



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**INTERAÇÃO ENTRE DOSES DE CINZA DE BIOMASSA VEGETAL E DOSES DE
NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO NO CULTIVO DE CAPIM MARANDU**

NATALIA DO VAL TAVARES

**RONDONÓPOLIS – MT
2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**INTERAÇÃO ENTRE DOSES DE CINZA DE BIOMASSA VEGETAL E DOSES
DE NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO NO CULTIVO DE CAPIM MARANDU**

**NATALIA DO VAL TAVARES
LICENCIADA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Orientadora: Prof. Dra. Edna Maria Bonfim-Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Rondonópolis, Mato Grosso, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**RONDONÓPOLIS – MT
2025**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INTERAÇÃO ENTRE DOSES DE CINZA DE BIOMASSA VEGETAL E DOSES DE NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO NO CULTIVO DE CAPIM MARANDU

AUTORA :Natalia do Val Tavares

Dissertação defendida e aprovada em **26 de fevereiro de 2025**.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

- 1. Profa. Dra. Edna Maria Bonfim da Silva** (Orientadora)
INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
- 2. Profa. Dra. Maria Aparecida Peres de Oliveira** (Membro Interno)
INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDONÓPOLIS
- 3. Prof. Dr. Magnun Antônio Penariol da Silva** (Membro Externo)
INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

Rondonópolis, 26/02/2025.



Documento assinado eletronicamente por **Edna Maria Bonfim da Silva**, Docente - UFR, em 15/04/2025, às 19:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria A Peres de Oliveira**, **Docente - UFR**, em 16/04/2025, às 09:09, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Magnun Antonio Penariol da Silva**, **Usuário Externo**, em 16/04/2025, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufr.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0497043** e o código CRC **8D83EAA2**.

Referência: Processo nº 23853.001194/2025-91

SEI nº 0497043

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

Ficha Catalográfica elaborada de forma automática com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

<p>C&oaCutter n&atilde;ogerado e/ou inv&aacute;e;lido</p>	<p>Tavares, Natalia do Val. INTERAÇÃO ENTRE DOSES DE CINZA DE BIOMASSA VEGETAL E DOSES DE NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO NO CULTIVO DE CAPIM MARANDU [recurso eletrônico] / Natalia do Val Tavares. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 63 f., il. color., pdf). – 2025.</p> <p>Orientador(a): Edna Maria Bonfim Silva. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Rondonópolis, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2025.</p> <p>Inclui bibliografia.</p> <p>1. Sistemas agrícolas sustentáveis. 2. Adubos alternativos. 3. Fertilidade do solo. 4. <i>Urochloa brizantha</i>. I. Silva, Edna Maria Bonfim, <i>orientador</i>. II. Título.</p>
--	---

Dedico aos meus pais, Jeny e Beijamim por serem rocha firme para o meu alicerce.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, Pai de infinita misericórdia que me concedeu saúde e determinação pra concluir esse mestrado. A Jesus Cristo, por ter sido consolo em dias de desespero, e a Nossa Senhora Aparecida por ter intercedido sempre por mim.

Aos meus pais, Jeny Machado do Val Tavares e Beijamim Rodrigues Tavares, que sempre me proporcionaram a oportunidade de estudar, de correr atrás daquilo que eu acredito e por terem acreditado que eu concluiria. Ao meu irmão, Vitor do Val Tavares, por ter sido amigo também, por ter ouvido e me ajudado, a minha avó, Nozelina Machado do Val, por ser simplesmente quem ela é; doce e cuidadosa.

Ao meu namorado, Matheus Santos Vaz, que sempre esteve disposto a me ajudar e nunca mediu esforços para isso, me acompanhando nos fins de semana, nos dias em que eu saia tarde da universidade, que me esperava com um sorriso no rosto, boas risadas, cuidado e um docinho.

A minha grande amiga, Yasmim Beltrão Dib, um doce de ser humano, parceira, amiga, solícita, companheira e a pessoa com quem dividi sempre minhas aflições, esse trabalho é seu também.

As minhas amigas que fiz no caminho, Joyce da Costa Cruz e Thais Rodrigues Magalhães Guedes, por serem sempre consolo, ombro amigo e risadas. Quando as coisas estavam difíceis, foram as nossas risadas que salvaram. A Rosa Mirelly Peres de Sousa, que do ensino médio no IFMT, virou uma grande parceira de experimento.

Também as minhas amigas Amanda Freitas da Silva Garcia e Lívia Soares Silva por todo cuidado comigo, por todas às vezes acreditaram em mim quando nem eu mesma acreditava, e que nunca duvidaram que eu conseguiria.

Aos doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical - UFMT, que se tornaram grandes amigos, em especial a Niclene Ponce Rodrigues de Oliveira e Jholian Maicon Ribeiro Santos, por serem sempre parceiros, empáticos e solícitos nos períodos de avaliações e em todas as aflições.

A minha orientadora Prof. Dra. Edna Maria Bonfim-Silva por toda orientação e aprendizado e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

A Universidade Federal de Rondonópolis – UFR, por todos esses anos de aprendizagem na minha trajetória acadêmica, pessoal e profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa concedida durante o período de Mestrado em Engenharia Agrícola (processo nº 169495/2023-0).

RESUMO

A adubação nitrogenada tem se consolidado, ao longo dos anos, como prática indispensável para o crescimento e produtividade das pastagens tropicais. Por sua vez, a cinza de biomassa vegetal destaca-se como insumo sustentável, atuando na correção da acidez do solo e na melhoria de sua fertilidade por meio do aporte de macro e micronutrientes. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a interação entre doses de cinza de biomassa vegetal e de nitrogênio nas características químicas do solo e nas características fitométricas e produtivas do capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) cultivado em Latossolo Vermelho distrófico. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em blocos casualizados e esquema fatorial 5×5 (cinco doses de cinza: 0, 10, 20, 30 e 40 g dm⁻³ e cinco doses de N: 0, 100, 200, 300, 400 mg dm⁻³), com quatro repetições. O solo foi coletado em área de preservação de Cerrado na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). As unidades experimentais foram compostas por vasos com volume de solo de 1,5 dm⁻³. A adubação nitrogenada foi realizada três vezes a cada 30 dias. As avaliações incluíram pH do solo, altura de plantas, diâmetro de colmos, número de folhas e perfilhos, área foliar, massa fresca e seca da parte aérea e raízes. A aplicação da cinza de biomassa vegetal elevou significativamente o pH do solo corrigindo a acidez e potencializou o efeito da adubação nitrogenada, com ganhos nas variáveis analisadas. A interação na adubação com doses de cinza de biomassa vegetal e doses de nitrogênio foi significativa para a maioria das variáveis estudadas, com amplitude da faixa de relação cinza: nitrogênio de 79:1 a 130:1, que resultou nos melhores resultados para o cultivo do capim-marandu. O uso combinado de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio na adubação melhora o desempenho do capim-marandu, otimizando o uso de insumos e contribuindo para a sustentabilidade das pastagens.

Palavras-chave: Sistemas agrícolas sustentáveis, Adubos alternativos, Fertilidade do solo, *Urochloa brizantha*.

ABSTRACT

Nitrogen fertilization has been established over the years as an essential practice for the growth and productivity of tropical pastures. In addition, plant biomass ash has gained recognition as a sustainable soil amendment, contributing to soil acidity correction and enhancing fertility through the provision of macro- and micronutrients. In this context, the objective of this study was to assess the interaction between plant biomass ash and nitrogen application rates on the chemical attributes of a dystrophic Red Latosol and on the morphometric and yield-related traits of Marandu grass (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). The experiment was carried out in a greenhouse using a randomized complete block design, arranged in a 5×5 factorial scheme consisting of five plant biomass ash rates (0, 10, 20, 30, and 40 g dm⁻³) and five nitrogen rates (0, 100, 200, 300, and 400 mg dm⁻³), with four replications. Soil was sampled from a preserved area of native Cerrado vegetation located at the Federal University of Rondonópolis (UFR), Brazil. Experimental units consisted of pots filled with 1.5 dm³ of soil. Nitrogen was applied in three split doses at 30-day intervals. The evaluated parameters included soil pH, plant height, stem diameter, number of leaves and tillers, leaf area, and the fresh and dry biomass of shoots and roots. The application of plant biomass ash significantly increased soil pH, thereby neutralizing soil acidity and enhancing the effectiveness of nitrogen fertilization, which led to improvements in all measured variables. Significant interaction effects between plant biomass ash and nitrogen application rates were observed for most evaluated variables, with the most favorable agronomic responses occurring at ash-to-nitrogen ratios between 79:1 and 130:1. This synergistic combination maximized the growth and productive performance of *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Integrating plant biomass ash with nitrogen fertilization enhances the growth and productivity of Marandu grass, improves nutrient use efficiency, and contributes to the long-term sustainability of pasture-based production systems.

Keywords: Sustainable systems, Alternative fertilizers, Soil fertility, *Urochloa brizantha*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. <i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandu	12
2.2. Cinza de biomassa vegetal	12
2.3. Nitrogênio	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Localização do experimento.....	15
3.2. Instalação e condução do experimento	16
3.2.1. Delineamento experimental e tratamentos	16
3.2.2. Semeadura, desbaste e adubação nitrogenada	17
3.3. Variáveis analisadas.....	18
3.3.1. Característica Química	18
3.3.2. Características fitométricas.....	19
3.3.3. Índice de clorofila SPAD	19
3.3.4. Características Produtivas	20
3.4. Análise estatística	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Características químicas do solo	22
4.1.1. pH do solo após o período de incubação da cinza de biomassa vegetal no solo.....	22
4.1.2. pH do solo em função do período de condução do experimento	22
4.2. Características fitométricas	25
4.2.1. Altura de plantas.....	25
4.2.2. Diâmetro de colmos.....	31
4.2.3. Número de folhas.....	33
4.2.4. Número de perfilhos	35
4.2.5. Área foliar	37
4.3. Leitura clorofila SPAD	40
4.4. Características produtivas	42
4.4.1. Massa fresca de folhas.....	42
4.4.2. Massa seca de folhas	44
4.4.3. Massa fresca de colmos.....	46
4.4.4. Massa seca de colmos	48
4.4.5. Volume de raízes	51
4.4.6. Massa fresca de raízes.....	52
4.4.7. Massa seca de raiz.....	54
5. CONCLUSÕES	56
6. REFERÊNCIAS	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Universidade Federal de Rondonópolis – UFR (A). Ponto de coleta do Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado (B), coletado de uma camada de 0-0,20 m de profundidade, utilizado no experimento em casa de vegetação. Casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (C).	15
Figura 2. Croqui representando a distribuição das unidades experimentais em bancada na casa de vegetação com capim Marandu submetido a doses de cinza vegetal (C) associadas a doses de adubação nitrogenada (N).	17
Figura 3. Unidade experimental antes do desbaste (A) e após o desbaste (B) do capim Marandu cultivado em vaso preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado.	18
Figura 4. Leitura de pH das unidades experimentais com o uso de pHmetro digital, com solução de cloreto de cálcio (CaCl ₂) como reagente, no Laboratório de Água e Solo (NuPec-UFR).....	19
Figura 5. Leitura do índice SPAD nas folhas diagnósticas do capim marandu em vaso preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado.	20
Figura 6. Reação do solo (pH em CaCl ₂) aos 20 dias após a incubação da cinza de biomassa vegetal no solo anterior a semeadura do capim marandu.	22
Figura 7. pH (CaCl ₂) do solo aos 30 (A), 60 (B) E 90 (C) dias após emergência das plantas em função das doses de cinza de biomassa vegetal no cultivo de capim marandu.	23
Figura 8. pH (CaCl ₂) do solo aos 90 dias após a emergência das plantas, houve efeito isolado para o pH do solo em função das doses de nitrogênio no cultivo do capim marandu em latossolo vermelho. 25	25
Figura 9. Curva das doses de cinza de biomassa vegetal (0, 10, 20, 30, 40 g dm ⁻³) nas plantas de capim marandu dentro das doses de Nitrogênio, 30 dias após a primeira aplicação, anterior ao primeiro corte. (A) Tratamento com dose 0 mg dm ⁻³ de N. (B) Tratamento com dose 100 mg dm ⁻³ de N. (C) Tratamento com dose 200 mg dm ⁻³ de N. (D) Tratamento com dose 300 mg dm ⁻³ de N. (E) Tratamento com dose 400 mg dm ⁻³ de N.	25
Figura 10. Altura de plantas de capim marandu, submetidas a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.	27
Figura 16. Diâmetro de colmos aos 30 (A), 60 (B e C) e 90 (D) dias após a emergência em função das doses de cinza e nitrogênio em latossolo vermelho.	32
Figura 17. Número de folhas de capim marandu, submetidas a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.	34
Figura 18. Número de perfilhos de capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B, C) e 90 (D, E) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.....	36
Figura 19. Área foliar do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B), 60 (C) e 90 (D) dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.....	39
Figura 20. Índice SPAD do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B) 60 (C, D) e 90 (E) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho... 41	41
Figura 21. Massa fresca de folhas do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B) 60 (C) e 90 (D) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.....	43
Figura 22. Massa seca de folhas do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.	45
Figura 23. Massa fresca de colmos do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B) 60 (C, D) e 90 (E) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.....	--
Figura 24. Massa seca de colmos do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, em cultivo em latossolo	50

Figura 25. Volume de raiz do capim marandu, submetidos a doses de cinza de biomassa vegetal (A) e nitrogênio (B), aos 90 dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.	51
Figura 26. Massa fresca de raiz do capim marandu, submetidos a doses de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, aos 90 dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.....	52
Figura 29. Massa seca de raiz do capim marandu, submetidos a doses de cinza de biomassa vegetal (A) e nitrogênio (B), aos 90 dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização físico-química do Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado a 0-0,2 m de profundidade, na Universidade Federal de Rondonópolis.....19

Tabela 2: Caracterização química da cinza de biomassa vegetal como fertilizante e corretivo.....19

1. INTRODUÇÃO

A cinza de biomassa vegetal é um composto orgânico, rico em nutrientes e capaz de elevar a saturação por bases do solo devido a presença de íons de cálcio, magnésio e potássio. Dessa forma, mesmo em solos com fertilidade mais baixa, ao fazer uso de fertilizantes a base de cinzas de madeira, é possível mitigar os efeitos negativos elevando a saturação por bases e por consequência o pH do solo (Bonfim-Silva *et al.*, 2019).

A aplicação de cinza de biomassa vegetal nos solos, pode incrementar a produção de gramíneas, inclusive durante períodos de estiagens, devido a sua constituição em um material neutralizante da acidez, fonte de nutrientes e com potencial de aumentar a retenção da umidade do solo. O resíduo da queima de material vegetal, dependendo da origem, contém teores significativos de macronutrientes e apresenta-se como opção ao calcário, produto convencionalmente utilizado para corrigir o baixo pH dos solos (Bonfim-Silva *et al.*, 2019).

Demeyer *et al.* (2001) e Johan *et al.* (2021), relataram que a aplicação de cinza aumenta o pH do solo e os teores dos principais nutrientes, e diminui a disponibilidade de alumínio em elementos menores. E que a maioria das cinzas de madeira tem pH variando de 8,9 a 13,5, no entanto, apesar das suas qualidades, é pobre em nitrogênio, nutriente essencial para as plantas.

O nitrogênio é um dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas, importante no crescimento e constituinte fundamental de múltiplas biomoléculas, como proteínas estruturais, os ácidos nucleicos, pigmentos fotossintéticos. Ele desempenha um papel importante em múltiplos processos fisiológicos nas plantas, sendo o nutriente mais requerido na adubação para manutenção de pastagens, e elemento essencial para o desenvolvimento celular e das plantas, influenciando folhas e raízes (Cabral *et al.*, 2016; Pinc *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2024).

Os efeitos positivos são atribuídos aos benefícios dos fertilizantes nitrogenados, nas pastagens tropicais. A volatilização da amônia (NH₃) é uma das principais vias de perda, principalmente quando a ureia é aplicada no final do período chuvoso, diminuindo o nitrogênio disponível para o crescimento da forragem, principalmente no gênero *Urochloa* (Corrêa *et al.*, 2021).

A *Urochloa brizantha* cv. Marandu é provinda do continente africano, e introduzida no Brasil em 1967, sendo a cultivar mais plantada no Brasil, por possuir alta adaptabilidade ao solo e condições climáticas do cerrado brasileiro, alta produtividade de massa seca, adaptabilidade a solos de média e alta fertilidade, persistente e tolerante ao ataque de cigarrinha (Dijkstra *et al.*, 2024).

Pietramale *et al.* (2020) constataram que essa forrageira apresenta características de

qualidade consideradas boas e sofre menor influência das mudanças estacionais do clima na produção de volume, quando comparada à outras do mesmo gênero *Urochloa*.

A disponibilidade de nitrogênio no solo afeta o desenvolvimento das forrageiras, na carência eleva a quantidade de gemas dormentes no capim Marandu, fazendo com que a planta tenha menor produção de massa verde. A produção de forrageiras aliadas à fertilização nitrogenada e outros nutrientes, aumentam o vigor e a produtividade da rebrota para promovendo melhor crescimento das plantas. (Pinc *et al.*, 2020).

A adubação nitrogenada tem se consolidado, ao longo dos anos, como prática indispensável para o crescimento vigoroso de pastagens tropicais. Por sua vez, a cinza de biomassa vegetal destaca-se como insumo sustentável, atuando na correção da acidez do solo e na melhoria de sua fertilidade por meio do aporte de macro e micronutrientes. Deste modo, objetivou-se avaliar a interação entre doses de cinza de biomassa vegetal e de nitrogênio nas características químicas do solo, características fitométricas e produtivas do capim-marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu) cultivado em Latossolo Vermelho distrófico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. *Urochloa brizantha* cv. Marandu

O gênero *Urochloa* (Syn. *Brachiaria*) representa aproximadamente 85% das pastagens no Brasil, sendo que 70% é estabelecida com *Urochloa brizantha* cv. Marandu, tradicionalmente conhecida no Brasil como capim-marandu (Heinrichs *et al.*, 2013).

Sendo uma forrageira originária da região da África Tropical e do Sul e chegou ao Brasil no ano de 1984, como uma opção para os pecuaristas por possuir boas características produtivas, como a tolerância à cigarrinha das pastagens, alto valor nutritivo e desempenho animal (Pietramale *et al.*, 2020; Pinc 2020).

O capim pode ser encontrado nos cerrados tropicais. É uma planta cespitosa, robusta podendo atingir entre 1,5 e 2,5 m de altura em livre crescimento. Com colmos iniciais prostrados, produz perfilhos eretos, com rizomas horizontais curtos, duros, curvos, cobertos por escamas de cor amarela a púrpura. As bainhas das folhas são pilosas com cílios nas margens, geralmente mais longas que os entrenós, escondendo os nós (Oliveira, 2016; Nunes *et al.*, 1985)

As gramíneas tropicais forrageiras são as plantas mais utilizadas atualmente pela praticidade e por serem economicamente viáveis. Assim, *Urochloa brizantha* cv. Marandu tem se destacado entre as cultivares por ocupar grandes extensões territoriais (Pinc *et al.*, 2020)

Essa forrageira apresenta boas características de qualidade e sofre menor influência das mudanças estacionais do clima na produção, quando comparada à outras forrageiras do mesmo gênero (Costa *et al.*, 2019; Pietramale *et al.*, 2020).

2.2. Cinza de biomassa vegetal

A cinza vegetal é uma substância sólida de coloração acinzentada, variando de tonalidades de cinza claro a cinza escuro, às vezes se aproximando do preto. Por ser um resíduo da queima de espécies vegetais, possui alto valor nutricional (Silva *et al.*, 2012; Reis *et al.*, 2025).

A composição da cinza vegetal depende da matéria prima, mas comumente apresenta em sua constituição fósforo, potássio, cálcio e magnésio, uma relação Carbono-Nitrogênio, dentre outros nutrientes que influenciam no desenvolvimento e produção das plantas sendo o magnésio pouco disponível (Osaki & Darolt, 1991; Bellote *et al.*, 1998 & Bonfim-Silva *et al.*, 2011b; Bonfim-Silva *et al.*, 2019).

As características químicas das cinzas vegetais são fundamentais no processo de ciclagem de nutrientes. Devido à complexidade na composição, as propriedades do fertilizante

referem-se não apenas aos tipos e quantidades de nutrientes, mas também às suas características de liberação no solo (Väättäinen et al., 2011; Souza Silva Filho et al., 2024).

A aplicação de cinza vegetal em plantios agrícolas apresenta-se como uma importante oportunidade de restituição de parte dos nutrientes removidos pelas culturas, reduzindo a necessidade do uso de fertilizantes comerciais (Santos 2012; Oliveira et al., 2024).

A aplicação de cinza aumenta o pH do solo e os teores dos principais nutrientes, e diminui a disponibilidade de alumínio e elementos menores. Por esses atributos, promove melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo ou substrato e apresenta grande potencial para uso utilização como neutralizador da acidez do solo e como suplemento de nutrientes, principalmente para solos tropicais de baixa fertilidade. (Bellote et al., 1998; Demeyer et al., 2001; Lopes et al., 2005; Bonfim-Silva et al (2019).

2.3. Nitrogênio

O nitrogênio é considerado um nutriente fundamental para a manutenção da produtividade e persistência de uma gramínea, impactando no desenvolvimento e produção de plantas forrageiras. É o principal constituinte das proteínas que participam ativamente na síntese dos compostos orgânicos que formam a estrutura vegetal, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila e proteínas (Costa *et al.*, 2006; Martins, Pereira e Kikuti 2022).

Desta forma, é responsável pelas características estruturais da planta, participando de várias reações bioquímicas, sendo importante elemento no metabolismo das plantas, e nas características morfogênicas. A fertilização com nitrogênio contribui significativamente no incremento de proteína e massa seca, melhora do metabolismo de energia e da qualidade da forragem pela redução de fibra em detergente neutro (FDN) (Teuber, Samarappuli e Berti, 2020; Dijkstra *et al.*, 2024).

Mas, sua absorção está na dependência do equilíbrio dos outros nutrientes do solo. Como por exemplo, os teores adequados de potássio e fósforo proporcionando aumento na capacidade das plantas em utilizarem altas doses de nitrogênio para produzir mais proteína e melhorar o valor nutritivo da forragem (Lopes, 1998).

A ureia, altamente suscetível à perda por volatilização do nitrogênio (N), é o fertilizante mais utilizado, pois apresenta alta concentração na forma amida, ou seja, 45% de N. Ureia de liberação controlada ou revestida com produto químico urease inibidor de reação, apresentando maior eficiência em comparação à ureia perolada convencional, tem sido disponibilizada no mercado como opção para mitigar perdas por volatilização (Codognoto *et al.*, 2023).

Batista e Monteiro (2006) adubando capim marandu em solução nutritiva observaram máxima produção de massa seca de colmos e bainhas no primeiro corte na dose de nitrogênio de 404,6 mg L⁻¹ associada à 95,8 mg L⁻¹ de enxofre e de 393,5 mg L⁻¹ associada à de enxofre de 58,1 mg L⁻¹ no segundo corte. E máxima produção de massa seca de colmos e bainhas no primeiro corte na dose de 404,6 mg L⁻¹.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido do período de julho a novembro de 2024, em casa de vegetação (Figura 1 C) pertencente ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Rondonópolis (Figura 1 A), nas coordenadas geográficas 16° 27' 49" S, 54° 34' 46" W e altitude de 290 m.



Figura 1. Universidade Federal de Rondonópolis – UFR (A). Ponto de coleta do Latossolo Vermelho distrófico do Cerrado (B), coletado de uma camada de 0-0,20 m de profundidade, utilizado no experimento em casa de vegetação. Casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas (C).

A casa de vegetação é do tipo arco com estrutura metálica de aço galvanizado, coberta com filme plástico de 150 micras, construída no sentido norte-sul, com área total de 450 m². O sistema de resfriamento é formado por um painel evaporativo de argila expansiva e dois exaustores posicionados paralelamente entre si e opostos ao painel evaporativo (Figura 1 C) (César Soares, 2019; Oliveira, 2023).

O solo foi coletado, no mês de julho de 2024, sob vegetação remanescente de Cerrado na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR), sob as coordenadas 16°27'33.9"S 54°35'01.6"W. Sendo classificado como Latossolo Vermelho distrófico (SANTOS *et al.*, 2018), com textura franco-argilo-arenoso. Foi coletado na camada de 0-0,20 m de profundidade e peneirado em malha de 4 mm. Para caracterização química e granulométrica, o solo foi peneirado em malha de 2 mm (Embrapa, 1997) (Tabela 1).

Tabela 3: Caracterização físico-química do Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado a 0-0,2 m de profundidade, na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR).

pH	SB	CTC	MO	V	m	Al	H+Al	Areia	Silte	Argila
	--cmol _c dm ⁻³ --									
CaCl ₂	-		-----%-----			--cmol _c dm ⁻³ --		-----%-----		
4,3	0,8	5,6	2,13	13,5	44,4	0,6	4,8	33	10	57
P	K	S	Ca	Mg		B	Cu	Fe	Mn	Zn
	--cmol _c dm ⁻³ --									
	-----mg dm ⁻³ -----		-			-----mg dm ⁻³ -----				
1,5	18	2	0,5	0,2		0,15	0,2	64	21,8	0,7

SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de Troca de Cátions; MO: Matéria Orgânica; V: Saturação por bases; m: Saturação por alumínio; Al: Alumínio; H: Hidrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; S: Enxofre; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

A cinza de biomassa vegetal utilizada foi proveniente da queima da biomassa de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) em fornalhas de indústria alimentícia instalada no município de Rondonópolis-MT. Sendo analisada como fertilizante e corretivo em laboratório especializado, seguindo as recomendações de Alcarde (2009) e Alcarde; Rodella (1996), respectivamente (Tabela 2).

Tabela 4: Caracterização química da cinza de biomassa vegetal como fertilizante e corretivo

pH	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	SO ₄	CaO	MgO
	-----g kg ⁻¹ -----							
10,67	4,9	7,9	32,5	49,6	42,0	6,0	91,0	65,0
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	PN	PRNT	
	-----g kg ⁻¹ -----					-----%-----		
	0,4	0,1	7,2	0,4	0,2	30,0	24,8	

N: Nitrogênio total; P₂O₅: Fósforo; K₂O: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; SO₄: Enxofre; CaO: Óxido de cálcio; MgO: Óxido de magnésio; B: Boro; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco; PN: Poder de neutralização; PRNT: Poder relativo de neutralização.

3.2. Instalação e condução do experimento

3.2.1. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x5, correspondentes a cinco doses de cinza (0, 10, 20, 30 e 40 g dm⁻³) combinadas a cinco doses de nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 mg dm⁻³), em quatro repetições dispostas em blocos, totalizando 25 tratamentos e 100 unidades experimentais.

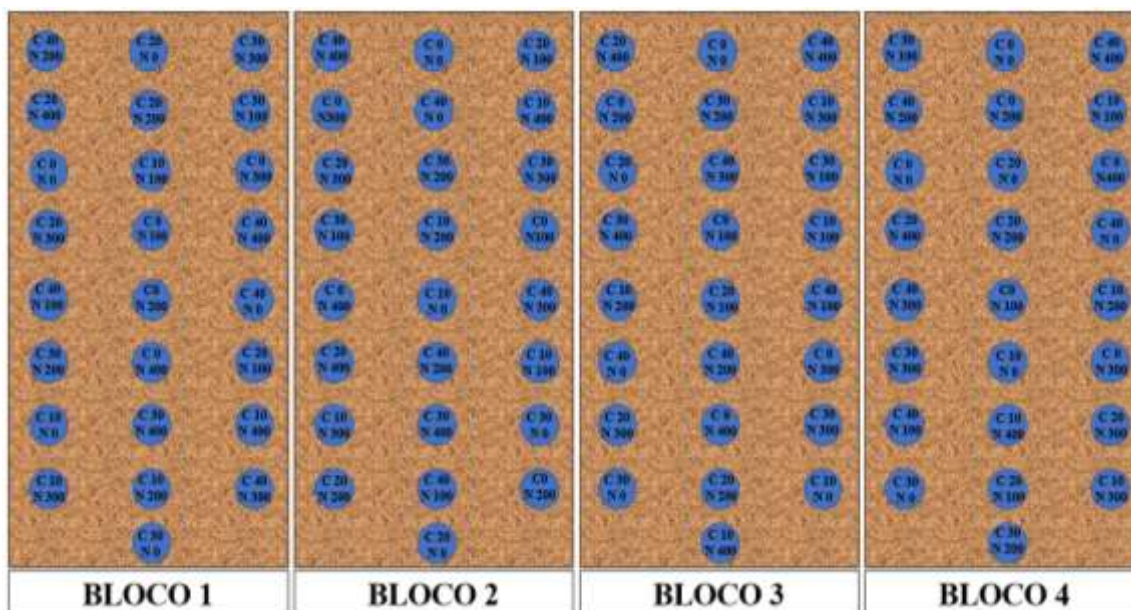


Figura 2. Croqui representando a distribuição das unidades experimentais em bancada na casa de vegetação com capim Marandu submetido a doses de cinza vegetal (C) associadas a doses de adubação nitrogenada (N).

A cinza foi pesada, e posteriormente encubada a cada tratamento, com a umidade do solo a 50% da capacidade máxima de retenção de água no solo, por um período de 20 dias, em sacos plásticos fechados, para condicionar a correção da acidez do solo.

Após 20 dias do período de incubação da cinza de biomassa vegetal, o solo foi para os vasos das unidades experimentais, com volume de 1,5 dm³. Para a irrigação das unidades experimentais, todas foram mantidas a 60% da capacidade de pote durante o período de condução experimento, nos quais os vasos foram pesados diariamente a adicionadas a quantidade de água necessária de acordo com o consumo das plantas.

Para os tratamentos referentes as doses de nitrogênio, a fonte utilizada foi a ureia. As aplicações da ureia foram realizadas a cada 30 dias, a primeira ocorreu 15 dias após a emergência das plantas, a qual foram avaliadas e em sequência cortadas, a 5 cm do solo, e as duas demais, a cada 30 dias repetindo o mesmo método.

3.2.2. Semeadura, desbaste e adubação nitrogenada

Em cada unidade experimental foram semeadas 15 sementes de *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Figura 3 A). Após 15 dias da emergência das plantas, as unidades experimentais foram submetidas ao desbaste, mantendo aquelas que aparentavam maior vigor, durante o experimento cinco plantas por vaso (Figura 3 B).



Figura 3. Unidade experimental antes do desbaste (A) e após o desbaste (B) do capim Marandu cultivado em vaso preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado.

Na mesma ocasião do desbaste, foi realizada a primeira aplicação de nitrogênio, na qual, as doses foram diluídas em cinco recipientes com volume de 1.250 ml de água cada, até a completa solubilização da ureia. Em seguida, aplicados 50 ml em cada unidade experimental referentes a cada tratamento (0, 100, 200, 300, 400 mg dm⁻³) em todas as unidades experimentais. Após a aplicação do nitrogênio foram adicionadas mais 50 ml de água pura para estabilização do fertilizante no solo, e as aplicações aconteciam com 100% da dose recomendada de nitrogênio.

3.3. Variáveis analisadas

3.3.1. Característica Química

3.3.1.1. pH do solo

O pH do solo foi analisado aos 20 dias após a aplicação da cinza de biomassa vegetal, a fim de averiguar a eficiência da correção. As demais análises foram realizadas aos 30, 60 e 90 dias após a emergência, com o auxílio do pHmetro digital. Foi usado como reagente o cloreto de cálcio (CaCl₂) a 0,01 mol L⁻¹, no laboratório de água e solo no Núcleo de Pesquisa em Produção e Conservação do Cerrado (NuPeC) da Universidade Federal de Rondonópolis (Figura 4).



Figura 4. Leitura de pH das unidades experimentais com o uso de pHmetro digital, com solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) como reagente, no Laboratório de Água e Solo (NuPec-UFR).

3.3.2. Características fitométricas

Todas as variáveis foram analisadas em função da realização do corte das plantas de capim-marandu, sendo aos 30, 60 e 90 dias após a emergência.

Altura de plantas (AP) (cm): foi medida com uma régua graduada de 120 cm, da superfície do solo até o ápice da folha mais alta de cada planta. Em seguida, fez-se a média por vaso.

Diâmetro do perfilhos (DP) (mm): realizada a aferição com um paquímetro digital, onde mediu-se aleatoriamente o diâmetro de cada planta, tendo em vista a quantidade de colmos, a 5 cm do solo, na linha de corte, depois fez-se a média por vaso.

Número de folhas (NF) e colmos (NC): obtidos através de contagem manual, contabilizando apenas as folhas verdes, para cada unidade experimental.

Área foliar (AF) ($\text{cm}^2 \text{ vaso}^{-1}$): adquirida através da separação das folhas completamente expandidas, e passadas no integrador de área foliar.

3.3.3. Índice de clorofila SPAD

Os valores dos índices de clorofila SPAD foram aferidos por ocasião de cada corte do capim marandu (30; 60 e 90 dias após a emergência). A leitura SPAD foi realizada com o clorofilômetro portátil SPAD 502-Plus (Figura 5) realizadas em cinco folhas diagnósticas, a

folha mais alta, realizada na região central, sendo feita a média de cada unidade experimental.



Figura 5. Leitura do índice SPAD nas folhas diagnósticas do capim marandu em vaso preenchido com Latossolo Vermelho distrófico coletado sob vegetação de Cerrado.

3.3.4. Características Produtivas

3.3.4.1. Massa fresca de folhas (g vaso^{-1})

A cada corte (30; 60 e 90 dias após emergência), as folhas de capim marandu eram separadas dos colmos e pesadas por bloco em balança semi-analítica (precisão de 0,0001 g), para obtenção da massa, antes de serem submetidos ao processo de secagem, em sacos de papel identificados.

3.3.4.2. Massa seca de folhas (g vaso^{-1})

Os sacos de papel com as folhas e identificados foram levados para estufa de ventilação forçada a 55°C, por 120 horas (5 dias). Finalizado o processo de secagem, foram pesadas em balança analítica (precisão de 0,0001 g) para obter o peso das folhas secas.

3.3.4.3. Massa fresca de colmos (g vaso^{-1})

Após o corte das plantas de capim marandu (30; 60 e 90 dias após a emergência) e da separação das folhas, os colmos eram pesados cortados para facilitar o processo de pesagem, em balança semi-analítica (precisão de 0,0001 g) e em seguida condicionados em sacos de papel identificados.

3.3.4.4. Massa seca de colmos (g vaso⁻¹)

Os colmos identificados foram levados para estufa de ventilação forçada de ar a 55°C, por 120 horas (5 dias). Finalizado o processo de secagem, os colmos foram pesados em balança analítica (precisão de 0,0001 g) para obter o peso dos colmos secos.

3.3.4.5. Volume de raiz (VR) (mm vaso⁻¹)

Em ocasião do último corte (90 dias), após a lavagem das raízes em água corrente e sob malha de 2mm, foi aferido o volume das raízes. Para realização de tal análise, foi utilizada uma proveta de 1000 mL, contendo um volume de água conhecido de 500 mL, essas raízes foram inseridas e o volume de água descolado na proveta, foi considerado o volume das raízes em milímetros.

3.3.4.6. Massa fresca de raiz (g vaso⁻¹)

Em sequência ao volume de raiz, as raízes foram escurridas em peneiras de malha de 2mm e realizada a avaliação de massa fresca, onde os materiais foram pesados em balança analítica (precisão de 0,0001 g).

3.3.4.7. Massa seca de raiz (g vaso⁻¹)

Após as avaliações de massa fresca e volume, foi retirado excesso de água das raízes. Em seguida, as raízes foram condicionadas em sacos de papel devidamente identificados, e secas em estufa de ventilação forçada por um período de 72 horas a 65 °C, obtendo-se assim, a massa seca de raiz.

3.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk e Kolgomorov-Smirnov). Quando não considerados normais, aplicou-se a transformação de Johnson e Box-Cox. Em conjunto, foi verificada a homoscedasticidade (Bartlett e Levene).

Os tratamentos, quando normais e homogêneos e quando as interações Cinza de biomassa vegetal/Nitrogênio significativas se ajustaram ao modelo de superfície de resposta e quando as interações não foram significativas foi feito aplicados os modelos lineares e quadráticos para os efeitos isolados das doses de cinza de biomassa e das doses de nitrogênio.

Todos os resultados foram analisados considerando o nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando o software R.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características químicas do solo

4.1.1. pH do solo após o período de incubação da cinza de biomassa vegetal no solo

Para o pH do solo, observou-se efeitos significativos para a cinza de biomassa vegetal, de maneira isolada, sendo o modelo que melhor se ajustou foi o modelo quadrático de regressão. A dose máxima de cinza de biomassa vegetal foi de 37,81 g dm⁻³, onde o valor de pH foi de 6,72, com um incremento de 33,94%, quando comparada a dose que proporcionou a maior leitura de pH com ausência de cinza de biomassa vegetal na adubação (Figura 6).

Esse efeito pode ser levado em consideração, devido ao pH da cinza de biomassa vegetal ser alcalino, o que proporcionou um efeito de correção na acidez inicial do solo.

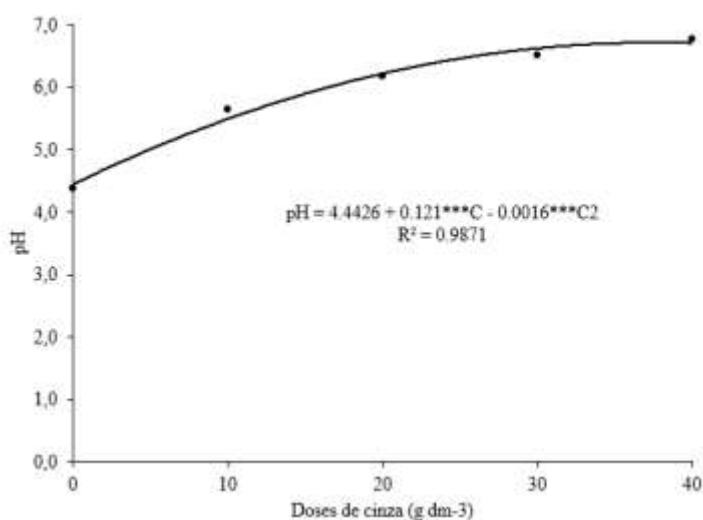


Figura 6. Reação do solo (pH em CaCl₂) aos 20 dias após a incubação da cinza de biomassa vegetal no solo anterior a semeadura do capim marandu.

4.1.2. pH do solo em função do período de condução do experimento

Para o pH do solo, não houve interação significativa entre as doses de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio com efeito isolado para as doses de cinza de biomassa vegetal e para as doses de nitrogênio, com os modelos ajustados em regressão quadrática (Figura 7 A e Figura 8) e regressão linear (Figura 7 B e C).

Houve efeito significativo apenas para as doses de cinza de biomassa vegetal aos 30 e 60 dias após a emergência das plantas, (Figura 7), enquanto que no terceiro corte já houve efeito

do nitrogênio no pH (Figura 8).

Nos 30 dias após a emergência do capim marandu, foi observado o valor máximo de $44,6 \text{ g dm}^{-3}$ de cinza de biomassa vegetal. Na qual, o valor de pH referente a essa dose foi de 6,4 unidades de pH. Esses valores, representam um incremento de 30,54%, quando comparadas a dose que possui o menor valor de pH, na dose de 0 g dm^{-3} de cinza de biomassa vegetal (Figura 7 A).

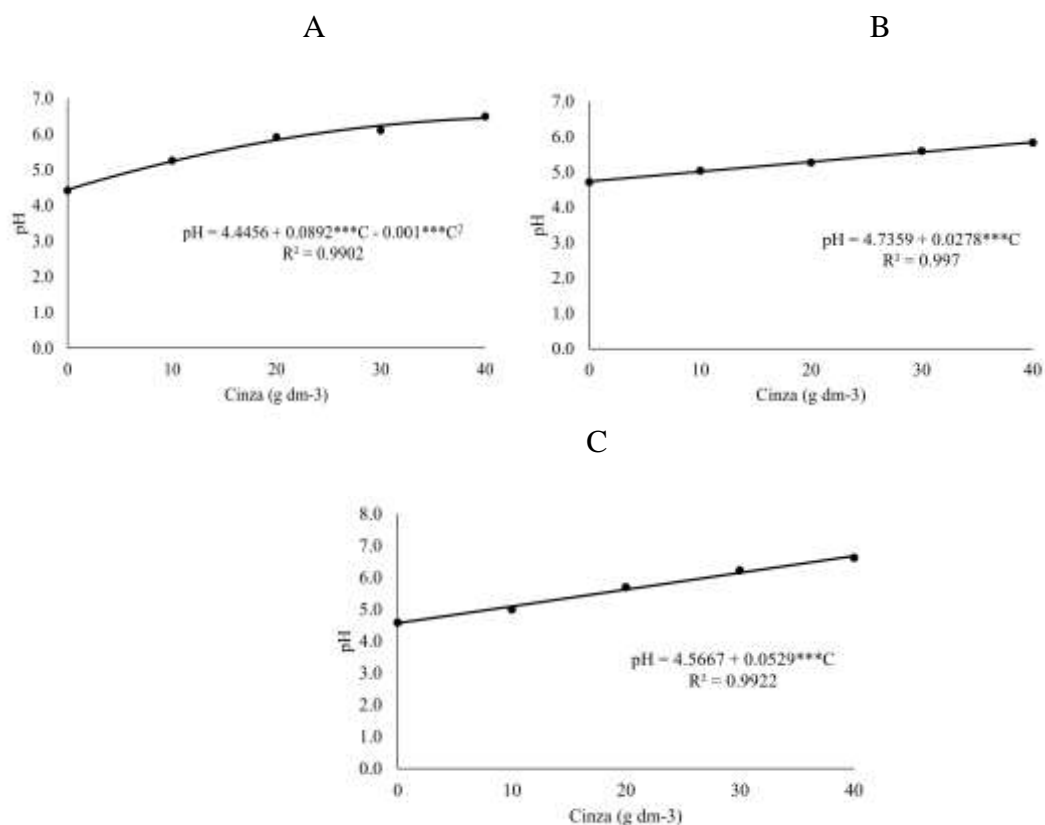


Figura 7. pH (CaCl_2) do solo aos 30 (A), 60 (B) E 90 (C) dias após emergência das plantas em função das doses de cinza de biomassa vegetal no cultivo de capim marandu.

Aos 60 dias após a emergência das plantas de capim marandu, a dose máxima de cinza de biomassa vegetal foi de 40 mg dm^{-3} , em que se obteve o valor de pH de 5,84. Que representa um incremento de 18,91% ao ser comparada com a dose sem adição de cinza de biomassa vegetal (Figura 7 B).

O capim marandu aos 90 dias da emergência, apresentou o pH na dose máxima de cinza de biomassa vegetal de 40 g dm^{-3} foi de 6,68, em que o incremento foi de 31,64%, ao ser comparada com a dose 0 g dm^{-3} de cinza de biomassa vegetal (Figura 7 C).Esses valores do incremento podem ser atribuídos ao pH da cinza de biomassa vegetal, a presença de íons de cálcio e magnésio presente na mesma, que se transforma em carbonatos com água e libera

hidróxidos, que neutralizam a acidez e reduzem a toxicidade do alumínio presente nas características do solo (De Oliveira, 2023).

A aplicação de nitrogênio na forma de ureia reduziu de forma linear o pH do solo, devido ao efeito acidificante deste fertilizante nitrogenado, bem conhecido e reportado na literatura Guarçoni; Degli Esposti; Caetano (2023).

Por outro lado, como na hidrólise da ureia são gerados grupamentos OH^- , a acidificação do solo no processo de nitrificação (NH_4^+ para NO_3^-) é reduzida, sendo a magnitude de acidificação da ureia muito menor do que a do sulfato de amônio ou do nitrato de amônio, pode ter ocasionado que o crescimento nos valores de pH, assim como o observado na literatura (Longo; Melo, 2005; Ramírez *et al.*, 2025).

Os maiores valores de pH do solo foram observados quando se adubou com cinza de madeira na saturação por bases de 50%. Isso pode ser explicada pela presença de cálcio na cinza. A presença de cálcio (Ca) nas cinzas de madeira neutraliza a acidez do solo, melhorando a fertilidade e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (Rocha *et al.*, 2023).

A cinza de biomassa vegetal utilizada no presente estudo, assim como no de Bonfim-Silva *et al.* (2019) possuía em sua composição macronutrientes, como Ca, Mg, K e P, importantes para o crescimento e estabelecimento do gênero *Urochloa* o que auxilia na correção do pH do solo, devido a capacidade de troca de cátions.

Aos 90 dias após a emergência do capim marandu, a menor concentração de pH do solo em função das doses de nitrogênio foi 5,48 observada na dose de 270 mg dm^{-3} , que equivale a uma redução de 0,36 unidades de pH (decréscimo de 6,23%), quando comparado a dose de nitrogênio observada no menor valor de pH do solo com o tratamento na ausência de adubação nitrogenada (Figura 8).

Esse decréscimo pode ser atribuído ao fator de diminuição do pH ocasionado pelas aplicações seguidas de nitrogênio, a absorção dos nutrientes da cinza de biomassa vegetal aplicada no solo pelas plantas do capim marandu, como foi descrito por Guarçoni; Degli Esposti; Caetano (2023).

Foi observado por Bonfim-Silva; Monteiro & Silva (2007) que em solos adubados com nitrogênio e potássio cultivados com capim-brachiaria em que as doses de nitrogênio levaram ao decréscimo de pH do solo, em que houve uma diminuição no pH de 0,79.

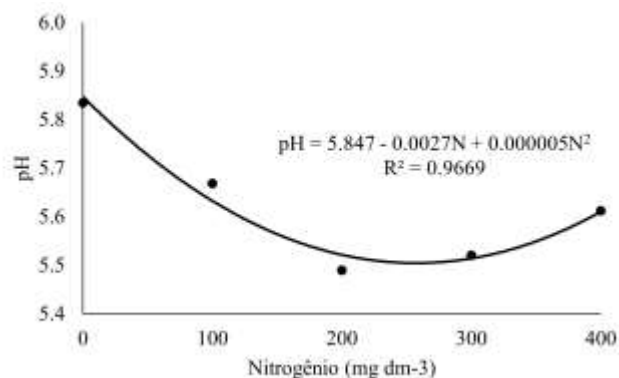


Figura 8. pH (CaCl₂) do solo aos 90 dias após a emergência das plantas, houve efeito isolado para o pH do solo em função das doses de nitrogênio no cultivo do capim marandu em latossolo vermelho.

4.2. Características fitométricas

4.2.1. Altura de plantas

Para a variável altura de plantas do capim marandu, houve efeito significativo para a interação entre as doses de cinza de biomassa vegetal e as doses de nitrogênio com ajustes ao modelo de superfície de resposta nos três períodos de avaliações (Figuras 10 A, B e C).

Aos 30 dias após a emergência das plantas do capim marandu foi observado a maior altura na dose de cinza de biomassa vegetal de 27,58 g dm⁻³ (Figura 9) e na dose de nitrogênio foi de 350,13 mg dm⁻³. Na relação de C:N, o valor considerado adequado para essa variável seria na relação de 79:1, considerada ideal, com 79 kg de cinza de biomassa vegetal, deve conter 1 kg de nitrogênio (Figura 10 A).

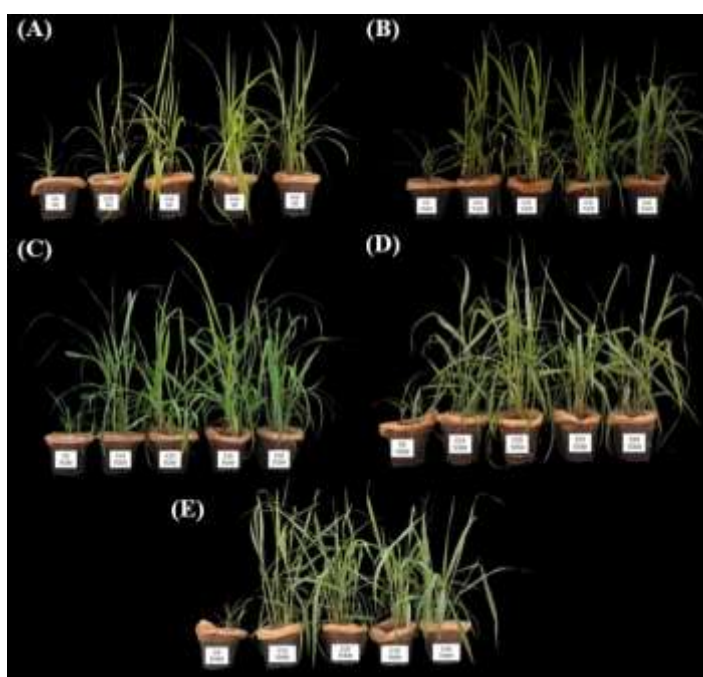


Figura 9. Curva das doses de cinza de biomassa vegetal (0, 10, 20, 30, 40 g dm⁻³) nas plantas de capim marandu dentro das doses de Nitrogênio, 30 dias após a primeira aplicação, anterior ao primeiro corte. (A) Tratamento com

dose 0 mg dm⁻³ de N. (B) Tratamento com dose 100 mg dm⁻³ de N. (C) Tratamento com dose 200 mg dm⁻³ de N. (D) Tratamento com dose 300 mg dm⁻³ de N. (E) Tratamento com dose 400 mg dm⁻³ de N.

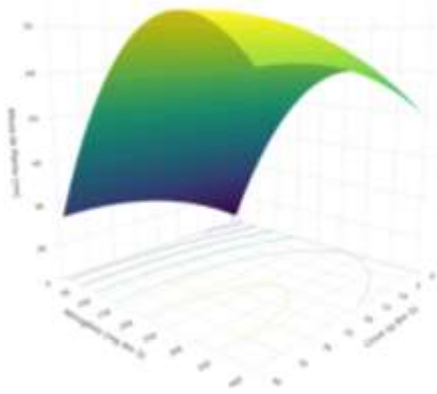
O valor observado durante o mesmo período por Bonfim-Silva *et al.* (2019) na cultura do capim paiaguás foi de 19,05 g dm⁻³. Representando um aumento na dose de cinza de 8,53 g dm⁻³. Para as doses de nitrogênio, em seus estudos com capim piatã um valor de 179 mg dm⁻³ de nitrogênio, nas maiores alturas, o que representa um aumento no valor da dose de 171,13 mg dm⁻³ (De Moraes *et al.*, 2016).

Para os 60 dias após a emergência das plantas, a dose de cinza de biomassa vegetal que proporcionou a maior altura foi de 25,50 g dm⁻³ (Figura 10) e para a dose de nitrogênio foi de 203,85 mg dm⁻³ com uma relação de C:N de 125:1, onde representa 125 kg de cinza de biomassa vegetal (Figura 12 e Figura 13 B). O valor máximo para nitrogênio observado por De Moraes *et al.* (2016) foi de 400 mg dm⁻³ de nitrogênio, o que representa praticamente o dobro da dose observada neste estudo, enquanto para as doses de cinza de Bonfim-Silva *et al.* (2019) no segundo corte, foi observada uma dose de cinza de 20,13 g dm⁻³.

A

$$ALP = -13,87 + 3,3C^{***} + 0,075N^{**} - 0,00002CN - 0,05971C^2^{***} - 0,0001N^2$$

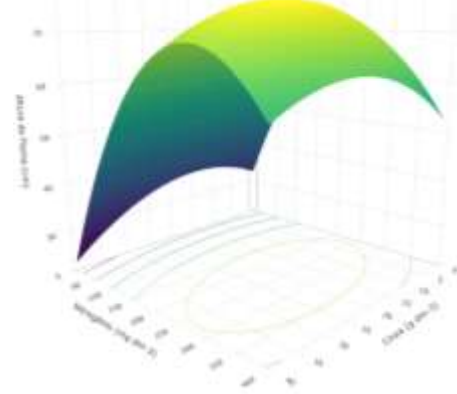
$$R^2 = 0,769$$



B

$$ALP = -32,91 + 2,987C^{***} + 0,053N + 0,00095CN - 0,06236C^2^{***} - 0,00019N^2^{**}$$

$$R^2 = 0,524$$



C

$$ALP = -23,675 + 2,927C^{***} + 0,041N + 0,00202CN^{**} - 0,06167C^2^{***} - 0,00023N^2^{**}$$

$$R^2 = 0,641$$

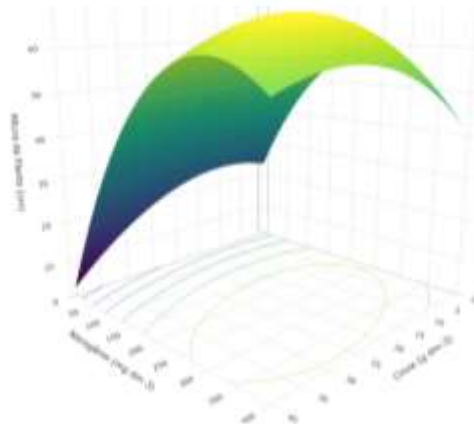


Figura 100. Altura de plantas de capim marandu, submetidas a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.

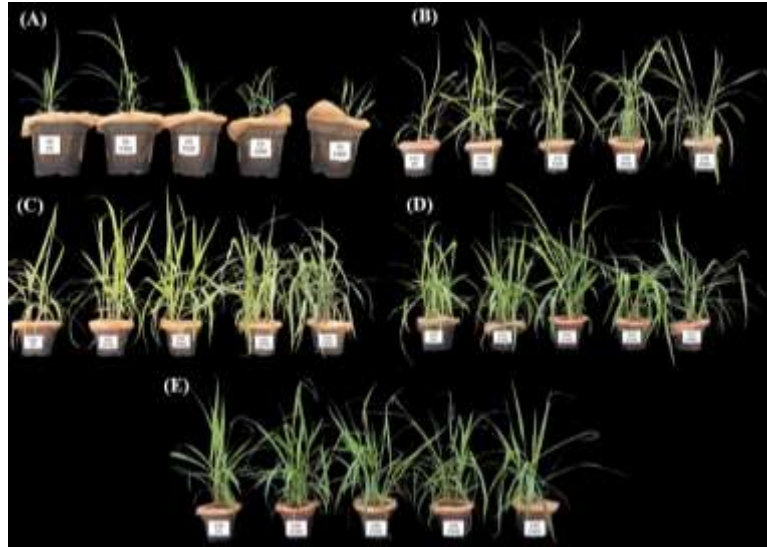


Figura 11. Curva das doses de Nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 mg dm⁻³) nas plantas de capim-marandu dentro das doses de Cinza de biomassa vegetal, 30 dias após a primeira aplicação de N, anterior ao primeiro corte. (A) Tratamento com dose 0 g dm⁻³ de Cinza de biomassa vegetal. (B) Tratamento com dose 10 g dm⁻³ de Cinza de biomassa vegetal. (C) Tratamento com dose 20 g dm⁻³ de Cinza de biomassa vegetal. (D) Tratamento com dose 30 g dm⁻³ de Cinza de biomassa vegetal. (E) Tratamento com dose 40 g dm⁻³ de Cinza de biomassa vegetal.

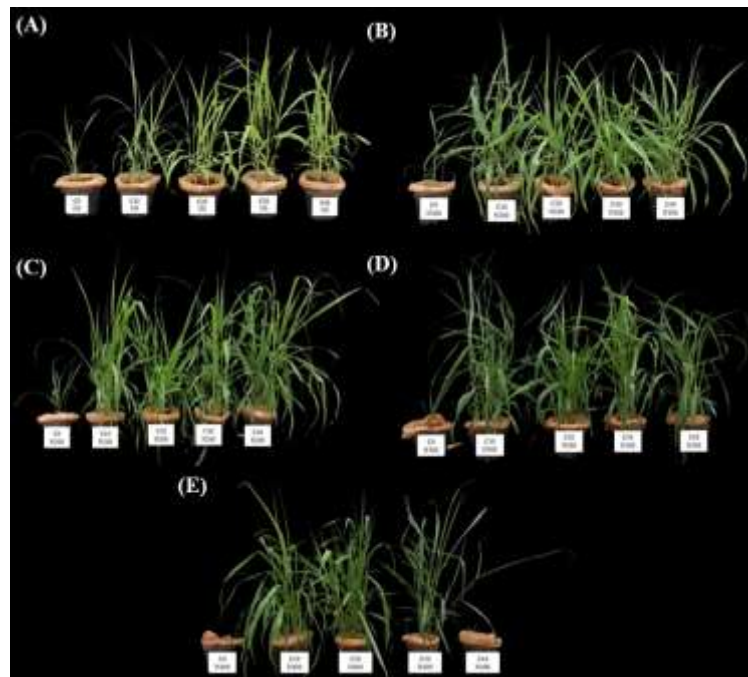


Figura 12. Curva das doses de Cinza de biomassa vegetal (0, 10, 20, 30, 40 g dm⁻³) dentro das doses de Nitrogênio, 60 dias após a primeira aplicação, anterior ao segundo corte. (A) Tratamento com dose 0 mg dm⁻³ de N. (B) Tratamento com dose 100 mg dm⁻³ de N. (C) Tratamento com dose 200 mg dm⁻³ de N. (D) Tratamento com dose 300 mg dm⁻³ de N. (E) Tratamento com dose 400 mg dm⁻³ de N.

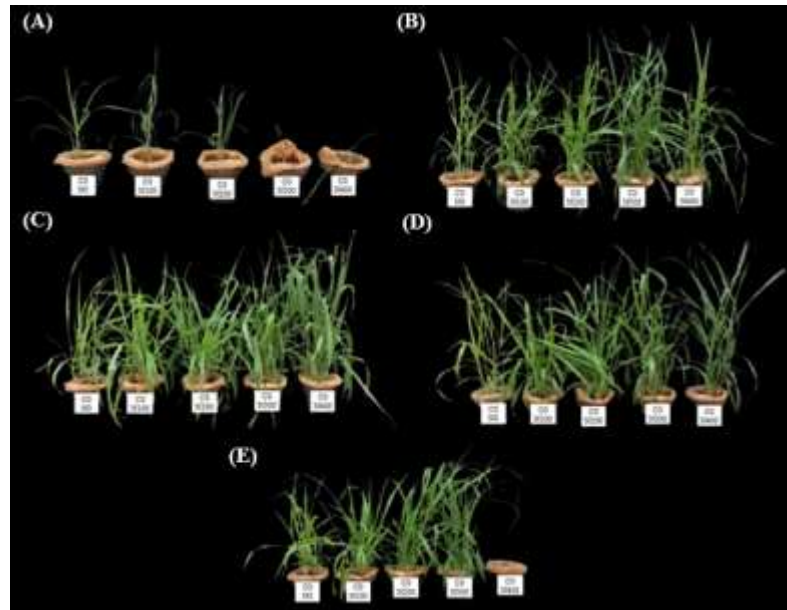


Figura 13. Curva das doses de Nitrogênio (0, 10, 20, 30, 40 g dm⁻³) dentro das doses de Cinza de biomassa vegetal, 60 dias após a primeira aplicação, anterior ao segundo corte. (A) Tratamento com dose 0 mg dm⁻³ de N. (B) Tratamento com dose 100 mg dm⁻³ de N. (C) Tratamento com dose 200 mg dm⁻³ de N. (D) Tratamento com dose 300 mg dm⁻³ de N. (E) Tratamento com dose 400 mg dm⁻³ de N.

No entanto, aos 90 dias após a emergência das plantas do capim marandu, a dose de cinza de biomassa vegetal foi de 27,20 g dm⁻³ (Figura 14) e para as doses de nitrogênio foi de 212,46 mg dm⁻³ com uma aplicação de 128 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal, na relação de 128:1 (Figura 14 e Figura 15 C).

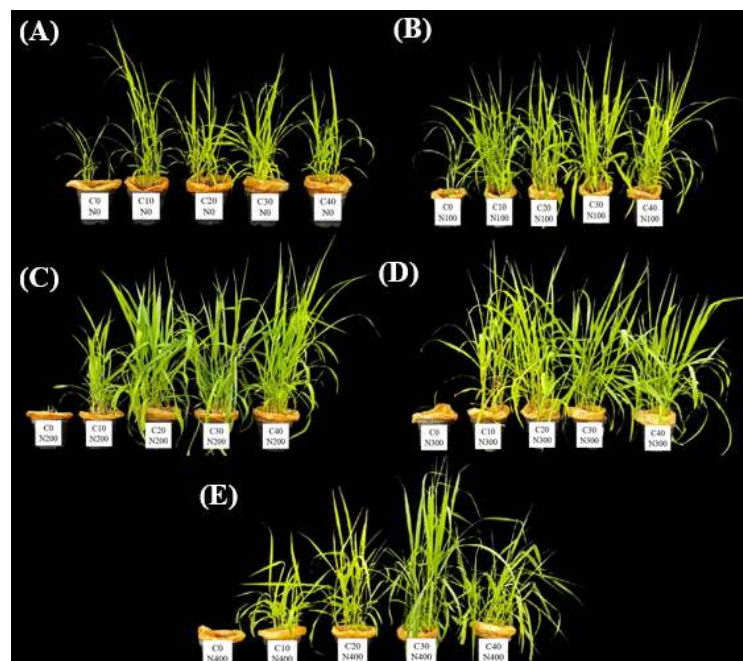


Figura 14. Curva das doses de Cinza de biomassa vegetal (0, 10, 20, 30, 40 g dm⁻³) dentro das doses de Nitrogênio, 90 dias após a primeira aplicação, anterior ao último corte. (A) Tratamento com dose 0 mg dm⁻³ de N. (B)

Tratamento com dose 100 mg dm⁻³ de N. (C) Tratamento com dose 200 mg dm⁻³ de N. (D) Tratamento com dose 300 mg dm⁻³ de N. (E) Tratamento com dose 400 mg dm⁻³ de N.

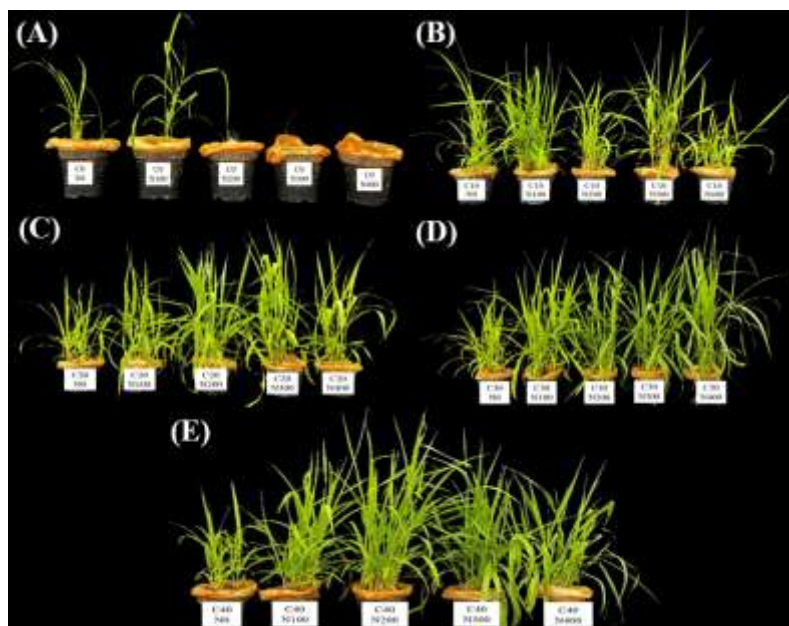


Figura 15. Curva das doses de Nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 mg dm⁻³) nas plantas de capim-marandu dentro das doses de Cinza, 90 dias após a primeira aplicação de nitrogênio, anterior ao último corte. (A) Tratamento com dose 0 g dm⁻³ de Cinza. (B) Tratamento com dose 10 g dm⁻³ de Cinza. (C) Tratamento com dose 20 g dm⁻³ de Cinza. (D) Tratamento com dose 30 g dm⁻³ de Cinza. (E) Tratamento com dose 40 g dm⁻³ de Cinza.

Na realização dos cortes, observou-se que, para atingir maiores alturas de plantas, houve a necessidade de doses de cinza vegetal, 19,05 g dm⁻³ no primeiro corte. Enquanto para o segundo corte foi de 20,13 g dm⁻³ e 23,51 g dm⁻³, para o terceiro corte, isso se dá devido a uma maior demanda por nutrientes pela gramínea, ressaltando que não houve reposição do resíduo no solo por ocasião das avaliações, como pode ser observado na concentração de copas (Figura 9, 11, 12, 13, 14 e 15)

Monteiro *et al.* (1995) e Morais *et al.* (2016) concluíram em suas pesquisas que a omissão de nitrogênio em capim marandu levou a uma limitação na produção de massa seca, tanto na parte aérea como nas raízes, o que refletiu na altura das plantas, assim como nesse estudo, visto que nas doses mais baixas de nitrogênio, o capim piatã apresentou menores alturas, o mesmo observado nesse estudo.

Morais *et al.* (2016), observaram em seu estudo que no terceiro corte do capim piatã a altura de plantas atingiu o valor máximo de 242 mg dm⁻³ para nitrogênio, valores similares aos observados nesse estudo. Evidenciando a eficiência do nitrogênio nas plantas em associação a cinza de biomassa vegetal, na interação entre os fatores.

As alturas de plantas relacionadas as doses de cinza de biomassa vegetal, foram semelhantes aos valores encontrados por Bonfim-Silva *et al.* (2019) mostrando como a cinza vegetal atua na altura de plantas.

Cardoso *et al.* (2015) observaram a interação entre fontes e doses de nitrogênio para a altura de plantas do capim Marandu, demonstrando que maior altura das plantas na maior dose de nitrogênio, e as plantas adubadas com ureia, assim como nesse estudo, atingiram maior altura que as adubadas com sulfato de amônio.

4.2.2. Diâmetro de colmos

Para o diâmetro de colmos do capim marandu, não houve efeito significativo para a interação doses de cinza de biomassa vegetal e as doses de nitrogênio, com exceção do corte de 60 dias após a emergência das plantas.

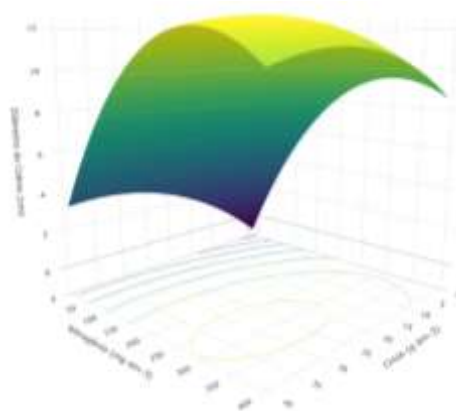
Para as avaliações de 30 e 90 dias após a emergência das plantas de capim marandu, observaram ajustes nos modelos de superfície de resposta (Figura 16 A e C) e regressão quadrática (Figura 16 B).

O maior diâmetro de colmos foi observado na dose de 29,11 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, e de 284,89 mg dm⁻³ de nitrogênio aos 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu (Figura 16 A), com a relação de 102:1, na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio.

A

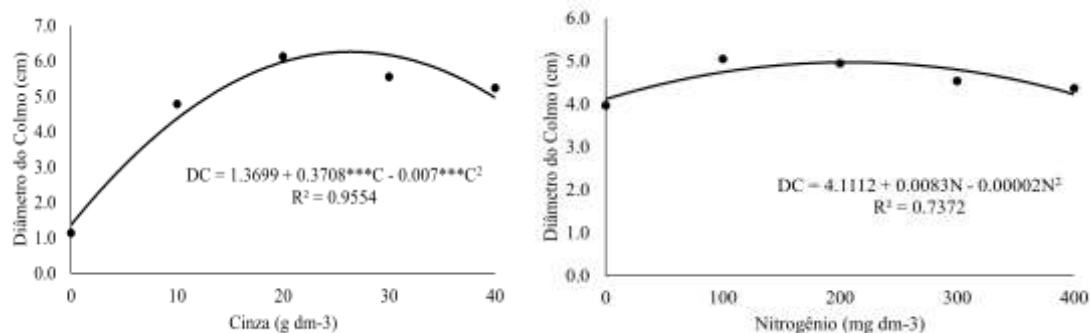
$$DC = -0,861 + 0,669C^{***} + 0,025N^{***} - 0,00014CN - 0,0108C^2^{***} - 0,00004N^2^{**}$$

$R^2 = 0,755$



B

C



D

$$DC = 1,233 + 0,112C^{***} + 0,002N + 0,00011CN^{***} - 0,00227C^2^{***} - 0,00001N^2^{**}$$

$$R^2 = 0,641$$

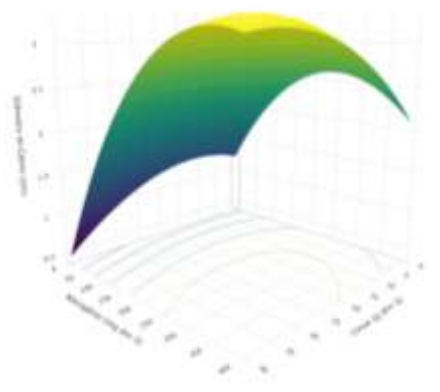


Figura 11. Diâmetro de colmos aos 30 (A), 60 (B e C) e 90 (D) dias após a emergência em função das doses de cinza e nitrogênio em latossolo vermelho.

Não houve interação entre as doses de cinza de biomassa vegetal e as doses de nitrogênio para o segundo corte nos 60 dias após a emergência das plantas, em que nos fatores isolados a dose máxima de cinza foi de 26,48 g dm⁻³, com o diâmetro máximo de 6,28 mm, tendo um incremento 78,19% em comparação a ausência de doses de cinza de biomassa vegetal (Figura 16 B).

No entanto, no fator isolado no nitrogênio, a dose para o máximo diâmetro foi de 207,5 mg dm⁻³, enquanto o maior diâmetro observado nestas doses foi de 4,97 mm, mostrando um incremento de 17,28% quando comparadas as doses com ausência de doses de nitrogênio (Figura 16 C).

Aos 90 dias após a emergência das plantas de capim marandu, o maior diâmetro de colmos foi observado nas doses de 31,95 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, e para as doses de nitrogênio de 288,59 mg dm⁻³ com uma relação de 111:1 o que corresponde a 111 kg ha⁻¹ de

cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 16 D).

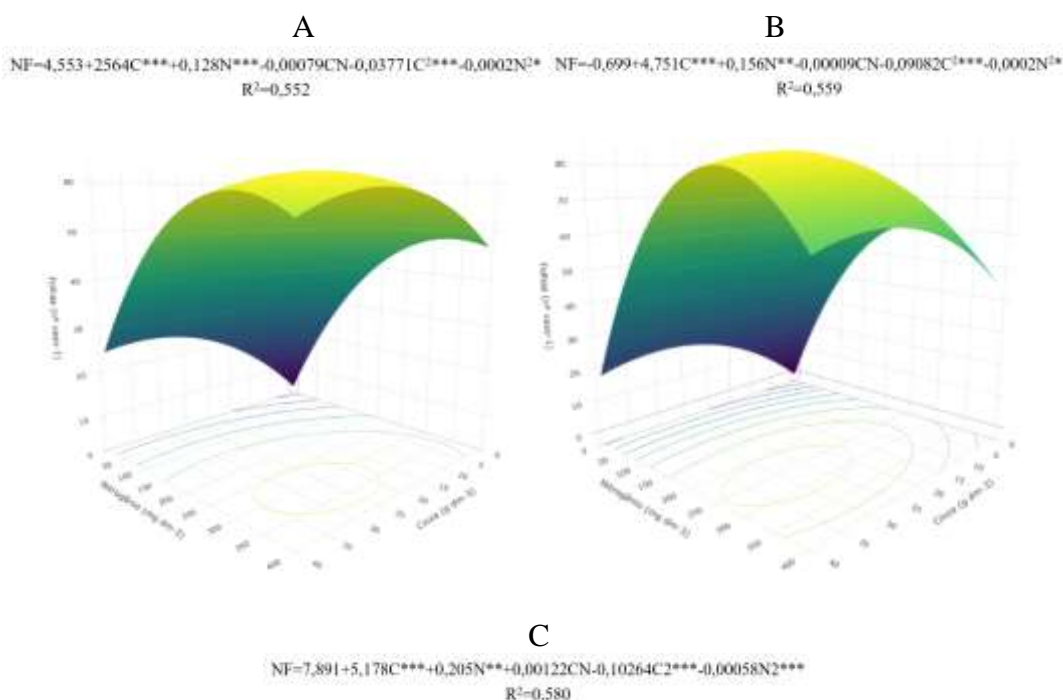
Bonfim-Silva *et al.* (2016) relataram em seus estudos que plantas com hastes de maior diâmetro, geralmente, são mais resistentes ao acamamento, isso pode ser atribuído devido a presença de cinza de biomassa vegetal, rica em nutrientes (Symanowicz *et al.*, 2018).

O diâmetro de colmo está diretamente relacionado aos valores nutritivos e aspectos quantitativos de plantas forrageiras, bem como a outras características estruturais das gramíneas, como a proporção de folha e de colmo, a altura da planta e a produção de forragem (Bhering *et al.*, 2008; Chaugool *et al.*, 2013).

Estudos relatam que a cinza de biomassa vegetal, juntamente ao nitrogênio incorporados ao solo proporcionou aumento no diâmetro de colmos ao longo dos três cortes. O colmo é a estrutura de suporte da planta e, para sustentar o peso das folhas, o diâmetro do colmo altera-se na mesma proporção (McMahon e Kronauer, 1976; Niklas, 1994; Bonfim-Silva *et al.*, 2019).

4.2.3. Número de folhas

Para a variável de número de folhas do capim marandu, houve efeito significativo nos três períodos de avaliação (Figura 17), com a interação entre os fatores das doses de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, utilizando o modelo de superfície de resposta.



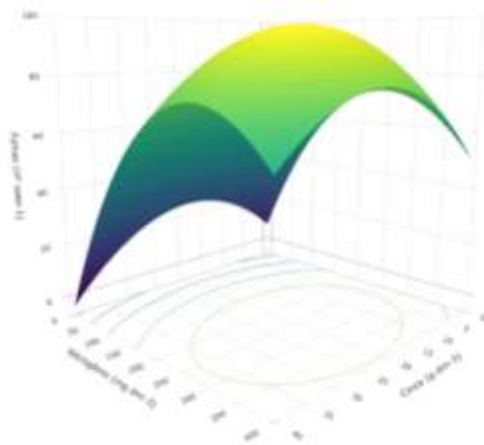


Figura 12. Número de folhas de capim marandu, submetidas a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.

O maior número de folhas aos 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu, foi observado na dose de $31,22 \text{ g dm}^{-3}$ de cinza de biomassa vegetal e para as doses de nitrogênio foi de $265,30 \text{ mg dm}^{-3}$ com relação de 118:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 118 kg ha^{-1} de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha^{-1} de nitrogênio (Figura 17 A).

No entanto, para os 60 dias após a emergência do capim marandu, o maior número de folhas foi observado na dose de $26,01 \text{ g dm}^{-3}$ de cinza de biomassa vegetal, e para as doses referentes de nitrogênio, foram de $283,03 \text{ mg dm}^{-3}$ com relação de 92:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 92 kg ha^{-1} de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha^{-1} de nitrogênio (Figura 17 B).

Aos 90 dias após a emergência das plantas, o maior número de folhas foi observado na dose de $26,43 \text{ g dm}^{-3}$ de cinza de biomassa vegetal e para as doses de nitrogênio foi de $204,25 \text{ mg dm}^{-3}$ com relação de 130:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 130 kg ha^{-1} de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha^{-1} de nitrogênio (Figura 17 C).

Durante as duas últimas avaliações, pode ser observado um aumento no número de folhas das plantas de capim marandu adubadas com cinza vegetal e nitrogênio, o que pode ser explicado pelo alto perfilhamento das plantas após o segundo corte, em que um maior número de perfilhos origina maior número de folhas, como foi observado por De Moraes *et al.* (2016).

O aumento no número de folhas verificado no terceiro corte com o incremento da adubação via cinza de biomassa vegetal e doses de nitrogênio tem vista que a produtividade das gramíneas forrageiras, como é o caso do capim marandu, decorre da contínua emissão de folhas e perfilhos, e da capacidade de regeneração foliar, processo que assegura a persistência e a

perenidade da pastagem após o corte ou pastejo (Corsi *et al.*, 1994; Cabral *et al.*, 2017; Bonfim-Silva *et al.*, 2019).

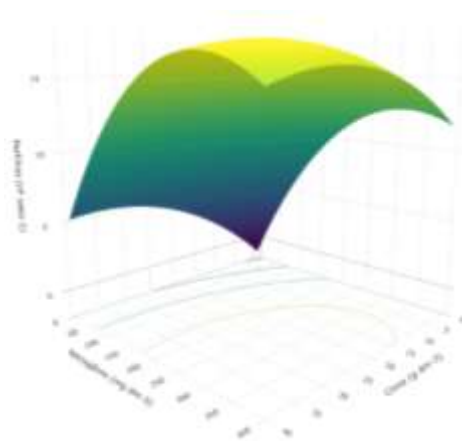
4.2.4. Número de perfilhos

Para a variável de número de perfilhos, houve interação entre os fatores somente para os primeiros 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu utilizando o modelo de superfície de resposta (Figura 18 A). Nas demais avaliações, não houve interações significativas com ajustes ao modelo de regressão quadrática (Figura 18 B, C, D e E).

A

$$NP = -1,247 + 0,877C^{***} + 0,039N^{***} - 0,0002CN - 0,01379C^2^{***} - 0,00006N^2^*$$

R²=0,621



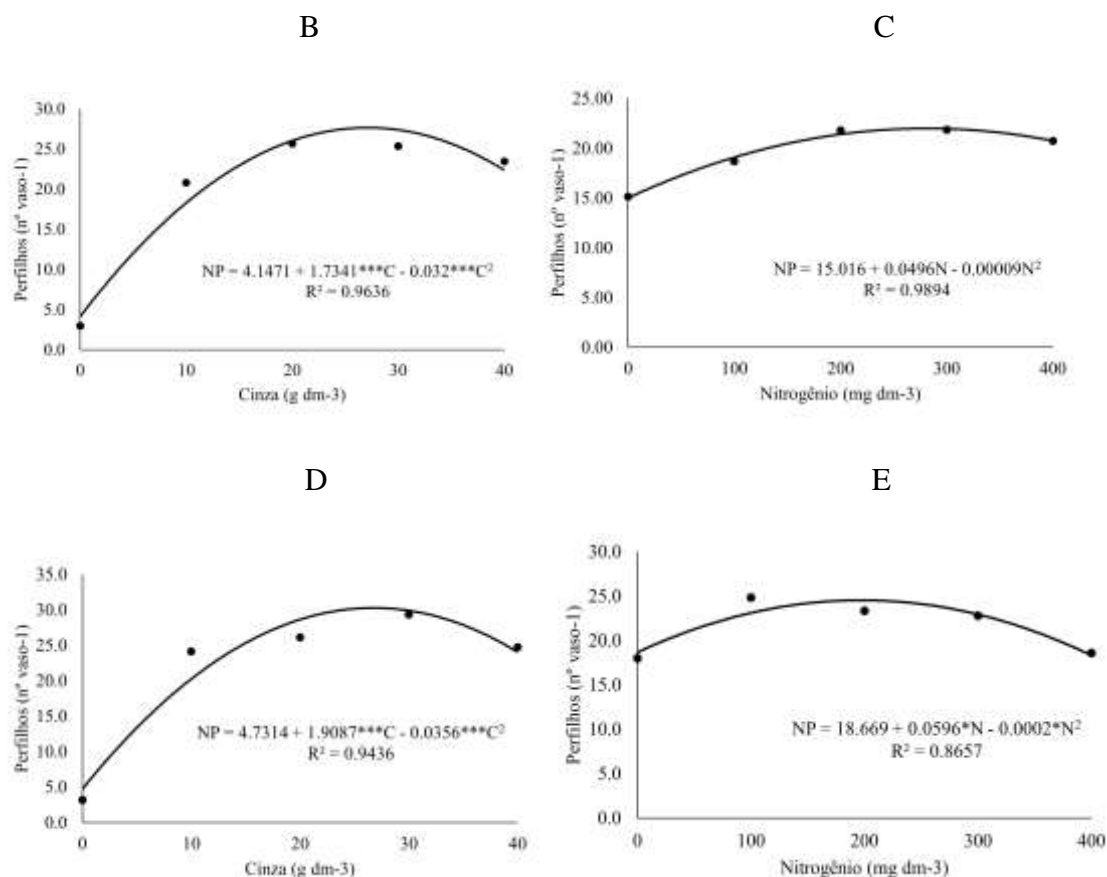


Figura 13. Número de perfilhos de capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B, C) e 90 (D, E) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.

Para o número de perfilhos do capim marandu aos 30 dias após a emergência, foram observados que a dose que proporcionou maior número de perfilhos estão relacionadas as doses com 29,67 g dm⁻³ de cinza, e 290,35 mg dm⁻³ de nitrogênio com relação de 92:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 92 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 18 A).

Aos 60 dias após emergência das plantas, a máxima produção foi de 28 perfilhos, observado na dose de cinza de biomassa vegetal de 27,09 g dm⁻³, com um incremento de 85,18%, quando comparado a dose que proporcionou a máxima produção de perfilhos com a ausência de adubação com cinza de biomassa vegetal (Figura 18 B).

Quando comparado o número de perfilhos observados na dose de nitrogênio que proporcionou a máxima produção (22 perfilhos), com a ausência da adubação nitrogenada houve um incremento de 31,82%, o que corresponde a dose de nitrogênio de 275,55 mg dm⁻³. Houve um incremento ao ser comparada a dose de nitrogênio que acomodou a produção máxima de perfilhos na ausência da aplicação de nitrogênio (Figura 18 C).

Já aos 90 dias após emergência, também se observou que não houveram interações entre a cinza e o nitrogênio, demonstrando que o valor máximo de perfilhos foi de 30, na dose

de cinza de $26,80 \text{ g dm}^{-3}$, havendo um incremento de 85,18% quando comparado ao valor da menor dose de cinza de biomassa vegetal (Figura 18 D).

Enquanto para as doses de nitrogênio foi observada um valor 23 de perfilhos, para a dose 149 mg dm^{-3} , com um incremento de 21,74% em comparação a dose com ausência de nitrogênio (Figura 18 E).

No primeiro corte, houve interação entre os fatores, proporcionado um valor de perfilhos menor do que aos comparados nas demais avaliações. Nos segundo e no terceiro corte, houveram aumento no número de perfilhos nos fatores isolados, como para as doses de cinza de biomassa vegetal, como para as doses de nitrogênio.

O perfilhamento é uma forma de crescimento que as gramíneas desenvolveram em seu processo evolutivo como mecanismo de produção e sobrevivência em situações de desfolha (Carvalho *et al.*, 2000; De Moraes *et al.*, 2016). Os resultados encontrados neste estudo corroboram com Monteiro *et al.* (1995), que observaram em capim marandu que a omissão de nitrogênio refletiu no número de perfilhos.

Em estudo de adubação do capim piatã com doses de nitrogênio e enxofre, constatou maior número de perfilhos na combinação de elevadas doses dos dois nutrientes. Bonfim-Silva *et al.* (2015) em seus estudos relataram que a fertilização por meio da cinza de biomassa vegetal influenciou a produção máxima de perfilhos do capim-marandu em todos os cortes, contribuindo para o vigor e persistência da planta (Nastaro, 2012).

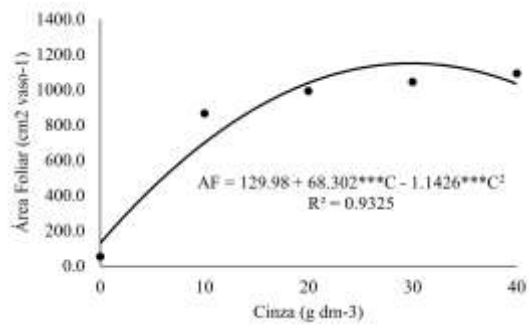
Tokeshi (1986) acrescenta que a quantidade de perfilhos auxilia no estabelecimento e na perenidade das pastagens, protege o solo contra a erosão, reduz o aparecimento de plantas indesejáveis por meio do sombreamento e proporciona maior resistência a pragas e doenças.

4.2.5. Área foliar

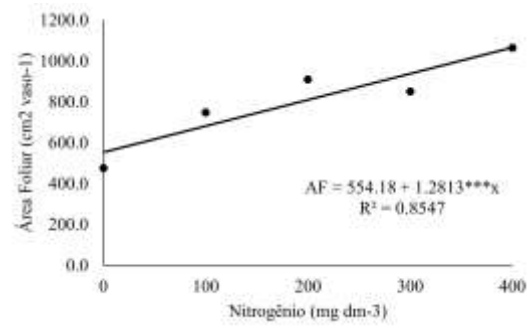
Para área foliar do capim marandu, houve efeito significativo nos três períodos de avaliação (Figura 19), com ajustes ao modelo quadrático de regressão (Figura 19 A), modelo linear (Figura 19 B) e modelo de superfície de resposta (Figura 19 C e D).

Aos 30 dias após a emergência de plantas do capim marandu, a maior área foliar foi observada na dose de $29,87 \text{ g dm}^{-3}$ de cinza de biomassa vegetal, com um valor de $1.150,71 \text{ cm}^2 \text{ vaso}^{-1}$, com um incremento de 88,70% comparada a dose com ausência de cinza de biomassa vegetal.

A



B



C

$AF = -374.21 + 118.012C*** + 6.278N*** - 0.01929CN - 2.27401C^2*** - 0.01175N^2***$
 $R^2 = 0.643$

D

$AF = -25.654 + 80.613C*** + 5.2298N*** - 0.00703CN^2* - 1.46739C^2*** - 0.014568N^2***$
 $R^2 = 0.583$

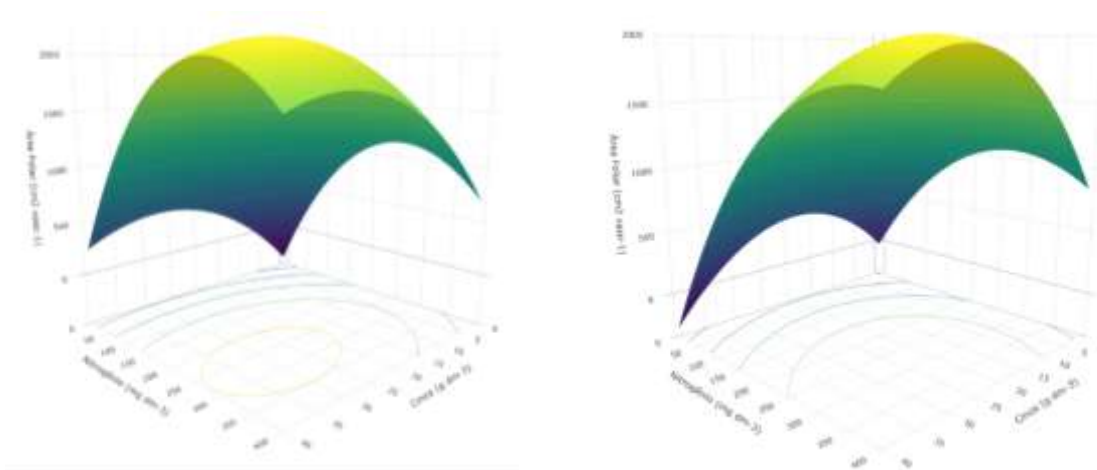


Figura 14. Área foliar do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B), 60 (C) e 90 (D) dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.

Valor superior aos observados por Bonfim-Silva *et al.* (2019) que durante o mesmo período de avaliação teve um valor de 710,34 cm², em uma dose de cinza de 23,63 g dm⁻³, demonstrando assim a eficiência na aplicação de cinza no aumento da lâmina e da área foliar.

A maior área foliar para o capim marandu observada em função da adubação com o nitrogênio, foi com a dose de 400 mg dm⁻³ de nitrogênio, com os valores máximos registrados de área foliar nesta dose de 1.066 cm² vaso⁻¹, esse valor, representa um incremento de 48,01% a dose com ausência de nitrogênio (Figura 19 B). Um incremento menor 40,69% do que as doses de cinza de biomassa vegetal.

Esse efeito isolado, pode ser atribuído ao início do experimento, onde o nitrogênio e a cinza de biomassa vegetal, ainda não haviam interagido devido ao menor tempo entre as demais avaliações. Bonfim-Silva; Monteiro; Silva (2007) em seu estudo na interação de área foliar entre doses de nitrogênio e enxofre, constataram que no primeiro crescimento a área foliar máxima do capim-braquiária nas respectivas doses de N de 368 mg dm⁻³.

Enquanto para os 60 dias após a emergência das plantas de capim marandu, a maior área foliar foi observada na dose de 27,16 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, e para nitrogênio, a maior área foliar foi observada na dose de 289,46 mg dm⁻³ de nitrogênio com relação de 94:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 92 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 19 C).

Aos 90 dias após a emergência das plantas, a maior área foliar foi observado na dose de 33,32 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, e a maior área foliar foi de 256,38 mg dm⁻³ de nitrogênio com relação de 130:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 130 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio (Figura 19 D).

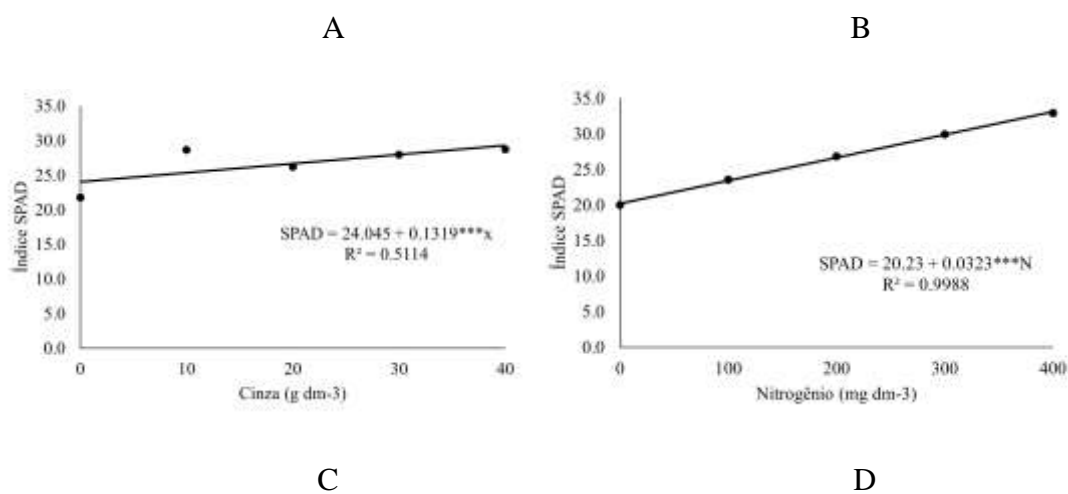
Folhas que possuem maior superfície exposta, favorecem absorção de radiação solar, fonte de energia para os síntese de fotoassimilados e processos fotossintéticos. A área foliar junto estima a radiação solar interceptada pelas plantas e interferem na eficiência da absorção de radiação fotossinteticamente ativa em assimilados, uma vez que regulam a penetração de radiação incidente no dossel (Bonfim-Silva *et al.*, 2019).

Influenciando na densidade populacional de perfilhos da gramínea e o ritmo de crescimento da pastagem a área foliar pode também determinar os níveis de sacarose que afetam o crescimento dos perfilhos. Esse fator faz com que a planta seja sensível a qualquer alteração na atividade fotossintética, gerando assim falha no crescimento das gemas, fazendo com que diminua a ramificação final e alteração na estrutura da planta, que pode sinalizar um processo de degradação de pastagem e ocasionar a morte da planta (Sbrissia *et al.*, 2010; Mullet *et al.*, 2015; Kebrom e Mullet, 2015; Bonfim-Silva *et al.*, 2019).

4.3. Leitura clorofila SPAD

Para o índice SPAD, não houve interações entre os fatores das doses de cinza de biomassa vegetal e de nitrogênio, aplicando os fatores isolados (Figura 20). Os modelos utilizados foram a regressão linear (Figura 20 A e B) e regressão quadrática (Figura 20 C e D).

Para os 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu, foram observados que as doses com maior índice SPAD estão relacionadas as doses de cinza de biomassa vegetal de 40 g dm⁻³, na qual o máximo valor do índice SPAD foi de 29,32. O incremento foi de 18% quando comparado a dose que proporcionou valor do índice SPAD com a ausência de adubação com cinza de biomassa vegetal (Figura 20 A).



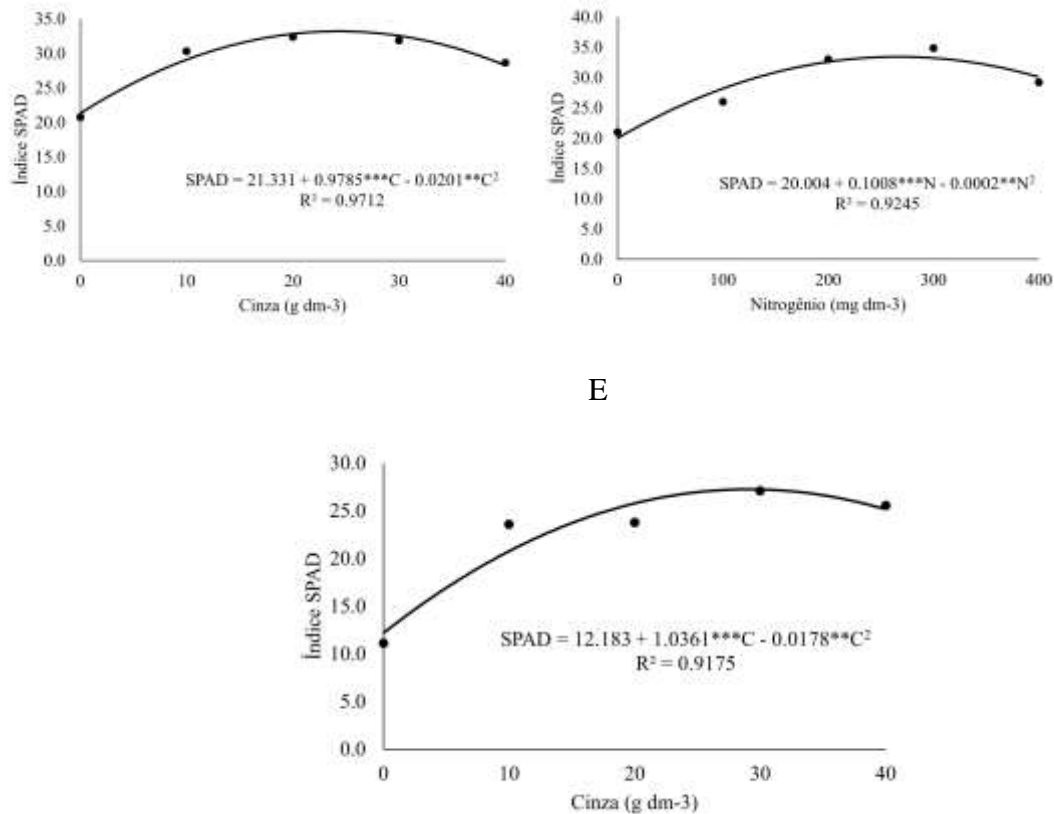


Figura 15. Índice SPAD do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B) 60 (C, D) e 90 (E) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.

Enquanto para o nitrogênio, também aos 30 dias após a emergência, foi observada um valor máximo do índice SPAD dentro da maior dose de nitrogênio (400 mg dm^{-3}) de 33,15. Para este, o incremento foi de 38,98% quando comparada a dose que possuía a ausência de nitrogênio (Figura 20 B).

Aos 60 dias após emergência o valor máximo de índice SPAD foi 33,25, na dose de cinza de biomassa vegetal de $24,34 \text{ g dm}^{-3}$ tendo um incremento de 35,85% quando comparada a dose com ausência de cinza de biomassa vegetal (Figura 20 C). Enquanto para dose de nitrogênio foi observado para índice SPAD um valor 32,71, para a dose 252 mg dm^{-3} com um incremento de 38,85% em comparação a dose com ausência de nitrogênio (Figura 20 D).

No terceiro corte já houve efeito apenas para cinza de biomassa vegetal no valor do índice SPAD, na qual o valor máximo foi de 27,26, para $29,10 \text{ g dm}^{-3}$, com um incremento de 55,31% ao ser comparada com a ausência da dose de cinza de biomassa vegetal (Figura 20 E).

As leituras SPAD desse estudo tiveram valores inferiores a 34, o que reflete que não houve influência das doses de nitrogênio nas leituras como os resultados observados por De Moraes *et al.* (2016).

Bonfim-Silva *et al.* (2019) em seu estudo com doses de nitrogênio e potássio, observaram que nos três cortes, foi verificado que o capim-paiaguás adubado com cinza vegetal apresentou ponto de máxima maior que 41 unidades na leitura SPAD. O que pode representar que uma leitura SPAD acima de 40 pode sugerir boa nutrição nitrogenada na gramínea enquanto unidades da ordem de 20 a 25 indicam nítida deficiência de nitrogênio no capim.

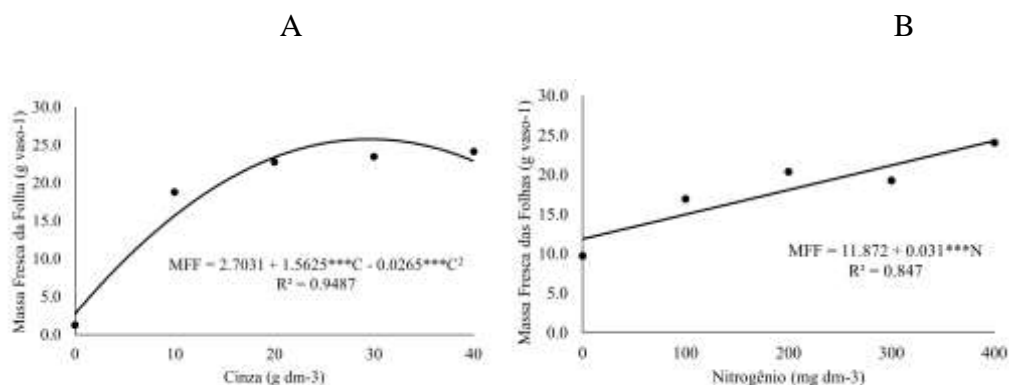
O magnésio presente na cinza pode ter sido um ativador enzimático indispensável nos processos de fotossíntese, pois ocupa a posição central da molécula de clorofila. Esse nutriente corresponde a 2,7% da massa molecular da clorofila, sendo que nesta encontra-se cerca de 20% do magnésio total da folha. Desse modo, a quantidade de magnésio disponível pode influenciar a quantidade de clorofila produzida. (Mengel; Kirkby, 2001).

4.4. Características produtivas

4.4.1. Massa fresca de folhas

Para massa fresca de folhas do capim marandu, houve interações entre os fatores das doses de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, usando o modelo de superfície de resposta (Figura 21 C e D), em que houve efeito significativo nos três períodos de avaliação, com ajustes ao modelo quadrático linear (Figura 21 A e B).

Aos 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu, com a maior massa fresca de folhas observada na dose de cinza de biomassa vegetal de 29,48 g dm⁻³ com um valor de 28,73 g vaso⁻¹, foi observado um incremento de 90,61%, referente a dose com ausência de cinza de biomassa vegetal.



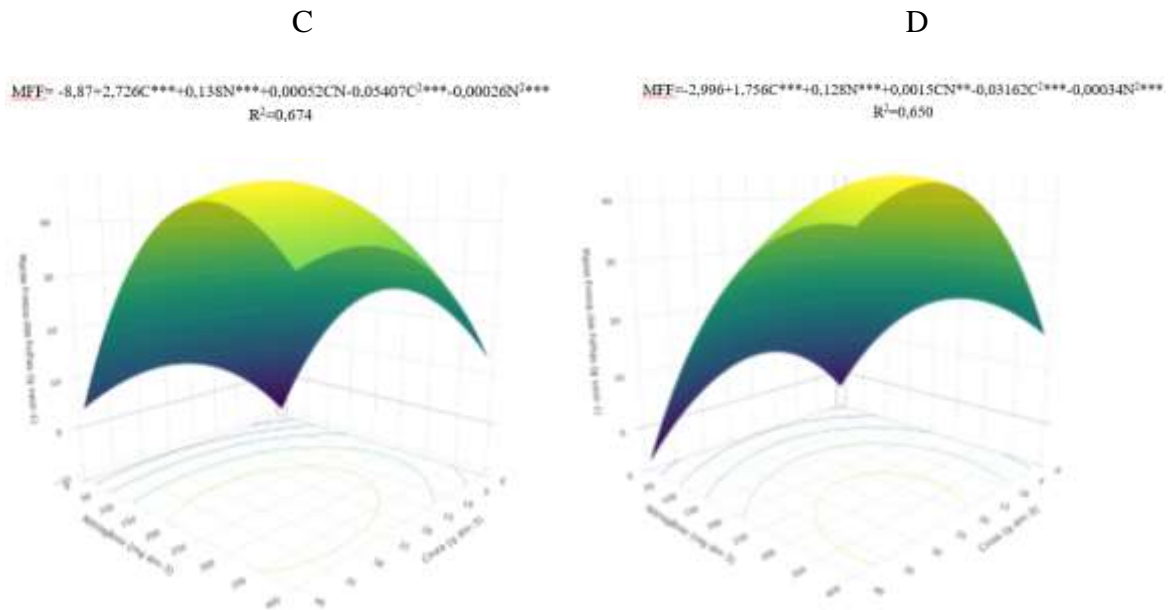


Figura 16. Massa fresca de folhas do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B) 60 (C) e 90 (D) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.

Para o nitrogênio, a maior dose encontrada foi de 400 mg dm^{-3} , e a maior massa de folhas frescas para a dose de nitrogênio foi de $24,27 \text{ g vaso}^{-1}$, o que representa um incremento de 51,08% a dose com ausência de nitrogênio (Figura 21 A e B).

Enquanto para os 60 dias após a emergência do capim marandu, a maior massa fresca de folhas foi observada na dose de $26,58 \text{ g dm}^{-3}$ de cinza de biomassa vegetal, e para as doses de nitrogênio foi de $287,73 \text{ mg dm}^{-3}$ com relação de 92:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 92 kg ha^{-1} de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha^{-1} de nitrogênio (Figura 21 C).

E aos 90 dias após a emergência das plantas, a maior massa fresca de folhas foi observado na dose de 34 g dm^{-3} de cinza de biomassa vegetal e para as doses de nitrogênio foi de $263,46 \text{ mg dm}^{-3}$ com relação de 129:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 129 kg ha^{-1} de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha^{-1} de nitrogênio (Figura 21 C).

Mendes; Piza (2024) em seus estudos, mostraram que a produtividade da forrageira, em termos de massa fresca de folhas, também variou entre os tratamentos com adubo químico com $120 \text{ kg } 100 \text{ m}^{-2}$ de esterco bovino, o que proporcionou seus maiores valores de produtividade.

Carvalho; Damasceno (1996), afirmaram que é fundamental o conhecimento da variação na biomassa de matéria verde das folhas e de massa verde das pastagens submetidas a diferentes condições de manejo e de ambiente, nas diversas épocas do ano, para que seja alcançado um desempenho satisfatório dos animais e máxima produção por unidade de área.

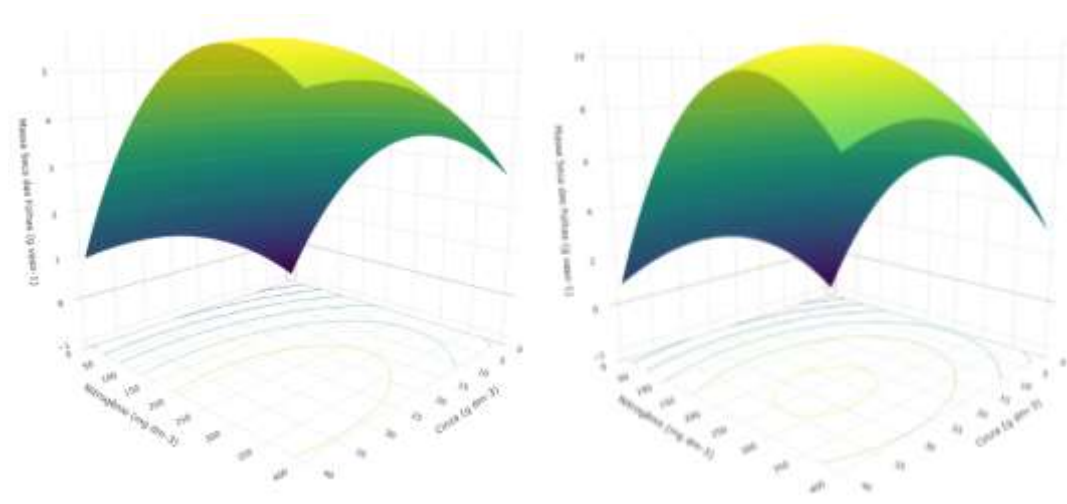
Trevizan *et al.*, (2008) e Silva; Simioni; Lucena (2013), observaram o rendimento de matéria verde de grama estrela *Cynodon dactylon* com a aplicação de 100,0 kg ha⁻¹ de nitrogênio, um valor aproximado ao encontrado nesse estudo com capim marandu.

Pinho *et al.* (2022) em seus estudos com adubação nitrogenada com diferentes fontes de nitrogênio constataram que o crescimento na produção de forragem é previsto pelo fato de o nitrogênio ser um dos fatores que auxiliam no processo de crescimento das plantas aumentando o acúmulo de massa.

4.4.2. Massa seca de folhas

Para a variável massa seca de folhas do capim marandu, houve efeito significativo para a interação doses de cinza de biomassa vegetal e as doses de nitrogênio com ajustes a superfície de resposta nos três períodos de avaliação (Figura 22 A, B, C).

$$\begin{array}{cc} \text{A} & \text{B} \\ \text{MSF} = -0,916 + 0,311\text{C}^{***} + 0,013\text{N}^{***} + 0,00001\text{CN} - 0,00546\text{C}^2^{***} - 0,00002\text{N}^2^{**} & \text{MSF} = -1,952 + 0,614\text{C}^{***} + 0,011\text{N}^{***} - 0,00008\text{CN} - 0,0112\text{C}^2^{***} - 0,00006\text{N}^2^{***} \\ \text{R}^2 = 0,706 & \text{R}^2 = 0,675 \end{array}$$



C

$$MSF = 0,222 + 0,438C^{***} + 0,025N^{***} + 0,00052CN - 0,00891C^2 - 0,00008N^2$$

$$R^2 = 0,561$$

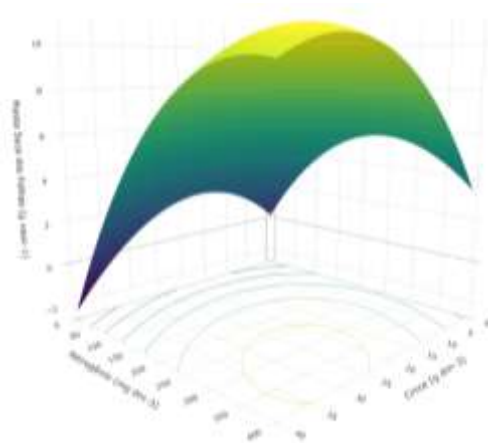


Figura 17. Massa seca de folhas do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A), 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.

Aos 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu, a maior massa seca de folhas foi observada na dose de 28,83 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal e para nitrogênio a dose com a maior massa seca de folhas foi de 328,31 mg dm⁻³ de nitrogênio (Figura 22 A) com relação de 88:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 88 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Para a massa seca de folhas aos 60 dias após a emergência das plantas de capim marandu, a dose que possuiu a maior massa seca de folhas foi de 26,06 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, e para nitrogênio, a dose com a maior massa seca foi de 277,32 mg dm⁻³ de nitrogênio (Figura 22 B) com relação de 94:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 94 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Aos 90 dias após a emergência das plantas, a dose com a maior massa seca de folhas foi de 32,32 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, e para nitrogênio, o melhor desempenho ocorreu na dose de 267,19 mg dm⁻³ de nitrogênio aplicado (Figura 22 C) com relação de 121:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 121 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Bonfim-Silva et al. (2019) observaram que a aplicação de cinza vegetal contribuiu positivamente para a produção de massa seca da parte aérea do capim-paiaguás, assim como contribuiu para o aumento neste estudo.

No presente estudo observou-se que as doses de nitrogênio na máxima produção da massa seca de folhas do capim-marandu em todos os cortes realizados se mantiveram acima de 260 mg dm⁻³, diferindo do estudo com capim-piatã de De Moraes *et al.* (2016), em que constatou que a dose máxima em todos os cortes foi 250 mg dm⁻³.

Em capim humidícola, doses de nitrogênio e de potássio em diferentes intervalos de corte, verificaram que a adubação com 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio e de potássio aumentou em 190% a produção de massa seca em comparação com a ausência de adubação, semelhante ao valor encontrado neste estudo no primeiro corte (Abreu *et al.*, 2004).

4.4.3. Massa fresca de colmos

Para massa fresca de colmos do capim marandu, não houveram interações entre os fatores de doses de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio nos cortes de 30 e 60 dias após a emergência das plantas (Figura 23 A, B, C e D), houve efeito significativo nos três períodos de avaliação, nas quais os modelos foram regressão linear (Figura 23 A, B, C e D) e superfície de resposta (Figura 23 E).

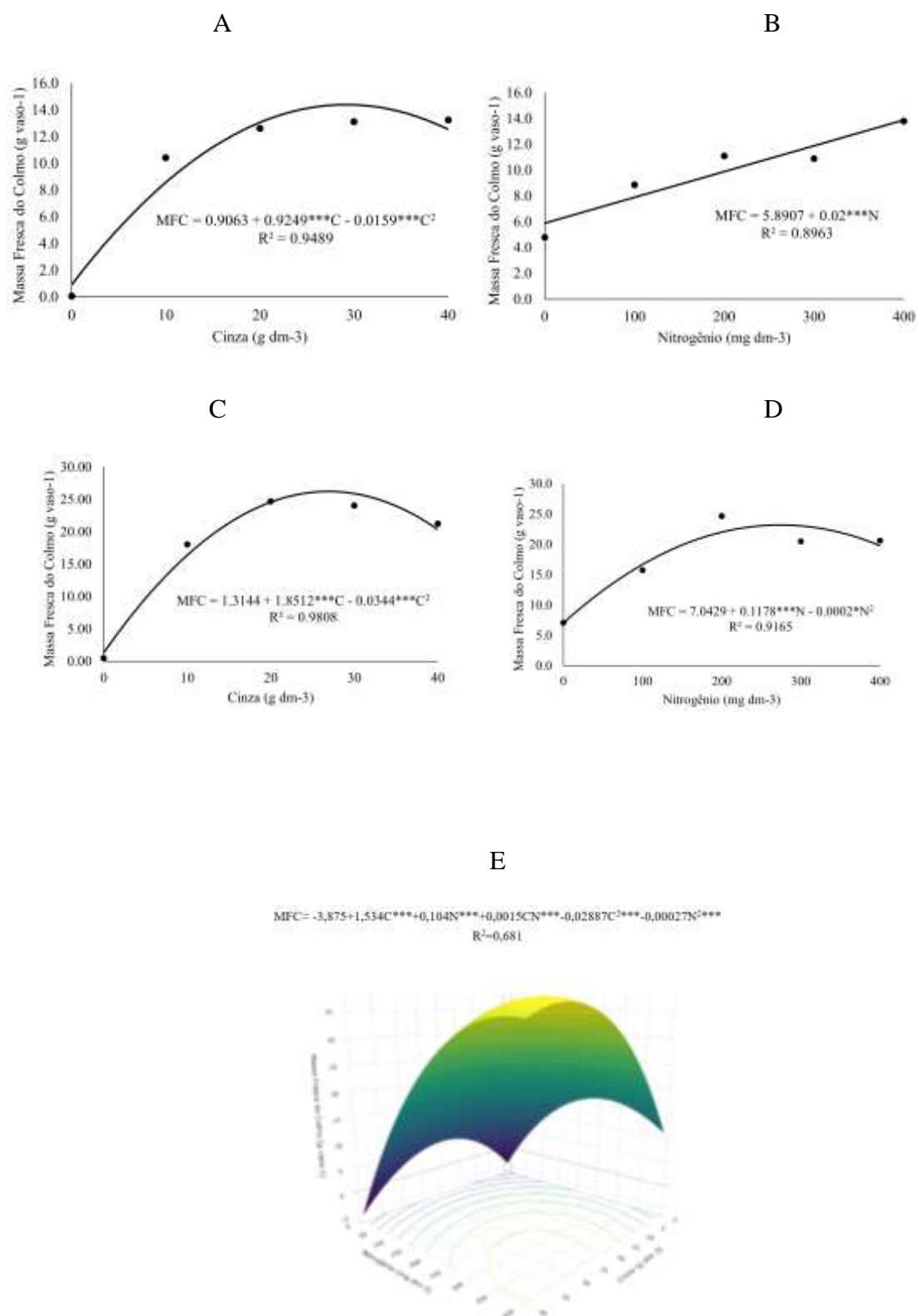


Figura 18. Massa fresca de colmos do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A, B) 60 (C, D) e 90 (E) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.

Aos 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu, foi observada a maior massa fresca de colmos na dose de cinza de biomassa vegetal de 29,07 g dm⁻³, com um valor

observado de 14,36 g vaso⁻¹ de colmos, mostrando um incremento de 93,69% na massa de fresca de colmos em comparação a ausência da dose de cinza de biomassa vegetal (Figura 23 A).

No que se refere as doses de nitrogênio, a maior dose observada foi de 400 mg dm⁻³, para a maior massa fresca de colmos sendo de 13,89 g vaso⁻¹, com um incremento de 57,60% a dose com ausência de doses de nitrogênio (Figura 23B).

Aos 60 dias após a emergência das plantas de capim marandu, a maior massa fresca de colmos foi observada na dose de 26,91 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, com a massa encontrada dentro dessa dose é de 26,22 g vaso⁻¹, que representa um incremento de 94,99% na dose com ausência de cinza de biomassa vegetal (Figura 23 C).

Para o nitrogênio, a dose ótima de crescimento foi de 294,5 mg dm⁻³, sendo a massa fresca máxima nesta dose de 24,38 g vaso⁻¹, com um incremento de 71,12% na dose com ausência de nitrogênio (Figura 23 D).

Aos 90 dias após a emergência das plantas, a maior massa fresca foi observada na dose de 34,15 g dm⁻³ de cinza e para N foi de 292 mg dm⁻³ (Figura 23 E) com relação de 117:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 117 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Segundo os estudos de Da Silva *et al.* (2015), o valor elevado da massa fresca, juntamente com o incremento superior a 70%, pode-se considerar que os tratamentos que obtiveram maior índice de clorofila nesse ensaio, também apresentaram os melhores resultados na produção de massa fresca de folhas e colmos.

Os resultados dos estudos de Mendes; Piza (2024) indicaram que a adição de nitrogênio teve um impacto positivo significativo na quantidade de massa fresca além da planta apresentar maior altura quando comparado a menores doses de adubo nitrogenado, semelhante ao observado no trabalho experimento.

4.4.4. Massa seca de colmos

Para massa seca de colmos do capim marandu, houve interação entre os fatores das doses de cinza de biomassa vegetal e doses de nitrogênio, com efeito significativo nos três períodos de avaliação usando o modelo de superfície de resposta (Figura 24).

Com a maior massa seca de colmos observada na dose de 28,35 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal e para a maior dose de foi de 346,21 mg dm⁻³ aos 30 dias após a emergência das plantas de capim marandu (Figura 24 A) com relação de 82:1 na interação de cinza de

biomassa vegetal e nitrogênio, com 82 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Enquanto para os 60 dias após a emergência das plantas, a maior massa seca de colmos foi observado na dose de 25,45 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, e para doses de nitrogênio, a maior massa seca foi observada na dose de 273,64 mg dm⁻³ de nitrogênio (Figura 24 B) com relação de 93:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 93 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

No entanto, aos 90 dias após a emergência do capim marandu, a maior massa seca de colmos foi observada na dose de 31,87 g dm⁻³ de cinza de biomassa vegetal, enquanto que para o nitrogênio a dose com o maior valor de massa seca foi de 270,85 mg dm⁻³ de nitrogênio (Figura 24 C) com relação de 118:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 118 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Em seus estudos com capim-massai, Martussello *et al.* (2015) observaram que o nitrogênio aumenta a produção de massa seca de colmos, por incrementar sobremaneira a produção de colmo, uma vez que há também aumento no alongamento de folhas, resultado de sombreamento.

De Moraes *et al.* (2016) encontraram em seus estudos que a produção de massa seca da parte aérea no primeiro corte foi bem inferior aos demais cortes, duas vezes menor, o que pode ser atribuído ao fato de que no primeiro crescimento a planta destina mais energia para formação e estabelecimento do sistema radicular, e que no segundo e terceiro corte a planta já estabelecida utilizou suas reservas para formação da parte aérea, como foi constatado nos resultados do presente trabalho.

Sales *et al.* (2013) encontraram em capim marandu, cultivado durante o verão, que adubados com doses de nitrogênio (100; 200; 300 e 400 kg ha⁻¹) incremento na produção de massa seca, quando comparadas a menor com a maior dose de nitrogênio, semelhantes ao do presente estudo.

Com relação ao efeito da aplicação de cinza de biomassa vegetal em gramíneas, trabalhos corroboram o presente estudo e relatam o incremento na produção de massa seca de colmos à proporção que as doses do resíduo são elevadas (Bezerra *et al.*, 2016; Bonfim-Silva *et al.*, 2013). Segundo Euclides *et al.* (2000), o desenvolvimento de colmos incrementa a produção da massa total de forragem da gramínea.

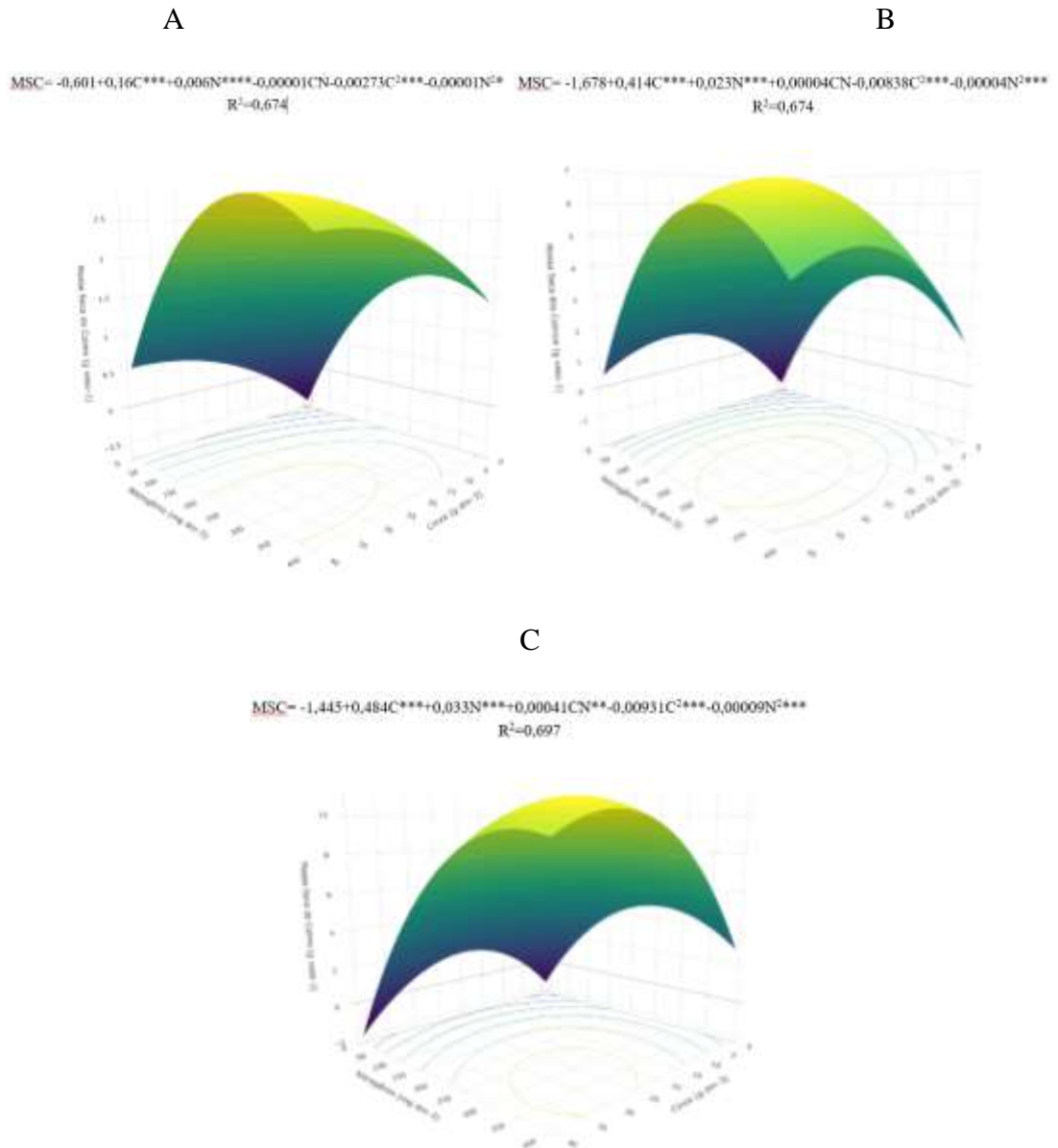


Figura 19. Massa seca de colmos do capim marandu, submetidos a doses de nitrogênio e cinza de biomassa vegetal, aos 30 (A) 60 (B) e 90 (C) dias após emergência, em cultivo em latossolo vermelho.

4.4.5. Volume de raízes

Para volume de raiz do capim marandu, não houve valores significativos para as interações nas doses de cinza de biomassa vegetal e doses de nitrogênio, com efeito significativo isolado para ambos os fatores, com ajustes aos modelos quadráticos de regressão (Figura 25).

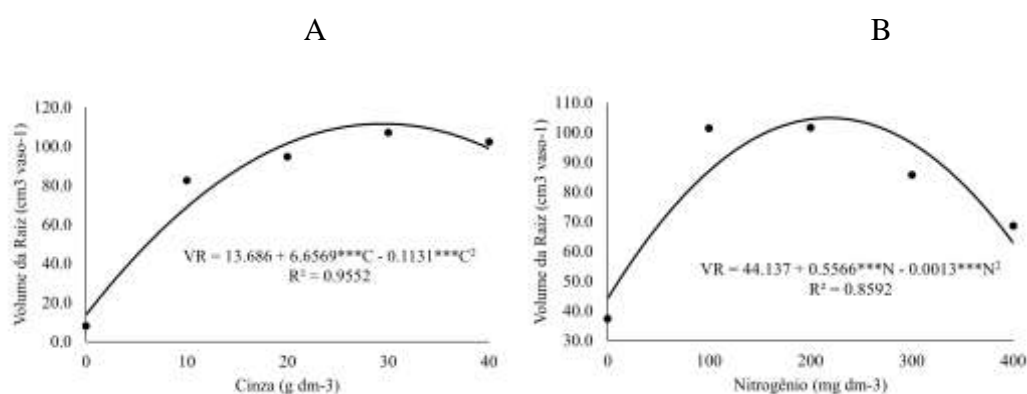


Figura 20. Volume de raiz do capim marandu, submetidos a doses de cinza de biomassa vegetal (A) e nitrogênio (B), aos 90 dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.

O maior volume de raiz foi observado na dose de cinza de biomassa de 29,43 g dm⁻³, com um volume de 111,64 cm³ vaso⁻¹, o que representa um incremento de 87,75% a dose com ausência de cinza de biomassa vegetal (Figura 25 A)

O máximo volume de raiz foi observado na dose de nitrogênio de 214,07 mg dm⁻³ de nitrogênio, com volume na dose de 103,717 cm³ vaso⁻¹ de nitrogênio, o que representa um incremento de 57,45% na dose com ausência de nitrogênio (Figura 25 B).

Características que limitam o desenvolvimento da raiz como alta acidez, deficiência em Ca, Mg e P e alta saturação por alumínio são inerentes aos solos do Cerrado brasileiro e diminuem a capacidade de absorção de água e nutrientes pela planta afetando, assim, a produção de biomassa da gramínea (SILVA *et al.*, 2018).

Esse estudo corroborou o de Bonfim-Silva *et al.* (2019), em que volume de raiz apresentou efeito isolado entre os tratamentos ajustando-se ao modelo quadrático de regressão, no que foi verificado pelos autores desse estudo, a dose de cinza vegetal de 26,63 g dm⁻³ foi a que proporcionou o maior volume de raiz (141,49 cm³).

4.4.6. Massa fresca de raízes

No referente a massa fresca de raiz, foi observada interação entre os fatores, usando o modelo de superfície de resposta, a qual registrou o valor máximo na dose de cinza de biomassa vegetal de 27,79 g dm⁻³, e para nitrogênio, a dose em que se obteve o máximo valor foi de 226,39 mg dm⁻³ de nitrogênio (Figura 26, Figura 27 e Figura 28) com relação de 123:1 na interação de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, com 123 kg ha⁻¹ de cinza de biomassa vegetal para 1 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

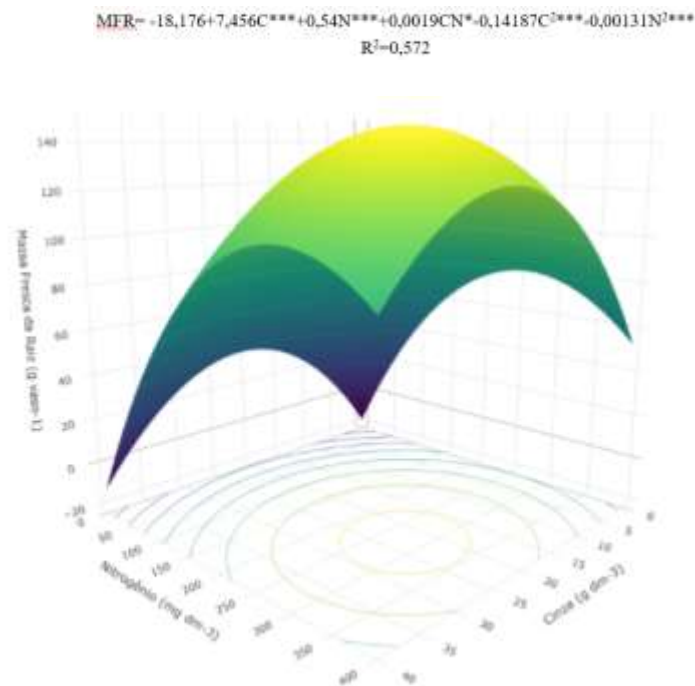


Figura 21. Massa fresca de raiz do capim marandu, submetidos a doses de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, aos 90 dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.

O aumento na produção de massa de raízes em braquiária verifica a importância em adubar as forrageiras com cinza vegetal. Dessa maneira, o sistema radicular apresentar-se-á bem desenvolvido e consolidado, refletindo na biomassa do dossel (Bonfim-Silva *et al.*, 2019).



Figura 27. Raízes dentro das doses de Cinza (0, 10, 20, 30, 40 g dm⁻³) dentro das doses de Nitrogênio, 90 dias após a primeira aplicação nas plantas de capim marandu. (A) Tratamento com dose 0 mg dm⁻³ de N. (B) Tratamento com dose 100 mg dm⁻³ de N. (C) Tratamento com dose 200 mg dm⁻³ de N. (D) Tratamento com dose 300 mg dm⁻³ de N. (E) Tratamento com dose 400 mg dm⁻³ de N.

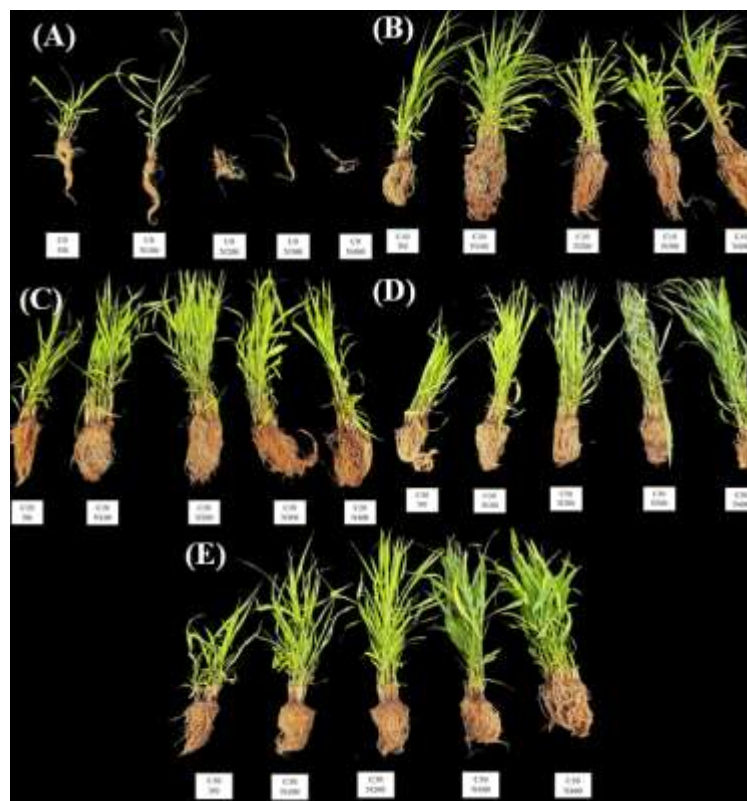


Figura 28. Raízes dentro das doses de Nitrogênio (0, 100, 200, 300, 400 mg dm⁻³) dentro das doses de Cinza de biomassa vegetal, 90 dias após a primeira aplicação nas plantas de capim marandu. (A) Tratamento com dose 0 g

dm⁻³ de N. (B) Tratamento com dose 10 g dm⁻³ de cinza. (C) Tratamento com dose 20 g dm⁻³ de cinza. (D) Tratamento com dose 30 g dm⁻³ de cinza. (E) Tratamento com dose 40 g dm⁻³ de cinza.

As condições químicas existentes no solo podem causar restrições ao desenvolvimento do sistema radicular da planta forrageira. A redução das raízes implica em diminuição da produção da parte aérea, na absorção de água e nutrientes do solo. Assim, as aplicações de corretivos e fertilizantes podem proporcionar alterações significativas e positivas no comprimento e distribuição das raízes (Carvalho, 1999; De Moraes *et al.*, 2016).

4.4.7. Massa seca de raiz

Para massa seca de raiz do capim marandu, não houve interação significativa para as doses de cinza de biomassa vegetal e nitrogênio, ocorrendo efeito isolado para os dois fatores, com ajuste para modelos quadráticos de regressão (Figura 29 A e B).

A maior produção de raiz foi observada na dose de cinza de biomassa vegetal de 27,58 g dm⁻³, e a maior massa seca nesta dose é de 25,67 g vaso⁻¹, com um incremento de 94,57% na dose com ausência de cinza de biomassa vegetal (Figura 29 A).

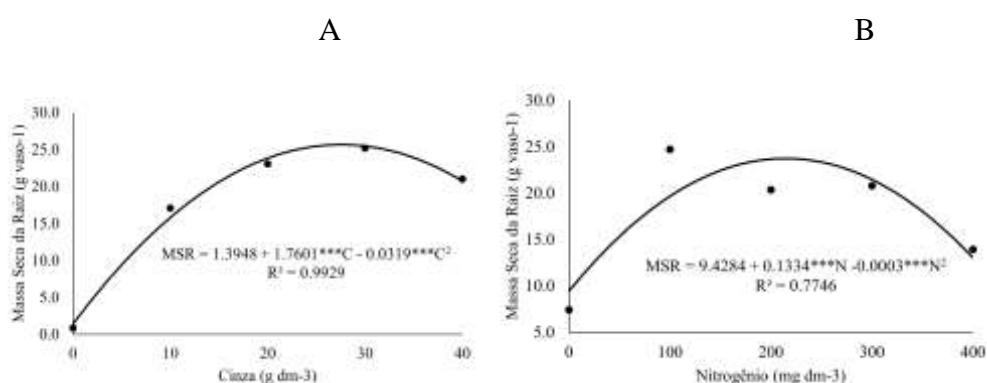


Figura 22. Massa seca de raiz do capim marandu, submetidos a doses de cinza de biomassa vegetal (A) e nitrogênio (B), aos 90 dias após emergência, no cultivo em latossolo vermelho.

No entanto, para o nitrogênio, a maior massa seca obtida foi de 24,25 g vaso⁻¹, na dose de 222,33 mg dm⁻³ de nitrogênio, o que representa incremento (61,12%) na dose com ausência de aplicação de nitrogênio.

Bonfim-Silva *et al.* (2013) em seus estudos com cinza vegetal na produção de capim marandu, a dose de cinza vegetal que propiciou a máxima massa seca de raízes foi de 3,29 g dm⁻³. Na ausência de adubação com cinza vegetal houve produção de raízes de 5% da máxima massa seca observada.

De Moraes *et al.* (2016) teve sua maior produção de massa seca nas doses de 262 mg dm⁻³, juntamente com estudo de Soares Filho (1991) avaliou o efeito da adubação e gradagem

sobre o desenvolvimento das raízes de uma pastagem de *Urochloa decumbens* estabelecida há 10 anos e verificou que a adubação nitrogenada e com micronutrientes promoveu aumento na produção de raízes.

Os resultados de Carvalho (1999) evidenciaram o efeito benéfico da adubação no desenvolvimento do sistema radicular de capim marandu, em função do aumento da disponibilidade de nutrientes. Bonfim-Silva *et al.* (2017), observaram um incremento de 94% na massa seca de raízes da cultivar BRS Piatã (*U. brizantha*) submetida a doses de cinza de madeira.

5. CONCLUSÕES

Há interação entre as doses de cinza de biomassa vegetal e as doses de nitrogênio no cultivo de capim marandu.

A acidez do solo é corrigida com a aplicação da cinza de biomassa vegetal como enquanto há diminuição do pH solo com a aplicação de doses nitrogênio na adubação.

Os melhores resultados das adubações no cultivo de capim marandu para a cinza de biomassa vegetal estão na faixa de 26 g dm^{-3} a 34 g dm^{-3} e para as doses de nitrogênio na faixa de 204 mg dm^{-3} a 346 mg dm^{-3} .

As relações entre as doses de cinza de biomassa vegetal e doses de nitrogênio são significativas para a maioria das variáveis no cultivo do capim-maradu apontando uma faixa nas relações entre Cinza:Nitrogênio variando de 79:1 a 130:1.

6. REFERÊNCIAS

- ABREU, J.B.R. et al. Avaliação da produção de matéria seca, relação folha/colmo e composição químico-bromatológica de *Brachiaria humidicola* (Rendle), submetida à diferentes idades de rebrota e doses de nitrogênio e potássio. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, Seropédica, v.24, n.1, p. 135-141, jan.- jun., 2004.
- BATISTA, K.; MONTEIRO, F. A. Respostas morfológicas e produtivas do capim-marandu adubado com doses combinadas de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1281-1288, 2006.
- BELLOTE, A.F.J. et al. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.37, p.99-106, 1998.
- BEZERRA, M. D. L. et al. Wood ash on the fertilization of marandu grass in Brazilian cerrado soils. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.17, p.1504-1510, 2016.
- BHERING, M. et al. Características agronômicas do capim-elefante roxo em diferentes idades de corte na Depressão Cuiabana. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 3, p. 384-396, 2008.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Correction of acidity of a brazilian cerrado oxisol with limestone and wood ash on the initial growth of cowpea. **Agricultural Sciences**. 2019.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Cinza vegetal: Características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1214-1224, 2013.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Potential of wood ash as a fertilizer in BRS Piatã grass cultivation in the brazilian Cerrado soil. **American Journal of Plant Sciences**, v.8, p.2333-2344, 2017c.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SANTOS, C. C.; SILVA, T. J. A. Wood ash fertilization on structural characteristics and chlorophyll index of tropical forage grasses. **American Journal of Plant Sciences**, v.6, 1341-1348, jun. 2015a.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Características produtivas e eficiência no uso de água em Rúcula adubada com cinza vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, p. 178-186, 2011.
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Cinza vegetal e disponibilidade hídrica na produção de capim-Paiaguás. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, p. e2424, 2019a
- BONFIM-SILVA, E. M. et al. Cinza vegetal: Características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1215-1225, 2013.
- BONFIM-SILVA, E. M.; MONTEIRO, F.A.; SILVA, T. J. A. Nitrogênio e enxofre na produção e no uso de água pelo capim-braquiária em degradação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 309-317, 2007.
- CABRAL, C. E. A. et al. Resposta da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu a fertilizantes nitrogenados associados ao fosfato natural reativo. **Comunicata Scientiae**, v. 7, n. 1, p. 66-72, 2016.

- CABRAL, C. E. A. et al. Defoliation height and potassium fertilization of Mulato II grass. **Semina: Ciências Agrárias**, v.38, n.4, suplemento 1, p.2719-2726, 2017.
- CARDOSO, J. M. S. et al. Fontes e doses de nitrogênio na produtividade do capim-Marandu. 2015.
- CARVALHO, C. A. B.; SILVA, S. C.; SBRISSIA, A. F. Demografia do perfilhamento e taxas de acúmulo de matéria seca em capim 'Tifton 85' sob pastejo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 591-600, 2000.
- CARVALHO, D.; DAMASCENO, J.C. Aspectos fisiológicos do capim-elefante cv. Roxo-de-Botucatu. I. Taxa de aparecimento expansão e senescência de folhas. In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, 33. 1996 Fortaleza. Anais. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.1-3. 1996.
- CARVALHO, M.C.S. **Práticas de recuperação de uma pastagem degradada e seus impactos em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba. 1999.
- CHAUGOOL, J. et al. Nutritional evaluation and in vitro ruminal fermentation of Sorghum cultivars. **Journal of Food Agriculture and Environment**, v.11, n.2, p.345-351, 2013.
- CODOGNOTO, L. C. et al. Production and morphological characteristics of marandu grass under inoculation and levels of nitrogen fertilization. **SEMINA-CIENCIAS AGRARIAS**, v. 44, n. 5, p. 1927-1940, 2023.
- CORRÊA, D. C. et al. Ammonia Volatilization, Forage Accumulation, and Nutritive Value of Marandu Palisade Grass Pastures in Different N Sources and Level. **Atmosphere**, v.12, n.9, p.1179, 2021.
- CORSI, M. et al. Bases para o estabelecimento do manejo de pastagem de Braquiária. In: **Simpósio Sobre Manejo da Pastagem**, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. p.249-66.
- COSTA, N. L. et al. Resposta de pastagens de *Megathyrus maximus* cv. Zuri à frequência de desfolhação. **Research, Society and Development**, 8 (8),18. 2019.
- DA SILVA, N. L. et al. Produção do Capim Marandu submetido a manejo de adubação fosfatada sob a tecnologia de bioativação do solo (2015).
- DA SILVA, T. C. et al. Morfogênese e estrutura de *Brachiaria decumbens* em resposta ao corte e adubação nitrogenada. **Archivos de zootecnia**, v. 61, n. 233, p. 91-102, 2012.
- DE MORAIS, L.P. et al. Nitrogênio e potássio no cultivo do capim-piatã em solo do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 984-989, 2016.
- DEMEYER, A.; VOUNDI NKANA, J.C.; VERLOO, M.G., Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutriente uptake: an overview. **Bioresource Technology**, v.77, p.287-295, 2001.
- DIJKSTRA, D. D. et al. Recuperação de pastagem de braquiária marandu com aplicação de nitrogênio e enxofre. **Observatório De La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 4, p. e3994-

e3994, 2024.

EUCLIDES, V. P. B.; CARDOSO, E. G.; MACEDO, M. C. M. et al. Consumo voluntário de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.2200-2208, 2000 (supl. 2).

FOCHESATTO, E. et al. Interception of solar radiation by the productive structures of spring canola hybrids. **Ciência Rural**, v.46, n.10, p.1790-1796, 2016.

GUARÇONI, A.; DEGLI ESPOSTI, M. D.; CAETANO, L. C. S. Doses de nitrogênio e potássio para fertirrigação do morangueiro e sua influência em características químicas do solo. **Scientia Plena**, v. 19, n. 8, 2023.

HEINRICHS, R. et al. *Brachiaria sp.* yield and nutrient contents after nitrogen and sulphur fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 37, n. 4, p. 997-1003, 2013.

JOHAN P. D. et al. Transformação de fósforo em solos após co-aplicação de carvão vegetal e cinzas de madeira. **Agronomia** . 11(10):2010. 2021.

KEBROM, T. H.; MULLET, J. E. Photosynthetic leaf area modulates tiller bud outgrowth in sorghum. **Plant, Cell and Environment**, v.38, p.1471-1478, 2015.

LONGO, R.M.; MELO, W.J. Hidrólise da uréia em latossolos: efeito da concentração de uréia, temperatura, pH, armazenamento e tempo de incubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 651-657, 2005.

LOPES, A.S. Manual internacional de fertilidade do solo. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1998. p. 51-76.

LOPES, F. F. M. et al. Uso de fertilizante de cinza vegetal e lodo de esgoto para a produção de algodoeiro 'cv. Rubi'. Parte 1. Variáveis de crescimento. V Congresso brasileiro de algodão. 2005. 6p.

MARTINS, M. V. R.; PEREIRA, C. E. ; KIKUTI, H.. Adubação nitrogenada na implantação de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em Humaitá-AM. **Scientia Plena**, v. 18, n. 7, 2022.

MARTUSCELLO, J. A. et al. Adubação nitrogenada em capim-massai: morfogênese e produção. **Ciência Animal Brasileira**, v. 16, p. 1-13, 2015.

McMAHON, C.; KRONAUER, R. E. Tree structures: deducing the principle of mechanical design. **Journal of Theoretical Biology**, v.59, p.443-466, 1976.

MENDES, G. S.; PIZA, M.L.S.T. Avaliação do uso de adubos químico e orgânico na produtividade do Capim Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu). **Revista AgroFIB**, v. 4, n. 1, 2024.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers. 2001. 849p.

MONTEIRO, F. A. et al. Cultivo de *Brachiaria brizantha* stapf. Cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia agrícola**, Piracicaba, v. 52, n.1, p. 135-

141, 1995.

MULLET, J. et al. Energy sorghum: a genetic model for the design of C4 grass bioenergy crops. **Journal of Experimental Botany**, v.65, p.3479-3489, 2014.

NASTARO, B. **Parâmetros morfogênicos, nutricionais e produtivos do capim-piatã suprido com combinações de doses de nitrogênio e enxofre**. Dissertação de mestrado. Esalq: Piracicaba, 2012.

NIKLAS, K. J. **Plant allometry: the scaling process**. Chicago: University of Chicago Press, 1994.

NUNES, S.G. et al. *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Campo Grande-MS: EMPRABA, CNPGC, 1985. 31p. (Documento, 21).

OLIVEIRA, L. E. V. Fontes nitrogenadas e intensidades de corte em capim-marandu. 2016.

OLIVEIRA, W.C.M. et al. Soil Organic Matter and Microbial Biomass Under Cultivation of *Urochloa Brizantha* Fertilized with Wood Ash in the Cerrado of Mato Grosso. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 14, p. 2090-2102, 2024.

OSAKI, F. M.R. DAROLT. 1991. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba, **Revista Setor Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 11, n. 1, p. 197-205, 1991.

PEREIRA, L. S. et al. Manejo de plantas daninhas e rendimento de feijão-caupi utilizando plantas de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23044-23059, 2020.

PIETRAMALE, R.T.M. et al. Produção de capim Marandu em condições deficitárias de nutrientes em diferentes épocas de corte. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. e170943058-e170943058, 2020.

PINC, M. M. et al. Crescimento e nutrição da *Urochloa brizantha* cv. Marandu inoculada com bactéria promotora de crescimento vegetal e sob diferentes doses de nitrogênio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e7309108925-e7309108925, 2020.

PINHO, Ana Gabriella Pessoa et al. Eficiência da ureia de liberação controlada e convencional nas características produtivas do capim *Urochloa brizantha* cv. Paiaguás Efficiency of controlled-release and conventional urea on the productive characteristics of *Urochloa brizantha* cv. Paiaguas grass. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 700-712, 2022.

RAMÍREZ, D. A. et al. Produção de batata sob plantio direto com cobertura de palha de arroz como uma tecnologia promissora para diversificar sistemas baseados em arroz na Costa Sudoeste de Bangladesh. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 19, p. 101603, 2025.

REIS, R.V. et al. Potencial de cinza vegetal nas características produtivas de amendoim e mitigação do déficit hídrico. **Revista Caatinga**, v. 38, pág. e12362-e12362, 2025.

SALES, E. C. J. et al. Produção de biomassa de capim-marandu submetido a doses de nitrogênio em dois períodos do ano. **Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 486-499, 2013.

SANTOS, C. C. Cinza vegetal como corretivo e fertilizante para os capins Marandu e Xaraés. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2012.

SBRISSIA, A. F. et al. Tillering dynamics in palisadegrass swards continuously stocked by cattle. **Plant Ecology**, v.206, p.349-359, 2010.

SILVA, A. J. et al. Replacement of liming and NPK fertilization with turkey litter in degraded areas grown with *Urochloa decumbens*. **Semina: Ciências Agrárias**, v.39, n.2, p.467-476, 2018.

SILVA, A.V. et al. Nitrogen improves biomass production and chlorophyll synthesis in basil plants grown under salt stress. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 11, n. 2, e8482, Apr./June,2024.

SILVA, A.; SIMIONI, G.; LUCENA, A. Efeito da adubação orgânica no crescimento do capim *Brachiaria brizantha* cv. marandu em Parecis/Rondônia. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, 2013.

SOARES FILHO, C. V. **Variação sazonal de parâmetros bioquímico-fisiológicos em *Brachiaria decumbens* estabelecida em pastagens**. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1991.

SOUZA SILVA FILHO, A. et al. Wood ash as a liming material for production of paiaguás grass pasture in the Brazilian Cerrado. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 55, n. 9, p. 1289-1301, 2024.

SYMANOWICZ, B. et al Possibilities for the use of wood ashes in agriculture. **Journal of Ecological Engineering**, v.19, n.3, p.191-196, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TEUBER, O.; SAMARAPPULI, D.; BERTI, M. Nitrogen and sulfur fertilization in Kale and Swede for grazing. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 619, 2020.

VÄÄTÄINEN, K. et al. The costs and profitability of using granulated wood ash as a forest fertilizer in drained peatland forests. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 8, p. 3335–3341, 2011.