Já dentre os elementos tóxicos, o alumínio se destaca (PAVAN et al., 1982).

Os solos tropicais apresentam alto potencial de restringir o crescimento e desenvolvimento das raízes em profundidade, por naturalmente apresentarem baixa fertilidade, com elevada acidez e saturação por alumínio e baixos teores de cálcio, magnésio, enxofre, potássio, fósforo e nitrogênio. Essa característica está presente na camada superficial e se agrava em subsuperfície também, associada à diminuição gradual do teor de matéria orgânica (MOS) (SOUSA et al., 2001).

Nesse ambiente, o cultivo de pastagens raramente emprega corretivos e fertilizantes para melhorar a fertilidade do solo e a produção das forrageiras, o que agrava o problema de baixa fertilidade dos solos tropicais (DIAS-FILHO, 2014), comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular (BACKES et al., 2017; PIETRAMALE et al., 2020), fazendo com que se concentre preferencialmente na camada mais superficial do solo, onde naturalmente é maior o teor de MOS (MULLER et al., 2001).

O sistema radicular pouco desenvolvido reduz a exploração daqueles nutrientes mais móveis (nitrogênio, enxofre e potássio), lixiviados para camadas inferiores do solo, e os imóveis (fósforo), esgotados nas áreas exploradas pelas raízes (BACKES et al., 2018), além de menor acesso à água no subsolo (SAINJU et al., 2017), principalmente no período de estiagem. Tais condições deixam a planta mais vulnerável ao ataque de pragas e doenças e susceptível a veranicos e a seca,

agravando o problema da sazonalidade de produção de forragem e baixo desempenho animal.

A melhoria da fertilidade do solo pode ser realizada pela aplicação de calcário que neutraliza o alumínio e fornece cálcio e magnésio, além de elevar o pH, no entanto esses benefícios se restringem a camada que foi aplicada ou incorporada e em pastagens estabelecidas altera apenas a profundidade de 0 a 10 cm (BESEN et al., 2021a). No entanto, para fugir dessas limitações a combinação com gesso tem proporcionado melhoria da fertilidade em profundidade, com a elevação do nível de Ca e S, além de redução da saturação por alumínio (SOUSA et al., 2001; VICENSI et al., 2020).

Apesar das evidências dos benefícios da melhoria da fertilidade em superfície e subsuperfície, existem poucos estudos voltados para a dinâmica do sistema radicular de gramíneas forrageiras, sob condições de campo e em camadas mais profundas do solo (SILVA et al., 2014). As poucas informações existentes se restringem a avaliação de camadas superficiais ou subsuperficiais em solos rasos, além de não abordarem utilização de estratégias de manejo que visam a melhoria da fertilidade do solo em subsuperfície de solos profundos como os latossolos do cerrado.

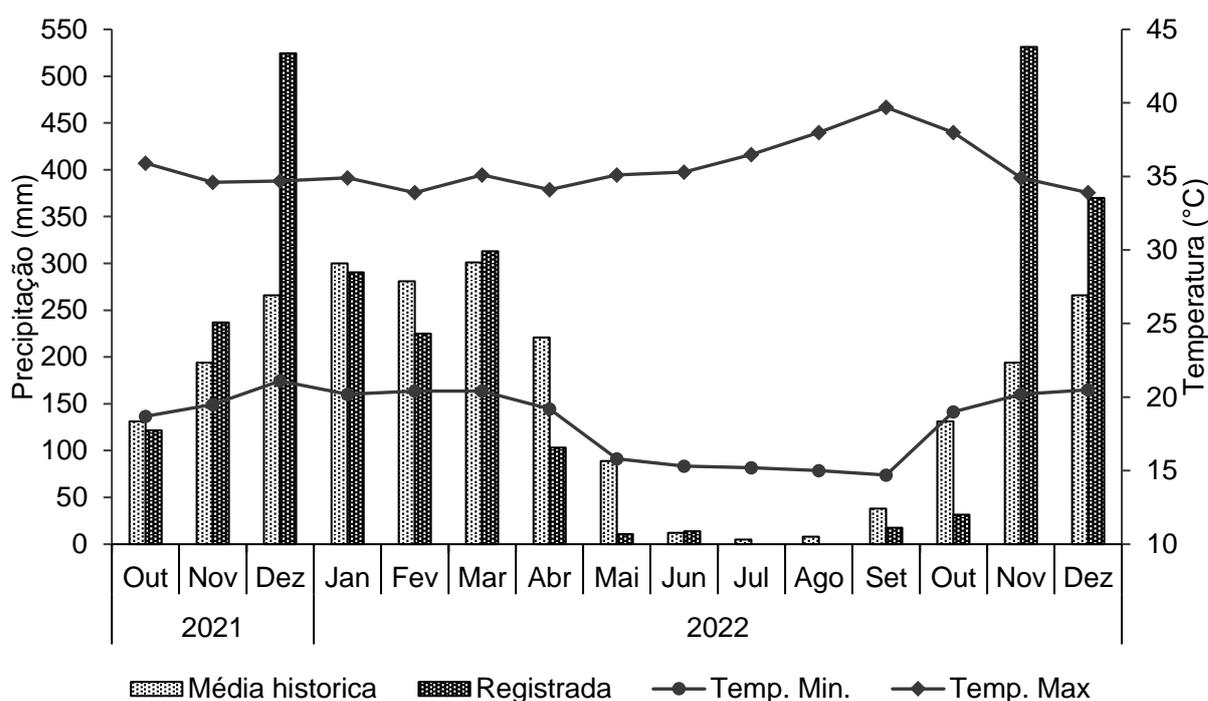
Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito combinado ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK sobre atributos químicos do solo e o desenvolvimento do sistema radicular do capim Marandu de pastagem em processo de degradação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi conduzido a campo, na fazenda Agropastoril Frutins no município de Araguaína – TO, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 7° 17'32.23" S, longitude 48° 7'21.35" O e altitude de 259 m. O período experimental foi de outubro de 2021 a dezembro 2022.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948) é AW – Tropical de verão úmido com estação seca e chuvosa bem definidas e período de estiagem no inverno. Na Figura 2.1 são apresentadas as precipitações acumuladas mensais registrada no período e a média histórica dos últimos 30 anos, e a temperatura máximas e mínimas registradas no município de Araguaína - TO.

Figura 2.1 - Temperatura máxima e mínima, precipitação acumulada mensal e média histórica, registradas durante o período experimental.



Fonte: Adaptado INMET; CLIMATEMPO (2023)

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (SANTOS et al., 2018), e apresenta uma profundidade aproximada de 2,3 m. As características químicas e físicas do solo estão apresentadas na Tabela 2.1 e 2.2.

A gramínea forrageira estabelecida na área é o capim Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), implantada há cinco anos e já apresentava característica de

pastagens em fase inicial de processo de degradação (Nível 1: leve), com queda na capacidade de suporte e com presença de plantas invasoras (DIAS-FILHO, 2015), a qual vinha sendo manejada sob pastejo extensivo contínuo e que apresentava uma densidade populacional média de perfilhos¹ de 501±97 m⁻².

Tabela 2.1 - Características químicas do solo da área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.

Profundidade (cm)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	CaCl	Mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- % -----			
0-10	4,82	3,68	0,15	0,95	0,36	0,15	1,88	1,33	3,21	41,34	10,17
10-20	4,82	3,03	0,05	0,84	0,51	0,25	1,86	1,36	3,22	42,09	15,58
20-30	4,70	3,03	0,03	0,59	0,32	0,57	2,01	0,91	2,93	31,19	38,45
30-40	4,36	2,96	0,03	0,32	0,28	0,83	2,26	0,60	2,86	21,05	57,94
40-60	4,18	2,89	0,03	0,23	0,22	0,86	2,44	0,45	2,89	15,63	65,52
60-90	4,07	2,74	0,03	0,19	0,25	1,11	2,36	0,44	2,80	15,79	71,49
90-130	4,00	2,82	0,03	0,13	0,18	1,05	2,28	0,31	2,59	12,07	77,06

Tabela 2.2 - Matéria orgânica e textura do solo na área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.

Profundidade (cm)	MO	Argila	Areia grossa	Areia fina	Silte
	g kg ⁻¹	----- % -----			
0-10	2,95	9,00	48,88	37,83	4,30
10-20	3,28	9,97	42,92	39,43	7,68
20-30	1,70	12,98	47,23	35,80	3,99
30-40	1,64	14,00	44,40	38,10	3,50
40-60	1,33	14,00	43,40	36,65	5,95
60-90	0,96	16,97	40,94	38,14	3,94
90-130	0,95	15,92	41,00	36,72	6,37

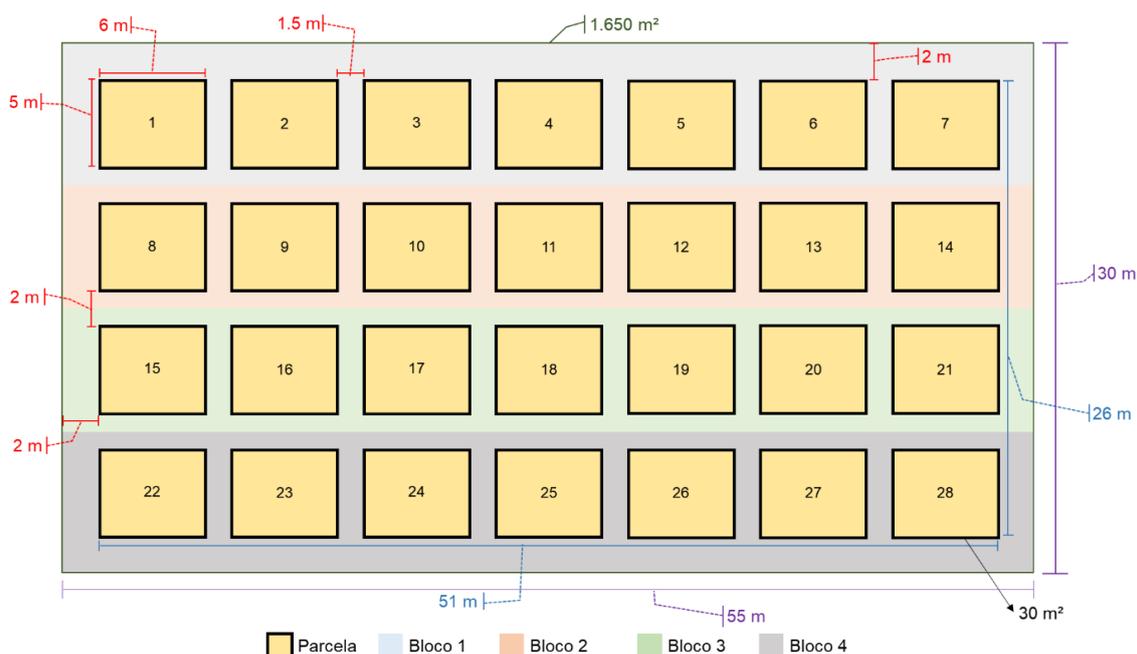
O experimento foi conduzido em parcelas de 30 m² (5 m x 6 m), em um delineamento em bloco casualizado, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizado 28 parcelas. Na Figura 2.2, é apresentado o croqui da área, com as dimensões da parcela e espaçamentos entre parcela e bloco.

Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha, sem correção do solo e adubação (tratamento 1), adubação com NPK sem correção (tratamento 2),

¹ Valor médio encontrado após mensuração com uma moldura retangular de 0,3 m² (0,15 x 2,0 m) em 28 pontos na área experimental.

adubação com NPK mais calagem (tratamento 3) e mais quatro tratamentos com a combinação do tratamento 3 com quatro doses de gesso, sendo: 200 kg ha⁻¹ com objetivo de fornecer enxofre; 25% da quantidade de calcário recomendada (dose padrão); 50% da quantidade de calcário recomendada; e 75% da quantidade de calcário recomendada. Conforme apresentado na Tabela 2.3.

Figura 2.2 - Croqui da área experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 2.3 - Quantidade de fertilizantes, calcário e gesso aplicados em cada tratamento.

Tratamento	N-P-K (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Calcário (kg ha ⁻¹)	Gesso (kg ha ⁻¹)
1	0	0	0
2	100-50-100	0	0
3	100-50-100	3.000	0
4	100-50-100	3.000	200
5	100-50-100	3.000	750
6	100-50-100	3.000	1.500
7	100-50-100	3.000	2.250

O calcário e o gesso foram aplicados, entre o final da estação seca e o início da estação chuvosa (outubro 2021), a lanço e individualmente em cada parcela experimental de acordo com os tratamentos descritos na Tabela 2.3. O calcário

utilizado foi o dolomítico, com PRNT de 80%. A fonte de gesso utilizada foi a gipsita, a qual apresentava teores médios de 19% de Ca e 15% de S.

A adubação com N e K foram divididas em duas aplicações anuais, a primeira no início da estação chuvosa (novembro de 2021 e 2022) e a segunda nos meados da estação de chuva (março de 2022 e fevereiro de 2023). A adubação com P foi realizada em uma única aplicação anual, no início da estação de chuvas, na ocasião da primeira aplicação anual de N e K. As fontes de NPK foram a ureia (45% de N), superfosfato triplo (45% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O), respectivamente.

Foi realizada avaliação da distribuição das raízes do capim Marandu, ao longo do perfil do solo, em duas épocas durante o período experimental, aos seis meses e doze meses após o início do experimento. A profundidade avaliada foi até a 190 cm, sendo amostradas a cada 10 cm de profundidade. As amostras foram coletadas com trado tipo caneco de 10 cm de diâmetro, nas características média de cada parcela, seguindo a metodologia adaptada de Brasil et al. (2007). As raízes foram separadas do solo de forma manual e com auxílio peneira de malha de 2 mm. Após separação o solo foi devolvido para sua respectiva profundidade coletada, as raízes seguiram para lavagem em água corrente sobre peneira de malha de 2 mm e secas, em estufa a 55 °C por 72 horas.

As características químicas do solo foram avaliadas duas vezes durante o período experimental e em profundidade, aproveitando o momento da amostragem de raiz para também coletar o solo e submetê-la a avaliação segundo metodologia de Silva (2009). As profundidades avaliadas foram 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30, 30 a 40, 50 a 60, 100 a 110 e 150 a 160 cm.

O pH foi determinado em solução de $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} (solo:solução de 1:2,5). O P e K utilizou-se a solução extratora Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}), com relação solo:solução de 1:10. O P extraído foi determinado por fotocolorimetria, por meio da leitura da intensidade de cor do complexo fosfomolibdico, usando filtro vermelho com comprimento de onda de 660 nm. O K foi quantificado direto pelo fotômetro de chama. Ca, Mg e Al trocáveis foram extraídos em solução com KCl 1 mol L^{-1} . Ca e Mg foram titulados por complexometria com EDTA, o Al foi determinado por titulação com $NaOH$ (0,025 mol L^{-1}). Acidez potencial (H+Al), foi realizada via extração pelo acetato de cálcio (0,5 mol L^{-1}), com pH ajustado em 7,0, e determinada por titulação com $NaOH$ (0,025 mol L^{-1}). A matéria orgânica (MO) foi

determinada usando o método volumétrico pelo bicromato de potássio ($0,2 \text{ mol L}^{-1}$), com titulação em solução de sulfato ferroso amoniacal ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, seguido de análise de variância, teste de média (Duncan) a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados usando o programa estatístico SAS® Studio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

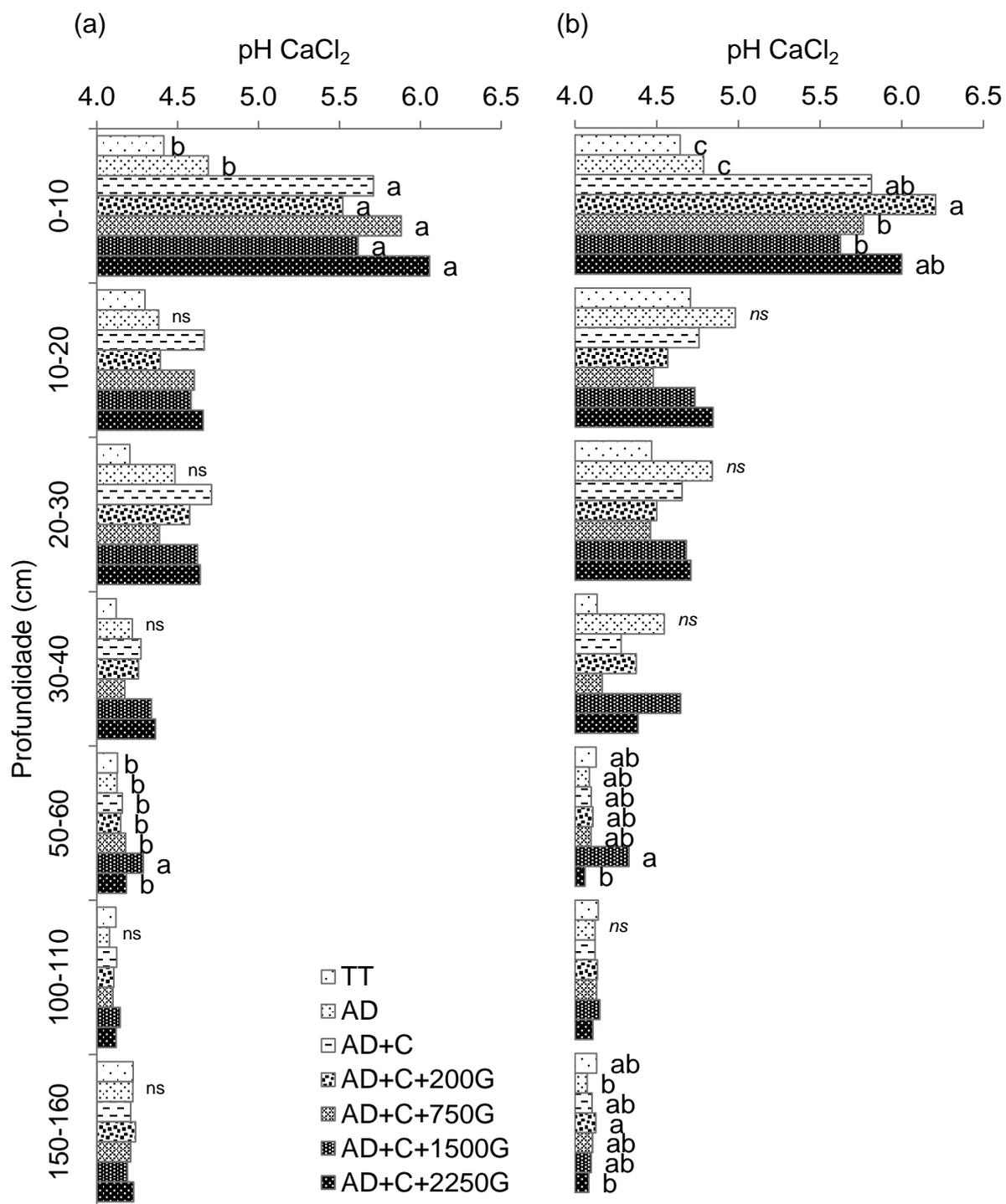
As estratégias de melhoria da fertilidade do solo promoveram mudanças nos atributos químicos do solo aos seis e doze meses. A aplicação do calcário e gesso aumentou o pH e o teor de cálcio, além de reduzir o teor e saturação por alumínio, a adubação elevou os níveis de fósforo e potássio. A massa de raiz do capim Marandu no perfil do solo foi beneficiada pela adubação com NPK e ao gesso.

O pH do solo foi alterado pela aplicação do calcário em combinação ou não com gesso, aos seis e doze meses após aplicação (Figura 2.3). Com seis meses, a combinação que tinha calcário elevou o pH (+1,2), na profundidade de 0 a 10 cm, já em profundidade houve um leve aumento no pH (+0,1), com uso combinado do gesso na dose 1.500 kg ha⁻¹ na profundidade de 50 a 60 cm (Figura 2.3a). Na avaliação de doze meses a camada superficial (0 a 10 cm), permaneceu influenciada pelo calcário e gesso, o uso combinado ou não deles não tiveram diferença, porém entre a taxa de aplicação de gesso teve diferença, onde a dose de 200 kg ha⁻¹ o pH foi maior em relação a dose de 750 e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso (6,2 vs 5,8 e 5,6 respectivamente) (Figura 2.3b). Em subsuperfície a camada de 50 a 60 cm todos tratamentos foram iguais a testemunha, entretanto aplicação do gesso na dose de 1.500 kg ha⁻¹ o pH foi maior (+ 0,2), que a dose 2.250 kg ha⁻¹, mais abaixo na camada 150 a 160 cm aplicação do gesso na dose de 200 kg ha⁻¹ o pH foi maior em relação ao tratamento que fez o uso só da adubação e da combinação do gesso na dose de 2.250 kg ha⁻¹ (0,05 e 0,04 respectivamente), porém esses tratamentos foram iguais aos demais.

A aplicação do calcário em superfície se mostrou eficiente em corrigir o pH, mas se restringindo corrigir a camada superficial do solo (0 a 10 cm), até os doze meses após aplicação. Essa baixa capacidade de corrigir camadas além da qual foi aplicada se deve a solubilidade do calcário que é baixa (0,014 g L⁻¹). Em um estudo avaliando a aplicação do calcário em superfície Alves et al. (2021), observaram que a elevação do pH aconteceu apenas na camada de 0 a 10 cm.

O ligeiro aumento do pH em subsuperfície promovido pela aplicação do gesso não é muito expressivo, já que alguns estudos têm mostrado essa pequena capacidade do gesso em alterar o pH (CAIRES et al., 2003; VICENSI et al., 2016; VICENSI et al., 2020). Por outro lado, também há trabalhos que não observaram essa alteração (ALVES et al., 2021; BESEN et al., 2021; BESEN et al., 2021a). O gesso não possui característica neutralizadora ou formadora de ácidos, desta forma as alterações no pH são mínimas do solo.

Figura 2.3 - Valores de pH do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.



TT: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Letras diferentes na extremidade da barra, na mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e "ns" = não significativo.

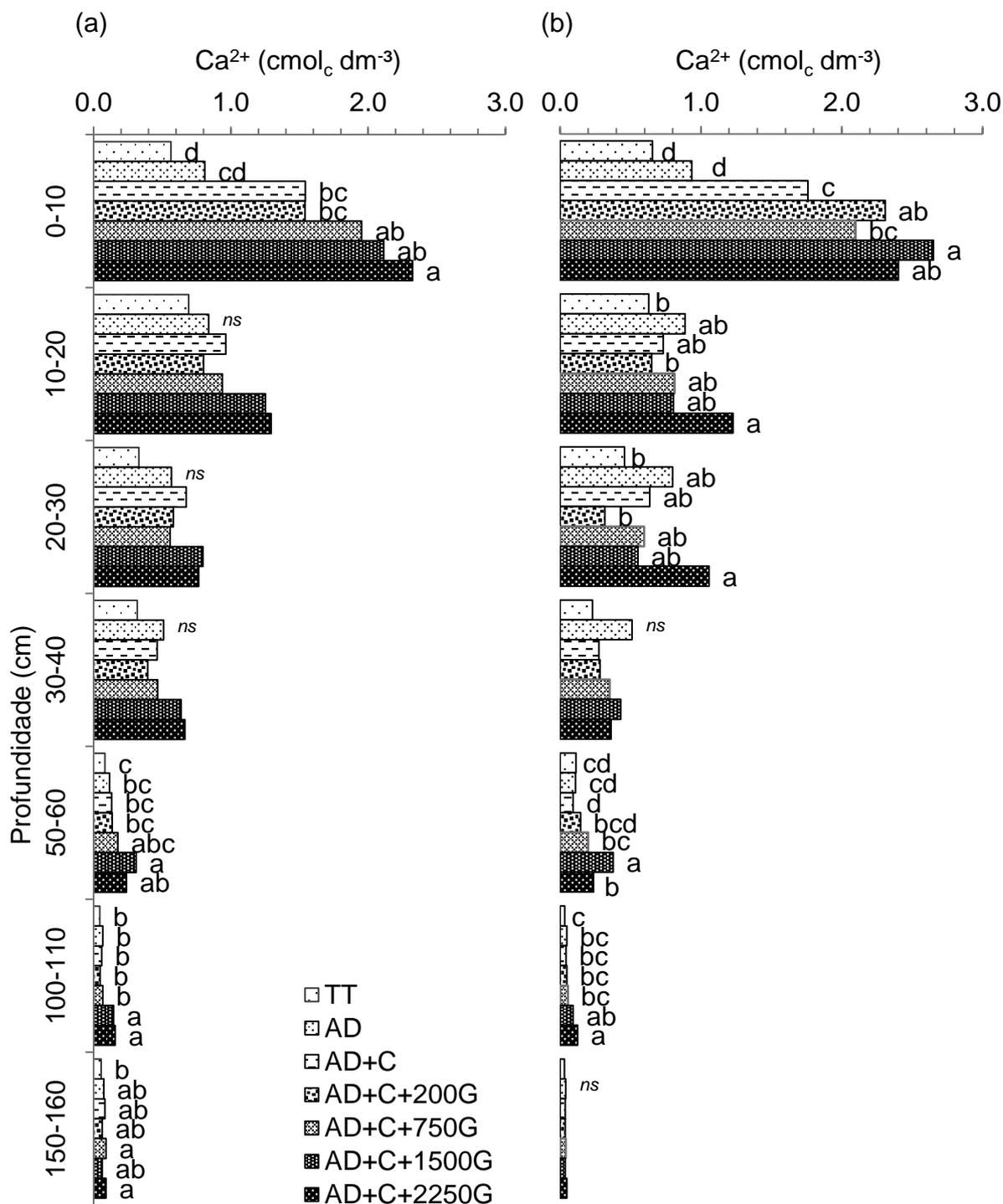
Entretanto, o ligeiro aumento observado, pode ser resultado das reações químicas, a exemplo da troca ligantes com substituição do OH^- por SO_4^{2-} , que forma $\text{Al}(\text{OH})_3$. Outra possibilidade é a precipitação de alumínio associado a formação de minerais, como jurbanita, alunita e basalunita, por exemplo, e podendo ocorrer também pela precipitação de AlSO_4^+ (VAN RAIJ 2008; ALVAREZ V. et al., 1999; PAVAN 1986).

As estratégias de melhoria da fertilidade do solo aumentaram o teor de cálcio (Ca^{2+}), no perfil do solo, com seis e doze meses (Figura 2.4). Com seis meses a camada superficial do solo (0 a 10 cm), apresentou os maiores teores de Ca^{2+} nos tratamentos com a combinação de calcário, adubação com ou sem gesso, em relação a testemunha, contudo os maiores incrementos foram nas doses de 750, 1.500 e 2.250 kg ha^{-1} de gesso (Figura 2.4a). Em subsuperfície os maiores teores de Ca^{2+} ocorreram em função da aplicação do gesso, na camada de 50 a 60 cm e 100 a 110 cm, com a aplicação das duas maiores doses de gesso (1.500 e 2.250 kg ha^{-1}). Já na camada 150 a 160 cm as doses de 750 e 2.250 kg ha^{-1} apresentaram os maiores teores, em relação à testemunha, porém sem diferença ao comprar como os demais tratamentos.

Aos doze meses após a correção da fertilidade do solo, na camada de 0 a 10 cm, o efeito da combinação de calcário e adubação, com ou sem gesso, apresentaram maiores teores de Ca^{2+} em relação a testemunha e ao tratamento só com adubação (Figura 2.4b). A combinação com gesso nas doses de 200, 1.500 e 2.250 kg ha^{-1} tiveram maior teor Ca^{2+} (40,4% a mais), em relação a combinação de calcário e adubação. Na profundidade de 10 a 20 cm e a de 20 a 30 cm a combinação do gesso na dose de 2.250 kg ha^{-1} apresentou maior teor de Ca^{2+} , em relação a testemunha e a dose de 200 kg ha^{-1} , porém não diferiu dos demais tratamentos, já em maior profundidade, nas camadas de 50 a 60 e 100 a 110 cm, o uso do gesso promoveu maiores incrementos de Ca^{2+} com aplicação das doses 1.500 e 2.250 kg ha^{-1} .

O uso do gesso apresentou maior eficiência para elevar o nível de Ca na superfície e em subsuperfície, contudo para elevar o teor de Ca em profundidade aos dozes meses após a aplicação é necessário adicionar acima de 1.500 kg ha^{-1} de gesso. O aumento da concentração Ca^{2+} ao longo do perfil do solo, com uso de gesso, também foi observado por Vicensi et al. (2016, 2020) e Caires et al. (2003).

Figura 2.4 - Teor de cálcio (Ca^{2+}) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.



TT: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+200G: adubação, calagem e 200 kg ha^{-1} de gesso; AD+C+750G: adubação, calagem e 750 kg ha^{-1} de gesso; AD+C+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha^{-1} de gesso; AD+C+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha^{-1} de gesso. Tratamentos que receberam adubação = $100-50-100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de NPK. Letras diferentes na extremidade da barra, na mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e "ns" = não significativo.

A fonte de gesso utilizada, gipsita, apresta em média 19% de Ca e quando aplicado no solo libera íon de Ca^{2+} , contudo também há liberação do par iônico neutro CaSO_4^0 , que apresenta grande mobilidade no perfil do solo em função da sua neutralidade. Sem dúvida, o aumento da concentração do Ca em subsuperfície é um dos principais benefícios da gessagem, principalmente em solos tropicais normalmente pobres nesse nutriente, além da sua participação na CTC.

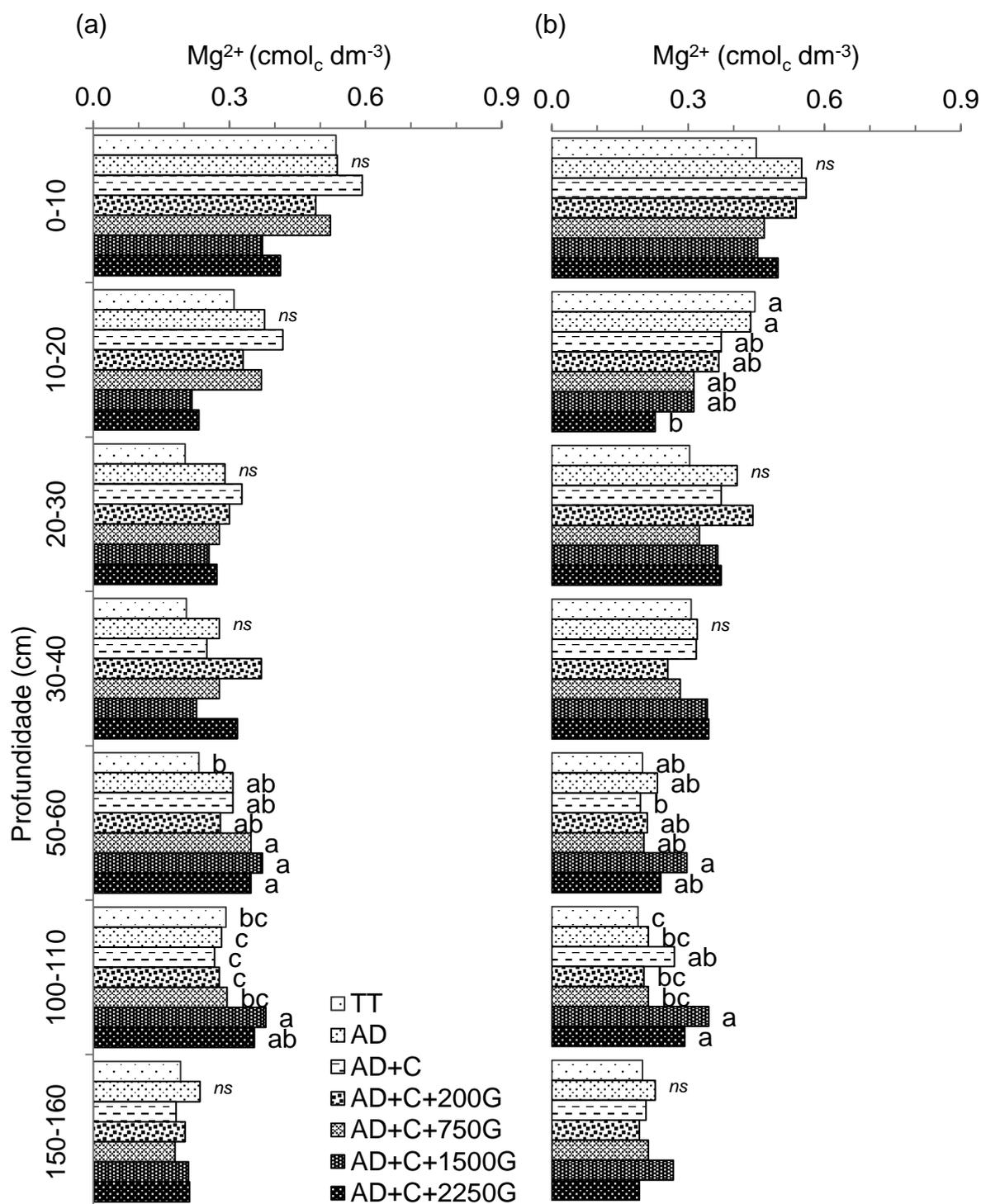
O teor de magnésio (Mg^{2+}) também foi influenciado pelas estratégias de melhoria da fertilidade do solo empregadas (Figura 2.5). Na avaliação de seis meses, as alterações aconteceram em subsuperfície, na profundidade de 50-60 e 100-110 cm, o teor de Mg^{2+} aumentou com aplicação do gesso nas três maiores doses (750, 1.500 e 2.250 kg ha^{-1}).

Com doze meses houve alteração na camada de 10 a 20 cm, com decréscimo no teor de Mg^{2+} , com aplicação de gesso na dose de 2.250 kg ha^{-1} (Figura 2.5b), na camada 50 a 60 cm houve uma ligeira baixa no teor de Mg^{2+} , na combinação de calcário e adubação em relação a combinação com gesso na dose de 1.500 kg ha^{-1} , porém não foi observado diferença desses tratamentos com os outros. Na profundidade de 100 a 110 cm a combinação de calcário e do gesso, nas doses de 1.500 e 2.250 kg ha^{-1} , elevaram o teor de Mg^{2+} .

A aplicação de gesso com doses mais altas mostrou potencial de carrear o Mg para as camadas mais profundas do solo, porém sem mostrar muito prejuízo para as camadas mais próxima a superfície. Tem sido demonstrado que o gesso apresenta potencial de translocar o Mg das camadas superficiais para a subsuperfície do solo. Em um estudo Vicensi et al. (2016), avaliando a taxa de aplicação do gesso (0, 3, 6, 9, 12 ton ha^{-1}) e o parcelamento (100%, 50+50 % e 33+30+30%), observaram redução da concentração de Mg na camada de 0 a 60 cm, essa redução foi crescente de acordo o aumento do teor de gesso, mas não encontraram efeito para o parcelamento.

Resultados que também corrobora com esta dinâmica foram encontrados por Besen et al. (2021, 2021a), Vicensi et al. (2020) e Caires et al. (2003). O fato de nesse estudo não ter apresentado a redução da concentração do Mg na camada superficial pode ter sido em função da combinação de aplicação do gesso com calcário do tipo dolomito que contém Mg (>12%), assim minimizado o efeito da redução desse nutriente na camada superficial.

Figura 2.5 - Teor de magnésio (Mg^{2+}) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.



TT: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+200G: adubação, calagem e $200 kg ha^{-1}$ de gesso; AD+C+750G: adubação, calagem e $750 kg ha^{-1}$ de gesso; AD+C+1500G: adubação, calagem e $1.500 kg ha^{-1}$ de gesso; AD+C+2250G: adubação, calagem e $2.250 kg ha^{-1}$ de gesso. Tratamentos que receberam adubação = $100-50-100 kg ha^{-1} ano^{-1}$ de NPK. Letras diferentes na extremidade da barra, na mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e "ns" = não significativo.

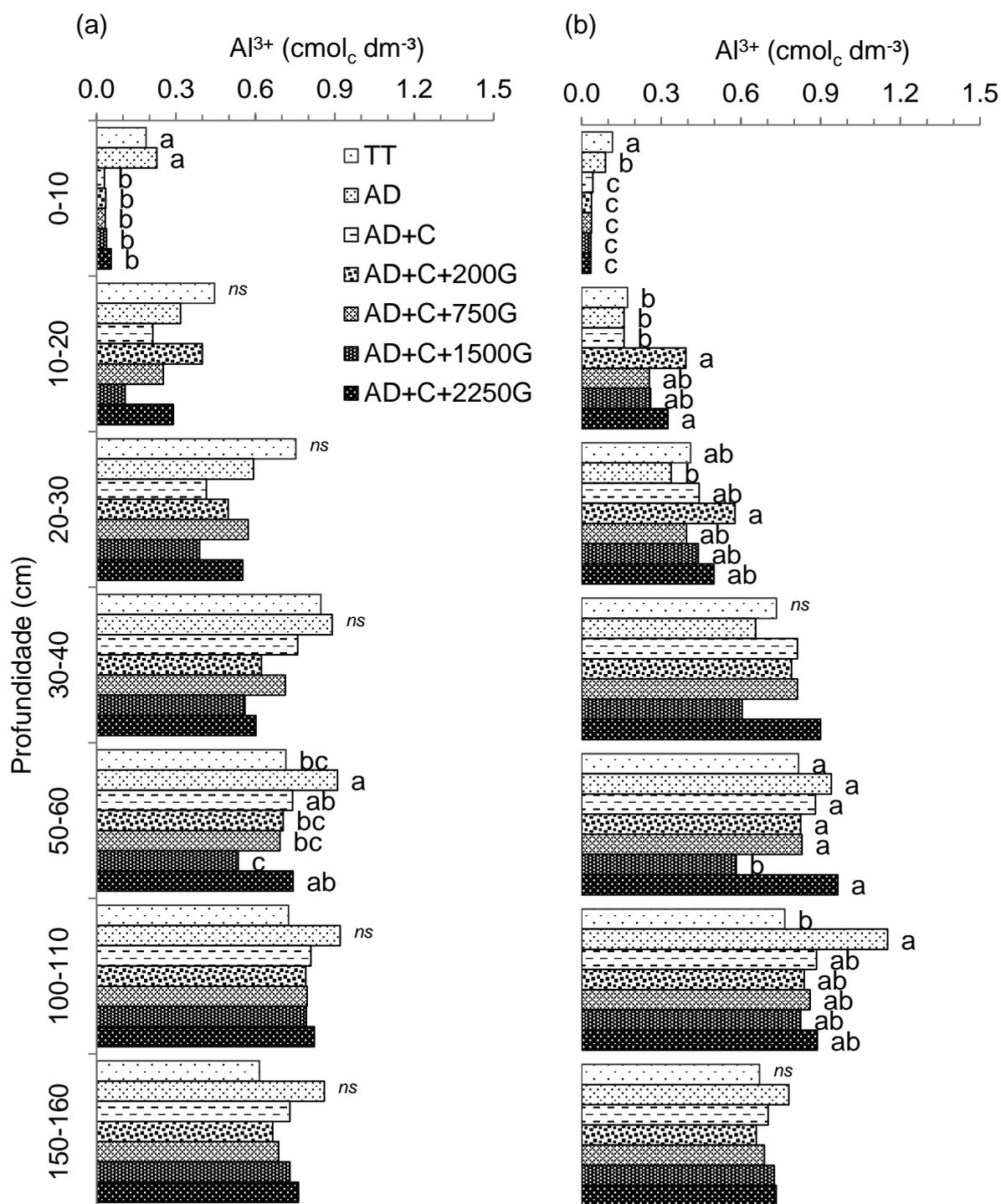
A movimentação do Mg no perfil de solo em função da aplicação do gesso tem sido atribuída a competição pelo sítio de adsorção entre o Ca^{2+} e o Mg^{2+} , sendo que o Ca^{2+} tem preferência pelo sítio de adsorção, deslocando o Mg^{2+} para a solução, favorecendo a lixiviação e o acúmulo nas camadas subsuperficiais, corrobora com os resultados encontrados por Vicensi et al. (2016) e Caires et al. (2003) que observaram aumento de concentração na profundidade de 60 a 80 cm e 20 a 60 cm, respectivamente.

A aplicação da combinação ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK modificou o teor de alumínio (Al^{3+}) no perfil do solo (Figura 2.6). Na avaliação de seis meses a combinação de calcário com ou sem gesso reduziu o Al^{3+} na camada superficial do solo, 0 a 10 cm (Figura 2.6a). Já em subsuperfície, na camada de 50 a 60 cm, o teor de Al^{3+} aumentou com o tratamento que recebeu apenas adubação em relação a testemunha e aos tratamentos que receberam gesso nas doses de 200, 750 e 1.500 kg ha^{-1} .

Quando avaliado aos doze meses (Figura 2.6b), na camada superficial do solo (0 a 10 cm), a combinação de calcário, com ou sem gesso, manteve o efeito de reduzir Al^{3+} e foi observado uma ligeira redução no tratamento com apenas adubação. Em subsuperfície houve mais mudanças em contraste a avaliação de seis meses. Na profundidade de 10 a 20 cm o uso de gesso elevou o teor de Al^{3+} , não havendo diferença entre as doses aplicadas, porém apenas as doses de 200 e 2.250 kg ha^{-1} apresentou mais Al^{3+} que a testemunha, já na camada de 20 a 30 cm todos os tratamentos foram iguais a testemunha, entretanto o tratamento que recebeu apenas adubação apresentou menor teor de Al^{3+} quando comprado com a combinação com 200 kg ha^{-1} de gesso. No entanto, na profundidade de 50 e 60 cm houve uma rápida redução do Al^{3+} com aplicação do gesso na dose de 1.500 kg ha^{-1} e na profundidade seguinte, de 100 a 110 cm, o teor de Al^{3+} aumentou no tratamento que aplicou apenas adubação em relação a testemunha, entretanto não diferiu dos outros tratamentos.

Aplicação de calcário, com ou sem gesso, apresenta maior eficiência para reduzir o Al na camada superficial do solo, 0 a 10 cm, que corrobora com os achados de Besen et al. (2021), que após 48 meses da aplicação de calcário em superfície, observaram redução do Al apenas na camada de 0 a 10 cm. Elevação do teor de alumínio com aplicação do gesso com doze meses na camada de 10 a 30 cm foi observado. Smith et al. (1994) também observou aumento no nível de Al nas camadas abaixo de 5 cm.

Figura 2.6 - Teor de alumínio (Al^{3+}) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.



TT: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+200G: adubação, calagem e 200 kg ha^{-1} de gesso; AD+C+750G: adubação, calagem e 750 kg ha^{-1} de gesso; AD+C+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha^{-1} de gesso; AD+C+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha^{-1} de gesso. Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 $\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de NPK. Letras diferentes na extremidade da barra, na mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e "ns" = não significativo.

Da mesma forma que o Mg^{2+} o Al^{3+} compete por sítio de adsorção com o Ca^{2+} , a preferência pelo sítio de adsorção e do Ca^{2+} , assim deslocando o Al^{3+} para a solução, elevando o nível Al disponível. No entanto, estudos não observaram efeito do gesso sobre nível do alumínio no solo (BESEN et al., 2021; ALVES et al., 2021), já outros observaram redução (CAIRES et al., 1999; VICENSI et al., 2016).

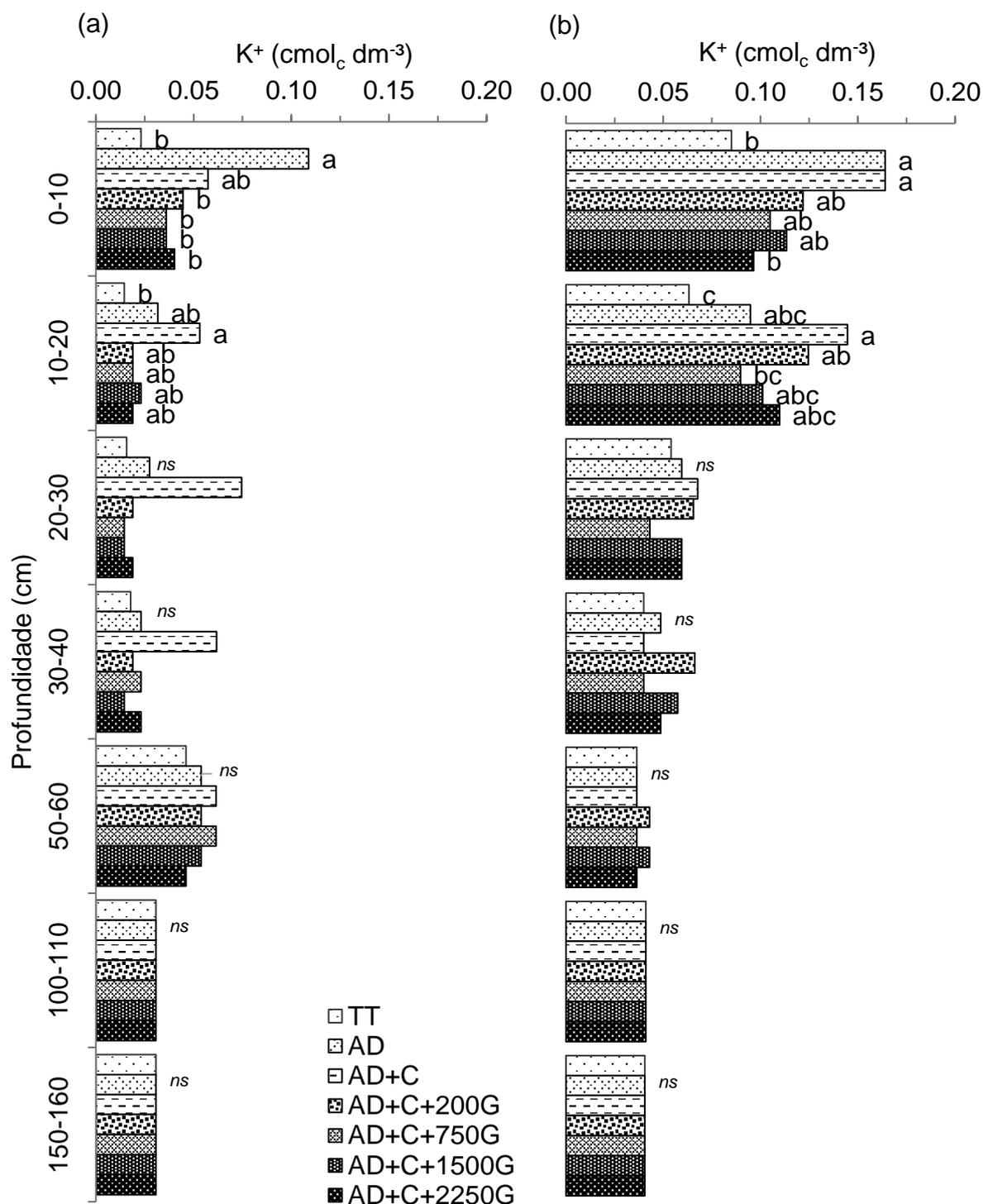
Alguns mecanismos têm sido propostos para explicar este comportamento, sendo um deles a liberação de OH^- pelo SO_4^{2-} , mediante troca de ligantes, com a formação de estruturas hidroxiladas de alumínio (PAVAN et al., 1986), além da precipitação de alumínio com formação de minerais pouco solúveis (PAVAN et al., 1984). Outra possibilidade é a formação de pares iônicos como $AlSO_4^+$ que favorece a lixiviação (VAN RAIJ 2008). Todos esses mecanismos propostos chegam a um ponto, que é a redução da atividade do Al, seja pela formação de complexos menos tóxicos a planta ($AlSO_4^+$) e/ou precipitação, podendo ainda haver a participação do Ca. A atividade do Al do no solo exerce mais impacto negativo no desenvolvimento das raízes da planta do que sua contração (PAVAN et al., 1982).

O potássio (K^+) apresentou mudança na camada superficial do solo (0 a 20 cm), em função da aplicação das estratégias (Figura 2.7). Aos seis meses na camada de 0 a 10 o teor de K^+ elevou nos tratamentos que receberam adubação, porém as combinações que receberam gesso tiraram esse efeito da adubação, já na camada de 10 a 20 apenas a combinação de calcário e adubação elevou o teor de K^+ em relação a testemunha (Figura 2.7a).

Na avaliação de doze meses a camada de 0 a 10 o teor de K^+ elevou nos tratamentos que receberam adubação (Figura 2.7b), porém as combinações que receberam gesso minimizaram o efeito da adubação, principalmente na maior taxa de aplicação (2.250 kg ha^{-1}). Na camada 10 a 20 cm apenas a o tratamento que recebeu calagem mais adubação e a combinação desse com 200 kg ha^{-1} de gesso elevou teor de K^+ em relação a testemunha, porém não foi observado diferença desses tratamentos com os outros aplicados, com exceção da combinação 1.500 kg ha^{-1} de gesso.

A adubação química de K apresenta potencial de elevar o nível desse nutriente até 20 cm de profundidade, contudo quando realizada em solo que foi aplicado calcário em cobertura esse efeito é potencializado, por outro lado quando além do calcário e aplicado o gesso a elevação do nível de K na camada de 0 a 20 cm é reduzida.

Figura 2.7 - Teor de potássio (K^+) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.



T: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+200G: adubação, calagem e 200 $kg ha^{-1}$ de gesso; AD+C+750G: adubação, calagem e 750 $kg ha^{-1}$ de gesso; AD+C+1500G: adubação, calagem e 1.500 $kg ha^{-1}$ de gesso; AD+C+2250G: adubação, calagem e 2.250 $kg ha^{-1}$ de gesso. Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 $kg ha^{-1} ano^{-1}$ de NPK. Letras diferentes na extremidade da barra, na mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e "ns" = não significativo.

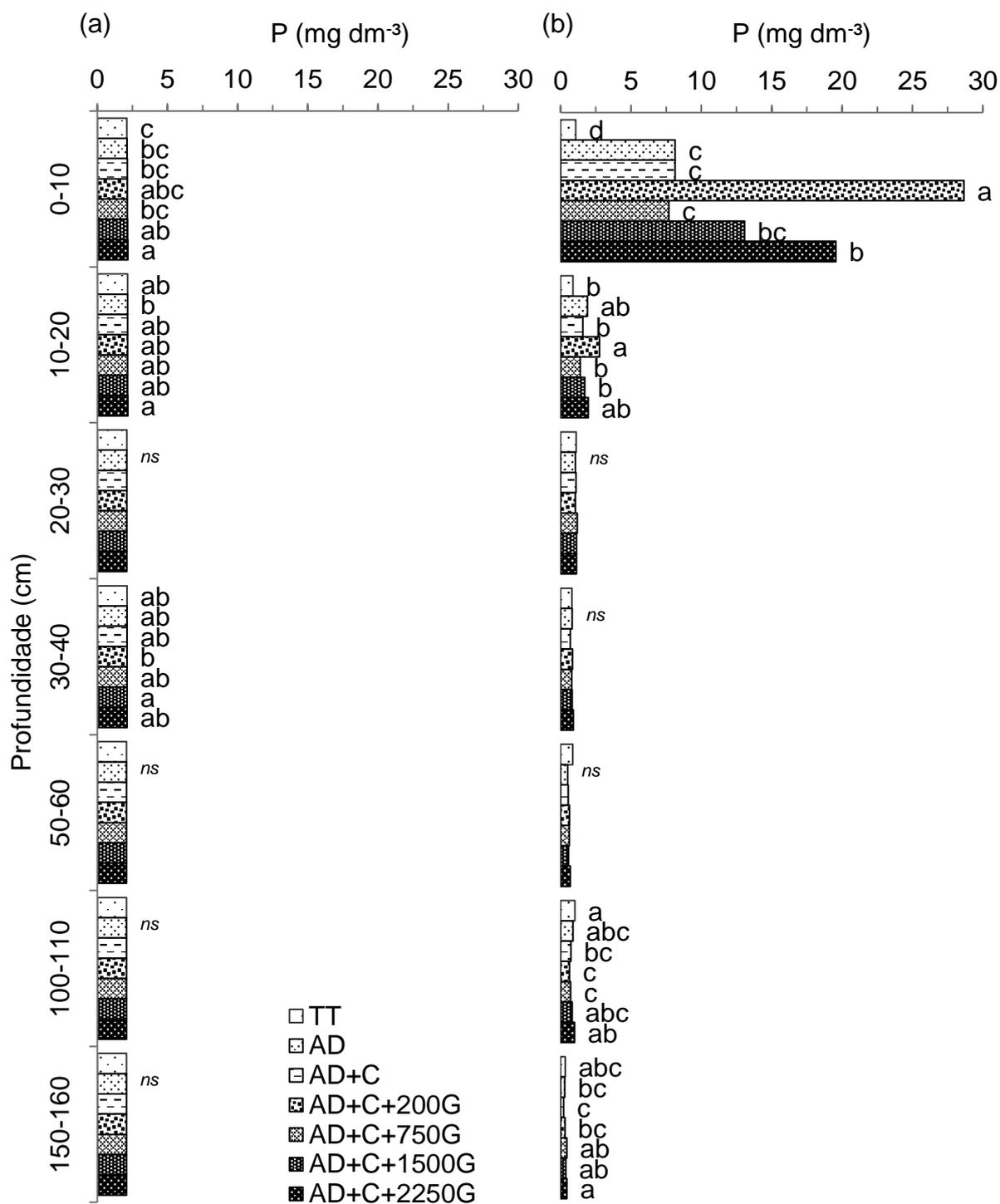
Esta redução do nível de K com aplicação do gesso pode ser esperada, pois este produto possui característica que possibilita a lixiviação desse nutriente. Em muito dos trabalhos não tem se observado redução do nível do K nas camadas superficiais com a aplicação do gesso (VICENSI et al., 2016; BACKES et al., 2017; VICENSI et al., 2020; ALVES et al., 2021; BESEN et al., 2021), mas algo se observar nesses trabalhos é que geralmente o nível de K é relativamente alto, em contraste ao deste trabalho, e solos com alto teor de argila.

Em um estudo conduzido por Besen et al. (2021), não observaram a redução do K na camada superficial do solo, mas em subsuperfície constatarão redução em alta dose de gesso ($7,4 \text{ t ha}^{-1}$), essa redução apenas em subsuperfície foi atribuída a baixa concentração do nutriente nessas camadas. Contudo, corroborado com os achados obtidos desse trabalho, Rampim et al. (2011) observaram redução do nível de K superfície do solo (0 a 20 cm), com aplicação do gesso e não observaram o aumento nas camadas mais profundas do solo, comportamento também observado neste trabalho. Talvez esse K lixiviado das camadas superficiais, pode ter sofrido efeito de diluição ao longo do perfil do solo, ou decido para camadas não avaliadas.

A aplicação da combinação ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK modificou o teor de fosforo (P) no perfil do solo (Figura 2.8). Com seis meses houve pequenos incrementos de P, na camada superficial do solo (0 a 10 cm), apenas a aplicação de gesso, na dose de 1.500 e 2.250 kg ha^{-1} , foi superior ($0,05$ e $0,08 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente) a testemunha (Figura 2.8a). No entanto, a dose de 1.500 kg ha^{-1} foi igual aos outros tratamentos e a 2.250 kg ha^{-1} apenas igual a dose de 200 kg ha^{-1} . Já na camada seguinte (10 a 20 cm), todos os tratamentos foram iguais a testemunha, entretanto, a combinação com maior dose de gesso (2.250 kg ha^{-1}), foi maior ($0,02 \text{ mg dm}^{-3}$) do que o tratamento só com adubação. Na camada 30 a 40 cm todos tratamentos também foram iguais a testemunha, mas o tratamento que recebeu gesso na dose de 1.500 kg ha^{-1} apresentou maior teor de P em relação a dose de 200 kg ha^{-1} ($2,13$ vs $2,12 \text{ mg dm}^{-3}$).

Na avaliação de doze meses, a primeira camada (0 a 10 cm) todas as estratégias foram superiores a testemunha, elevando em média 13,1 vezes o nível de P no solo (Figura 2.8b). A adubação, combinada com calcário ou não, apresentou o mesmo incremento no teor de P no solo ($7,05 \text{ mg dm}^{-3}$), já quando adicionada o gesso foi observado maiores incrementos nas doses de 200 e 2.250 kg ha^{-1} , $27,58$ e $18,48 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

Figura 2.8 - Teor de fósforo (P) do solo em profundidade aos seis (a) e doze (b) meses após a aplicação combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.



TT: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Letras diferentes na extremidade da barra, na mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e "ns" = não significativo.

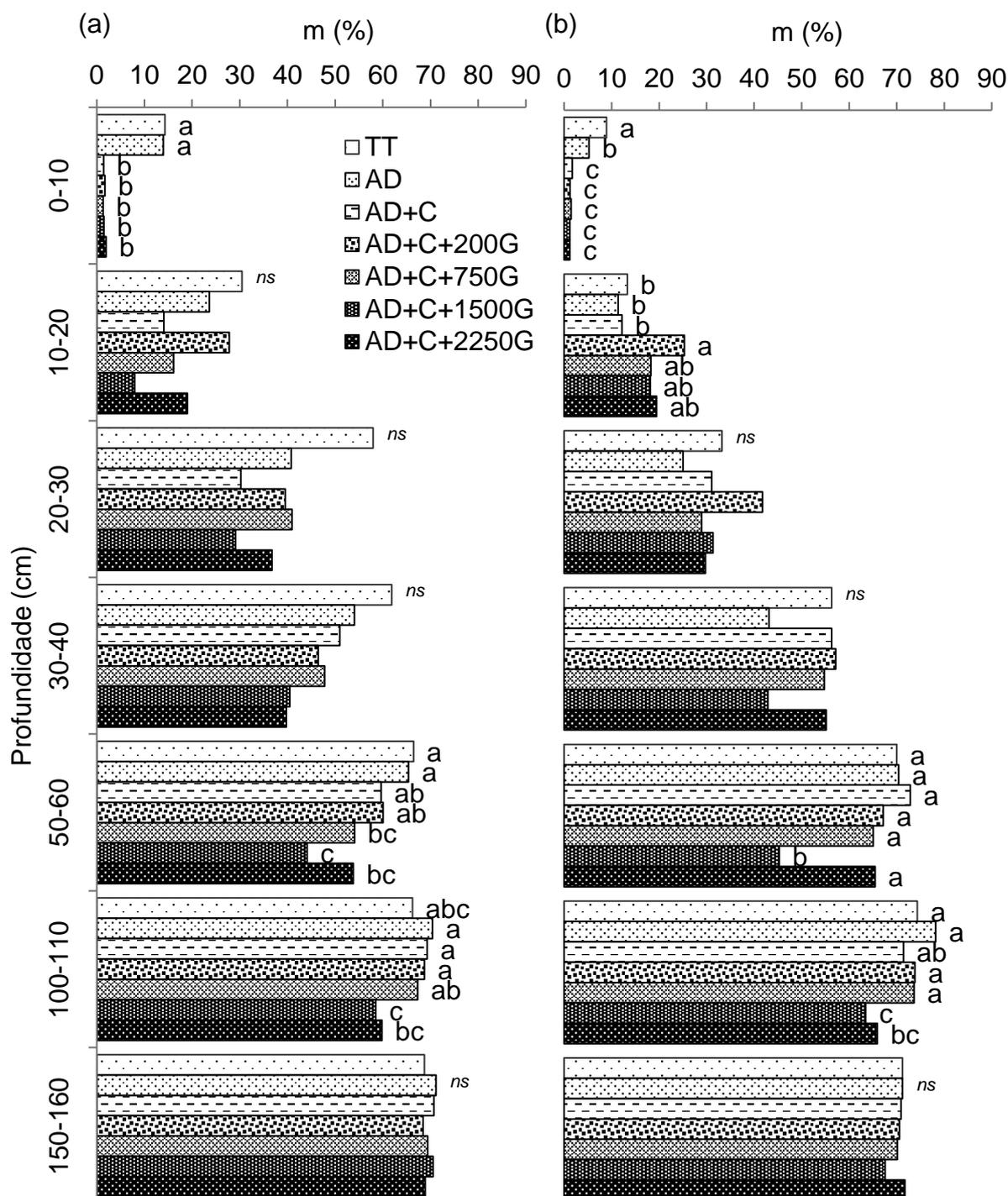
Na camada seguinte (10 a 20 cm), apenas o tratamento que recebeu 200 kg ha⁻¹ de gesso foi superior (1,88 mg dm⁻³) a testemunha, porém apresentou o mesmo teor de P que o tratamento que recebeu 2.250 kg ha⁻¹ de gesso e o com apenas adubação de NPK. Nas duas camadas mais profundas avaliadas (de 100 a 110 cm e 150 a 160 cm), o teor de P reduziu no tratamento que recebeu apenas calagem e NPK e os tratamentos com 200 e 750 kg ha⁻¹ de gesso.

O solo do presente estudo se mostrou com alta capacidade de adsorção do P aplicado durante os primeiros seis meses de avaliação. Com doze meses após duas aplicações de P a disponibilidade desse nutriente na solução do solo se elevou. O comportamento observado em que gesso potencializou a disponibilidade do P, tanto com seis e quanto doze meses, não está ligado diretamente ao gesso em si, por que ele não apresenta essa função e a fonte utilizada (gipsita) não contém P em sua composição ao contrário do fosfogesso. Essa resposta pode ser explicada pelo fato de todas as situações que o nível de P do tratamento foi maior em relação a testemunha ou aos outros tratamentos o pH estava mais alto, que corrobora com trabalho de Zoz et al. (2009), que ao analisar o efeito da aplicação de P em solo com diferentes valores de pH (4,4; 4,8; 5,1; 5,6 e 5,9), observaram que o aumento do pH reduziu linearmente o P adsorvido. A redução do nível de P em profundidade pode ser em função da extração pela pastagem estabelecida.

A aplicação da combinação ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK modificou saturação por alumínio (m%) no perfil do solo (Figura 2.9). Na avaliação de seis meses a m% reduziu na camada superficial do solo (0 a 10 cm), com a aplicação do calcário com ou sem gesso (Figura 2.9a), já em subsuperfície foi observado redução com uso do gesso, na camada de 50 a 60 cm, com a aplicação das três maiores doses (750, 1.500 e 2.250 kg ha⁻¹), e na camada 100 a 110 cm com as duas maiores doses (1.500 e 2.250 kg ha⁻¹).

Com doze meses, o m% na camada de 0 a 10 cm permaneceu baixa com a aplicação do calcário, com ou sem gesso, mas houve uma ligeira redução no tratamento que recebeu apenas adubação (Figura 2.9b). Na camada de 10 a 20 houve aumento da saturação com o uso do gesso, sendo mais marcante na dose de 200 kg ha⁻¹. Em profundidade o efeito continuou com o uso do gesso sobre as mesmas camadas da avaliação de seis meses, porém na camada 50 a 60 cm apenas a dose 1.500 kg ha⁻¹, a saturação continuou baixa e a camada de 100 a 110 cm com as duas maiores doses (1.500 e 2.250 kg ha⁻¹), permaneceram com o efeito da redução.

Figura 2.9 - Saturação por alumínio (m) do solo em profundidades aos seis (a) e doze meses (b) após a aplicação da combinada ou não de calcário, gesso e NPK em Latossolo Vermelho Amarelo de textura média.



TT: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Letras diferentes na extremidade da barra, na mesma profundidade, não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade, e "ns" = não significativo.

Na camada superficial do solo o calcário foi mais eficiente em reduzir a m%, já em subsuperfície o gesso apresentou melhor desempenho. Em superfície a redução da saturação foi em resposta a diminuição drástica do Al, em subsuperfície a redução foi acompanhada do aumento dos níveis de Ca e Mg, que corrobora com estudo de Caires et al. (2007), que observaram a redução da m% pelo aumento dos níveis de Ca. No entanto, Rampim et al. (2011) notou que além do Ca, a redução do nível de Al contribuiu para reduzir a m%. Esses dados mostram o quanto o benefício do gesso pode trazer em melhoria da condição química em subsuperfície, assim promovendo condições para as raízes de plantas explorar esse ambiente.

A massa seca de raiz no perfil do solo aumentou com as estratégias de melhoria da fertilidade com seis meses (Tabela 2.4), a combinação com 200 kg ha⁻¹ de gesso foi que mais influenciou no aumento da massa seca de raiz, em superfície e subsuperfície, apresentando superioridade a testemunhas nas camadas 0-10, 40-50, 50-60, 80-90, 90-100, 130-140, 150-160, 160-170 e 170-180 cm. Contudo apresentou igualdade aos outros tratamentos nas camadas 0-10, 130-140, 150-160, 160-170, 170-180 cm, e esses outros tratamentos foram iguais a testemunha. Já nas camadas 40-50, 50-60 e 80-90 a combinação com 200 kg ha⁻¹ de gesso foi superior ao tratamento que recebeu a maior dose de gesso (2.250 kg ha⁻¹), e ao tratamento que recebeu apenas calcário e adubação.

O aumento na massa de raiz foi de 56%, com a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de gesso, na camada superficial (0 a 10 cm), já em subsuperfície foram encontradas maiores diferenças, nas camadas 40-50, 50-60, 80-90, 90-100, 130-140, 150-160, 160-170 e 170-180 cm, os aumentos foram de 65%, 138%, 171%, 340%, 361%, 199%, 323% e 303%, respectivamente em relação à testemunha.

Esse resultado da avaliação de seis meses nos aponta que o desenvolvimento das raízes do capim Marandu, em subsuperfície, é influenciado pela adubação (NPK) e o enxofre (S), visto que nesse período não foi constatado alterações nos níveis de Ca e Al ou saturação por Al no solo. Infere-se que o melhor desenvolvimento das raízes alcançado pela combinação com 200 kg ha⁻¹ de gesso pode ser pelo suprimento combinado de N via adubação e S pelo gesso, pelo fato da adubação por si só não ter apresentados o melhor desempenho e ao adicionar gesso apresentou efeito aditivo.

Em um trabalho conduzido por Pietramale et al. (2020), a carência de N, K e S foi a que mais comprometeu o desenvolvimento radicular do capim Marandu. O N é

grande responsável pelo aumento de produção e melhoria das características nutricionais das gramíneas forrageiras, no entanto também é constatado a elevada dependência do S (SILVA et al., 2013; BATISTA; MONTEIRO, 2006), demandando equilíbrio entre esses dois nutrientes para atingir maiores desempenhos.

Tabela 2.4 - Massa seca de raiz do capim Marandu na profundidade de 0 a 190 cm, sob efeito do manejo da fertilidade do solo, após seis meses.

Prof. (cm)	Tratamentos ¹						
	TT	AD	AD+C	AD+C+G1	AD+C+G2	AD+C+G3	AD+C+G4
	kg ha ⁻¹						
0-10	1658,4b	1910,2ab	1818,3ab	2591,8a	2239,4ab	1796,5ab	2056,9ab
10-20 ^{ns}	770,2	675,7	520,7	827,6	557,8	656,2	577,8
20-30 ^{ns}	350,2	456,9	390,3	534,7	388,1	368,6	311,9
30-40 ^{ns}	260,0	314,0	242,4	338,4	290,6	318,9	260,3
40-50	215,5b	257,9ab	153,9b	354,8a	213,2b	252,3ab	160,5b
50-60	111,4b	182,0ab	108,7b	265,5a	167,8ab	175,9ab	125,7b
60-70 ^{ns}	94,6	159,1	97,2	190,0	170,3	145,2	117,4
70-80 ^{ns}	77,0	194,8	103,9	229,3	158,8	147,2	95,5
80-90	65,3b	156,7ab	77,5b	177,1a	138,3ab	93,3ab	81,0b
90-100	34,1c	107,5abc	70,4bc	150,1ab	169,1a	105,1abc	68,2bc
100-110 ^{ns}	50,4	105,6	93,2	146,4	134,8	81,9	69,5
110-120 ^{ns}	40,7	80,4	96,6	113,3	121,3	92,9	62,9
120-130 ^{ns}	39,2	91,5	53,2	95,6	116,6	80,4	49,7
130-140	23,1b	83,7ab	42,4ab	106,7a	88,9ab	55,2ab	59,7ab
140-150 ^{ns}	26,6	63,6	55,9	71,1	73,2	54,7	57,0
150-160	23,7b	56,6ab	42,9ab	70,8a	60,0ab	42,9ab	45,0ab
160-170	20,4b	62,2ab	39,9ab	86,5a	59,8ab	43,0ab	35,4ab
170-180	13,5b	51,6a	29,4ab	54,3a	47,2ab	45,9ab	33,2ab
180-190 ^{ns}	13,3	36,9	41,0	40,1	39,8	35,9	21,1

TT: Testemunha, sem adubação, calagem (C) ou gessagem (G); AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+G1: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G2: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G3: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G4: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. ¹ Adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK, calagem= 3000 kg ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade e "ns" = não significativo.

Maiores influências das estratégias de melhorias da fertilidade, sobre a massa seca de raiz em profundidade, foram observadas na avaliação aos doze meses do início do estudo (Tabela 2.5). Em todas as profundidades a testemunha sempre esteve entre os tratamentos que apresentou menor massa de raiz. Na camada de 0-10 e 10-20 cm, as estratégias de melhoria de fertilidade do solo beneficiaram a massa de raiz,

no entanto não apresentaram diferença entre si, porém na camada de 0-10 apenas o tratamento com gesso na dose de 750 e 2.250 kg ha⁻¹ foram igual a testemunha e na camada de 10-20 o tratamento com gesso na dose de 200 kg ha⁻¹. Nas camadas subsuperficiais, abaixo de 30 cm, maiores aumentos na massa de raiz foram encontrados sobre efeito apenas da adubação ou da combinação de gesso na dose de 750 kg ha⁻¹. O tratamento com adubação elevou a massa de raiz nas camadas 30 a 70, 130 a 140 e 150 a 180 cm, já o gesso na dose de 750 kg ha⁻¹ nas camadas de 80 a 100 e 110 a 140 cm. No entanto, em algumas camadas os demais tratamentos foram iguais à testemunha e ao tratamento que apresentou maior massa de raiz. Os tratamentos com apenas calcário (40-50, 60-70, 120-130 cm), gesso na dose de 200 kg ha⁻¹ (60-70, 120-130), gesso na dose de 1500 kg ha⁻¹ (120-130) e gesso na dose de 2250 kg ha⁻¹ (50-60, 60-70, 120-130, 170-180) foram iguais somente a testemunha.

Tabela 2.5 - Massa seca de raiz do capim Marandu na profundidade de 0 a 190 cm, sob efeito do manejo da fertilidade do solo, após doze meses.

Prof. (cm)	Tratamentos ¹						
	TT	AD	AD+C.	AD+C+G1	AD+C+G2	AD+C+G3	AD+C+G4
	kg ha ⁻¹						
0-10	1108,3b	2063,2a	2038,8a	1851,6a	1814,8ab	2315,9a	1480,1ab
10-20	393,3b	688,9a	753,2a	562,7ab	785,5a	745,5a	705,6a
20-30 ^{ns}	270,5	511,0	316,0	261,5	358,1	375,2	363,7
30-40	161,3b	363,5a	236,9ab	243,1ab	256,4ab	245,0ab	285,7ab
40-50	116,4c	314,1a	183,9bc	222,1abc	216,4abc	277,1ab	198,8abc
50-60	134,5b	244,3a	182,2ab	170,8ab	221,2ab	220,7ab	136,5b
60-70	124,2b	283,3a	107,7b	145,2b	186,9ab	228,5ab	106,1b
70-80 ^{ns}	103,9	208,2	106,8	129,6	212,9	229,3	95,8
80-90	75,6b	143,2ab	99,3ab	126,8ab	199,2a	181,7ab	98,8ab
90-100	83,3b	140,7ab	93,6ab	127,3ab	208,2a	160,1ab	95,0ab
100-110 ^{ns}	97,4	190,7	86,7	95,8	203,3	156,5	107,2
110-120	68,1b	159,5ab	89,6ab	96,5ab	172,8a	88,8ab	102,8ab
120-130	26,8c	115,8ab	74,8bc	93,6b	162,4a	84,6b	94,2b
130-140	36,2b	112,6a	76,0ab	104,3ab	130,0a	62,2ab	64,3ab
140-150 ^{ns}	58,3	97,7	58,3	79,4	131,1	60,4	54,8
150-160	40,7b	104,6a	70,7ab	50,5ab	91,5ab	77,7ab	65,8ab
160-170	34,5b	108,4a	73,3ab	62,4ab	75,2ab	72,4ab	48,0ab
170-180	40,1b	115,1a	65,3ab	69,8ab	81,9ab	74,2ab	44,9b
180-190 ^{ns}	27,5	75,1	53,1	76,9	61,4	67,5	42,0

TT: Testemunha, sem adubação, calagem (C) ou gessagem (G); AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+G1: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G2: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G3: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G4: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. ¹ Adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK, calagem= 3000 kg ha⁻¹. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade e "ns" = não significativo.

Na avaliação de doze meses foi observado maior diferença da testemunha em relação as estratégias de manejo aplicadas, na camada de 0 a 10 cm o aumento foi em média 74%, e os tratamentos que apresentaram maior massa de raiz em relação a testemunha foram 86%, 84%, 67% e 109% para as estratégias adubação, calcário mais adubação, calcário mais adubação e 200 kg ha⁻¹ de gesso e calcário mais adubação e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente. Já na camada de 10 a 20 cm o aumento foi em média 80%, nas camadas subsuperficiais na qual os tratamentos de apenas adubação ou da combinação de gesso na dose de 750 kg ha⁻¹ apresentaram maior massa de raiz em relação a testemunha a diferença foi em média 159% e 247%, respectivamente. Foi observado que de acordo que aumentava a profundidade a diferença em relação a testemunha aumentava, isso indica melhor distribuição das raízes no perfil do solo em função da estratégia aplicada.

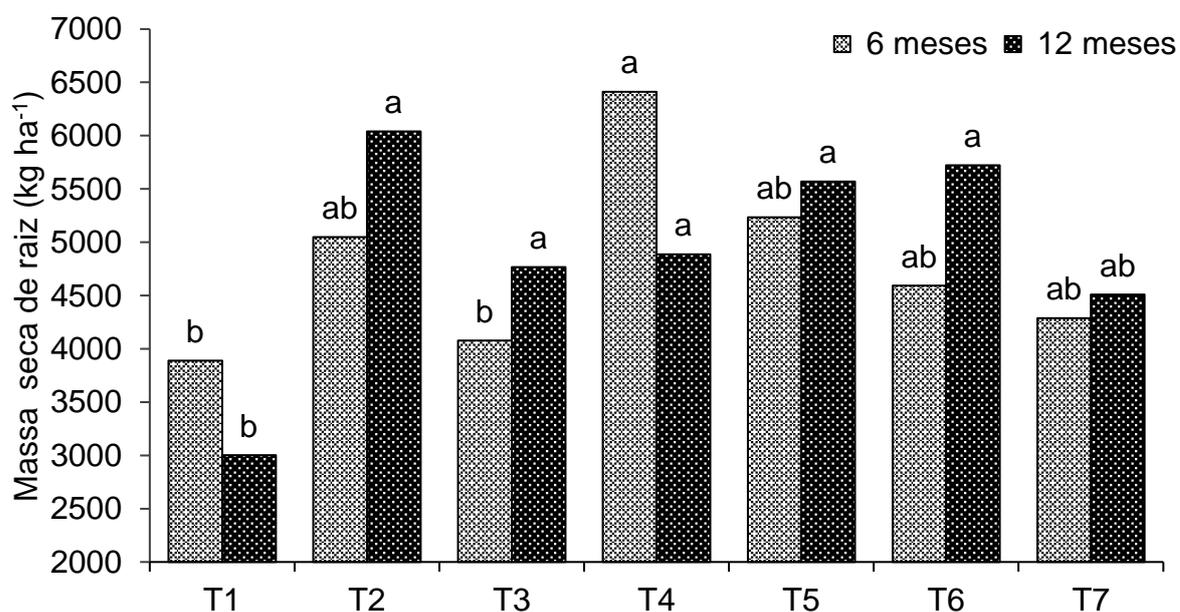
Com doze meses o desenvolvimento radicular do capim Marandu tem se mostrado responsivo, mais a estratégia de adubação com NPK, no entanto o gesso ainda tem apresentado resposta, mas em uma dose mais elevada (750 kg ha⁻¹), em relação a de seis meses, apontando que a dose de 200 kg ha⁻¹ apresenta pouco efeito residual. Conforme apresentado anteriormente, ainda não foi verificado grandes melhorias da parte química do solo em subsuperfície com doze meses, principalmente com a elevação do nível de cálcio e a redução da saturação por alumínio, que são limitadores do crescimento radicular.

A massa seca de raiz total foi beneficiada pela melhoria da fertilidade do solo, tanto aos seis, quanto aos doze meses do início do estudo (Figura 2.10). Aos seis meses, apenas o tratamento que recebeu a combinação com 200 kg ha⁻¹ de gesso obteve maior massa de raiz em relação a testemunha, porém foi igual aos demais tratamentos, com exceção da combinação com calcário. Já na avaliação de doze meses, todos os tratamentos foram superiores a testemunha, com exceção da combinação com maior dose de gesso (2.250 kg ha⁻¹), entretanto não houve diferenças entre eles.

O sistema radicular do capim Marandu se mostrou muito responsivo ao uso de gesso, na avaliação de seis meses a combinação com 200 kg ha⁻¹ do produto aumentou 65% a massa de raiz, em relação a testemunha. No entanto quando foi aumentada a taxa de aplicação de 750, 1.500 e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso, essa diferença diminuiu para 35% 18% e 10%, respectivamente. Já na avaliação aos doze meses observou-se um comportamento diferente, com aumento até 1.500 kg ha⁻¹ e redução

na dose mais alta (63%, 86%, 91% e 50%). Algo observado na avaliação de seis e doze meses foi a redução da massa de raiz, principalmente em subsuperfície, para a dose mais elevada de gesso (2.250 kg ha⁻¹). Isto corrobora com o trabalho de Backes et al. (2017), os quais observaram que doses elevadas de gesso reduziram a produção de raiz no primeiro e segundo ano de avaliação.

Figura 2.10 - Massa seca total de raiz do capim Marandu em profundidade (0 a 190 cm) na avaliação de seis e doze meses, após diferentes estratégias de manejo da fertilidade do solo.



T1: testemunha, T2: adubação com NPK, T3: calagem e adubação com NPK, T4: calagem, 200 kg ha⁻¹ de gesso e adubação com NPK, T5: calagem, 750 kg ha⁻¹ de gesso e adubação com NPK, T6: calagem, 1.500 kg ha⁻¹ de gesso e adubação com NPK, T7: calagem, 2.250 kg ha⁻¹ de gesso e adubação com NPK. Coluna da mesma cor seguida de letra iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O sistema radicular do capim Marandu também se mostrou responsivo a adubação com NPK, na avaliação de doze meses foi a estratégia que apresentou maior massa de raiz, aumentando em 101% a massa de raiz, em relação a testemunha, o que evidencia a deficiência desses nutrientes no solo. Em um estudo de Pietramale et al. (2020), foi observado que em condições deficitárias de N, P e K o desenvolvimento radicular da forrageira ficou comprometido.

A massa de raiz de todas as estratégias aumentou da primeira para segunda avaliação, com exceção a combinação com 200 kg ha⁻¹ de gesso que reduziu 24% e a testemunha 23%. Maiores aumentos foram encontrados para a combinação com gesso na dose de 1.500 kg ha⁻¹ (25% de aumento), seguido de adubação (20%) e a

combinação com calcário (17%). Isso nos aponta que ainda há um potencial de resposta das estratégias aplicadas para os períodos seguintes, por não haver uma estabilidade de massa de raiz.

4 CONCLUSÃO

A prática de adubação com NPK eleva o nível de fósforo no solo na profundidade de 0 a 10 cm e o potássio na profundidade de 0 a 20 cm.

A calagem eleva o pH e o nível de Ca e reduz o de Al na profundidade de 0 a 10 cm.

O gesso promove o aumento no teor de Ca na superfície do solo (0 a 10 cm) e reduz o teor de K na camada de 0 a 20 cm, em subsuperfície aumenta os níveis de Mg e é necessária uma dose acima de 1.500 kg ha⁻¹ gesso para aumentar Ca em profundidade.

A adubação apenas com NPK e combinação deste com calcário na presença do gesso promovem aumento na massa de raiz do capim Marandu no perfil do solo, no entanto doses elevadas de gesso podem comprometer o desenvolvimento das raízes em maior profundidade.

REFERENCIAS

- ALVAREZ V., V. H.; DIAS, L. E.; RIBEIRO, A. C.; SOUZA, R. B. de. Uso de gesso agrícola. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. capítulo 10, p. 67-78.
- ALVES, L. A.; TIECHER, T. L.; FLORES, J. P. M.; FILIPPI, D.; GATIBONI, L. C.; BAYER, C.; PIAS, O. H. C.; MARQUEZ A. A. M.; BORDIGNON V.; TIECHER, T. Soil chemical properties and crop response to gypsum and limestone on a coarse-textured Ultisol under no-till in the Brazilian Pampa biome. **Geoderma Regional**, v. 25, p. e00372, 2021.
- BACKES, C.; SANTOS, A. J. M.; BESSA, S. V.; RIBON, A. A.; TEODORO, A. G.; RODRIGUES, L. M.; TOMAZELO, D. A.; LEITE, L. F. Taxa de cobertura verde e exportação de macronutrientes pelo capim Marandu em função da aplicação de gesso. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 258, p. 234-242, 2018.
- BACKES, C.; SANTOS, A. J. M., RODRIGUES, L. M., TEODORO, A. G., RIBON, A. A., VILLAS BÔAS, R. L., PEREIRA, L. M.; FRANCO, Y. M. Recovery of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) and pasture as a function of gypsum in the Cerrado biome. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 46, p. 286-295, 2017.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 1281-1288, 2006.
- BESEN M. R.; RIBEIRO R. H.; ESPER NETO M.; MINATO E. A.; CONEGLIAN C. F.; KACHINSKI W. D.; TORMENA C. A.; INOUE T. T.; BATISTA M. A. Lime and phosphogypsum application management: changes in soil acidity, sulfur availability and crop yield. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 45, p. e0200135, 2021a.
- BESEN, M. R.; CONEGLIAN, C. F.; CASSIM, B. M. A. R.; KACHINSKI, W. D.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A. Forms of lime application and use of phosphogypsum in low acid soil in southern Brazil: soybean-wheat yield and soil chemical properties. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 45, p. e0210001, 2021.
- BRASIL, F. DA C.; ZONTA, E; OLIVEIRA, M. DO R. G. Métodos de amostragem e quantificação para estudos do sistema radicular em condições de campo – uma revisão crítica. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida, Seropédica**, v. 27, n. 2, p. 14-33, 2007.
- CAIRES E. F.; BLUM J.; BARTH G.; GARBUIO F. J; KUSMAN M.T. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-86, 2003.
- CAIRES, E. F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F. J.; JORIS, H.A.W.; MASCHIETTO, E. R. G. Gesso agrícola na melhoria de atributos químicos do solo e na produção de grãos da sucessão milho-trigo-soja em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Gramado, 2007. **Anais**. Gramado, 2007.
- CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas

do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.

DIAS-FILHO, M.B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, Doc.402. 2014. 38p.

DIAS-FILHO, Moacy Bernardino. **Degradação de Pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4ª ed. rev. atual. e ampl. Belem, PA: Ed. do Autor, 2015. 214 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. ver. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.

GARCEZ, T. B.; MEGDA, M. M.; ARTUR, A. G.; MONTEIRO, F. A. Root system characteristics of Marandu palisadegrass supplied with nitrogen and magnesium rates. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 1428-1435, 2011.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 479 p.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. D. E. F.; DESJARDINS, T.; SILVA, M. P. F. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 1409-1418, 2001.

PAVAN M. A. **Comportamento do gesso nos solos ácidos das regiões tropicais e subtropicais**. Piracicaba: Potafos (Informações Agronômicas, 36). 1986.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 1, p. 33-38, 1984.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃, and CaSO₄·2H₂O. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, n. 6, p. 1201-1207, 1982.

PIETRAMALE, R. T. R.; PASCHOALOTO J. R.; VALENTIM, J. K., MARQUES, O. F. C.; LEITE, B. K. V.; PETROMALI, G. F. S. G.; CASTILHO, V. A. R.; BARBOSA D. K.; RUVIARO C. F.; OLIVEIRA NETO S. S.; HEINRICH, R. Produção de capim Marandu em condições deficitárias de nutrientes em diferentes épocas de corte. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e170943058, 2020.

RAIJ B. VAN. **Gesso na agricultura**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008.

RAMPIM L.; LANA M. C.; FRANDOLOSO J. F.; FONTANIVA S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p.1687–98, 2011.

SAINJU, U. M.; ALLEN, B. L.; LENNSEN, A. W.; GHIMIRE, R. P. Root biomass, root/shoot ratio, and soil water content under perennial grasses with different nitrogen rates. **Field Crops Research**, v. 210, p. 183-191, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.;

OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, D. R. G.; COSTA, K. A. D. P.; FAQUIN, V., OLIVEIRA, I. P. D.; BERNARDES, T. F. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação das características estruturais e produtivas do capim-marandu. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 184-191, 2013.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. atual. ampl. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, G.L.S.; CARNEIRO, M. S. S; FURTADO, F. M. V., SANTOS, F. J. S.; SILVA, M. S., COSTA, N. L.; MAGALHÃES, J. A. Algumas considerações sobre o sistema radicular de plantas forrageiras. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, Londrina, v. 8, n. 6, ed. 255, art. 1687, 2014.

SMITH, C. J.; PEOPLES, M. B.; KEERTHISINGHE, G.; JAMES, T. R.; GARDEN, D. L.; TUOMI, S. S. Effect of surface applications of lime, gypsum and phosphogypsum on the alleviating of surface and subsurface acidity in a soil under pasture. **Australian Journal of Soil Research**, v. 32, n. 5, p. 995-1008, 1994.

SOUSA, D. M. G.; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagem no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados - Circular técnica n. 12, p. 1-22, 2001.

VICENSI M.; MÜLLER M.M.L.; KAWAKAMI J.; NASCIMENTO R.; MICHALOVICZ L.; LOPES C. Do Rates and Splitting of Phosphogypsum Applications Influence the Soil and Annual Crops in a No-Tillage System?. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. e0150155, 2016.

VICENSI, M.; LOPES, C.; KOSZALKA, V.; UMBURANAS, R. C.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W.; MÜLLER, M. M. L. Soil fertility, root and aboveground growth of black oat under gypsum and urea rates in no till. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 1271-1286, 2020.

ZOZ, T.; LANA, M. C.; STEINER, F.; FRANDOLOSO, J. F.; FEY, R. Influência do ph do solo e de fertilizantes fosfatados sobre a adsorção de fósforo em Latossolo Vermelho. **Synergismus scyentifica**, v. 4, n. 1, 2009.

CAPITULO III**CALAGEM, GESSAGEM E ADUBAÇÃO EM PASTAGEM DE CAPIM MARANDU
EM ESTÁGIO INICIAL DE DEGRADAÇÃO**

RESUMO

Objetivou-se estudar o efeito combinado ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK em pastagem de capim Marandu em estágio inicial de degradação. O experimento foi conduzido a campo em um delineamento em blocos casualizados com sete tratamentos e quatro repetições. Aplicou-se seis estratégias de manejo da fertilidade de solo: adubação, adubação mais calcário, adubação mais calcário combinado com quatro doses de gesso (200, 750, 1500 e 2250 kg ha⁻¹) e uma testemunha (sem adubação e corretivos). No primeiro e segundo ano de avaliação todas as estratégias apresentaram maiores altura, densidade de perfilhos e massa de forragem por ciclo e total, em relação a testemunha. No entanto, no primeiro ano não houve diferença entre elas, porém no segundo ano as estratégias associadas a aplicação do gesso se destacaram. A adubação com NPK se apresenta eficiente na recuperação de pastagem, porém este efeito é de curto prazo. A médio prazo a associação com calcário e também gesso se apresentaram com melhor desempenho para a recuperação de pastagens. Além disso a aplicação do gesso minimizou o efeito da sazonalidade de produção de forragem por se destacar ao estimular o acúmulo de biomassa nos períodos de transição águas-seca e seca-águas.

Palavras-chaves: Calcário. Gesso. Recuperação de pastagem. Solo arenoso.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the combined effect or not of liming, plastering, and fertilization with NPK in Marandu grass pasture in an initial stage of degradation. The experiment was conducted in the field in a randomized block design with seven treatments and four repetitions. Six soil fertility management strategies were applied: fertilization, fertilization plus lime, fertilization plus lime combined with four gypsum application rates (200, 750, 1500, and 2250 kg ha⁻¹), and a control (without fertilizer and correctives). In the first and second years of evaluation, all strategies showed greater height, tiller density, and forage mass per cycle and total, compared to the control. However, in the first year, there was no difference between them, but in the second year, the strategies associated with plaster application stood out. NPK fertilization is efficient in recovering pasture, but this effect is short-term. In the medium term, the association with limestone and gypsum presented a better performance for the recovery of pastures. Furthermore, the application of gypsum minimized the effect of the seasonality of forage production by stimulating the accumulation of biomass in the wet-dry and dry-wet transition periods.

Keywords: Gypsum. Lime. Sandy soil. Pasture recovery.

1 INTRODUÇÃO

No cerrado a baixa fertilidade dos solos é generalizada, com elevada acidez e saturação por alumínio e baixos teores de cálcio, magnésio, enxofre, potássio e fósforo. Essa característica está presente tanto na camada superficial quanto em subsuperfície (SOUSA et al., 2001). Nessa região o teor de cálcio é muito baixo, em mais de 80% das áreas é inferior a $0,4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e a saturação por alumínio é superior a 40% em mais de 70% das áreas (LOPES; COX, 1977; COCHRANE; AZEVEDO, 1988), sendo essa característica marcante em subsuperfície.

Em sistema de pastagens a baixa fertilidade tem sido agravada pela extração de nutrientes sem a devida reposição, levando a pastagem a um processo de degradação, algo recorrente nesses sistemas de produção. Essas condições reduzem a capacidade produtiva da forrageira ao longo do tempo. Sob esse manejo, o sistema radicular é comprometido, principalmente no aprofundamento das raízes, fazendo estas se concentrem na camada superficial do solo (MULLER et al., 2001), limitando a exploração de nutriente e a água, deixando susceptível a veranicos e a seca, agravando o problema da sazonalidade de produção de forragem e a produção animal.

Para a correção da acidez da superfície do solo utiliza-se a prática de calagem, que neutraliza o alumínio e fornece cálcio e magnésio, além de elevar o pH. Contudo, a curto prazo, a calagem não corrige a camada abaixo da qual foi aplicada e/ou incorporada. A gessagem complementa os efeitos da calagem, atuando em camada subsuperficial corrigindo a deficiência de cálcio, reduzindo a saturação por alumínio e fornecendo enxofre (SOUSA et al., 2001; VICENSI et al., 2020).

As gramíneas têm apresentado respostas positivas à correção da camada superficial e subsuperficial do solo, apresentando melhor distribuição e aprofundamento do sistema radicular, aumento no número de perfilhos e incremento na produtividade de matéria seca (BACKES et al., 2017; SOUSA et al., 2001). Contudo, os poucos os estudos sobre estratégias de manejo que visam a melhoria da fertilidade do solo em subsuperfície a maioria são conduzido em casa de vegetação e com período curto de avaliação.

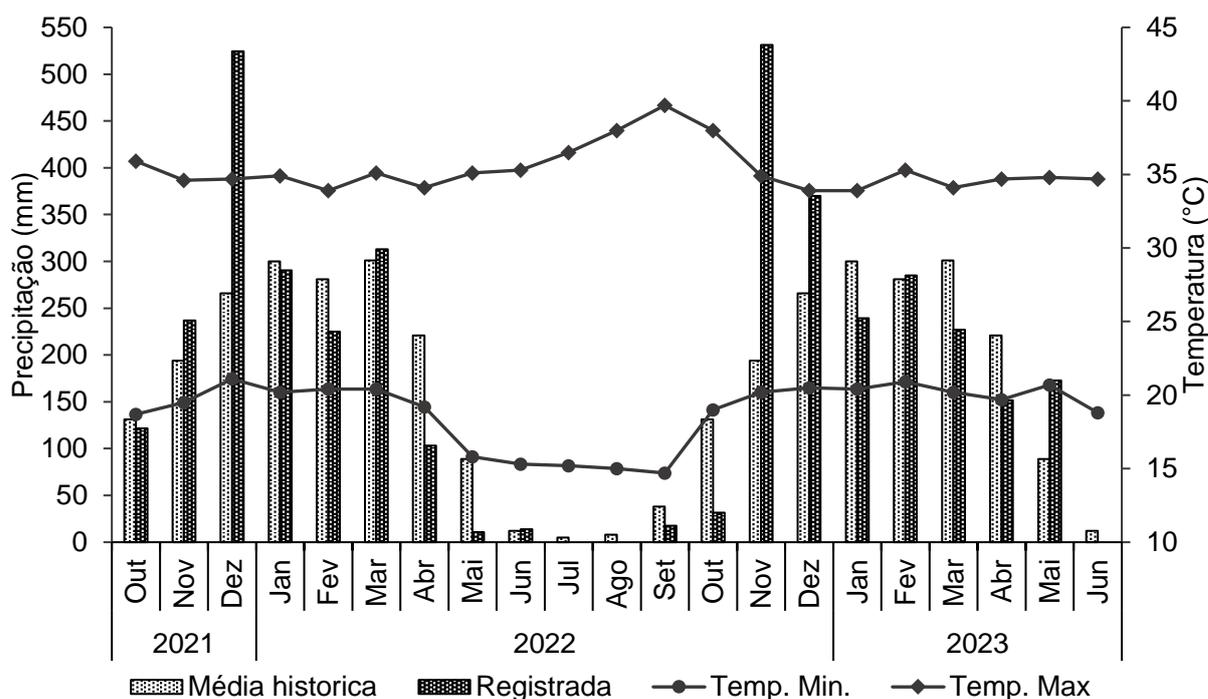
Diante disso, objetivou-se estudar o efeito combinado ou não da calagem, gessagem e adubação com NPK em pastagem de capim Marandu em estágio inicial de degradação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Experimento foi conduzido a campo, na fazenda Agropastoril Frutins no município de Araguaína – TO, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 7° 17'32.23" S, longitude 48° 7'21.35" O e altitude de 259 m. O período experimental foi de outubro de 2021 a junho de 2023.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948) é AW – Tropical de verão úmido com estação seca e chuvosa bem definidas e período de estiagem no inverno. Na Figura 3.1 são apresentadas as precipitações acumuladas mensais registradas no período e a média histórica dos últimos 30 anos, e a temperatura máxima e mínima registradas no município de Araguaína - TO.

Figura 3.1 - Temperatura máxima e mínima, precipitação acumulada mensal e média histórica, registrada durante o período experimental.



Fonte: Adaptado INMET; CLIMATEMPO (2023)

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo de textura média (SANTOS et al., 2018), apresenta uma profundidade aproximada de 2,3 m. As características químicas e físicas do solo estão apresentadas na Tabela 3.1 e 3.2. A gramínea forrageira estabelecida na área é o capim Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu), implantada há cinco anos que apresentava característica de pastagens em fase inicial de processo de degradação (Nível 1: leve), com queda na

capacidade de suporte e com presença de plantas daninhas (DIAS-FILHO, 2015) e vinha sendo manejada em sistema de pastejo extensivo, que apresentava uma densidade populacional de perfilhos² de 501±97 m².

Tabela 3.1 - Características químicas do solo da área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.

Profundidade (cm)	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	CaCl	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- % -----			
0-10	4,82	3,68	0,15	0,95	0,36	0,15	1,88	1,33	3,21	41,34	10,17
10-20	4,82	3,03	0,05	0,84	0,51	0,25	1,86	1,36	3,22	42,09	15,58
20-30	4,70	3,03	0,03	0,59	0,32	0,57	2,01	0,91	2,93	31,19	38,45
30-40	4,36	2,96	0,03	0,32	0,28	0,83	2,26	0,60	2,86	21,05	57,94
40-60	4,18	2,89	0,03	0,23	0,22	0,86	2,44	0,45	2,89	15,63	65,52
60-90	4,07	2,74	0,03	0,19	0,25	1,11	2,36	0,44	2,80	15,79	71,49
90-130	4,00	2,82	0,03	0,13	0,18	1,05	2,28	0,31	2,59	12,07	77,06

Tabela 3.2 - Matéria orgânica e textura do solo na área experimental, na fazenda Agropastoril Frutins, antes da implantação do experimento.

Profundidade (cm)	MO	Argila	Areia grossa	Areia fina	Silte
	g kg ⁻¹	----- % -----			
0-10	2,95	9,00	48,88	37,83	4,30
10-20	3,28	9,97	42,92	39,43	7,68
20-30	1,70	12,98	47,23	35,80	3,99
30-40	1,64	14,00	44,40	38,10	3,50
40-60	1,33	14,00	43,40	36,65	5,95
60-90	0,96	16,97	40,94	38,14	3,94
90-130	0,95	15,92	41,00	36,72	6,37

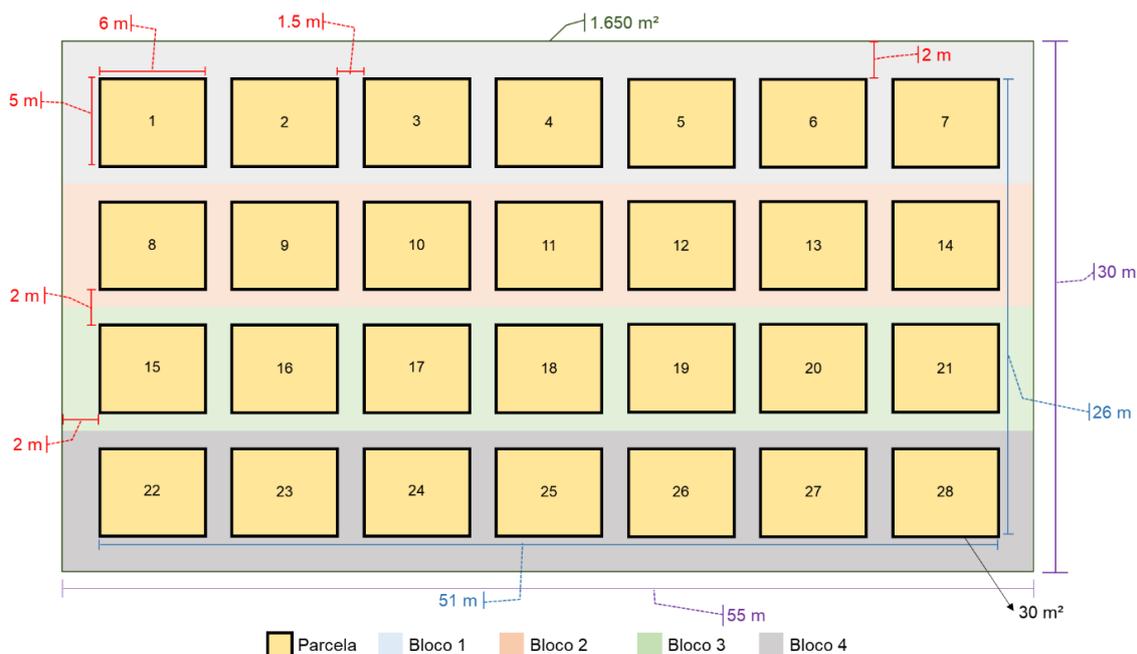
O experimento foi conduzido em parcelas de 30 m² (5 m x 6 m), em um delineamento em bloco casualizado, com sete tratamentos e quatro repetições, totalizado 28 parcelas. Na Figura 3.2, é apresentado o croqui da área, com as dimensões da parcela e espaçamentos entre parcela e bloco.

Os tratamentos foram constituídos de uma testemunha, sem correção do solo e adubação (tratamento 1), adubação com NPK sem correção (tratamento 2), adubação com NPK mais calagem (tratamento 3) e mais quatro tratamentos com a

² Valor médio encontrado após mensuração com uma moldura retangular de 0,3 m² (0,15 x 2,0 m) em 28 pontos na área experimental.

combinação do tratamento 3 com quatro doses de gesso, sendo: 200 kg ha⁻¹ com objetivo de fornecer enxofre; 25% da quantidade de calcário recomendada (dose padrão); 50% da quantidade de calcário recomendada; e 75% da quantidade de calcário recomendada. Conforme apresentado na Tabela 3.3.

Figura 3.2 - Croqui da área experimental.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3.3 - Quantidade de fertilizantes, calcário e gesso aplicados em cada tratamento.

Tratamento	N-P-K (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Calcário (kg ha ⁻¹)	Gesso (kg ha ⁻¹)
1	0	0	0
2	100-50-100	0	0
3	100-50-100	3.000	0
4	100-50-100	3.000	200
5	100-50-100	3.000	750
6	100-50-100	3.000	1.500
7	100-50-100	3.000	2.250

No início do experimento foi realizado o controle mecânico com o corte das plantas invasoras e a uniformização da altura da forrageira com rebaixamento do capim a 10 cm do nível do solo, nos cortes seguintes (Tabela 3.4) foi adotado como altura residual padrão de manejo 20 cm do nível do solo, e o critério adotado para a

realização dos cortes seguintes foi quando pelo menos um dos tratamentos atingisse a altura média de 40 cm. Os cortes foram realizados com auxílio de uma roçadeira motorizada costal.

O calcário e o gesso foram aplicados entre o final da estação seca e início da estação de chuva (outubro de 2021), a lanço e individual nas unidades experimentais de acordo com os tratamentos (Tabela 3.3). O calcário utilizado foi classificado como dolomítico com PRNT de 80%. A fonte de gesso utilizada foi a gipsita que apresentava teores médios de 19% de Ca e 15% de S.

Tabela 3.4 - Numero e data dos cortes durante o período experimental.

Primeiro ano (2021/2022)		Segundo ano (2022/2023)	
Corte	Data	Corte	Data
1	13/01/2022	1	14/11/2022
2	23/03/2022	2	05/12/2022
3	22/04/2022	3	24/01/2023
4	02/07/2022	4	07/03/2023
		5	10/04/2023
		6	09/06/2023

A adubação com N e K foram divididas em duas aplicações anuais, uma no início da estação chuvosa (novembro de 2021 e 2022), a outra nos meados da estação (março de 2022 e fevereiro de 2023). A adubação com P foi realizada em uma única aplicação ao ano, no início da estação de chuvas, na ocasião da aplicação de N e K. As fontes de NPK foram a ureia (45% de N), superfosfato triplo (45% de P_2O_5) e cloreto de potássio (60% de K_2O), respectivamente.

As características do capim avaliadas foram: altura do dossel, densidade populacional de perfilhos e massa seca de forragem.

A altura do dossel, foi avaliada pela distância entre a superfície do solo e a extremidade das lâminas foliares mais elevadas no horizonte de cada unidade experimental. Para tal medida, tomou-se, cinco mensurações ao acaso em cada unidade experimental, com auxílio de um bastão graduado em centímetros.

Para a avaliação da massa seca de forragem, utilizou-se o método direto com a técnica do quadrado (SANTOS et al., 2021), foram realizadas amostragens em todas as unidades experimentais, o local da amostragem foi direcionado de acordo com a média de altura da parcela (características médias da parcela). A área amostrada foi de 0,5 m², com auxílio de uma moldura retangular de pvc de 1 m x 0,5 m. A forragem contida dentro dessa área foi colhida a uma altura de 20 cm ao nível do solo, pesada

e em seguida retirada uma subamostra ($\cong 300$ g), posteriormente seca em estufa de ventilação forçada de ar, a temperatura de 55 °C, até atingir peso constante.

Logo após as colheitas foi avaliada a densidade populacional de perfilhos. As avaliações foram na área que representam as características média da parcela, com auxílio de uma moldura metálica retangular de 0,15 m x 1,5 m (0,225 m²).

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos e homogeneidade das variâncias, seguido de análise de variância, teste de média (Duncan) a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados usando o programa estatístico SAS® Studio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As estratégias de melhoria da fertilidade do solo se mostraram eficientes na recuperação da pastagem e promoveram melhor desenvolvimento do capim Marandu, em relação à testemunha sem adubação e correção do solo, tanto no primeiro, quanto no segundo ano de intervenção.

Uma das variáveis estudadas foi a altura do dossel forrageiro, que na média anual ficou próximo a meta de manejo de corte pré-estabelecida, tanto no primeiro, quanto no segundo ano, ou seja, 40 cm, com exceção da testemunha que ficou em média 30% abaixo dessa altura (Tabelas 3.5 e 3.6).

No primeiro ano, em todos os cortes as práticas de melhoraria da fertilidade adotadas foram superiores a testemunha, e sem diferenças entre estas práticas, com exceção do quarto corte, no qual o tratamento com gesso na dose 750 kg ha⁻¹ foi cerca de 2 cm menor que o NPK+Calcário e gesso na dose 1.500 kg ha⁻¹ (Tabelas 3.5). Maior diferença das estratégias para a testemunha foi observada no primeiro corte, com 78% de diferença, já os tratamentos que receberam gesso nas doses 200, 750 e 2.250 kg ha⁻¹ promoveram maiores diferenças, 83, 87 e 83% respectivamente. Nos três cortes seguintes as estratégias foram 27, 43 e 24% superior a testemunha.

Tabela 3.5 - Altura do capim Marandu, no primeiro ano (2021/2022), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.

Tratamento ¹	Corte				Média
	1	2	3	4	
	cm				
Testemunha	23b	32b	29b	30c	28
NPK	41a	41a	41a	37ab	40
NPK+Cal.	38a	41a	40a	38a	39
NPK+Cal.+200G	42a	41a	42a	37ab	41
NPK+Cal.+750G	43a	41a	42a	36b	40
NPK+Cal.+1500G	39a	40a	42a	39a	40
NPK+Cal.+2250G	42a	39a	41a	37ab	40
CV (%)	7,14	4,03	3,91	3,84	

¹ Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Testemunha: sem adubação, calagem (Cal.) ou gessagem (G); NPK: adubação; NPK+Cal.: adubação mais calagem; NPK+Cal.+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

No segundo ano, a altura do capim Marandu na testemunha continuou inferior aos tratamentos com adubação e correção, além disso verificou-se maior diferenciação entre estes últimos tratamentos, em relação ao padrão de uniformidade observado no primeiro ano (Tabela 3.6). As estratégias em todos os cortes foram em média 50% maior em relação a testemunha, no primeiro e quarto corte foram observadas as maiores diferenças 66 e 63%. No primeiro corte a combinação com gesso apresentaram maiores alturas, 11% a mais em média, em relação ao tratamento só com adubação e 70% em relação a testemunha. No segundo, quinto e sexto corte não apresentaram diferença entre as estratégias. No terceiro corte não teve diferença entre a combinação de calcário com ou sem gesso, porém o tratamento só com adubação apresentou maior altura (5%), em relação a combinação com gesso nas doses 200, 1.500 e 2.250 kg ha⁻¹. No quarto corte o uso de gesso também promoveu maiores alturas, 11% em média, em relação as demais estratégias e 71% em relação a testemunha. A altura média do capim apresentou o mesmo padrão de resposta do primeiro ano, todos os tratamentos com intervenção na fertilidade do solo atingiram a meta para o corte, com exceção da testemunha que ficou em média 33% abaixo dessa altura ideal.

Tabela 3.6 - Altura do capim Marandu, no segundo ano (2022/2023), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.

Tratamento ¹	Corte						Média
	1	2	3	4	5	6	
	cm						
Testemunha	26c	28b	29c	24c	26b	29b	27
NPK	40b	43a	41a	36b	41a	37a	40
NPK+Cal.	42ab	42a	40ab	37b	42a	37a	40
NPK+Cal.+200G	44a	44a	39b	41a	40a	37a	41
NPK+Cal.+750G	45a	43a	40ab	40a	40a	36a	41
NPK+Cal.+1500G	45a	43a	39b	40a	40a	36a	40
NPK+Cal.+2250G	43a	43a	39b	41a	40a	37a	41
CV (%)	4,53	4,82	2,42	3,00	3,09	4,08	

¹ Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Testemunha: sem adubação, calagem (Cal.) ou gessagem (G.); NPK: adubação; NPK+Cal.: adubação mais calagem; NPK+Cal.+200G.: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+750G.: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+1500G.: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+2250G.: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Em uma estimativa do crescimento do capim no primeiro ano de avaliação, o crescimento médio da testemunha foi de 0,20 cm dia⁻¹, e estratégia só com adubação e adubação mais calcário foi 0,41 cm dia⁻¹, e as estratégias que aplicou gesso 0,42 cm dia⁻¹, ao calcular quantos dias eles demorariam para crescer 20 cm, atingir altura de corte, levaria 100, 49 e 48 dias respectivamente. No segundo ano, o crescimento médio da testemunha diminuiu para 0,19 cm dia⁻¹, que resultou na elevação de dias para atingir altura de corte para 105 dias, já as estratégias só com adubação ou adubação mais calcário e as estratégias que aplicaram gesso aumentaram para 0,56 e 0,57 cm dia⁻¹, levaria 36 e 35 dias, respectivamente para atingir altura de corte. Desta forma, foi observado um encurtamento do ciclo normal da forrageira, sob uma melhor fertilidade do solo, o que pode refletir em maior número de ciclos ao longo do ano, em relação à testemunha.

Esses dados de altura do primeiro ano nos apontam que o capim Marandu foi responsivo apenas a adubação com NPK, mostrando o efeito positivo ao minimizar os déficits destes nutrientes no solo e o potencial de resposta desta forrageira. Na aplicação da calagem e gessagem, só foi observada resposta no segundo ano, efeito marcante no primeiro e segundo corte. No primeiro corte, início da estação de chuvas, evidencia a importância da melhoria da fertilidade no reestabelecimento da planta no início da estação de chuva, encurtando o período de rebrota do primeiro corte, já no quarto corte houve veranico, chuva mal distribuída entre o corte³, que pode ter limitado o crescimento do capim, no entanto pode ser minimizado pela melhoria da fertilidade com aplicação do gesso. De maneira geral, as gramíneas são mais responsivas a adubação com NPK e responsiva a calagem e gessagem em condição de estresse.

Oliveira et al. (2009) estudaram o uso do calcário e gesso como fonte de Ca, no desenvolvimento de gramíneas consorciadas e solteiras, na fase inicial de estabelecimento, em casa de vegetação. Nestas condições o capim Marandu solteiro apresentou um aumento de 297% na altura das plantas com a fonte de calcário e 328% com a fonte de gesso, em relação a testemunha que recebeu só adubação.

A densidade populacional de perfilhos, no primeiro e segundo ano, também foi beneficiada pela melhoria da fertilidade do solo (Tabelas 3.7 e 3.8). Destaca-se que, em todos os cortes e nos dois anos estudados, todos os tratamentos de correção da

³ Em dois períodos de 16 dias choveu pouco mais de 60 mm. 24 a 29/01/2023 = 98 mm (6 dias); 31/01/2023 a 14/02/2023 = 67 mm (16 dias); 15/02 a 19/02 de 2023 = 166 mm (5 dias); 20/02/2023 a 07/03/2023 = 62 mm (16 dias); Período de 42 dias de um corte para o outro.

fertilidade do solo foram superiores à testemunha. No entanto, no primeiro ano não foi observado diferença entre as estratégias para nenhum dos cortes, e em média apresentaram aproximadamente 74% a mais de perfilhos, em relação a testemunha (Tabela 3.7).

Já no segundo ano a densidade de perfilhos da forrageira apresentou resposta diferente entre os cortes em função do calcário, gesso e adubação e a combinação deles (Tabela 3.8). No primeiro e segundo corte os tratamentos que utilizaram gesso foram superiores as demais estratégias, essa diferença foi na ordem de 53 e 14%, respectivamente, já em relação a testemunha essa diferença foi de 212% e 129% no primeiro e segundo corte, respectivamente. No primeiro corte houve diferença entre as estratégias que fizeram o uso de gesso, as três maiores doses (750, 1.500, 2.250 kg ha⁻¹), não apresentaram diferença entre elas, porém a dose de 750 kg ha⁻¹ apresentou maior densidade de perfilhos, com relação a dose de 200 kg ha⁻¹. No terceiro corte o tratamento que recebeu apenas adubação com NPK se destacou dos demais. No quarto corte o uso de gesso nas doses de 750 e 1.500 kg ha⁻¹ apresentaram os melhores resultados. No quinto corte não houve diferença entre as estratégias, mas já no sexto corte o maior número de perfilhos foi observado quando aplicado 1.500 kg ha⁻¹ de gesso.

Tabela 3.7 - Densidade de perfilhos do capim Marandu, no primeiro ano (2021/2022), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.

Tratamento ¹	Corte				Média
	1	2	3	4	
	Perfilhos m ⁻²				
Testemunha	408b	594b	874b	628b	626
NPK	867a	1.046a	1.168a	898a	995
NPK+Cal.	793a	1.121a	1.310a	862a	1.022
NPK+Cal.+200G	823a	1.034a	1.291a	1.061a	1.052
NPK+Cal.+750G	866a	1.054a	1.280a	981a	1.045
NPK+Cal.+1500G	806a	1.092a	1.292a	924a	1.029
NPK+Cal.+2250G	826a	983a	1.267a	868a	986
CV (%)	10,23	12,81	15,48	13,83	

¹ Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Testemunha: sem adubação, calagem (Cal.) ou gessagem (G); NPK: adubação; NPK+Cal.: adubação mais calagem; NPK+Cal.+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Da mesma forma que a altura no primeiro ano a densidade de perfilho foi influenciada apenas pela adubação. No segundo ano a combinação com o uso de gesso promoveu um rápido reestabelecimento da densidade de perfilhos no início da estação de chuva.

São vários os trabalhos que evidenciam o benefício da adubação com N, P e K na densidade de perfilhos (SILVA et al., 2013; ALEXANDRINO et al., 2004; CECATO et al., 2000; FARIA et al., 2015). Também, a prática de calagem e gessagem têm apresentado estudos positivos para o aumento no número de perfilhos das forrageiras (RODRIGUES et al., 2020; BACKES et al., 2017; MESQUITA et al., 2002; PASSOS et al., 1997).

Tabela 3.8 - Densidade de perfilhos do capim Marandu, no segundo ano (2022/2023), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.

Tratamento ¹	Corte						Média
	1	2	3	4	5	6	
	Perfilhos m ⁻²						
Testemunha	229d	280c	333c	437d	342b	283c	317
NPK	440c	564b	801a	784c	706a	582b	646
NPK+Cal.	493c	562b	646b	801bc	708a	636ab	641
NPK+Cal.+200G	664b	643a	704b	757c	751a	603b	687
NPK+Cal.+750G	773a	660a	724ab	886ab	780a	663ab	748
NPK+Cal.+1500G	701ba	629a	698b	926a	762a	702a	736
NPK+Cal.+2250G	718ba	632a	690b	831bc	744a	624ab	707
CV (%)	10,81	7,27	8,83	7,80	11,73	9,50	

¹ Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Testemunha: sem adubação, calagem (Cal.) ou gessagem (G); NPK: adubação; NPK+Cal.: adubação mais calagem; NPK+Cal.+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A produção de perfilhos pelas gramíneas forrageiras é regulado principalmente pelo índice de área foliar (IAF), que é determinada pelo crescimento e surgimento de novas folhas, processos altamente influenciados pelo suprimento de carbono ou reservas orgânicas disponíveis (SILVA; NASCIMENTO, 2006). Desta forma, fatores que potencializam o crescimento e surgimento de novas folhas, aumentam a densidade de perfilhos. Batista e Monteiro (2006), observaram que adubação com

enxofre potencializou a taxa de aparecimento de folhas e o índice de área foliar do capim Marandu, no estágio inicial de desenvolvimento, que por sua vez promoveu maior densidade de perfilhos. Desta forma, o maior perfilhamento no primeiro e segundo corte, do segundo ano, pelo uso de gesso, pode ser em função do enxofre presente nesse insumo e também pelas reservas da planta.

O efeito positivo da correção da fertilidade do solo sobre a altura das plantas e sobre o perfilhamento também representaram benefício para a produção de forragem pelo capim Marandu nos dois anos estudados (Tabelas 3.9 e 3.10). Tanto no primeiro quanto no segundo ano, em todos os cortes avaliados, todos os tratamentos com correção da fertilidade do solo foram superiores à testemunha para a produção de forragem, no primeiro ano o incremento médio das estratégias nos cortes foi 258%, já no segundo ano foi de 783%, em relação a testemunha. No primeiro ano a maior produção média foi no tratamento com 750 kg ha⁻¹ de gesso, cerca de 1.409 kg ha⁻¹ massa de forragem de média por ciclo e a testemunha foi 380 kg ha⁻¹, um incremento de aproximadamente 271%. No segundo ano também foi este tratamento, com incremento de 836%.

No primeiro ano as estratégias não apresentaram diferenças de produção de massa seca nos cortes (Tabela 3.9). Porém no segundo ano a massa seca de forragem do capim Marandu apresentou resposta diferente entre os cortes em função da aplicação do calcário, gesso e adubação e a combinação deles (Tabela 3.10). No primeiro e segundo cortes observou padrão de resposta parecido, ou seja, os tratamentos que receberam gesso se destacaram sobre os demais, e aumentaram a produção de forragem em 70% e 26%, no primeiro e segundo corte, respectivamente, em relação os que receberam apenas adubação ou adubação mais calagem. O terceiro corte, as maiores produções foram com adubação mais calagem, só adubação e combinação deles com 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. No quarto corte os tratamentos que receberam gesso obtiveram maiores produções. No quinto e sexto corte não teve diferença entre as estratégias.

Da mesma forma que a altura e a densidade de perfilhos, a massa seca por corte no primeiro ano, foi influenciada apenas pela adubação. Isso mostra que o efeito do calcário e do gesso em pastagem já estabelecidas, onde não há incorporação destes insumos, é necessário um período maior para que o capim apresente respostas.

Tabela 3.9 - Massa seca de forragem do capim Marandu, no primeiro ano (2021/2022), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.

Tratamento ¹	Corte				Média
	1	2	3	4	
	kg ha ⁻¹				
Testemunha	267b	420b	352b	480b	380
NPK	1.172a	1.848a	1.268a	898a	1.297
NPK+Cal.	1.036a	1.522a	1.204a	889a	1.163
NPK+Cal.+200G	1.284a	1.670a	1.669a	831a	1.363
NPK+Cal.+750G	1.363a	1.851a	1.554a	868a	1.409
NPK+Cal.+1500G	809a	1.383a	1.498a	962a	1.163
NPK+Cal.+2250G	1.423a	1.942a	1.250a	811a	1.357
CV (%)	30,61	26,62	16,87	11,19	

¹ Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Testemunha: sem adubação, calagem (Cal.) ou gessagem (G); NPK: adubação; NPK+Cal.: adubação mais calagem; NPK+Cal.+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Tabela 3.10 - Massa seca de forragem do capim Marandu, no segundo ano (2022/2023), sob efeito do manejo da fertilidade do solo.

Tratamento ¹	Corte						Média
	1	2	3	4	5	6	
	kg ha ⁻¹						
Testemunha	85c	148c	161d	123d	102b	143b	127
NPK	487b	904b	1.880ab	769c	1.346a	761a	1.025
NPK+Cal.	442b	957b	2.024a	912bc	1.315a	727a	1.063
NPK+Cal.+200G	749a	1.149a	1.512c	1.123ab	1.285a	758a	1.096
NPK+Cal.+750G	903a	1.220a	1.590bc	1.307a	1.169a	960a	1.191
NPK+Cal.+1500G	776a	1.150a	1.547c	1.122ab	1.184a	880a	1.110
NPK+Cal.+2250G	735a	1.164a	1.784abc	1.234a	1.375a	839a	1.189
CV (%)	19,96	9,93	13,14	16,56	13,94	21,58	

¹ Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Testemunha: sem adubação, calagem (Cal.) ou gessagem (G); NPK: adubação; NPK+Cal.: adubação mais calagem; NPK+Cal.+200G: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+750G: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+1500G: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; NPK+Cal.+2250G: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

O uso de gesso promoveu uma rápida rebrota do capim Marandu, elevando a massa de forragem no início da estação de chuva, no segundo ano após aplicação, evidenciando o potencial do gesso em aumentar a estação de produção de forragem, minimizando os efeitos da estacionalidade. Em condição de estresse hídrico, ocorrido

no quarto corte, o uso de gesso minimizou os efeitos negativos sobre a produção de forragem.

Em um estudo com capim Marandu sob Latossolo Vermelho distrófico argiloso, Backes et al. (2017), observaram resposta do uso de gesso no primeiro ano de aplicação, com incrementos de até 26% na massa seca de forragem por corte, durante a estação chuvosa, e 37% na estação da seca, já no segundo ano, no período das chuvas o incremento foi 25%, enquanto na seca foi de 15%. Essa resposta foi atribuída ao melhor desenvolvimento do sistema radicular em função do uso do gesso, que foi constatado pelos autores.

O sistema radicular mais desenvolvido permite a planta explorar mais o solo em busca dos nutrientes mais moveis no solo (nitrogênio, enxofre e potássio), que podem ter decido para camadas mais profundas, e também os nutrientes que apresentam baixa mobilidade no solo, como o fósforo, além de permitir maior acesso a água, assim a extração da água será mais uniforme ao longo do tempo, ou seja aliviando o estresse hídrico ao absorver água de camadas mais profundas pode contribuir com o aumento de produtividade de capim no períodos mais críticos do ano.

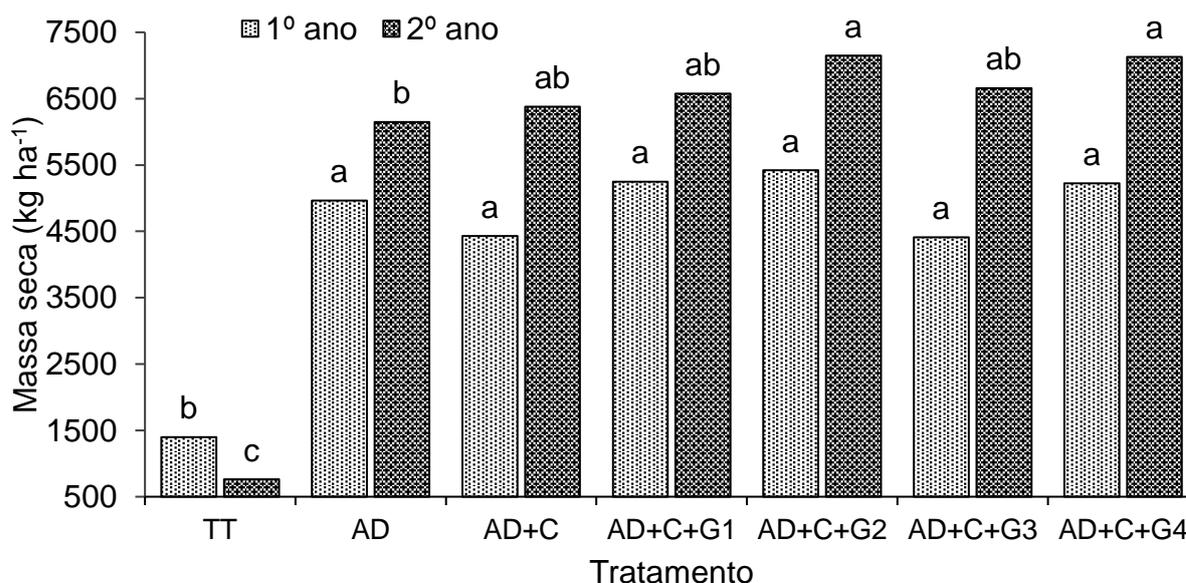
Uns dos fatores que pode ter contribuído para este trabalho ter apresentado esse padrão de resposta seria a melhoria da condição química do solo em profundidade, o que pode permitir o desenvolvimento do sistema radicular mais vigoroso. Desta forma, há uma necessidade de um período maior para os insumos aplicados conseguirem melhorar a fertilidade do solo em profundidade.

Além disso, a rápida rebrota do capim no início da estação das chuvas, em função da aplicação do gesso, pode ser em resposta ao suplemento de cálcio e enxofre. O que explica este melhor desenvolvimento da forrageira no início das águas, associado ao pouco tempo da aplicação do calcário e gesso em superfície. O cálcio atua na divisão e alongamento celular, ou seja, influencia diretamente no crescimento dos meristemas apicais, além de não ser um nutriente não móvel na planta, em situação de déficit retarda o crescimento da forrageira. Já o enxofre atua na parte estrutural da planta, na síntese de proteínas, em caso de deficiência o crescimento é retardado (BRISKIN; BLOOM, 2013; RAIJ, 2011).

Ao analisarmos o acúmulo de forragem ao longo dos dois anos agrícolas estudados, verificou-se que as estratégias de melhoria da fertilidade do solo foram eficientes em aumentar a produção total da forrageira (Figura 3.3). Tanto no primeiro quanto no segundo ano, todos os tratamentos com correção da fertilidade do solo

foram superiores à testemunha para a produção acumulada de forragem, no primeiro ano as estratégias aplicadas elevaram a produção total de forragem, em média 254% em relação a testemunha, já no segundo ano essa diferença mais que dobrou, chegando a 774%. No primeiro ano não houve diferença entre as estratégias adotadas, porém no segundo ano houve diferença entre as estratégias, com destaque para os tratamentos que receberam gesso. Não foi verificado diferença entre os tratamentos que receberam calcário e gesso além da adubação com NPK, porém a estratégia só com adubação foi inferior a combinação de calagem mais gessagem, nas doses de 750 e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso, que elevaram a mais a massa em média 16%, quando analisado em relação a testemunha essa diferença foi de 835%

Figura 3.3 - Massa seca acumulada do primeiro e segundo ano do capim Marandu sob diferentes estratégias de manejo da fertilidade de solo.



TT: Testemunha, sem adubação, calagem ou gessagem; AD: adubação; AD+C: adubação mais calagem; AD+C+G1: adubação, calagem e 200 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G2: adubação, calagem e 750 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G3: adubação, calagem e 1.500 kg ha⁻¹ de gesso; AD+C+G4: adubação, calagem e 2.250 kg ha⁻¹ de gesso. Tratamentos que receberam adubação= 100-50-100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de NPK. Coluna da mesma cor seguida de letra iguais não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

A estratégia com adubação apresentou eficiência apenas no curto prazo, no médio a longo prazo as combinações que receberam calcário e o gesso mostraram mais eficientes, apresentando maior efeito residual sobre a manutenção da fertilidade do solo.

Um padrão de resposta similar também foi observado por Sousa et al. (2001) em um estudo conduzindo com a recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solo do cerrado com 19% de argila. Neste estudo, no primeiro ano de avaliação, não se observou grandes incrementos na produção em resposta a aplicação do gesso, mas no segundo ano o uso deste insumo incrementou em 50% a produção da forrageira.

Em um outro estudo conduzido em um Latossolo Vermelho-Amarelo no cerrado com 26% de argila, corrigido com calcário e macro e micronutrientes no estabelecimento da braquiária *decumbens*, Sousa et al. (2001) observaram que o rendimento de matéria seca dos tratamentos aplicou gesso aumentou em até 260%, em três anos, comparando com os tratamentos sem gesso.

Da mesma forma, a pratica de estratégias de melhoria da fertilidade do solo são eficientes em aumentar a produção total da forrageira e recuperar a capacidade produtiva do pasto, e aplicação do gesso tem potencial de promove ganhos adicionais no médio a longo prazo.

4 CONCLUSÕES

A adubação com NPK se apresenta eficiente na recuperação de pastagem, porém este efeito é de curto prazo. A médio prazo, a associação com calcário e também gesso, apresentaram melhor desempenho para a recuperação de pastagens em solos de textura média.

O gesso permite um rápido desenvolvimento do capim Marandu no início da estação de chuva, aumenta o número de perfilhos e a produção de forragem, representando um efeito extra à adubação com NPK e calagem quando associados. Este efeito do gesso contribui para minimizar a sazonalidade de produção de forragem, muito concentrada na estação mais chuvosa, minimizando assim o efeito da seca no período de transição para a águas.

REFERENCIAS

- ALEXANDRINO, E.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MOSQUIM, P. R.; JOSÉ, A.; REGAZZI, F. C. R. Características Morfogênicas e Estruturais na Rebrotação da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu Submetida a Três Doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 6, p. 1372-1379, 2004.
- BACKES, C; SANTOS, A. J. M., RODRIGUES, L. M., TEODORO, A. G., RIBON, A. A., VILLAS BÔAS, R. L., PEREIRA, L. M.; FRANCO, Y. M. Recovery of a dystrophic Red Latosol (Oxisol) and pasture as a function of gypsum in the Cerrado biome. **Revista brasileira de zootecnia**, v. 46, p. 286-295, 2017.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, p. 1281-1288, 2006.
- BRISKIN, D. P.; BLOOM, A. Nutrição Mineral. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. Cap. 5.
- CECATO, U.; YANAKA, F. Y.; BRITO FILHO, M. R. T.; SANTOS, G. T.; CANTO, M. W.; MENDONÇA, W. O.; PETERNELLI, M. Influência da adubação nitrogenada e fosfatada na produção, na rebrota e no perfilhamento do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* (Hochts Stapf. cv. Marandu. **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 3, p. 817-822, 2000.
- COCHRANE, T. T.; AZEVEDO, L. G. As savanas do trópico sul-americano: uma visão geral dos seus recursos de clima e solo para desenvolvimento agrotecnológico baseado no inventário computadorizado de sistema de terra do CIAT/EMBRAPA. In: SIMPÓSIO Sobre O Cerrado, 6. 1982. Brasília. Savanas: alimento e energia. **Anais [...]**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1988. p. 773-801.
- DIAS-FILHO, Moacy Bernardino. **Degradação de Pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4ª ed. rev. atual. e ampl. Belem, PA: Ed. do Autor, 2015. 214 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. ver. ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.
- FARIA, Á. J. G.; FREITAS, G. A.; GEORGETTI, A. C. P.; JÚNIOR, J. M. F.; SILVA, M. C. A.; SILVA, R. R. Adubação nitrogenada e potássica na produtividade do capim Mombaça sobre adubação fosfatada. **Journal of bioenergy and food science**, v. 2, n. 3, 2015.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 479 p.
- LOPES, A.S.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 41(4): 742-7, 1977.
- MESQUITA, E. E.; FONSECA, D. M.; PINTO, J. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; PEREIRA, O. G. Métodos de estabelecimento e doses de calcário, gesso e fósforo na produção e qualidade de *Brachiaria decumbens* e *Stylosanthes guianensis*. **Pasturas Tropicales**, Cali-Colômbia, v. 24, n.3, p. 8-13, 2002.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. D. E. F.; DESJARDINS, T.; SILVA, M. P. F. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 1409-1418, 2001.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; MACIEL, G. A.; NEVES, B. P.; MACHADO, E. L. Efeitos de fontes de cálcio no desenvolvimento de gramíneas solteiras e consorciadas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, 592–598, 2009.

PASSOS, R. R.; FAQUIM, V.; CURI, N.; EVANGESLISTA, A. R.; VILLA, M. R. Fontes de fosforo, calcário e gesso na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas forrageiras em amostra de um Latossolo ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 2, p. 227-233, 1997.

RAIJ, Bernado Van. Macronutrientes secundários. *In*: RAIJ, Bernado Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Nutrition Institute, 2011. Cap. 12.

RODRIGUES, H. V. M.; LEITE, R. C.; FREITAS, G. A.; OLIVEIRA, I. M.; LIMA, S. O. Aspectos produtivos do capim marandu submetido a adubação fosfatada em níveis de saturação por bases. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 25–32, 2020.

SANTOS, A. P. S.; PIRES, A. J. V.; FRIES, D. D.; DIAS, D. L. S.; BONOMO, P.; JARDIM, R. R.; SEIXAS, A. A.; ROSSA, F.; SANTOS, C. P. S.; CRUZ, N. T.; PAIVA, L. S. Pasture Assessment Methods: a brief Review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, p. e52101622864, 2021.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, D. R. G.; COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; BERNARDES, T. F. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação das características estruturais e produtivas do capim-marandu. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 184–191, 2013.

SILVA, S. C.; NASCIMENTO JR, D. Ecofisiologia de Plantas Forrageiras. *In*: PEREIRA, O.G., OBEID, J.A., NASCIMENTO Jr., D. FONSECA, D.M. Simpósio sobre Manejo Estratégico da Pastagem, 3, 2006, Viçosa. **Anais [...]**. Viçosa: UFV, 2006. p.1-42.

SOUSA, D. M. G.; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagem no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados - Circular técnica n. 12, p. 1-22, 2001.

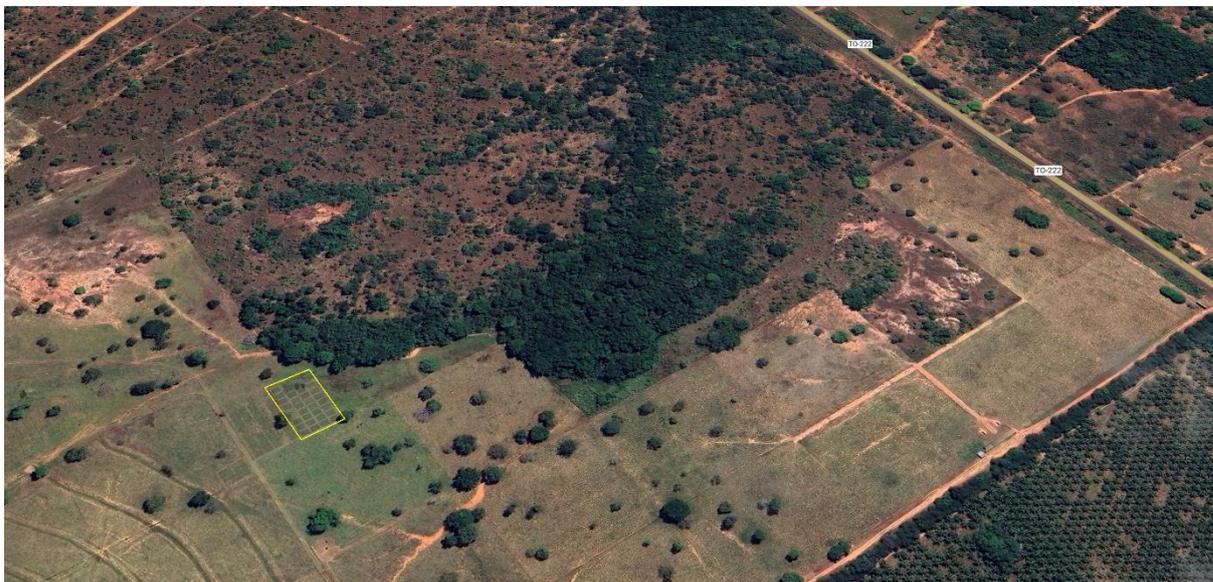
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No curto prazo a adubação com NPK aumenta a produção de forragem e a média a longo prazo a combinação com calcário e gesso se sobressai a aplicação apenas com NPK.

Em condição de estresse, hídrico ou em período de transição, aplicação do gesso minimiza os efeitos negativos sobre a produção e o desenvolvimento do capim Marandu.

APÊNDICE

Apêndice A - Imagem aérea da área experimental.



Fonte: Google Earth (2023)

Apêndice B - Foto da área experimental, antes da implantação do experimento.



Apêndice C - Régua graduada em cm de mensuração de altura da planta.



Apêndice D - Retângulo (0,5 x 1,0 m) utilizado para amostragem de forragem.



Apêndice E - Trado tipo caneco utilizado para amostragem de raiz e solo.



Apêndice F - Processo de peneirar o solo a campo, para separar raiz do solo.



Apêndice G - Amostras de solo com raízes coleta de uma unidade experimental.



Apêndice H – Amostra de raiz sendo lavada em água corrente sobre peneira de 2 mm.



Apêndice I – Amostras de raiz após lavagem em água corrente sobre peneira de 2 mm.



Apêndice J - Amostras de raiz seca, do capim Marandu coletada antes do início do experimento.



Apêndice K - Processo de titulação de Ca e Ca+Mg das amostras de solo.

