

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**FONTE ALTERNATIVA DE NITROGÊNIO PARA A
CANA-DE-AÇÚCAR: IMPACTOS NA QUALIDADE
TECNOLÓGICA, NA PRODUTIVIDADE DE COLMOS
E EFEITO RESIDUAL**

Autor: Antônio Carlos de Oliveira Junior
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos

Rio Verde - GO
Março – 2024

INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**FONTE ALTERNATIVA DE NITROGÊNIO PARA A
CANA-DE-AÇÚCAR: IMPACTOS NA QUALIDADE
TECNOLÓGICA, NA PRODUTIVIDADE DE COLMOS
E EFEITO RESIDUAL**

Autor: Antônio Carlos de Oliveira Junior
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos

Tese apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração fisiologia, bioquímica e pós-colheita de produtos vegetais.

Rio Verde - GO
Março - 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Jf Junior, Antônio Carlos de Oliveira
FONTE ALTERNATIVA DE NITROGÊNIO PARA A CANA-DE-
AÇÚCAR: IMPACTOS NA QUALIDADE TECNOLÓGICA, NA
PRODUTIVIDADE DE COLMOS E EFEITO RESIDUAL / Antônio
Carlos de Oliveira Junior; orientador Leonardo
Nazário Silva dos Santos. -- Rio Verde, 2024.
84 p.

Tese (Doutorado em Ciências Agrárias
- Agronomia) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio
Verde, 2024.

1. Cama de frango. 2. Efeito residual. 3.
Fertilizantes. 4. Nitrogenados. 5. Sustentabilidade
Agrícola. I. Nazário Silva dos Santos, Leonardo ,
orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

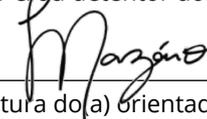
O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local _____ Data ____/____/____


Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:


Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 42/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA Nº/130

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

Aos dezenove dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e quatro, às 08:30h, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: sob a presidência do primeiro, Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos (Presidente); Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno); Prof. Dr. José Milton Alves (Avaliador externo); Prof. Dr. Edson Cabral da Silva (Avaliador interno); Prof. Dr. Fernando Rodrigues Cabral Filho (Avaliador interno) em sessão pública realizada no IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Tese, em nível de Doutorado, de autoria de **ANTÔNIO CARLOS DE OLIVEIRA JUNIOR**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos (presidente), que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Tese para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia, e procedidas às correções recomendadas, a Tese foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOCTOR EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS-AGRONOMIA**, na área de concentração Produção Vegetal Sustentável no Cerrado, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGCA-AGRO da versão definitiva da Tese, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese de Doutorado, e para constar, eu, Vanilda Maria Campos, secretária do PPGCA-AGRO, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos (Presidente)

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Avaliador interno)

Prof. Dr. José Milton Alves (Avaliador externo)

Prof. Dr. Edson Cabral da Silva (Avaliador interno)

Prof. Dr. Fernando Rodrigues Cabral Filho (Avaliador interno)

Documento assinado eletronicamente por:

- Jose Milton Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 24/04/2024 15:59:17.
- Leonardo Nazário Silva dos Santos, Leonardo Nazário Silva dos Santos - Professor Avaliador de Banca - 10. 508. 381/0001-78 (1), em 23/04/2024 15:51:10.
- Edson Cabral da Silva, 2015102344060001 - Discente, em 20/04/2024 16:45:06.
- Fernando Rodrigues Cabral Filho, 2024102344060001 - Discente, em 19/04/2024 13:28:40.
- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - CCM DAGRO-R, em 19/04/2024 13:20:47.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/04/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 594327

Código de Autenticação: 37b7b64fcb



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO – CAMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA**

**FONTE ALTERNATIVA DE NITROGÊNIO PARA A CANA-DE-AÇÚCAR:
IMPACTOS NA QUALIDADE TECNOLÓGICA, NA PRODUTIVIDADE DE
COLMOS E EFEITO RESIDUAL**

Autor: Antônio Carlos de Oliveira Junior
Orientador: Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos

TITULAÇÃO: Doutor em Ciências Agrárias – Agronomia – Área de concentração fisiologia, bioquímica e pós colheita de produtos vegetais.

APROVADO em 19 de março de 2024.

Prof. Dr. José Milton Alves
Avaliador externo
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Edson Cabral da Silva
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira
Avaliador interno
IF Goiano – Campus Rio Verde

Dr. Fernando Rodrigues Cabral Filho
Avaliador externo
Pulveriza Soluções Agrícolas

Prof. Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos
(Orientador) Presidente da banca
IF Goiano – Campus Rio Verde

BIOGRAFIA DO AUTOR

Antônio Carlos de Oliveira Junior, nascido em Quirinópolis - GO, filho de Sirene Maria Soares e Antônio Carlos de Oliveira (falecido), Casado com Luana Martins Schaly Oliveira e Pai de Lara Oliveira Schaly e Elis Oliveira Schaly. Residente em Acreúna - GO. Graduado em Agronomia pela Universidade de Rio Verde, Mestre em Bioenergia e Grãos pelo Instituto Federal Goiano, Doutorando em Ciências Agrárias pelo Instituto Federal Goiano. Experiência profissional: Desde 2007 no setor sucroenergético e atualmente Gerente de Planejamento Agrícola na Denusa - Destilaria Nova União S/A.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS	iv
RESUMO	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUÇÃO GERAL	5
1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 6	
2. OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo Geral	7
2.2 Objetivos Específicos	7
3. CAPÍTULO I	8
RESUMO	8
ABSTRACT	9
3.1 INTRODUÇÃO	10
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	11
3.2.1 Área de estudo e material experimental.....	11
3.2.2 Tratamentos de fertilização.....	13
3.2.3 Análises biométricas, nutricionais e produtividade	13
3.2.4 Delineamento experimental e análises estatísticas	14
3.3 RESULTADOS	14
3.4 DISCUSSÃO	21
A aplicação de diferentes doses de NM ou NO afeta o crescimento de plantas de cana-de-açúcar	21
NM e NO aumentam o teor foliar de N plantas de cana-de-açúcar de forma semelhante, sendo que a falta de um, é compensada pelo efeito do outro	22

As plantas de cana-de-açúcar submetidas a adubação com NM ou NO cresceram mais e acumulam mais P e K na safra 1 (2019/2020), mas as tratadas com NO foram mais produtivas na safra 2 (2020/2021) 23

3.5 CONCLUSÃO	24
3.6 AGRADECIMENTOS.....	24
3.7 REFERÊNCIAS	25
4. CAPÍTULO II.....	32
RESUMO	32
ABSTRACT	33
4.1 INTRODUÇÃO	34
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	36
4.2.1 Área de Estudo e Material Experimental.....	36
4.2.2 Delineamento experimental	38
4.2.3 Análises tecnológicas.....	38
4.2.4 Análises de teor de nutrientes do colmo	39
4.2.5 Produtividade com base na colheita.....	40
4.2.6 Projeto Experimental e Análise Estatística.....	40
4.3 RESULTADOS.....	41
4.4 DISCUSSÃO.....	46
4.5 CONCLUSÃO	50
4.6 AGRADECIMENTOS.....	50
4.7 REFERÊNCIAS	50
5. CAPÍTULO III.....	57
RESUMO	57
ABSTRACT	58
5.1 INTRODUÇÃO	59
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	60
5.3 RESULTADOS.....	62
5.4 DISCUSSÃO.....	65

5.5 CONCLUSÃO	67
5.6 AGRADECIMENTOS.....	68
5.7 REFERÊNCIAS	68
6. CONCLUSÃO GERAL.....	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Características químicas e físicas observadas para o solo, na profundidade de 0,0–0,2 m, cultivado com cana-de-açúcar em área experimental na Usina DENUSA, na Destilaria Nova União, zona rural do município de Jandaia – GO, Brasil ...**Erro! Indicador não definido.**

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo foram examinadas na área experimental da Usina Denusa, Destilaria Nova União, situada na zona rural do município de Jandaia, GO, Brasil, onde a cana-de-açúcar foi cultivada. As análises foram conduzidas na profundidade de 0.0 a 0.2 m. 37

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo I - Efeito de Fontes de Nitrogênio Mineral e Orgânico no Desenvolvimento Vegetativo, Nutrição e Rendimento da Cana-de-Açúcar

- Figura 1. Altura das plantas de cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (A), altura das planta da cana-de-açúcar em função do desdobramento de safra dentro de cada nível de N orgânico (B), altura das plantas em função desdobramento de N orgânico dentro de cada nível de safra (C). 16
- Figura 2. Número de perfilhos da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (A) e doses de N mineral (B), número de perfilhos em função da safra (C) e diâmetro do caule da cana-de-açúcar em função da safra (D). 17
- Figura 3. Teor foliar de N da cana-de-açúcar em função da interação de diferentes doses de N mineral (NM) x diferentes doses de N orgânico (NO) (A), em função da interação doses de NO x doses de NM (B), em função do desdobramento das safras dentro de cada dose de NM (C), em função desdobramento das doses de NM dentro de cada safra (D), teor foliar de P da cana-de-açúcar em função da interação de diferentes doses de NM x diferentes doses de NO, com as doses de NM desdobradas em cada nível de NO (E) e as doses de NO desdobradas em cada nível de NM (F). 19
- Figura 4. Teor foliar de P da cana-de-açúcar em função da safra (A), teor foliar de K em função desdobramento das doses de NM dentro de cada safra (B), teor foliar de K em função do desdobramento das safras dentro de cada dose de NM (C), teor foliar de K da cana-de-açúcar em função da safra (D), produtividade da cana-de-açúcar em função do desdobramento das safras dentro de cada dose de NO (E) e em função do desdobramento das doses de NO dentro de cada safra (F). 20

Capítulo 2 - Efeitos da Aplicação de Fontes de Nitrogênio Mineral e Orgânico no Desempenho Industrial e Rendimento de Açúcar da Cana-de-Açúcar

- Figura 1. Área experimental utilizada para o cultivo de plantas de cana-de-açúcar, no sul de Goiás, Brasil (A), Distribuição dos dados climáticos de profundidade de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura ao longo de 2021, 2020 e 2019 (B), Fontes e doses de fertilizantes nitrogenados utilizados nos tratamentos de adubação do solo (C), Condução do experimento, incluindo as etapas de plantio, colheita, amostragem e avaliação das plantas (D)... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2. Teor de N do colmo da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (A), teor de N do colmo da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (B), teor de N do colmo da cana-de-açúcar em função da safra (C), teor de P do colmo da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (D), teor de P do colmo em função da safra (E), teor de K do colmo entre as safras dentro de cada dose (F) e dentro de cada safra (G). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade). **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3. Brix%caldo da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (A), Brix%caldo da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (B), pol%cana da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (C), pol%cana da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (D), pol%cana da cana-de-açúcar em função da safra (E). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade). **Erro! Indicador não definido.**

Figura 4. Pureza da cana-de-açúcar em função da interação doses de N mineral (NM) x doses de N orgânico (NO) (A), pureza da cana-de-açúcar em função da interação NO x NM (B), pureza da cana-de-açúcar em função da safra (C). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade).**Erro! Indicador não definido.**

Figura 5. Teor de ATR em função da interação doses de N mineral (NM) x doses de N orgânico (NO) (A), teor de ATR em função da interação NO x NM (B), teor de ATR em função da safra (C), TAH em função da interação doses de N mineral (NM) x doses de N orgânico (NO) (D), TAH em função da interação NO x NM (E), TAH em função da safra (F). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade). **Erro! Indicador não definido.**

Capítulo III - Efeito Residual de Fontes Orgânicas e Mineraiis no Crescimento, Qualidade e Produtividade da Cana-de-Açúcar

Figura 1. Altura das plantas de cana-de-açúcar na segunda soca, em decorrência do efeito residual proveniente das distintas doses de nitrogênio orgânico, aplicado na forma de cama de frango. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 2. Brix (A), Pol (B), Pureza (C), Fibra (D), AR (E) e ATR (F) das plantas de cana-de-açúcar na segunda soca, em decorrência do efeito residual proveniente das distintas doses de nitrogênio orgânico, aplicado na forma de cama de frango. **Erro! Indicador não definido.**

Figura 3. Produtividade (TCH) das plantas de cana-de-açúcar na segunda soca, em decorrência do efeito residual proveniente das distintas doses de nitrogênio orgânico, aplicado na forma de cama de frango. **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

<i>Al</i>	Alumínio	mmol _c dm ⁻³
AP	Altura de Planta	M
B	Boro	mg dm ⁻³
Ca	Cálcio	mmol _c dm ⁻³
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio	
cm	Centímetros	cm
CTC	Capacidade de Troca Catiônica	
CV	Coefficiente de Variação	%
Fe	Ferro	mg dm ⁻³
FV	Fonte de Variação	
GL	Grau de Liberdade	
ha	hectare	
H+Al	Acidez Potencial	
K	Potássio	
m	metro	
Mg	Magnésio	mmol _c dm ⁻³
mm	Milímetro	
Mn	Manganês	mg dm ⁻³
MO	Matéria Orgânica	g dm ⁻³
N	Nitrogênio	
P	Fósforo	mg dm ⁻³
pH	Potencial Hidrogeniônico	
QM	Quadrado Médio	
S	Enxofre	mmol _c dm ⁻³
V	Saturação por Bases	%
Zn	Zinco	mg dm ⁻³

RESUMO

OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, março de 2024. **Fonte alternativa de nitrogênio para a Cana-de-Açúcar: Impactos na qualidade tecnológica, na produtividade de colmos e efeito residual.**

. Orientador: Leonardo Nazário dos Santos.

A produtividade da cultura de cana-de-açúcar é diretamente impactada pela disponibilidade de nitrogênio (N). No entanto, devido à lixiviação do nitrato e à volatilização da amônia associadas à adubação nitrogenada mineral, surge a necessidade de buscar alternativas mais acessíveis e alinhadas com práticas agrícolas sustentáveis. A utilização da cama de frango, um resíduo orgânico, desponta como potencial fonte de fornecimento de nitrogênio (NO) para culturas em larga escala. A hipótese testada nesse contexto foi a eficácia comparativa entre o uso da cama de frango como fonte de NO e a aplicação de nitrogênio mineral (NM), especificamente o nitrato de amônio. Experimentos conduzidos na área de cultivo da Usina Denusa – Destilaria Nova União S/A, na região Centro-Oeste do Brasil, adotaram um esquema de parcelas subdivididas 5 x 5 x 2. Os tratamentos consistiram em cinco doses de NM (0; 40; 80; 120 e 160 kg ha⁻¹) e cinco doses de NO (0; 2; 4; 6 e 8 T ha⁻¹), avaliados em duas safras (2019/2020 – cana-planta) e (2020/2021 – cana-soca). No capítulo I, observa-se que a aplicação de distintas quantidades de NM ou NO influenciou a estatura e o número de perfilhos das plantas de cana-de-açúcar. Nesse sentido, foi validada a suposição de que a aplicação de NO nesta cultura, proveniente da cama de frango, é tão eficaz quanto a aplicação de NM para estimular o crescimento das plantas. Além disso, constatou-se que NM e NO promovem o aumento nos teores foliares de N, P e K. A ausência de NM é compensada pela presença de N na forma orgânica, enquanto a falta de NO é contrabalançada pela disponibilidade de NM. Para além do estímulo ao crescimento, a aplicação de NO, até a dose de 4,8 T ha⁻¹, resultou em acréscimo na produtividade da cana-de-açúcar. Este estudo também destacou a qualidade da rebrota, especialmente para o cultivar IACSP95-5094, garantindo maior perfilhamento e diâmetros de colmo, resultando em produtividades cada vez mais expressivas na safra de cana-soca. No capítulo II foi abordado as variáveis avaliadas foram teores de N, P e K, qualidade tecnológica e produção de açúcar nos colmos. A hipótese de que a aplicação de cama de frango para adubação do solo pode substituir o uso de nitrato de amônio para fornecer N, P e K às plantas de cana-de-açúcar foi confirmada. No entanto, o aumento nas doses de NO e NM pode afetar negativamente o °Brix, o teor aparente de sacarose (POL) e a pureza do caldo de cana-de-açúcar; a interação entre altas doses de NO e NM compromete a recuperação total de açúcar. Em relação à qualidade tecnológica, a aplicação de doses de NO usando cama de frango pode ser combinada com doses de NM para alcançar altos rendimentos de açúcar; uma aplicação equilibrada de N (4,2 T ha⁻¹ de NO combinado com 120 kg ha⁻¹ de NM) promoveu aumentos na produção de açúcar, atingindo a maior média de 22.845 T ha⁻¹. Embora doses excessivas de N, seja orgânico ou mineral, possam comprometer a qualidade do caldo de cana-de-açúcar ao reduzir o teor de sacarose, compreender essas interações é essencial para o manejo adequado da adubação, visando otimizar não apenas a produção, mas, também a qualidade da cana-de-açúcar. No capítulo III, avaliou-se o efeito residual das doses de NO e NM na segunda soca (safra 2021/2022), a avaliação contemplou variáveis como altura das plantas, Brix, Pol (percentual de sacarose em massa), pureza, fibra, açúcares redutores (AR), açúcares totais recuperáveis (ATR) e produtividade. Os resultados indicaram que o nitrogênio mineral

não gerou diferenças significativas, atribuídas às perdas por volatilização de nitrato de amônio no solo. No entanto, o nitrogênio orgânico teve influência em diversas variáveis. A altura das plantas respondeu linearmente ao aumento das doses de nitrogênio orgânico, enquanto Brix e Pol apresentaram respostas quadráticas complexas. Observou-se a redução na qualidade da sacarose com doses mais elevadas de nitrogênio orgânico, indicando comprometimento na qualidade da cana-de-açúcar. Apesar do aumento na produtividade com doses mais elevadas de nitrogênio orgânico, os resultados ressaltam que o excesso desse elemento reduz a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: cama de frango, efeito residual, fertilizantes nitrogenados, sustentabilidade agrícola, nutrientes.

OLIVEIRA JUNIOR, A. C. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Mar 2024. **Alternative source of nitrogen for Sugarcane: Impacts on technological quality, stem productivity and residual effect.** Advisor: Leonardo Nazário dos Santos.

ABSTRACT

The productivity of sugarcane cultivation is directly impacted by the availability of nitrogen (N). However, due to the nitrate leaching and ammonia the volatilization associated with mineral nitrogen fertilization, there is a need to seek more affordable alternatives aligned with sustainable agricultural practices. The use of chicken litter, an organic residue, emerges as a potential source of nitrogen (NO) supply for large-scale crops. The hypothesis tested in this context was the comparative efficacy between using chicken litter as a NO and applying mineral nitrogen (NM), specifically ammonium nitrate. Experiments conducted in the cultivation area of Usina Denusa – Destilaria Nova União S/A, in the Midwest region of Brazil, adopted a 5 x 5 x 2 split-split-plot design. The treatments consisted of five NM doses (0; 40; 80; 120 and 160 kg ha⁻¹) and five NO doses (0; 2; 4; 6 and 8 T ha⁻¹), evaluated over two harvests (2019/2020 – plant cane) and (2020/2021 – ratoon cane). In Chapter I, it was observed that the application of different amounts of NM or NO influenced the height and number of tillers of sugarcane plants. In this sense, the assumption that the NO application in this crop, derived from chicken litter, is as effective as the NM application in promoting plant growth was validated. Furthermore, it was found that NM and NO promote an increase in foliar levels of N, P, and K. The NM absence is compensated by the N presence in organic form, while the NO lack is counterbalanced by the NM availability. In addition to stimulating growth, the NO application, up to a dose of 4.8 T ha⁻¹, resulted in an increase in sugarcane productivity. This study also highlighted the regrowth quality, especially for the IACSP95-5094 cultivar, ensuring greater tillering and stem diameters, resulting in increasingly expressive yields in the ratoon cane harvest. In Chapter II, the evaluated variables included N, P, and K levels, technological quality, and sugar production in the stalks. The hypothesis that the chicken litter application for soil fertilization can replace the use of ammonium nitrate to provide N, P, and K to sugarcane plants was confirmed. However, the increase in doses of NO and NM may negatively affect °Brix, apparent sucrose content (POL), and purity of sugarcane juice, the interaction between high doses of NO and NM compromises total sugar recovery. Regarding technological quality, the NO doses application using chicken litter can be combined with NM doses to achieve high sugar yields; a balanced N application (4.2 T ha⁻¹ of NO combined with 120 kg ha⁻¹ of NM) promoted increases in sugar production, reaching the highest average of 22.845 T ha⁻¹. Although excessive doses of N, whether organic or mineral, may compromise the quality of sugarcane juice by reducing sucrose content, understanding these interactions is essential for proper fertilizer management, aiming to optimize not only production but also the quality of sugarcane. In Chapter III, the residual effect of NO and NM doses in the second ratoon crop (2021/2022 harvest) was evaluated, including variables such as plant height, Brix, Pol (percentage of sucrose by mass), purity, fiber, reducing sugars (AR), total recoverable sugars (ATR), and productivity. The results indicated that mineral nitrogen did not generate significant differences, attributed to losses through ammonium nitrate volatilization in the soil. However, organic nitrogen influenced several variables. Plant height responded linearly to increasing doses of organic nitrogen, while Brix and Pol showed complex quadratic responses. A reduction in sucrose quality was observed with higher doses of organic nitrogen, indicating a compromise in sugarcane quality. Despite the increase in productivity with higher doses of organic nitrogen, the results emphasize that an excess of this element reduces the technological quality of sugarcane.

KEYWORDS: chicken litter, residual effect, nitrogen fertilizers, agricultural sustainability, nutrients.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cultura da Cana-de-Açúcar (*Saccharum spp.*) é de relevância global, sendo cultivada em regiões em que o desenvolvimento é favorecido por condições climáticas propícias (Moore *et al.*, 2013). Destaca-se como alternativa expressiva no setor de biocombustíveis, desempenhando papel significativo na produção de etanol, açúcar e energia elétrica por meio da cogeração (Kahn *et al.*, 2019). O Brasil, um dos principais produtores, a produção estimada na safra 2022/23 alcançou 610.131,4 mil toneladas, e o Estado de Goiás destacou-se como o quarto maior produtor nacional, atingindo 74.241 mil toneladas (Conab, 2023).

Essa cultura, conhecida pelo seu potencial produtivo elevado, exige atenção cuidadosa com as necessidades nutricionais, sendo crucial assegurar a disponibilidade adequada de nutrientes, com ênfase especial no nitrogênio (Yang *et al.*, 2019). Esse nutriente é influenciado significativamente pelas condições ambientais, pelo vigor das raízes da cana-planta em comparação com as soqueiras, pela fixação biológica de nitrogênio atmosférico, pela disponibilidade de Matéria Orgânica do Solo (MOS), pelo preparo do solo e pela incorporação dos restos culturais (Zeng *et al.*, 2020).

O nitrogênio, de importância crucial para a cultura, pode apresentar desafios tanto na deficiência quanto no excesso, especialmente quando se considera as características qualitativas da matéria-prima, como o caldo, responsável pela produção de álcool (Cunha *et al.*, 2020). Além das fontes convencionais de nitrogênio, destaca-se uma alternativa valiosa nos resíduos orgânicos provenientes da avicultura, seja para a produção de carne ou ovos (Oliveira Junior *et al.*, 2023). Esse fenômeno reflete o atual processo industrial de produção de proteína animal, com aves que, antes criadas soltas no quintal para a subsistência familiar, agora são criadas de forma industrial para atender à crescente demanda por alimentos, gerando volumes substanciais de resíduos (Ramos *et al.*, 2017). Nesse contexto, torna-se imperativo conduzir estudos que compreendam a dinâmica desses resíduos no solo/planta, visando estabelecer recomendações precisas tanto para o N-fertilizante quanto para a cama de frango.

A utilização combinada de fertilizantes orgânicos e inorgânicos representa uma perspectiva promissora para o manejo sustentável da nutrição de plantas, alinhada a visão de sustentabilidade, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental (Islam *et al.*, 2017). Essa prática não apenas preserva a saúde do solo e otimiza o uso de fertilizantes

minerais, mas oferece destinação apropriada para os subprodutos da produção animal, integrando-os como insumos agrícolas (Islam *et al.*, 2017).

1.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ajila, C.M., Brar, S.K., Verma, M., Tyagi, R.D., Godbout, S. and Valéro, J.R., 2012. Bio-DOBERMANN, Achim et al. Responsible plant nutrition: a new paradigm to support food system transformation. **Global Food Security**, v. 33, p. 100636, 2022.

MOORE, P.H. et al. Sugarcane: The crop, the plant, and domestication. **In Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**, v. 01, n 1, p. 1-17, 2013.

DIAS, Marina OS; LIMA, Danilo R.; MARIANO, Adriano P. Techno-economic analysis of cogeneration of heat and electricity and second-generation ethanol production from sugarcane. In: **Advances in Sugarcane Biorefinery**. Elsevier, 2018. p. 197-212.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTCIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, DF, v. 10, n. 4 abril 2023.

YANG, Yingying et al. The physiological and agronomic responses to nitrogen dosage in different sugarcane varieties. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 406, 2019.

ZENG, X.P. et al. Long-term effects of different nitrogen levels on growth, yield, and quality in sugarcane. **Agronomy**, v. 10, p. 353, 2020.

CUNHA, F.N. et al. Productive potential of nitrogen and zinc fertigated sugarcane. **Agronomy**, v.10, p.1096, 2020.

OLIVEIRA JUNIOR, A.C. et al. Effect of mineral and organic nitrogen sources on vegetative development, nutrition, and yield of sugarcane. **Agronomy**, v.13, p.1627, 2023.

RAMOS, L.A. et al. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African jornal of agricultural research**, v.17, n.01, p.20-27, 2017.

IQBAL, Anas et al. Organic manure coupled with inorganic fertilizer: An approach for the sustainable production of rice by improving soil properties and nitrogen use efficiency. **Agronomy**, v. 9, n. 10, p. 651, 2019.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem como objetivo principal avaliar o impacto das fontes de nitrogênio mineral e orgânico no desenvolvimento vegetativo, nutrição, rendimento, qualidade tecnológica e efeito residual na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.).

2.2 Objetivos Específicos

Investigar o efeito das doses de nitrogênio mineral (nitrato de amônio) e orgânico (cama de frango) nas safras de cana-planta (2019/2020) e cana-soca (2020/2021) quanto ao crescimento, número de perfilhos e produtividade das plantas;

Analisar o impacto das quantidades de nitrogênio mineral (nitrato de amônio) e orgânico (cama de frango) nas colheitas de cana-planta (2019/2020) e cana-soca (2020/2021) na excelência tecnológica da cana-de-açúcar, grau Brix, pol, pureza aparente, ATR e rendimento de açúcar;

Avaliar os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) em resposta às diferentes doses de nitrogênio mineral e orgânico, destacando a compensação entre as formas de nitrogênio;

Investigar os efeitos residuais das doses de nitrogênio mineral e orgânico na segunda soca (safra 2021/2022), abrangendo variáveis como altura das plantas, Brix, Pol, pureza, fibra, açúcares redutores, açúcares totais recuperáveis e produtividade;

Compreender as interações entre doses elevadas de nitrogênio mineral e orgânico, avaliando os impactos sobre o teor de sólidos solúveis no caldo (°Brix), teor aparente de sacarose (POL) e a pureza do caldo de cana-de-açúcar.

3. CAPÍTULO I

Efeito de Fontes de Nitrogênio Mineral e Orgânico no Desenvolvimento Vegetativo, Nutrição e Rendimento da Cana-de-Açúcar

(Normas de acordo com a revista Agronomy-MDPI base)

RESUMO

A produtividade da cana-de-açúcar é diretamente influenciada pela disponibilidade de N, contudo, a adubação nitrogenada mineral dada a lixiviação do nitrato e volatilização da amônia. A busca por fontes alternativas de N, mais baratas e condizentes com práticas agrícolas sustentáveis, tem sido estimulada. Como a cama de frango constitui um resíduo orgânico com potencial para fornecimento de N para grandes culturas, testou-se a hipótese de que utilização desta cama, como fonte de nitrogênio orgânico (NO), poderia ser tão eficiente quanto a aplicação de nitrogênio mineral (NM) (nitrato de amônio) na promoção do crescimento, nutrição e produtividade de plantas de cana-de-açúcar cultivadas nas safras de cana-planta e cana-soca. Para isso, experimentos foram conduzidos na área de cultivo da Usina Denusa – Destilaria Nova União S/A, localizada na região Centro-Oeste do Brasil. Os testes foram montados em esquema de parcelas subdivididas 5 x 5 x 2, com os tratamentos constituindo de cinco doses de NM (0; 40; 80; 120 e 160 kg ha⁻¹) e cinco doses de NO (0; 2; 4; 6 e 8 T ha⁻¹), avaliadas em duas safras (2019/2020 – cana-planta) e (2020/2021 – cana-soca). A aplicação de diferentes doses de NM ou NO afeta a altura e o número de perfilhos de plantas de cana-de-açúcar, assim, foi comprovada a hipótese de que a aplicação de NO nesta cultura, fornecido através da cama de frango, é tão eficiente quanto a aplicação de NM em promover o crescimento das plantas. Verificou-se também que NM e NO aumentam o teor foliar de N, P e K, sendo que a falta de NM é compensada pela presença de N na forma orgânica, e a falta de NO compensada pela disponibilidade de NM. Para além do crescimento, a aplicação de NO até a dose de até 4,8 T ha⁻¹ aumentou a produtividade da

cana-de-açúcar. Este trabalho também evidenciou a qualidade da rebrota observada para a cultivar IACSP95-5094, que garante maior perfilhamento e maiores diâmetros de colmo, que culminam em produtividades sempre mais expressivas na safra de cana-soca.

PALAVRAS-CHAVE: adubação nitrogenada; cama de frango; nitrato de amônio; nitrogênio orgânico; agricultura sustentável.

ABSTRACT

The sugarcane productivity is directly influenced by nitrogen (N) availability; however, mineral nitrogen fertilization is hindered by nitrate leaching and ammonia volatilization. Therefore, the search for alternative, cost-effective N sources in line with sustainable agricultural practices has been encouraged. Since chicken litter represents an organic waste with the potential to supply N for large crops, it was tested the hypothesis that using this litter as an organic nitrogen (NO) source could be as efficient as applying mineral nitrogen (NM) (ammonium nitrate) in promoting the growth, nutrition, and yield of sugarcane plants in both plant cane and ratoon cane crops. To investigate this experiments were carried out in the cultivation area of Denusa – Destilaria Nova União S/A, located in the Midwest region of Brazil. The tests were arranged in a split-split-plot design of 5 x 5 x 2, with treatments consisting of five NM doses (0; 40; 80; 120; and 160 kg ha⁻¹) and five NO doses (0; 2; 4; 6; and 8 T ha⁻¹), evaluated in two crops (2019/2020 – plant cane) and (2020/2021 – ratoon cane). The application of different doses of NM or NO affects the height and number of tillers of sugarcane plants, confirming the hypothesis that NO application in this crop, supplied through chicken litter, is as efficient as NM in promoting plant growth. It was also found that NM and NO increase the leaf content of N, P, and K, with the lack of NM being compensated by the presence of N in organic form, and the lack of NO compensated by the availability of NM. Beyond growth, the NO application up to a dose of 4.8 T ha⁻¹ increased sugarcane productivity. This study also highlighted the quality of the regrowth observed for the IACSP95-5094 cultivar, which ensures greater tillering and larger stem diameters, leading to consistently higher yields in the ratoon cane crop.

KEYWORDS: nitrogen fertilization; chicken litter; ammonium nitrate; organic

nitrogen; sustainable agriculture.

3.1 INTRODUÇÃO

Vários fatores afetam a produtividade da cana-de-açúcar, sejam as práticas de manejo, solo, clima, cultivares e adubação nitrogenada (BHATT *et al.*, 2020; XU *et al.*, 2021). O uso de nitrogênio (N) nesta cultura deve ser recorrente, já que este nutriente é altamente móvel no solo e facilmente lixiviado. Quando lixiviado, e, portanto, disponível em baixas concentrações no solo, as plantas de cana têm seu crescimento restringido e a produtividade é afetada (BORDONAL *et al.*, 2018; FERREIRA GOMES *et al.*, 2021; KUMAR *et al.*, 2020).

O N mineral (NM) (nitrato de amônio [NH_4NO_3]), é hoje a principal fonte de N utilizada nas grandes culturas (ROBINSON *et al.*, 2011). Contudo, trabalhos mostram que apenas 30 a 50% de todo o nitrato de amônio aplicado é utilizado pelas plantas (XU *et al.*, 2020). Essa baixa eficiência se deve as perdas, que ocorrem por vias que incluem lixiviação de nitrato, volatilização de amônia e emissões gasosas através da conversão microbiana de amônio e nitrato (DOUGHERTY *et al.*, 2016; FAGODIYA *et al.*, 2020). Associado a estas perdas, o alto custo atualmente imposto aos fertilizantes nitrogenados (CORCIOLI *et al.*, 2022; DA SILVA MEDINA *et al.*, 2022; RANDIVE *et al.*, 2021), a necessidade de implementar práticas mais sustentáveis na agricultura têm constituído verdadeiros estímulos à busca por alternativas orgânicas, que diminuam o custo de produção e aumentem o fornecimento de N às culturas.

No Brasil, por exemplo, o nitrato de amônio constitui uma matéria-prima importada, de custo elevado. Contudo, algumas regiões brasileiras, como a Centro-Oeste, são grandes produtoras de aves e conseqüentemente, produzem grandes quantidades de dejetos avícolas conhecidos como cama de frango ou cama de aves (DA SILVA MENDES *et al.*, 2021; LUCENA *et al.*, 2021). Esta cama é um resíduo rico em nitrogênio orgânico, que quando mineralizado pela microbiota do solo, disponibiliza N para as plantas (BRIEDIS *et al.*, 2011). Assim, este resíduo é sugerido como excelente alternativa para o suprimento de N, pois contribui com as estratégias de manejo nitrogenado sustentáveis, economicamente viáveis e ambientalmente corretas, visadas pela produção agrícola atual. Com base nisso, testou-se a hipótese de que utilização desta cama, como fonte de nitrogênio orgânico (NO), poderia ser tão eficiente quanto a aplicação de NM na

promoção do crescimento, nutrição e produtividade de plantas de cana-de-açúcar cultivadas nas safras de cana-planta e cana-soca.

De forma geral, este método é considerado uma forma inovadora e promissora de obter N para as culturas de interesse comercial (BRYANT *et al.*, 2022; TAO *et al.*, 2022). Além do N, a aplicação de resíduos orgânicos fornece outros macronutrientes e micronutrientes (BHATNAGAR *et al.*, 2022; IZYDORCZYK *et al.*, 2022; MBATHA *et al.*, 2021). Estes resíduos incrementam a matéria orgânica do solo, aumentando a retenção de água e influenciando na estrutura e estabilidade do solo (ADEYEMO *et al.*, 2019; DE MELO *et al.*, 2019; FENG *et al.*, 2019; MAU *et al.*, 2020). Por outro lado, a cama de frango, por ser uma mistura de penas, fezes, urina, restos de ração e palha de arroz tem um status de resíduo com grande potencial poluidor, sua reciclagem para utilização como fertilizante orgânico implica em destinação ambientalmente correta e ecologicamente sustentável (ANTONIOUS *et al.*, 2019; GERBER & GOULD, 2020).

Diante da hipótese de que a utilização de resíduos orgânicos de aves pode constituir uma alternativa eficiente para suprimento de N à cultura de cana-de-açúcar, diminuindo o uso de fertilizantes minerais e contribuindo para a sustentabilidade ambiental, o objetivo foi avaliar o efeito de diferentes doses de NM e NO sobre as características biométricas, nutricionais e a produtividade da cana-de-açúcar, colaborando para melhorar o manejo da adubação nitrogenada nesta cultura.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Área de estudo e material experimental

O experimento foi instalado em campo experimental da Usina Denusa – Destilaria Nova União S/A localizado na Fazenda São Pedro, BR-060, Km 274, Zona rural, Jandaia, GO. O município está localizado na região sudoeste do Estado, nas coordenadas geográficas 17°15'52,6" S de latitude, 50°08'23,2" W de longitude e 519 m de altitude. O clima da região é Tropical Úmido (Aw) segundo Köppen (Alvares *et al.*, 2013), caracterizado com inverno seco e verão chuvoso, com temperatura média anual de 24,1°C e precipitação pluvial média de 1403 mm ano⁻¹. O experimento foi conduzido em duas safras consecutivas (cana-planta em 2019/2020 e cana-soca em 2020/2021), com precipitações de 1.556 e 1.324 mm na primeira e segunda safra, respectivamente. Essas

medições foram obtidas a partir de um pluviômetro (iMetos® – modelo IMT300-USW, Digital Agro, Zagreb, Croácia) instalado no campo experimental.

Amostras do solo foram obtidas na profundidade de 0,0-0,20 m, para análise química e física (Tabela 01). Estas análises classificaram o solo como Latossolo Vermelho Eutrófico Típico (Santos *et al.*, 2018), de textura argilosa, sendo o relevo de topografia plana.

Tabela 01. Características químicas e físicas observadas para o solo, na profundidade de 0,0–0,2 m, cultivado com cana-de-açúcar em área experimental na Usina DENUSA, na Destilaria Nova União, zona rural do município de Jandaia – GO, Brasil.

Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	P (Resina)		CaCl ₂	
-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----		pH	
4,14	0,87	5,01	0,0	2,32	0,17	1,60		5,25	
Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC ^a	SB ^b	V% ^c	m% ^d	
----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----						cmol _c dm ⁻³	Sat. Bases	Sat. Al	
12,64	5,95	3,60	0,81	0,51	7,50	5,18	68,23	0,0	
Argila			M.O. ^e	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
(g kg ⁻¹)			g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----					
57,39			27,10	4,75	24,35	5,12	53,95	11,89	2,85

^aCapacidade de troca catiônica (pH 7,0); ^bsoma de bases; ^csaturação de bases; ^dsaturação de alumínio; ^eMatéria orgânica.

Os testes foram desenvolvidos utilizando o genótipo IACSP95-5094 de cana-de-açúcar. Este genótipo de ciclo médio, foi escolhido pelo alto desempenho nas condições edafoclimáticas da região. Antes da instalação do experimento, o solo foi preparado com subsolagem, aração e gradagem a 0,40 m de profundidade. O potássio foi distribuído como cloreto de potássio (KCl) a cada safra, na dose de 80 kg ha⁻¹ de K₂O conforme Raji (1997), no plantio da cana-de-açúcar, em caso de cana planta e 13 meses após o primeiro corte, em caso de cana-soca.

Cada parcela experimental foi composta por 150 m², com dez linhas de cana-de-açúcar, com espaçamento de 1,5 m entre si e 10 m de comprimento. Entre cada parcela, foi instalado um carreador de 2 m. A variedade foi propagada de forma vegetativa e o plantio feito no dia 11 de junho de 2019 em sulcos de 0,25 m de profundidade. A irrigação

foi realizada de acordo com as práticas já adotadas pela Usina Denusa, sendo aplicada apenas uma lâmina total de 60 mm, após a emergência das plantas. A irrigação foi conduzida pelo método de aspersão, tipo autopropelido.

As análises biométricas, nutricionais e de produtividade foram conduzidas na fase de maturação, sendo realizadas nas seis linhas centrais de cada parcela, desconsiderando duas linhas da esquerda e duas da direita, totalizando 90 m² por parcela (área útil).

3.2.2 Tratamentos de fertilização

Os tratamentos de fertilização consistiram na disponibilização de N por meio de uma fonte orgânica de N (NO) e uma fonte mineral (NM). Foram consideradas cinco doses de NO: 0; 2; 4; 6 e 8 T ha⁻¹ equivalentes a 0; 50,8; 101,6; 152,4 e 203,2 kg ha⁻¹ de N e cinco doses de NM: 0; 40; 80; 120 e 160 kg ha⁻¹ equivalentes a 0; 12,8; 25,6; 38,4 e 51,2 kg ha⁻¹ de N. A aplicação das doses de N orgânico e de N mineral ocorreu diretamente no sulco, na safra 2019/2020 (cultivo da cana-planta), ou ao lado da linha de cultivo, na safra 2020/2021 (cana-soca). As doses foram aplicadas manualmente e posteriormente incorporados ao solo, com o auxílio de uma pá.

O NO foi fornecido por meio de cama de frango, oriunda de uma granja produtora de frangos do município de Palmeiras de Goiás, GO. Utilizou-se cama obtida de primeiro lote de frangos, curtida e com a seguinte composição (média das aplicações): 2,54% N; 0,74% P; 0,85% K; 67,32% Material Orgânico; 7,58% Ca; 0,91% Mg; 1,52% S; 41,30% C.O; 32,69% Material Mineral; 0,03 g kg⁻¹g B; 0,28 g kg⁻¹g Zn; 2,50 g kg⁻¹g Fe; 0,52 g kg⁻¹g Mn; 0,34 mg kg⁻¹g Cu; 0,52 g kg⁻¹g Mn e 17,36% umidade a 105 °C. Já o NM foi fornecido por meio de grânulos (tamanho de 2 a 4 mm) de nitrato de amônio compostos por 32% de N.

3.2.3 Análises biométricas, nutricionais e produtividade

Em cada safra foram avaliadas a altura das plantas, número de perfilhos, diâmetro de colmo médio, concentração foliar de macro e micronutrientes e produtividade em tonelada de colmos por hectare (TCH). A altura do plantas foi aferida como a distância da superfície do solo até a última região auricular visível da folha +1, usando fita métrica graduada em cm. O número de perfilhos foi determinado em contagem realizada no dia anterior ao corte da parcela. O diâmetro do médio do colmo foi avaliado com o auxílio

de um paquímetro digital graduado em mm na porção base, intermediária e ápice da cana-de-açúcar.

As plantas foram amostradas para análises do teor nutricional foliar, aos seis meses após o plantio, no caso da cana-planta e aos seis meses após a primeira colheita, no caso de cana-soca. As amostras foram construídas utilizando os 20 cm da porção central de 15 folhas +3 aleatórias. As análises laboratoriais foram feitas de acordo com a metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997), sendo determinados os teores dos macronutrientes N, P e K.

A produtividade de cana por hectare (TCH) foi calculada com base na produção da área útil. As plantas foram cortadas rente ao solo com o auxílio de colhedora de esteira rodante John Deere, modelo 3520, transportadas em caminhão transbordo com dispositivo de célula de carga acoplado de uma balança digital. O peso foi observado em kg, como posterior conversão para toneladas por hectare ($T\ ha^{-1}$).

3.2.4 Delineamento experimental e análises estatísticas

O experimento foi delineado em blocos ao acaso (DBC). Para isso, foi montado um esquema de parcelas subdivididas $5 \times 5 \times 2$, com 4 repetições. Os tratamentos foram cinco doses de NO (0; 2; 4; 6 e $8\ T\ ha^{-1}$) e cinco doses de NM (0; 40; 80; 120 e $160\ kg\ ha^{-1}$), avaliadas em duas safras [(safra 1 (2019/2020) e safra 2 (2020/2021)]. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com teste F ao nível de 5% de probabilidade e, nos casos de significância, foi realizada análise de regressão para doses de NO e NM. O efeito da safra, quando significativo, foi comparado pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software SISVAR® (Ferreira 2011).

3.3 RESULTADOS

A aplicação de diferentes doses de NM, e de NO afetou a altura das plantas de cana-de-açúcar. Também foi verificado efeito da safra sobre esta variável, e a interação das doses de NM e NO com a safra (Tabela 02).

Tabela 02. Resumo da análise de variância para altura da planta (ALT), número de perfilhos (NP), diâmetro de caule (DC), teor foliar de N (TFN), teor foliar de P (TFP), teor foliar de K (TFK) e produtividade (PROD) de cana-de-açúcar adubada com diferentes doses de N orgânico (NO) e N mineral (NM) no ciclo de cana-planta e cana-soca.

Fonte de Variação	GL	QM						
		ALT	NP	DC	TFN	TFP	TFK	PROD
BLOCO	3	0,087**	46,826**	7,965*	0,072 ^{ns}	0,025 ^{ns}	0,83 ^{ns}	2430,748**
NM	4	0,028**	2,474*	0,225 ^{ns}	2,925 ^{ns}	0,222*	1,212 ^{ns}	181,309 ^{ns}
Resíduo (a)	12	0,003	0,578	0,64	3,148	0,055	0,603	228,224
NO	4	0,266**	5,993**	0,939 ^{ns}	2,872 ^{ns}	0,136**	0,67 ^{ns}	1525,515**
NM x NO	16	0,007 ^{ns}	1,483 ^{ns}	0,550 ^{ns}	5,914**	0,146**	1,265 ^{ns}	332,138 ^{ns}
Resíduo (b)	12	0,008	0,818	1,09	1,401	0,01	1,441	246,678
SAFRA	1	4,545**	413,569**	11,956**	234,766**	7,132**	629,3**	14809,205**
NM x SAFRA	4	0,015 ^{ns}	2,530 ^{ns}	1,423 ^{ns}	8,376**	0,184 ^{ns}	4,001**	166,117 ^{ns}
NO x SAFRA	4	0,029**	1,364 ^{ns}	0,398 ^{ns}	0,659 ^{ns}	0,082 ^{ns}	1,665 ^{ns}	591,820**
NM x NO x SAFRA	16	0,005 ^{ns}	1,662 ^{ns}	0,600 ^{ns}	2,117 ^{ns}	0,103 ^{ns}	0,475 ^{ns}	177,177 ^{ns}
Resíduo (c)	123	0,011	1,369	0,897	1,325	0,081	0,707	160,481
CV (a)		2.00	5.93	3.06	9.54	8.22	5.24	10.75
CV (a)		3.08	7.05	3.99	6.36	3.50	8.11	11.17
CV (b)		3.75	9.12	3.62	6.19	9.96	5.68	9.01

Doses de N mineral (NM) e N orgânico (NO); safra de colheita (SAFRA). Grau de liberdade (GL), Quadrado médio (QM) e Coeficiente de variação (CV). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A altura das plantas de cana-de-açúcar em função das doses de N mineral adequou-se ao modelo linear com R^2 de 69,42% (Figura 1A). A curva nos mostra acréscimo de 2,27 % na altura de planta provocado pela aplicação da dose de 160 kg ha⁻¹ de NM, em relação à dose de 0 kg ha⁻¹. A análise do desdobramento da safra em cada nível de dose de N orgânico, mostrou que as médias da safra 1 (2019/2020) para as doses 0, 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹ de N orgânico foram de 2,83; 2,98; 3,09; 3,06 e 3,053 m, enquanto para a safra 2 (2020/2021) elas foram de 2,61; 2,69; 2,77; 2,71 e 2,718 m, significando decréscimo de 7,57; 9,69; 10,39; 11,38 e 10,97% da cana-soca, em relação à cana-planta (Figura 1B). A análise do desdobramento das doses de NO em cada nível de safra obteve modelo quadrático para ambas as safras, com R^2 de 96,28% para a safra 1 (2019/2020) e R^2 de 83,08% para a safra 2 (2020/2021) (Figura 1C). Para a safra 1 (2019/2020), a maior altura de planta foi de 3,09 m para a dose de 5,6 T ha⁻¹ de N orgânico, a menor foi de 2,83 m para a dose 0 T ha⁻¹ de N orgânico. Enquanto para a safra 2 (2020/2021), a maior altura foi de 2,75m para a dose de 5,1 T ha⁻¹ de N orgânico, a menor de 2,61m para a dose 0 T ha⁻¹ de N orgânico.

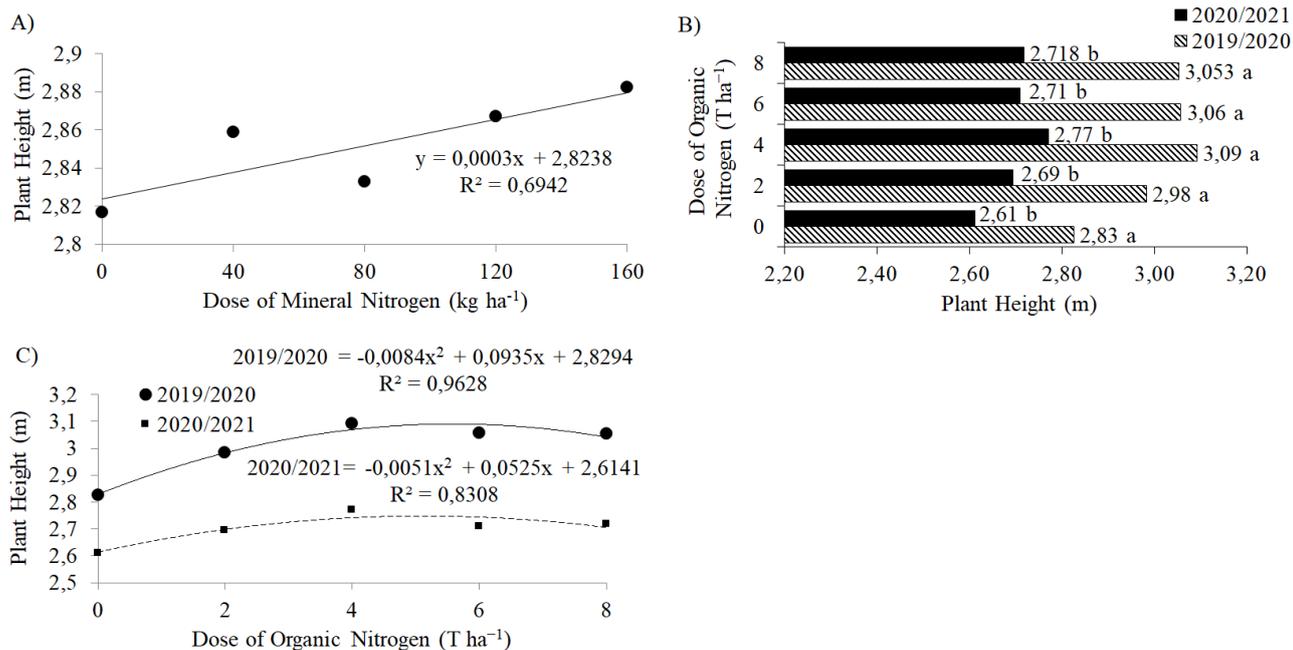


Figura 1. Altura das plantas de cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (A), altura das planta da cana-de-açúcar em função do desdobramento de safra em cada nível de N orgânico (B), altura das plantas em função desdobramento de N orgânico em cada nível de safra (C).

Verificou-se efeito das doses de NM, e de NO sobre o número de perfilhos observados nas diferentes safras de cana-de açúcar. E, também o efeito da safra. O modelo linear ajustou-se ao comportamento do número de perfilhos em resposta às doses de NO, com R^2 de 89,62% (Figura 2A). Comparando a dose de 8 T ha⁻¹ com a dose 0 T ha⁻¹, observa-se diferença no número de perfilhos em relação as doses de NO de 6,45%. Quando observado o efeito das doses de NM, houve ajuste ao modelo quadrático, com R^2 de 91,86%, ou seja, apenas 8,14% das variações do número de perfilhos não são explicadas pelas variações das doses de NM (Figura 2B). O menor número de perfilhos para as doses de N mineral foi de 12,45 observado para a dose 0 kg ha⁻¹, enquanto o maior foi de 13,05 observado na dose de 90 kg ha⁻¹. Para o fator isolado safra, observou-se que na safra 1 (2019/2020) as plantas desenvolveram o menor número de perfilhos, enquanto na safra 2 (2020/2021) desenvolveram o maior número, sendo de 11,39 e 14,26, respectivamente (Figura 2C). O diâmetro do colmo, contudo foi afetado apenas pela safra, sendo que a safra 2 (2020/2021) proporcionou valores maiores (26,39 mm), em relação à safra 1 (25,90 mm) (Figura 2D).

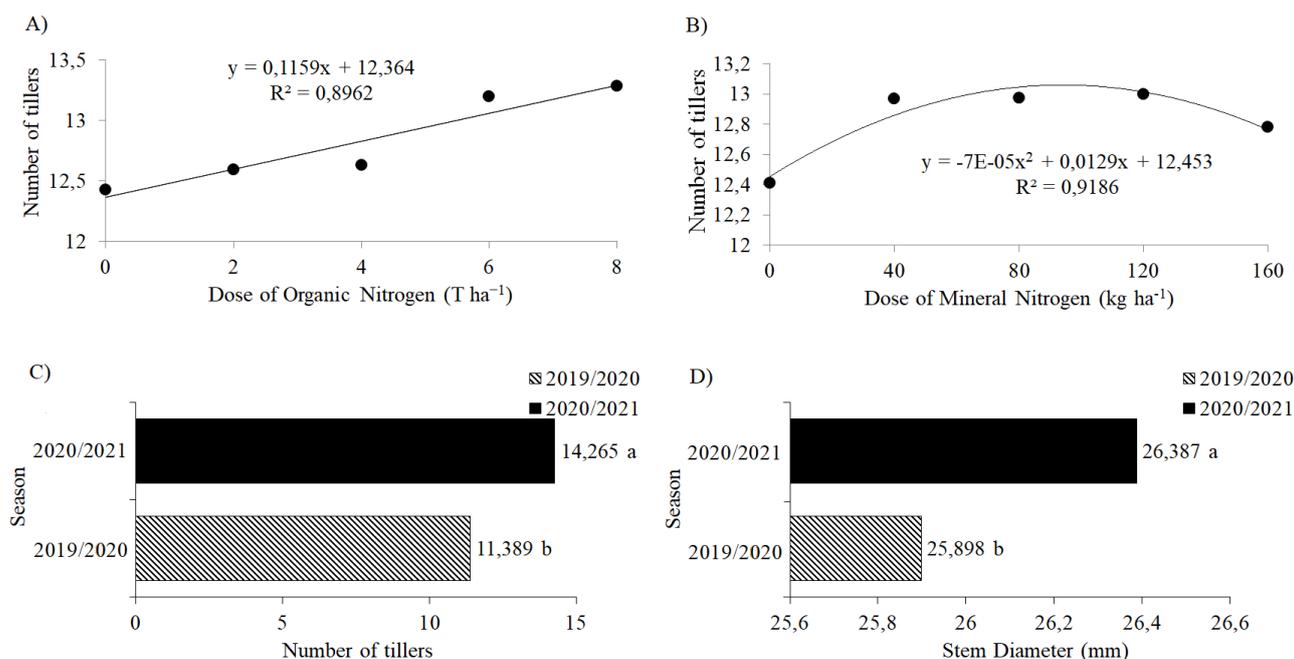


Figura 2. Número de perfilhos da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (A) e doses de N mineral (B), número de perfilhos em função da safra (C) e diâmetro do caule da cana-de-açúcar em função da safra (D).

O teor de N foliar foi afetado pela interação entre as doses de NM x NO, pela safra e pela interação de NO x safra. Na análise do desdobramento das doses de NM em cada nível de doses de NO (Figura 3A), o teor foliar de N das plantas de cana-de-açúcar em função da dose 0 T ha⁻¹ de N orgânico para as doses de N mineral de 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹, adequou-se ao modelo quadrático de distribuição, com R² médio de 83,86%. Conforme a equação de regressão observa-se que o menor teor foliar de N foi encontrado na dose 0 kg ha⁻¹ de NM (16,97 g kg⁻¹g). Já a dose que propiciou o maior teor de N (19,29 g kg⁻¹g) foi a de 108 kg ha⁻¹ de NM. As doses de NO de 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹ não se ajustaram a nenhum modelo e propiciaram médias de 18,47; 18,36, 18,58 e 19,01 g kg⁻¹ de N. A análise do desdobramento de dose de N orgânico em cada nível de dose de N mineral (Figura 3B) mostrou que o teor foliar de N, quando plotado em função das doses de NO de 0, 2, 4, 6 e 8 ha⁻¹ para a dose 0 kg ha⁻¹ de NM, adequou-se ao modelo quadrático com R² de 99,05%. Havendo incrementos de 8,71; 3,50; 4,85 e 3,17% no teor foliar de N para cada aumento de 2 T ha⁻¹ de N orgânico. As doses crescentes de 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹ de N orgânico, não se ajustaram a nenhum modelo e apresentaram médias de 18,24; 18,43; 18,82 e 18,64 g kg⁻¹ para teor de N.

A análise do desdobramento das doses de NM em cada nível de safra mostra que as plantas da safra 2 (2020/2021) acumularam mais N foliar que as plantas da safra 1 (2019/2020) para as doses de N mineral de 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹, com incrementos

de 7,34; 6,31; 16,83; 13,70 e 10,43% respectivamente (Figura 3C). A regressão em função das doses de NM em cada safra apresentou R^2 de 78,6% para a safra 1 (2019/2020), e o maior valor observado foi de 18,23 g kg⁻¹ para a dose 0 kg ha⁻¹ de NM e o menor valor de 16,63 g kg⁻¹ para a dose de 126 kg ha⁻¹ de NM (Figura 3D). A safra 2 (2020/2021) não se adequou ao modelo e teve média de 19,689 g kg⁻¹g de teor de N.

O teor de P foliar foi afetado individualmente pelas doses de NM e NO, pela interação entre as doses de NM x NO e pela safra. Contudo, no desdobramento das doses de NM em cada nível de doses de NO (Figura 3E), efeito foi observado apenas para a dose 6 T ha⁻¹ de N orgânico, sendo adequado modelo quadrático para a distribuição do teor foliar de P, com R^2 de 88,79%. Nesta dose, a maior média de P foliar foi verificada nas plantas de cana-de-açúcar tratadas com 160 kg ha⁻¹ de NM (3,02 g kg⁻¹g). Quando desdobradas as doses de NO nos níveis de NM, observaram efeito em cada nível, com exceção da dose 0 kg ha⁻¹ de NM (Figura 3F). Para a dose 40 kg ha⁻¹ deste mineral, o comportamento da distribuição foi linear ($R^2 = 77,49\%$), com a maior concentração de P foliar, verificada nas plantas cultivadas com 6 T ha⁻¹ de NO (3,06 g kg⁻¹g). Na dose 80 kg ha⁻¹, a maior concentração de P foliar foi obtida nas plantas cultivadas com 0 T ha⁻¹ de NO (3,10 g kg⁻¹g, $R^2 = 85,83\%$). Nas doses seguintes de 120 e 160 kg ha⁻¹ de NM, as maiores médias de P foliar foram observadas respectivamente nas doses de 4 e 6 T ha⁻¹ de NO (2,88, $R^2 = 88,43\%$ e 3,02 g kg⁻¹g, $R^2 = 92,18\%$).

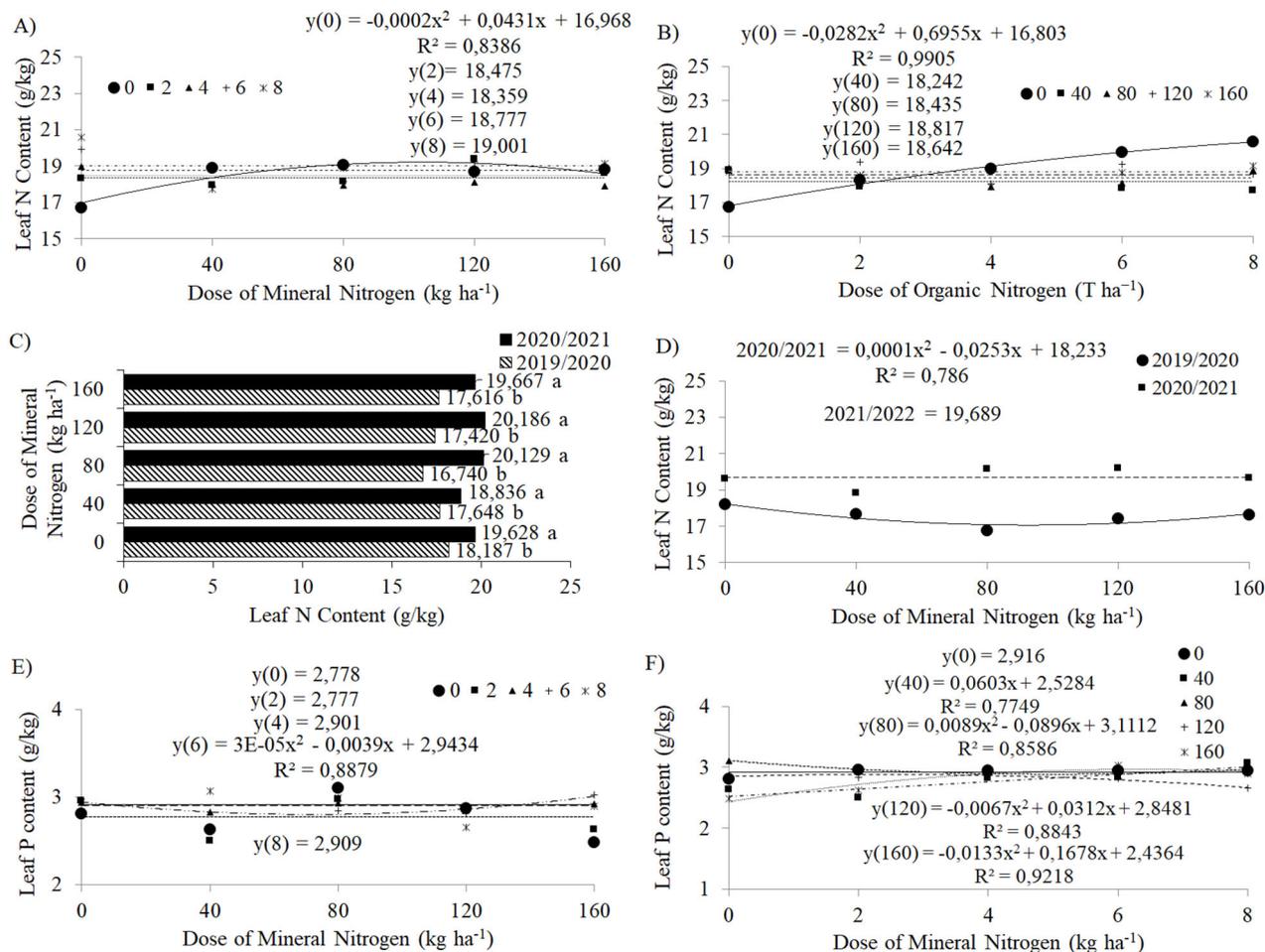


Figura 3. Teor foliar de N da cana-de-açúcar em função da interação de diferentes doses de N mineral (NM) x diferentes doses de N orgânico (NO) (A), em função da interação doses de NO x doses de NM (B), em função do desdobramento das safras em cada dose de NM (C), em função desdobramento das doses de NM em cada safra (D), teor foliar de P da cana-de-açúcar em função da interação de diferentes doses de NM x diferentes doses de NO, com as doses de NM desdobradas em cada nível de NO (E) e as doses de NO desdobradas em cada nível de NM (F).

Quando avaliada a influência do fator isolado safra, sobre o P foliar, observou-se que na safra 1 (2019/2020), as plantas acumularam mais fósforo nas folhas (3,07 g kg⁻¹g) (Figura 4A). O K foliar, contudo, foi afetado pela safra e pela interação doses de NM x safra, sendo que para a safra 2 (2020/2021), foi verificado comportamento quadrático para os dados ($R^2 = 61,78\%$), com as maiores concentrações de K foliar verificadas nas plantas tratadas com 40 kg ha⁻¹ de NM (13,58 g kg⁻¹g) (Figura 4B). Quando desdobrado o fator safra, em cada nível de NM, as maiores médias de K foliar foram sempre verificadas na safra 1 (2019/2020), sendo estas respectivamente 16,43; 16,73; 17,14, 16,74 e 17,24 g kg⁻¹g, para as doses crescentes de NM avaliadas. Desta forma a maior média geral de K foliar, foi observada na safra de cultivo de cana-planta (16.85 g kg⁻¹g) (Figura 4C e D).

A produtividade de colmos da cana-de-açúcar foi significativa para a interação das doses de NO x safra. A análise do desdobramento de safra em de cada nível de doses de NO (Figura 4E), mostra que as maiores médias ocorreram em plantas da safra 2 (2020/2021) para as doses 0, 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹ de NO sendo de 143,87; 155,31; 150,55; 147,29 e 148,88 T ha⁻¹ respectivamente. Já para a safra 1 (2020/2021) foram observados os menores valores médios 116,62; 133,42; 141,25; 137,25 e 131,32 T ha⁻¹ respectivamente, correspondendo ao incremento de 18,94; 14,09; 6,18; 6,82 e 11,80 no cultivo de cana-soca, relação a cana-planta. Para o desdobramento de safra em cada nível de NO, para a safra 1 (2019/2020) ajustou-se ao modelo quadrático, com R² de 97,93%. A equação mostra que a maior produtividade (140,83 T ha⁻¹) foi obtida com a dose de 4,8 T ha⁻¹ de NO, enquanto a menor produtividade (117,14 T ha⁻¹) na dose de 0 T ha⁻¹ da NO (Figura 4F). A produtividade da safra 2 (2020/2021) não se ajustou a nenhum modelo estatístico, tendo média de 149,18 T ha⁻¹.

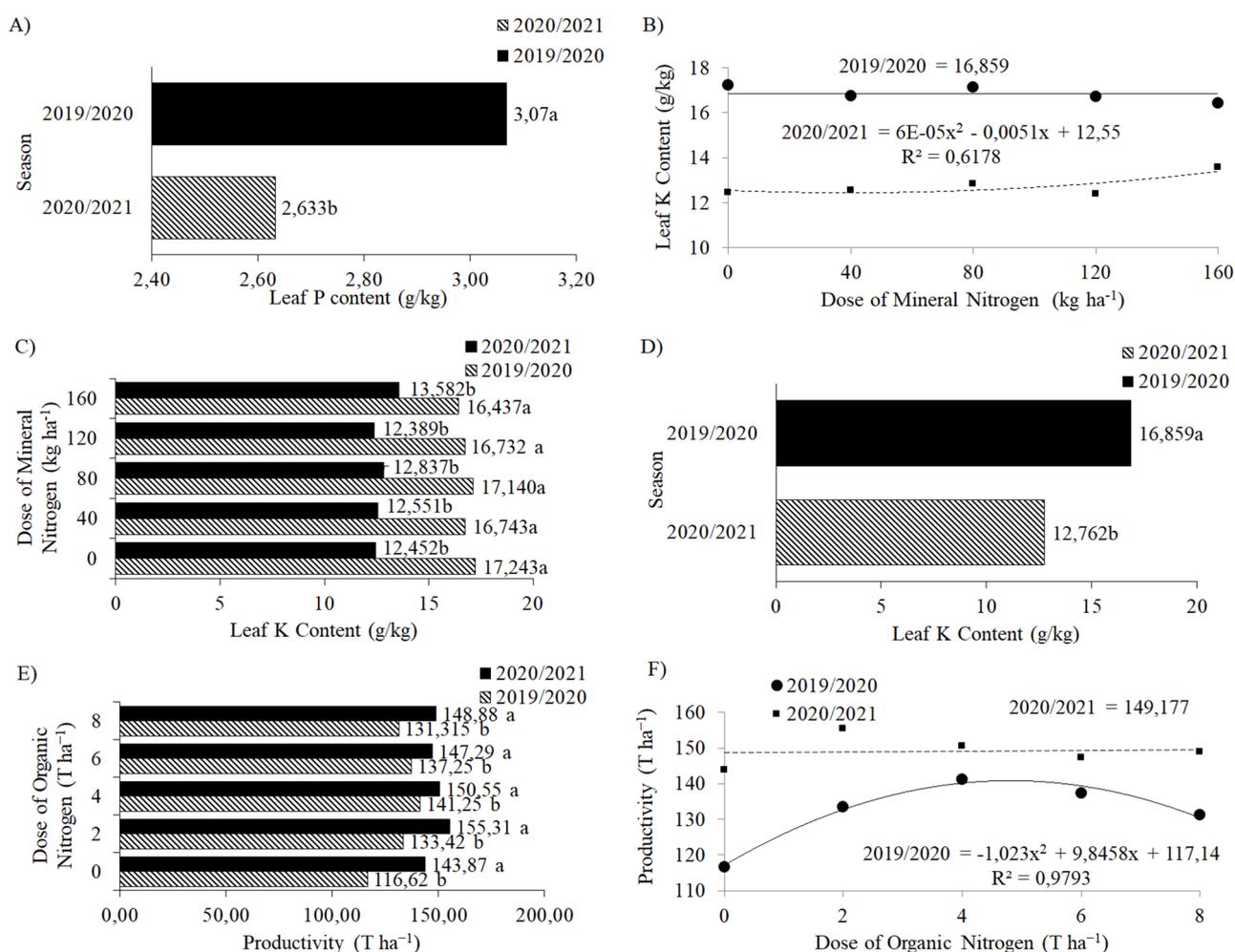


Figura 4. Teor foliar de P da cana-de-açúcar em função da safra (A), teor foliar de K em função desdobramento das doses de NM em cada safra (B), teor foliar de K em função do desdobramento das safras em cada dose de NM (C), teor foliar de K da cana-de-açúcar

em função da safra (D), produtividade da cana-de-açúcar em função do desdobramento das safras em cada dose de NO (E) e em função do desdobramento das doses de NO em cada safra (F).

3.4 DISCUSSÃO

A aplicação de diferentes doses de NM ou NO afeta o crescimento de plantas de cana-de-açúcar

A altura das plantas de cana-de-açúcar aumentou linearmente, com o aumento da dose de NM, independentemente da safra avaliada. Indicando que apesar da volatilidade, as formas amoniacais constituem importantes formas utilizadas por esta cultura, para absorver N (Robinson *et al.*, 2011). A cana-de-açúcar define a produtividade potencial nas fases iniciais de crescimento (BOSCHIERO *et al.*, 2020), determinando plantas vigorosas e por consequência, a produtividade da cana-soca. Isso explica a importância da adubação com NM para o crescimento da cultura. Alternativamente, plantas submetidas a NO atingiram alturas médias de 3.09 m, na dose de 5,6 T ha⁻¹, na safra 1 (2019/2020). Este rendimento se deve diretamente à mineralização dos resíduos orgânicos, que disponibiliza N para o solo e contribui para a melhoria de parâmetros biométricos (BHATNAGAR *et al.*, 2022; ERHUNMWUNSE *et al.*, 2019; FARNI *et al.*, 2022; IZYDORCZYK *et al.*, 2022; MBATHA *et al.*, 2021).

A cana-de-açúcar responde ao tratamento com NO aumentando o número de perfilhos, respondendo de forma semelhante ao NM, até a dose de 90 kg ha⁻¹. As respostas ao N, na produção de perfilhos podem ser explicadas fisiologicamente por mudanças no crescimento das plantas e na produção de biomassa, já que o N é responsável pela formação da clorofila (BASSI *et al.*, 2018), metabolismo de proteínas (LIAN *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2019) e crescimento radicular (BOSCHIERO *et al.*, 2019; QUASSI DE CASTRO *et al.*, 2018). Mas, além do N da matéria orgânica, outros fatores podem afetar a resposta da cana-de-açúcar à adubação nitrogenada como preparo e textura do solo, histórico de uso e manejo do solo, entre outros (BORDONAL *et al.*, 2018; LOURENÇO *et al.*, 2019; OTTO *et al.*, 2019; SANTOS *et al.*, 2019).

Diferentemente do esperado, as doses de NM e NO não afetaram o diâmetro do colmo das plantas de cana-de-açúcar, porém, este fator foi afetado pela safra. Na safra 2 (2020/2021) as plantas apresentaram diâmetro superior às plantas amostradas na safra 1 (2019/2020). Assim, doses baixas e máximas de nitrogênio não têm efeito sobre essa característica de rendimento da cana-de-açúcar.

NM e NO aumentam o teor foliar de N plantas de cana-de-açúcar de forma semelhante, sendo que a falta de um, é compensada pelo efeito do outro

Houve interação entre diferentes doses de NM e NO com o teor foliar de N observado nas plantas, contudo, a melhor dose de NM, para aumentar o N foliar foi de 108 kg ha⁻¹ quando a dose de NO era de 0 T ha⁻¹, resultando em teor de N de 19,29 g kg⁻¹. De forma contrária, a melhor dose de NO para aumentar o N foliar foi de 8 T ha⁻¹, quando a dose de N mineral foi de 0 kg ha⁻¹, ocasionando teor de N de 20,562 g kg⁻¹. Assim, na ausência de NO, as plantas são eficientemente estimuladas a utilizar o N disponibilizado na forma mineral, e na ausência de NM são estimuladas a utilizar o N disponibilizado na forma orgânica. Isso acontece porque rotas específicas de metabolização estão estimuladas na presença das diferentes fontes de N. O nitrato de amônio, ao ser aplicado no solo na presença de oxigênio e água, forma oxigênio, nitrato e água, pois a amônia, na maioria dos solos, será transformada da forma amoniacal para a forma nítrica através da ação de bactérias Nitrosomonas e Nitrosococcus, que convertem amônia (NH₃) em nitrito (NO₂⁻), e as Nitrobacter convertem nitrito (NO₂⁻) em nitrato (NO₃⁻) (Gee *et al.*, 1990; Ma *et al.*, 2014; Fumasoli *et al.*, 2017). Estas bactérias constituem peças importantes para o metabolismo do nitrogênio mineral. Por outro lado, a cama de frango, rica em nitrogênio orgânico, passa por processos de mineralização no solo, que disponibilizam este N para as plantas (BRIEDIS *et al.*, 2011). A mineralização do N orgânico consiste em processo enzimático associado à biomassa microbiana do solo, que transforma este N em formas inorgânicas, disponíveis para as plantas (Schimel & Bennett, 2004; Li *et al.*, 2018). Assim, o estabelecimento de uma microbiota específica na rizosfera, pode influenciar na disponibilização do N, a partir de diferentes fontes.

A adubação com NO e NM também influenciou o acúmulo de P e K nas folhas das plantas de cana-de-açúcar. Isso acontece porque no sistema solo-planta a alta disponibilidade de um nutriente pode impactar na absorção de outro. Altas concentrações de N nos tecidos foliares, fornecidas pela adubação nitrogenada, podem demandar da planta maiores absorções de P e K, para garantir o crescimento total. De fato, foi observado que plantas da safra 1 que acumularam mais P e K, cresceram mais. Contudo, este crescimento e alocação de nutrientes, não refletiram nas maiores produtividades médias.

As plantas de cana-de-açúcar submetidas a adubação com NM ou NO cresceram mais e acumulam mais P e K na safra 1 (2019/2020), mas as tratadas com NO foram mais produtivas na safra 2 (2020/2021)

A aplicação de NM e NO aumentou a altura e o teor de N foliar das plantas, contudo o NO aumentou a produtividade na cultura. Estudos mostram que o NO, afeta a nutrição e as características químicas e físicas do solo (TAUQEER *et al.*, 2022; UDDIN *et al.*, 2022), que consequentemente resultam numa melhora da produtividade da cana-de-açúcar. Quando aplicado junto ao NM, o NO ajuda a reduzir as perdas de N por volatilização de amônia. Por outro lado, a cama de frango ajuda a aumentar a quantidade de matéria orgânica presente no solo, estimulando os processos de N-mineralização, que são realização ao longo do tempo (ASHWORTH *et al.*, 2020; HOANG *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2022).

Observou-se efeito da interação entre as diferentes doses de NM e as safras avaliadas, sobre o teor de N foliar, sendo os maiores teores observados sempre na safra 2 (2020/2021), independente da dose de NM. Por outro lado, para as diferentes doses de NO, a produtividade foi sempre superior nas plantas amostradas também na safra 2 (2020/2021). Assim, nesta safra, as plantas tratadas com NO cresceram menos e acumularam menos P e K, mas perfilharam mais, tiveram o diâmetro do colmo aumentado e produziram mais. É possível que a absorção de N tenha sido facilitada pelas condições abióticas de cultivo, observadas nesta safra, podendo ser comprovado pelo maior teor de N observado nas folhas. Na safra 1 (2019/2020), a ocorrência de precipitações atípicas pode ter ocasionado a lixiviação do N aplicado. As perdas de N por lixiviação podem chegar a $\geq 50\%$ do N aplicado, fazendo com que a lixiviação represente uma das principais vias de perdas de N em sistemas agrícolas (CHRISTIE *et al.*, 2020; MUSYOKA *et al.*, 2019).

Na safra 2 (2020/2021), no entanto, a produtividade da cana-de-açúcar não foi afetada pelas doses de NO, pelo efeito da aplicação do NO na linha de cultivo, associada à ocorrência de pouca chuva no período, que incorreu em perdas por volatilização, na cultura da cana-soca. O aumento observado da produtividade e do perfilhamento, também pode ser explicado por características da cultivar de cana-de-açúcar IACSP95-5094. Conhecida pela capacidade de rebrota, que aumenta o número de perfilhos no segundo corte e consequentemente a produtividade em relação à cana-planta (ROSSETTO *et al.*, 2022; TISCHLER *et al.*, 2021). A produtividade na cana-de-açúcar está diretamente

associada ao aumento do perfilhamento e diâmetro dos colmos, promovidos pela maior absorção de N. O N está intimamente relacionado ao crescimento e desenvolvimento das plantas e afeta a regulação e o metabolismo celular (YANG *et al.*, 2019), diferentes taxas de aplicação de N podem afetar as atividades das principais enzimas de assimilação de N na cana-de-açúcar (BOSCHIERO *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2019). A atividade enzimática de assimilação de N tem grande efeito sobre a taxa metabólica de N, levando ao aumento da produtividade. As atividades das enzimas-chave de assimilação de N glutamina sintetase (GS) e a glutamato sintase (GOGAT) e Glutamato desidrogenase (GDH) no metabolismo de N refletem a força de assimilação de N e melhoram a produtividade da cana-de-açúcar (ALAL *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2019).

Para além do efeito de safra, a aplicação de NM ou NO afetaram positivamente o crescimento de plantas de cana-de-açúcar, sendo que o fornecimento de NO, até 4,8 T ha⁻¹, aumentou a produtividade. A aplicação de NM e NO no período chave, de necessidade da cultura, pode aumentar a eficiência dos fertilizantes e melhorar o fornecimento de N. Como a cama de frango constitui um resíduo agrícola de baixo custo, ela pode ser utilizada como alternativa à fertilização nitrogenada convencional, não apenas como estratégia para melhorar a aquisição de N por parte das plantas, mas, como tecnologia aplicada ao aumento da produtividade da cana.

3.5 CONCLUSÃO

Foi comprovada a hipótese de que a aplicação de NO na cultura da cana-de-açúcar, fornecido através da cama de frango, é tão eficiente quanto a aplicação de NM em promover o crescimento das plantas. Contudo, a aplicação de NO até a dose de até 4,8 T ha⁻¹, aumentou também a produtividade da cultura. Assim, por constituir uma fonte nitrogenada de baixo custo, a cama de frango pode ser utilizada como alternativa para a adubação nitrogenada da cana-de-açúcar. Por outro lado, este trabalho reforça a qualidade da rebrota observada para a cultivar IACSP95-5094, que garante maior perfilhamento e maiores diâmetros de colmo, que culminam em produtividades sempre mais expressivas na safra de cana-soca.

3.6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, pelo apoio financeiro, ao campus Rio Verde do Instituto Federal Goiano, pela infraestrutura utilizada para as análises e aos alunos envolvidos neste estudo. Os autores agradecem também à Usina Danusa, pela parceria e pela disponibilização de área e maquinário para montagem dos experimentos de campo.

3.7 REFERÊNCIAS

Abo-Elwafa, A.; Hamada, A.; Nosaer, H.; Faheim, H. Assessment of somaclonal variation, correlation and stepwise regression to evaluate new sugarcane somaclones. *Egyptian Sugar J.* **2015**, *8*, 131-150.

Aczel, M.R. What is the nitrogen cycle and why is it key to life? *Front YouNg Minds* **2019**, *7*, 1–5.

Adeyemo, A.J.; Akingbola, O.O.; Ojeniyi, S.O. Effects of poultry manure on soil infiltration, organic matter contents and maize performance on two contrasting degraded alfisols in southwestern Nigeria. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* **2019**, *8*, 73-80. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0273-7>

Agrawal, R.K.; Kumar, B. Characters association and their dissection through path analysis for cane yield and its component traits in sugarcane genotypes under water logging condition. *Inter. J. of Chemical Studies* **2018**, *6*, 2237-2244.

Antonious, G.F. Biochar and animal manure impact on soil, crop yield and quality. In *Agricultural Waste and Residues*, Aladjadjiyan, A., Ed.; IntechOpen Limited: London, 2018; pp. 45-67. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77008>

Ashworth, A.J.; Chastain, J.P.; Moore JR, P.A. Nutrient characteristics of poultry manure and litter. In *Animal manure: production, characteristics, environmental concerns, and management*, Waldrip, H.M., Pagliari, P.H., He, Z. (Eds.). John Wiley & Sons, 2020; pp. 63-87. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c5>

Bassi, D.; Menossi, M.; Mattiello, L. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. *Sci. Rep.* **2018**, *8*, 2327. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20653-1>

Bhatnagar, N.; Ryan, D.; Murphy, R.; Enright, A.M. A comprehensive review of green policy, anaerobic digestion of animal manure and chicken litter feedstock potential—Global and Irish perspective. *Renewable Sustainable Energy Rev.* **2022**, *154*, 111884. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111884>

Bhatt, Rajan. Resources management for sustainable sugarcane production. In *Resources Use Efficiency in Agriculture*, Kumar, S., Meena, R. S., Jhariya, M. K. Eds.; Springer: Singapore, 2020; pp. 647-693.

Bordonal, R.D.O.; Carvalho, J.L.N.; Lal, R.; de Figueiredo, E.B.; de Oliveira, B.G.; La Scala, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **2018**, *38*, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>

Boschiero, B.N.; Mariano, E.; Azevedo, R.A.; Trivelin, P.C.O. Influence of nitrate-ammonium ratio on the growth, nutrition, and metabolism of sugarcane. *Plant Physiol. Biochem.* **2019**, *139*, 246-255, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.03.024>

Brasileiro, B.P.; Peternelli, L.A.; Barbosa, M.H.P. Consistency of the results of path analysis among sugarcane experiments. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.* **2013**, *13*, 113-119.

Briedis, C.; de Moraes Sá, J.C.; Ferreira, A.O.; Ramos, F.S. Efeito primário e residual de resíduos orgânicos de abatedouro de aves e suínos na produtividade do trigo. *Revista Verde* **2011**, *6*, 221-226.

Bryant, R.B.; Endale, D.M.; Spiegel, S.A.; Flynn, K.C.; Meinen, R.J.; Cavigelli, M.A.; Kleinman, P.J. Poultry manure management: Opportunities and challenges for a vertically integrated industry. *J. Environ. Qual.* **2022**, *51*, 540-551. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20273>

Christie, K.M.; Smith, A.P.; Rawnsley, R.P.; Harrison, M.T.; Eckard, R.J. Simulated seasonal responses of grazed dairy pastures to nitrogen fertilizer in SE Australia: N loss and recovery. *Agric. Syst.* **2020**, *182*, 102847. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102847>

Corcioli, G.; Medina, G.D.S.; Arrais, C.A. Missing the target: Brazil's agricultural policy indirectly subsidizes foreign investments to the detriment of smallholder farmers and local agribusiness. *Front. Sustain. Food Syst.* **2022**, *5*, 796845. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.796845>

da Silva Medina, G.; Pokorny, B. Agro-industrial development: lessons from Brazil. *Land Use Policy* **2022**, *120*, 106266. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106266>

Da Silva Mendes, J.; Fernandes, J.D.; Chaves, L.H.G.; Guerra, H.O.C.; Tito, G.A.; de Brito Chaves, I. Chemical and physical changes of soil amended with biochar. *Water Air Soil Pollut.* **2021**, *232*, 338. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05289-8>

De Melo, T.R.; Figueiredo, A.; Machado, W.; Tavares Filho, J. Changes on soil structural stability after in natura and composted chicken manure application. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agricult.* **2019**, *8*, 333-338. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0250-1>

Dougherty, W.J.; Collins, D.; Van Zwieten, L.; Rowlings, D.W. Nitrification (DMPP) and urease (NBPT) inhibitors had no effect on pasture yield, nitrous oxide emissions, or nitrate leaching under irrigation in a hot-dry climate. *Soil Res.* **2016**, *54*, 675-683. <https://doi.org/10.1071/SR15330>

Erhunmwunse, A.S.; Olayinka, A.; Atoloye, I.A. Nutrient mineralization from nitrogen- and phosphorus-enriched poultry manure compost in an ultisol. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **2019**, *50*, 185-197. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1556290>

Fagodiya, R.K.; Kumar, A.; Kumari, S.; Medhi, K.; Shabnam, A.A. Role of nitrogen and its agricultural management in changing environment. In *Contaminants in Agriculture: Sources, Impacts and Management*; Naeem, M., Ansari, A. A., Gill, S. S. Eds.; Springer Cham: Switzerland, 2020; pp. 247-270.

Farni, Y.; Prijono, S.; Suntari, R.; Handayanto, E. Pattern of N mineralization and nutrient uptake of *Tithonia diversifolia* and *Saccharum officinarum* leaves in sandy loam soil. *Indian J. Agric. Res.* **2022**, *56*, 65-69. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-626>

Feng, G.; Adeli, A.; Read, J.; McCarty, J.; Jenkins, J. Consequences of pelletized poultry litter applications on soil physical and hydraulic properties in reduced tillage, continuous cotton system. *Soil Till. Res.* **2019**, *194*, 104309. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104309>

Ferreira Gomes, F.H.; Soares, F.A.L.; Teixeira, M.B.; Sousa, A.E.C.; da Silva, E.C.; Vidal, V.M.; Bastos, A.V.S.; Silva, N.F.; Cunha, F.N.; Morais, W.A.; Dantas, L.R. Sources and doses of nitrogen in plant cane production and residual effect on the first ratoon of sugarcane in a savannah Red Oxisol. *Aust. J. Crop Sci.* **2021**, *15*, 708-715.

Ferreira, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc. Agrotec.* **2011**, *35*, 1039-1042.

Fortes, C.; Trivelin, P.C.O.; Vitti, A.C.; Otto, R.; Franco, H.C.J.; Faroni, C.E. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. *Pesqui. Agropecu. Bras.* **2013**, *48*, 88-96. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000100012>

Fumasoli, A.; Bürgmann, H.; Weissbrodt, D.G.; Wells, G.F.; Beck, K.; Mohn, J.; Morgenroth, E; Udert, K.M. (2017). Growth of Nitrosococcus-related ammonia oxidizing bacteria coincides with extremely low pH values in wastewater with high ammonia content. *Environ. Sci. Technol.* **2017**, *51*, 6857-6866. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00392>

Galal, M.O.; Abou-Salama, A.M.; Teama, E.A.; Ahmed, A.Z. Yield response of late planted spring sugarcane to direct set sowing and transplanting. *Sci. J. King Faisal Univ.* **2015**, *16*, 75-94.

Gee, C.S.; Pfeffer, J.T.; Suidan, M.T. (1990). Nitrosomonas and Nitrobacter interactions in biological nitrification. *J. Environ. Eng.* **1990**, *116*, 4-17.

Gerber, P.F.; Gould, N.; McGahan, E. Potential contaminants and hazards in alternative chicken bedding materials and proposed guidance levels: a review. *Poult. Sci.* **2020**, *99*, 6664-6684. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.047>

Hoang, H.G.; Thuy, B.T.P.; Lin, C.; Vo, D.V.N.; Tran, H.T.; Bahari, M.B.; Vu, C.T. The nitrogen cycle and mitigation strategies for nitrogen loss during organic waste composting: A review. *Chemosphere* **2022**, *134514*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134514>

Iqbal, A.; Qiang, D.; Zhun, W.; Xiangru, W.; Huiping, G.; Hengheng, Z.; Nianchang, P.; Xiling, Z.; Meizhen, S. Growth and nitrogen metabolism are associated with nitrogen-use efficiency in cotton genotypes. *Plant Physiol. Biochem.* **2020**, *149*, 61-74. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.002>

Izydorczyk, G.; Mikula, K.; Skrzypczak, D.; Witek-Krowiak, A.; Mironiuk, M.; Furman, K.; Gramza, M.; Moustakas, K.; Chojnacka, K. Valorization of poultry slaughterhouse waste for fertilizer purposes as an alternative for thermal utilization methods. *J. Hazard. Mater.* **2022**, *424*, 127328. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127328>

Kumar, N.; Kumar, V. Production potential and nitrogen fractionation of sugarcane-based cropping system as influenced by planting materials and nitrogen nutrition. *Sugar Tech.* **2020**, *22*, 622–629. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00809-y>

Lal, M.A. Nitrogen metabolism. In *Plant physiology, development and metabolism*, Bhatla, S.C., Lal, M.A., Eds.; Springer: Singapore, 2018, pp. 425-480. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1>

Li, B.B.; Roley, S.S.; Duncan, D.S.; Guo, J.; Quensen, J.F.; Yu, H.Q.; Tiedje, J.M. Long-term excess nitrogen fertilizer increases sensitivity of soil microbial community to seasonal change revealed by ecological network and metagenome analyses. *Soil Biol. Biochem.* **2021**, *160*, 108349. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108349>

Li, Y.; Ma, J.; Yong, X.; Luo, L.; Wong, J.W.; Zhang, Y.; Wu, H.; Zhou, J. Effect of biochar combined with a biotrickling filter on deodorization, nitrogen retention, and microbial community succession during chicken manure composting. *Bioresour. Technol.* **2022**, *343*, 126137. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126137>

Li, Z.; Tian, D.; Wang, B.; Wang, J.; Wang, S.; Chen, H.Y.; Xu, X.; Wang C.; He, N.; Niu, S. Microbes drive global soil nitrogen mineralization and availability. *Glob. Change Biol.* **2019**, *25*, 1078-1088. <https://doi.org/10.1111/gcb.14557>

Lian, L.; Lin, Y.; Wei, Y.; He, W.; Cai, Q.; Huang, W.; Zheng, Y.; Xu, H.; Wang, F.; Zhu, Y.; Luo X.; Xie, H.; Zhang, J. PEPC of sugarcane regulated glutathione S-transferase and altered carbon–nitrogen metabolism under different N source concentrations in *Oryza sativa*. *BMC Plant Biol.* **2021**, *21*, 287. <https://doi.org/10.1186/s12870-021-03071-w>

Lourenço, K.S.; Rossetto, R.; Vitti, A.C.; Montezano, Z.F.; Soares, J.R.; de Melo Sousa, R.; Carmo, J.B.; Kuramae, E.E.; Cantarella, H. Strategies to mitigate the nitrous oxide emissions from nitrogen fertilizer applied with organic fertilizers in sugarcane. *Sci. Total Environ.* **2019**, *650*, 1476-1486. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.037>

Lucena, N.T.; Santos, E.M.; Oliveira, J.S.; Perazzo, A.F.; Cruz, G.F.; Pereira, D.M.; Pereira, G.A.; Macêdo, A.J.S.; Ramos, R.C.S.; Nogueira, M.S. Agronomic traits and chemical composition of forage sorghum plants fertilized with poultry litter and

fermentative profile of silages. *Chil. J. Agric. Res.* **2021**, *81*, 575-584. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392021000400575>

Ma, S.; Zhang, D.; Zhang, W.; Wang, Y. Ammonia stimulates growth and nitrite-oxidizing activity of *Nitrobacter winogradskyi*. *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* **2014**, *28*, 27-32. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.901679>

Ma, Z.; Wu, W.; Alatalo, J.M.; Fu, W.; Bai, Y. Optimal water-fertilizer combinations for efficient nitrogen fixation by sugarcane at different stages of growth. *Water* **2021**, *13*, 2895. <https://doi.org/10.3390/w13202895>

Mau, V.; Arye, G.; Gross, A. Poultry litter hydrochar as an amendment for sandy soils. *J. Environ. Manage.* **2020**, *271*, 110959. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110959>

Mbatha, K.C.; Mchunu, C.N.; Mavengahama, S.; Ntuli, N.R. Effect of poultry and goat manures on the nutrient content of *Sesamum alatum* leafy vegetables. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 11933. <https://doi.org/10.3390/app112411933>

Muhammad A.; Krishan K.V.; Muhammad R.; Li Q.; Fen L.; Yang L.; Yang-Rui L. Physio-morphological and biochemical mechanism of nitrogen use efficiency in sugarcane (*Saccharum* spp.) genotypes under different growth stages and nitrogen levels. *J. Plant Interact.* **2021**, *16*, 332-343, 2021. <https://doi.org/10.1080/17429145.2021.1933224>

Musyoka, M.W.; Adamtey, N.; Muriuki, A.W.; Bautze, D.; Karanja, E.N.; Mucheru-Muna, M.; Fiaboe, K.K.M.; Cadisch, G. Nitrogen leaching losses and balances in conventional and organic farming systems in Kenya. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **2019**, *114*, 237–260. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10002-7>

Otto, R.; Mariano, E.; Mulvaney, R.L.; Khan, S.A.; Boschiero, B.N.; Tenelli, S.; Trivelin, P.C.O. Effect of previous soil management on sugarcane response to nitrogen fertilization. *Sci. Agric.* **2019**, *76*, 72-81. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2017-0147>

Pandya, M.M.; Patel, P.B. Studies on correlation and path analysis for quality attributes in sugarcane [*Saccharum* Spp. Hybrid]. *Int. J. Pure App. Biosci.* **2017**, *5*, 1381-1388.

Quassi de Castro, S.G.; Graziano Magalhães, P.S.; Coutinho Junqueira Franco, H.; Mutton, M. Â. Harvesting Systems, Soil Cultivation, and Nitrogen Rate Associated with Sugarcane Yield. *Bioenerg. Res.* **2018**, *11*, 583–591. <https://doi.org/10.1007/s12155-018-9917-0>

Randive, K.; Raut, T.; Jawadand, S. An overview of the global fertilizer trends and India's position in 2020. *Miner. Econ.* **2021**, *34*, 371–384. <https://doi.org/10.1007/s13563-020-00246-z>

Robinson, N.; Brackin, R.; Vinall, K.; Soper, F.; Holst, J.; Gamage, H.; Paungfoo-Lonhienne, C.; Rennenberg, H.; Lakshmanan, P.; Schmidt, S. Nitrate paradigm does not hold up for sugarcane. *PLoS one* **2011**, *6*, e19045. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019045>

Rossetto, R.; Ramos, N.P.; de Matos Pires, R.C.; Xavier, M.A.; Cantarella, H.; Guimarães de Andrade Landell, M. Sustainability in sugarcane supply chain in Brazil: issues and way forward. *Sugar Tech.* **2022**, *24*, 941–966. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01170-y>

Santos, R.L.D.; Freire, F.J.; Oliveira, E.C.A.D.; Freire, M.B.G.D.S.; West, J.B.; Barbosa, J.D.A.; Moura, M.J.A.; Bezerra, P.D.C. Nitrate reductase activity and nitrogen and biomass accumulation in sugarcane under molybdenum and nitrogen fertilization. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* **2019**, *43*. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20180171>

Schimel, J.P.; Bennett, J. Nitrogen mineralization: challenges of a changing paradigm. *Ecology* **2004**, *85*, 591-602. <https://doi.org/10.1890/03-8002>

Tao, Y.; Liu, T.; Wu, J.; Wu, Z.; Liao, D.; Shah, F.; Wu, W. Effect of combined application of chicken manure and inorganic nitrogen fertilizer on yield and quality of cherry tomato. *Agronomy* **2022**, *12*, 1574. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071574>

Tauqeer, H.M.; Turan, V.; Farhad, M.; Iqbal, M. Sustainable agriculture and plant production by virtue of biochar in the era of climate change. In *Managing Plant Production Under Changing Environment*; Hasanuzzaman, M., Ahammed, G.J., Nahar, K., Eds. Springer: Singapore, 2022; pp. 21-42.

Tischler, A.L.; Jeronimo, E.M.; Lúcio, A.D.C.; Sari, B.G.; Melo, P.J.D.; Boesso, F.F.; Tartaglia, F.D.L. Sugarcane harvest time for processing and technological quality of brown sugar. *Pesq. Agropec. Bras.* **2021**, *56*. [tps://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02435](https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02435)

Uddin, S., Williams, S.W., Aslam, N.; Fang, Y., Parvin, S., Rust, J.; Zwieten, L.V.; Armstrong, R.; Tavakkoli, E. Ameliorating alkaline dispersive subsoils with organic amendments: Are productivity responses due to nutrition or improved soil structure?. *Plant Soil* **480**, 227–244 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05569-0>

Xu, A.; Li, L.; Xie, J.; Wang, X.; Coulter, J.A.; Liu, C.; Wang, L. Effect of long-term nitrogen addition on wheat yield, nitrogen use efficiency, and residual soil nitrate in a semiarid area of the loess plateau of China. *Sustainability* **2020**, *12*, 1735. <https://doi.org/10.3390/su12051735>

Xu, F.; Wang, Z.; Lu, G.; Zeng, R.; Que, Y. Sugarcane ratooning ability: Research status, shortcomings, and prospects. *Biology*, **2021**, *10*, 1052. <https://doi.org/10.3390/biology10101052>

Yang, Y., Gao, S., Su, Y.; Lin, Z.; Guo, J.; Li, M.; Wang Z.; Que, Y.; Xu, L. Transcripts and low nitrogen tolerance: Regulatory and metabolic pathways in sugarcane under low nitrogen stress. *Environ. Exp. Bot.* **2019**, *163*, 97-111.

Yang, Y.; Gao, S.; Jiang, Y.; Lin, Z.; Luo, J.; Li, M.; Que, Y. The physiological and agronomic responses to nitrogen dosage in different sugarcane varieties. *Front. Plant Sci.* **2019**, *10*, 406. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00406>

4. CAPÍTULO II

Efeitos da Aplicação de Fontes de Nitrogênio Mineral e Orgânico no Desempenho Industrial e Rendimento de Açúcar da Cana-de-Açúcar

RESUMO

O fertilizante nitrogenado é um dos fatores mais importantes que afetam o crescimento e o rendimento das plantações de cana-de-açúcar. Portanto, o uso de alternativas sustentáveis envolvendo aplicações racionais de fertilizantes nitrogenados tem sido continuamente incentivado. Assim, a hipótese testada neste estudo foi que a aplicação de cama de frango como fonte orgânica de nitrogênio (NO) pode suprir a demanda de N das plantas de cana-de-açúcar e pode ser usada como substituto ou em combinação com uma fonte de N mineral (nitrato de amônio; NM). Os efeitos da aplicação de diferentes doses de NO (0, 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹) e NM (0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹) foram avaliados, bem como o efeito de interação entre NO e NM, ao longo de duas safras (ciclo de planta em 2019/2020 e ciclo de soqueira em 2020/2021). As variáveis avaliadas foram teores de N, P e K, qualidade tecnológica e produção de açúcar nos colmos. A hipótese de que a aplicação de cama de frango para adubação do solo pode substituir o uso de nitrato de amônio para fornecer N, P e K às plantas de cana-de-açúcar foi confirmada. No entanto, o aumento nas doses de NO e NM pode afetar negativamente o °Brix, o teor aparente de sacarose (POL) e a pureza do caldo de cana-de-açúcar; a interação entre altas doses de NO e NM compromete a recuperação total de açúcar. Em relação à qualidade tecnológica, a aplicação de doses de NO usando cama de frango pode ser combinada com doses de NM para alcançar altos rendimentos de açúcar; uma aplicação equilibrada de N (4,2 T ha⁻¹ de NO combinado com 120 kg ha⁻¹ de NM)

promoveu aumentos na produção de açúcar, atingindo a maior média de 22.845 T ha⁻¹. Embora doses excessivas de N, seja orgânico ou mineral, possam comprometer a qualidade do caldo de cana-de-açúcar ao reduzir o teor de sacarose, compreender essas interações é essencial para o manejo adequado da adubação, visando otimizar não apenas a produção, mas a qualidade da cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: adubação nitrogenada; fertilizantes orgânicos; cama de frango; qualidade tecnológica; *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

Nitrogen fertilizer is one of the most important factors affecting growth and yield of sugarcane plantations. Therefore, the use of sustainable alternatives involving rational applications of N fertilizers has been continuously encouraged. Thus, the hypothesis tested in this study was that the application of poultry litter as an organic N source (ON) can supply the N demand of sugarcane plants and can be used as a substitute or in combination with a mineral N source (ammonium nitrate; MN). The effects of applying different rates of ON (0, 2, 4, 6, and 8 T ha⁻¹) and MN (0, 40, 80, 120, and 160 kg ha⁻¹) were assessed, as well as the ON-MN interaction effect, over two crop seasons (Plant-crop cycle in 2019/2020; and ratoon-crop cycle 2020/2021). The variables evaluated were N, P, and K contents, technological quality, and sugar production in stalks. The hypothesis that applying poultry litter for soil fertilization can replace the use of ammonium nitrate to supply N, P, and K to sugarcane plants was confirmed. However, increasing rates of ON and MN can negatively affect °Brix, apparent sucrose content (POL), and purity of sugarcane juice; the interaction between high ON and MN rates compromises the total sugar recovery. Regarding technological quality, the ON rates application using poultry litter can be combined with MN rates to achieve high sugar yields; a balanced N application (4.2 T ha⁻¹ of ON combined with 120 kg ha⁻¹ of MN) promoted increases in sugar yield, reaching the highest mean of 22.845 T ha⁻¹. Although excessive N rates, whether organic or mineral, can compromise the quality of sugarcane juice by reducing the sucrose content, understanding these interactions is essential for proper fertilization management, focusing on optimizing not only the production but also the quality of sugarcane.

KEYWORDS: nitrogen fertilization; organic fertilizers; poultry litter; technological quality; *Saccharum officinarum*.

4.1 INTRODUÇÃO

A produção eficiente de cana-de-açúcar é importante para a indústria sucroalcooleira, demandando práticas agronômicas adequadas para otimizar o crescimento, desenvolvimento e rendimento da cultura (Carpanez *et al.*, 2022; Shukla *et al.*, 2023). Dentre os diversos fatores que influenciam esses aspectos, a aplicação de nitrogênio (N) desempenha papel central.

O N é um dos principais nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das plantas, pois influencia diretamente na produção de biomassa e no teor de sacarose na cana-de-açúcar (Tarumoto *et al.*, 2022; Desalegn *et al.*, 2023). A quantidade de N a ser aplicada varia de acordo com fatores como o tipo de solo, clima e a variedade de cana-de-açúcar cultivada e a aplicação pode ser realizada em diferentes momentos do ciclo da cultura, sendo comum a prática de dividir a dose ao longo do ciclo de crescimento (Carvalho *et al.*, 2019; Anas *et al.*, 2020; Sanches; Otto, 2022).

A fonte de N utilizada seja mineral ou orgânica pode ser aplicada na forma de fertilizantes nitrogenados, como ureia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, entre outros, além de impactar significativamente o teor de nutrientes no colmo, influenciar na produtividade e na qualidade tecnológica da cultura (Mohamed *et al.*, 2020; Pahalvi *et al.*, 2021; Chojnacka *et al.*, 2023). O manejo adequado visa reduzir as perdas de N por lixiviação, volatilização e desnitrificação (Fagodiya *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2020).

A escolha entre fontes minerais e orgânicas de N, como o nitrato de amônio (NH_4NO_3) e a cama de frango apresentam implicações diretas nos processos fisiológicos e metabólicos da cana-de-açúcar. Fatores como a disponibilidade de nutrientes, interações solo-planta e a capacidade de absorção de nitrogênio pela cultura desempenham papéis cruciais nesse contexto (Shi *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2022; Liang *et al.*, 2022). O NH_4NO_3 é um composto químico que contém nitrogênio e é amplamente utilizado como fertilizante na agricultura pelo alto teor de nitrogênio, um nutriente essencial para o crescimento das plantas. Ele fornece uma fonte prontamente disponível de nitrogênio para as plantas, estimulando o desenvolvimento vegetativo e a produção de biomassa (Lai *et al.*, 2022; Fallah *et al.*, 2023). No entanto, é importante manusear e aplicar o nitrato de

amônio com cuidado devido à sua natureza inflamável e explosiva, sendo regulamentado em muitos países para garantir a segurança no uso.

A cama de frango refere-se ao material orgânico composto principalmente por palha, penas e excrementos de aves de criação, como galinhas, sendo uma fonte rica em nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio, e pode ser utilizada como fertilizante orgânico (Ashworth *et al.*, 2020; Karuppannan *et al.*, 2021). A combinação de cama de frango e nitrato de amônio pode ser uma estratégia interessante para fornecer nutrientes essenciais às plantas, ao mesmo tempo que promove a reciclagem de resíduos orgânicos. No entanto, é importante seguir práticas agrícolas sustentáveis e seguras para otimizar os benefícios e minimizar os riscos associados (Montofré *et al.*, 2021; Swelum *et al.*, 2021).

A produtividade da cana-de-açúcar está intrinsecamente ligada à eficiência na assimilação de nutrientes, sendo o N um dos elementos-chave nesse processo. Além disso, a qualidade tecnológica medida por parâmetros como açúcares totais recuperáveis, açúcares redutores na cana, sólidos solúveis do caldo, fibra dos colmos, pureza aparente do caldo e teor de sacarose aparente do caldo é importante para a produção de açúcar e etanol de alta qualidade (Borges *et al.*, 2020; Tofanello *et al.*, 2021; Carpanez *et al.*, 2022).

Considerando a influência significativa do N na produtividade e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar postularam que a escolha entre fontes minerais, exemplificada pelo NH_4NO_3 e fontes orgânicas representadas pela cama de frango terá impactos distintos nos processos fisiológicos e metabólicos da cultura. Julgando que a aplicação dessas diferentes fontes de N influenciará de maneira diferenciada a absorção de nutrientes pelo colmo da cana-de-açúcar, refletindo não apenas na quantidade de biomassa produzida, mas nos parâmetros de qualidade tecnológica. Além disso, acredita-se que a combinação estratégica de fontes minerais e orgânicas de N pode oferecer uma abordagem sinérgica, potencializando os benefícios nutricionais enquanto minimiza os riscos associados ao manejo inadequado desses insumos agrícolas.

Este estudo busca explorar o impacto da fonte mineral e orgânica de nitrogênio no teor de nutrientes no colmo da cana-de-açúcar, avaliar os efeitos sobre a produtividade e a qualidade tecnológica da cultura. Ao compreender as interações complexas entre diferentes fontes de nitrogênio e a resposta da cana-de-açúcar podendo avançar no desenvolvimento de estratégias sustentáveis para otimizar a produção dessa importante cultura agrícola.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Área de Estudo e Material Experimental

O estudo foi conduzido no campo experimental da Usina Denusa, Destilaria Nova União S/A, localizada na Fazenda São Pedro, BR-060, Km 274, Zona Rural, Jandaia, GO, Brasil. A região está situada no sudoeste do estado de Goiás, com coordenadas geográficas de 17°15'52,6" S (latitude), 50°08'23,2" W (longitude) e uma altitude de 519 metros acima do nível do mar (Figura 1A). O clima predominante, classificado como tropical úmido (Aw) conforme a classificação de Köppen (Köppen; Geiger, 1928), é caracterizado por inverno seco e verão chuvoso. A temperatura média anual na região é de 24,1°C, e a precipitação média anual é de 1.403 mm. O experimento abrangeu duas safras consecutivas, a primeira referente à cana-planta no período de 2019/2020 e a segunda à cana-soca em 2020/2021, com registros de precipitação de 1.556 mm e 1.324 mm nas respectivas safras (Figura 1B).

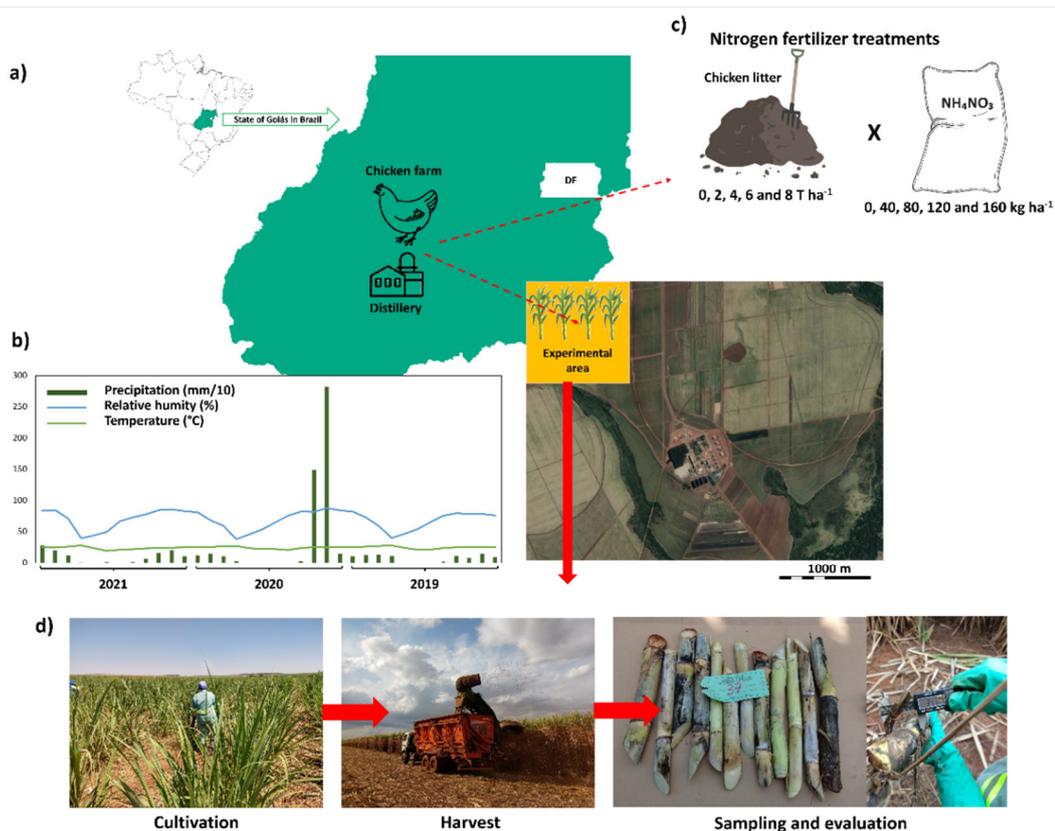


Figura 1. Área experimental utilizada para o cultivo de plantas de cana-de-açúcar, no sul de Goiás, Brasil (A), Distribuição dos dados climáticos de profundidade de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura ao longo de 2021, 2020 e 2019 (B), Fontes e doses de fertilizantes nitrogenados utilizados nos tratamentos de adubação do solo (C), Condução do experimento, incluindo as etapas de plantio, colheita, amostragem e avaliação das plantas (D).

Amostras de solo foram coletadas para análises químicas e físicas a uma profundidade de 0.0 a 0.20 m (Tabela 1). Os resultados dessas análises classificaram o solo como um Latossolo Vermelho Eutrófico típico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (Santos *et al.*, 2018), evidenciando uma textura argilosa. Adicionalmente, foi observado que a topografia da área de estudo é predominantemente plana.

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo foram examinadas na área experimental da Usina Denusa, Destilaria Nova União, situada na zona rural do município de Jandaia, GO, Brasil, onde a cana-de-açúcar foi cultivada. As análises foram conduzidas na profundidade de 0.0 a 0.2 m.

Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	P (Resina)	CaCl ₂		
-----cmolc dm ⁻³ -----						-----mg dm ⁻³ -----	pH		
4.14	0.87	5.01	0.0	2.32	0.17	1.60	5.25		
Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC ^a	SB ^b	V% ^c	m% ^d	
----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----						cmolc dm ⁻³	Sat. Bases	Sat. Al	
12.64	5.95	3.60	0.81	0.51	7.50	5.18	68.23	0.0	
Argila			M.O. ^e	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
(g kg ⁻¹)			g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----					
57.39			27.10	4,75	24.35	5.12	53.95	11.89	2.85

^aCapacidade de troca catiônica (pH 7,0); ^bsoma de bases; ^csaturação de bases; ^dsaturação de alumínio; ^eMatéria orgânica.

O genótipo de cana-de-açúcar IACSP95-5094 foi selecionado para este estudo pelo desempenho superior nas condições edafoclimáticas da região. Antes da instalação do experimento, o solo foi adequadamente preparado através de subsolagem, aração e gradagem até atingir a profundidade de 0.40 m. A aplicação de potássio foi realizada utilizando cloreto de potássio (KCl) na dose de 80 kg por hectare de K₂O, conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004). Essa aplicação ocorreu durante o plantio, no ciclo da cana-planta, e novamente 13 meses após o primeiro corte, no ciclo da cana-soca.

Cada parcela experimental possuía uma área de 150 m², constituída por dez fileiras de cana-de-açúcar, cada uma com 10 m de comprimento e espaçadas a 1.5 m. Entre cada parcela, foi estabelecido um caminho de 2 m. A variedade da cultura foi propagada por meios vegetativos e plantada em 11 de junho de 2019 em sulcos com 0.25 m de profundidade. O método de irrigação empregado neste estudo seguiu as práticas estabelecidas na Usina Denusa, e apenas a profundidade total de 60 mm foi aplicada após a emergência das plantas, utilizando a técnica de aspersão autopropelido.

4.2.2 Delineamento experimental

Os tratamentos de fertilização envolveram a aplicação de nitrogênio por meio de uma fonte de N orgânico (NO) ou mineral (MN). Foram utilizadas cinco doses de NO, correspondendo a 0; 2; 4; 6 e 8 toneladas por hectare ($T\ ha^{-1}$), equivalente a 0; 50.8; 101.6; 152.4 e 203.2 $kg\ ha^{-1}$ de N, respectivamente. Além disso, foram aplicadas cinco doses de MN, totalizando 0; 40; 80; 120 e 160 $kg\ ha^{-1}$ de N equivalentes a 0; 12.8; 25.6; 38.4 e 51.2 $kg\ ha^{-1}$ de N, respectivamente. Na safra 2019/2020 (cana-planta), as doses de NO e MN foram aplicadas diretamente no sulco, enquanto na safra 2020/2021 (cana-soca) foram aplicadas ao lado da linha da cultura. A aplicação das doses foi realizada manualmente, seguida pela incorporação ao solo com o auxílio de pá.

A fonte de NO utilizada neste estudo foi proveniente da cama de frango obtida em uma granja localizada no município de Palmeiras de Goiás, GO. A cama foi adquirida do primeiro lote de frangos passou por um processo de envelhecimento e apresentava a seguinte composição média: 2.54% de N, 0.74% de P, 0.85% de K, 67.32% de matéria orgânica, 7.58% de Ca, 0.91% de Mg, 1.52% de S, 41.30% de carbono orgânico, 32.69% de material mineral, 0.03 $g\ kg^{-1}$ de boro (B), 0.28 $g\ kg^{-1}$ de zinco (Zn), 2.50 $g\ kg^{-1}$ de ferro (Fe), 0.52 $g\ kg^{-1}$ de manganês (Mn), 0.34 $mg\ kg^{-1}$ de cobre (Cu), 0.52 $g\ kg^{-1}$ de Mn e 17.36% de umidade a 105 °C. Por outro lado, a fonte de MN foi fornecida na forma de grânulos (tamanho de 2–4 mm) de nitrato de amônio contendo 32% de N.

4.2.3 Análises tecnológicas

Para as análises de açúcares totais recuperáveis (ATR), sólidos solúveis do caldo (Brix), fibra dos colmos (F), pureza aparente do caldo (PZA) e teor de sacarose aparente do caldo (POL) foram selecionadas aleatoriamente 10 canas por parcela experimental, localizadas nas três linhas centrais, e encaminhadas ao laboratório interno da empresa no dia que antecedeu a colheita conforme a metodologia descrita por Consecana (2015).

a) POL%Cana foi calculado pela seguinte equação:

$$POL\%cana = Pol\%caldo \times (1 - 0,01 \times F) \times C \quad (1)$$

$$C = 1,0313 - 0,00575 \times F \quad (2)$$

em que,

F = Percentual de fibra industrial na cana; e

C = Fator de transformação do teor de POL no caldo extraído para o teor de POL no caldo absoluto.

b) Brix%caldo foi quantificado os sólidos solúveis presentes no caldo de cana-de-açúcar (Brix%caldo) seguindo as normativas da ABNT NBR (Consecana, 2015). Essa análise envolveu a leitura direta do caldo por meio de um refratômetro de bancada (Bellingham + Stanley Ltd., com sede no Reino Unido), o qual foi devidamente calibrado previamente utilizando água destilada.

c) Açúcares Totais Recuperáveis (ATR) foi determinado pela Equação:

$$\text{ATR} = 10 \times \text{PC} \times 1,05263 \times 0,915 + 10 \times \text{ARC} \times 0,915 \quad (3)$$

em que,

ARC = Açúcares redutores na cana (açúcares redutores%cana por tonelada de cana);

10 x PC = Valor de pol%cana por tonelada de cana;

1,05263 = Coeficiente estequiométrico para a conversão de pol em açúcares redutores;

0,915 = Coeficiente de recuperação (considerando perda industrial de 8,5%); e

10 x ARC = Valor de açúcares redutores%cana por tonelada de cana.

d) Pureza da cana (Pureza%cana) foi calculado pela relação:

$$\text{Pureza\%cana} = \frac{\text{POL\%cana} \times 100}{\text{BRIX \%cana}} \quad (4)$$

e) Fibra % na cana foi determinada conforme a equação:

$$\text{Fpcts} = (0,152 \times \text{PBU} - 8,367) \quad (5)$$

em que, PBU = Peso úmido (grama) do bagaço da prensa (resíduo da prensagem de 500 g de cana).

4.2.4 Análises de teor de nutrientes do colmo

A avaliação de teor de nutrientes do colmo foi conduzida seis meses após o plantio no caso da cana-planta e seis meses após a primeira colheita na cana-soca. Foram amostradas 10 plantas por parcela aleatoriamente, dentro das três linhas centrais, e enviadas ao laboratório próprio da empresa, no dia anterior à colheita. Após a coleta as amostras foram submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. As amostras secas do colmo das plantas foram submetidas à moagem em um moinho de facas do tipo Willey. Em seguida, foram realizadas análises

para determinar os teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), seguindo as metodologias descritas por Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).

4.2.5 Produtividade com base na colheita

Para a avaliação dos efeitos nos tratamentos de produtividade, medida em TCH (Tonelada de Cana por Hectare), a colheita foi programada para ocorrer após treze meses, desde a última colheita, considerando o ambiente de produção e o estágio de crescimento da variedade, conforme estabelecido pela matriz de produção do Instituto Agronômico de Campinas (IAC, 2021). Cada linha foi cuidadosamente tarada antes da colheita, e as seis linhas centrais de cada parcela foram completamente colhidas, com exceção das duas linhas laterais. O processo de colheita foi conduzido por uma colhedora de cana modelo 3520 da John Deere, e o peso registrado em um caminhão transbordo equipado com célula de carga no chassi. Após a colheita, a cana-de-açúcar foi encaminhada para a indústria para processamento.

A produtividade de cana-de-açúcar foi calculada com base no rendimento da cultura em termos de peso de matéria-prima por unidade de área utilizando duas métricas que são:

a) TAH (Toneladas de Açúcar por Hectare - TAH):

A TAH ou Toneladas de Açúcar por Hectare foi calculado pela equação:

$$TAH = \frac{(\text{produtividade agrícola [TCH]} * \text{qualidade industrial [ATR]})}{1000} \quad (6)$$

4.2.6 Projeto Experimental e Análise Estatística

O experimento foi organizado em blocos ao acaso, empregando um esquema de parcelas subdivididas $5 \times 5 \times 2$, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram em cinco doses de nitrogênio orgânico (NO) variando entre 0, 2, 4, 6 e 8 toneladas por hectare ($T \text{ ha}^{-1}$) e cinco doses de nitrogênio mineral (NM) variando entre 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha^{-1} . Essas doses foram avaliadas ao longo de duas safras (safra 1 – 2019/2020 e safra 2 – 2020/2021). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com teste F ao nível de significância de 5% e quando significativos, foram realizadas análises de regressão para as doses de NO e NM. O efeito da colheita, quando significativo foi comparado por meio do teste de F ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram conduzidas utilizando o *software* SISVAR[®] (Ferreira, 2011).

4.3 RESULTADOS

O teor de N do colmo da cana-de-açúcar aumentou de forma linear em função do aumento das doses de N mineral e N orgânico, com R^2 de 89,57% e 96,19%, respectivamente (Figura 2A, 2B). O teor de N do colmo foi afetado pelo fator safra, e houve maior teor de N do colmo na safra 2019/2020 (4,962 g/kg) em relação a safra 2020/2021 (4,047 g/kg) (Figura 2C). Houve aumento linear no teor de P do colmo em função das doses de N orgânico, e obteve-se o acréscimo de 23,4 % na dose de 8 T ha⁻¹ de N orgânico em relação a dose de 0 T ha⁻¹ de N orgânico (Figura 2D). O teor de P do colmo também foi influenciado pelo fator safra, e na safra 2020/2021 foi observado os maiores valores (0,673 g/kg) enquanto os menores valores foram observados na safra 2019/2020 (0,515 g/kg) (Figura 2E). Houve interação entre doses de N orgânico x Safra para o teor de K do colmo. Em ambas as safras, 2019/2020 e 2020/2021, observou-se aumento linear no teor de K do colmo em função das doses de N orgânico. O teor de K do colmo na dose de 8 T ha⁻¹ de N orgânico na safra 2019/2020 foi de 6,402 g/kg e na safra 2020/2021 de 7,661g/kg. Em contraste, a dose de 0 T ha⁻¹ de N orgânico na safra 2019/2020 foi de 5,130 g/kg e na safra 2020/2021 foi de 5,776 g/kg (Figura 2F). Quando o fator safra foi distribuído em cada dose de N orgânico, observou-se que a safra 2020/2021 obteve os maiores teor de K do colmo, sendo de 5,590, 6,258, 7,039, 7,267 e 7,441 g/kg, para doses crescentes de N orgânico (Figura 2G).

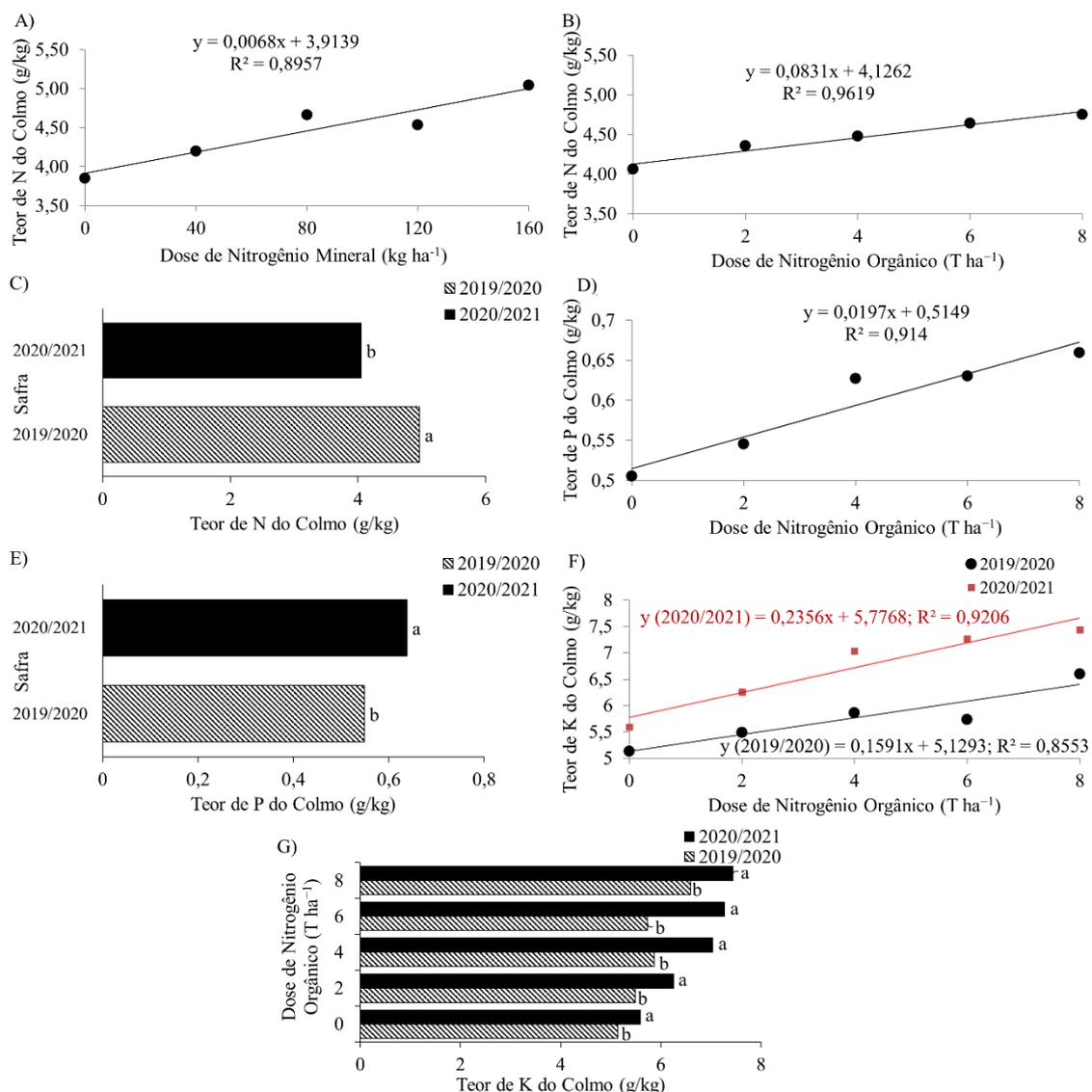


Figura 2. Teor de N do colmo da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (A), teor de N do colmo da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (B), teor de N do colmo da cana-de-açúcar em função da safra (C), teor de P do colmo da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (D), teor de P do colmo em função da safra (E), teor de K do colmo entre as safras em cada dose (F) e em cada safra (G). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade).

O BRIX da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral adequou-se ao modelo linear com R^2 de 94,45% (Figura 3A). Houve decréscimo de 1,408% pela aplicação da dose de 160 kg ha⁻¹ de N mineral em relação à dose 0 kg ha⁻¹ de N mineral. O BRIX da cana-de-açúcar também reduziu em função do aumento das doses de N orgânico que se adequou de forma linear com um R^2 de 53,954%, tendo decréscimo de 2,062% para a aplicação de 8 T ha⁻¹ de N orgânico, em relação a 0 ha⁻¹ de N orgânico (Figura 3B).

Quanto ao POL da cana-de-açúcar, observou-se que as doses de N mineral e orgânico adequaram-se ao modelo linear com R^2 de 67,78% e 61,90%, respectivamente (Figura 3C e 3D). Houve a redução do POL da cana-de-açúcar em função do aumento das doses de N mineral, contrastando a dose de nitrogênio de 0 e 160 kg ha⁻¹, observa-se a redução de 2,490% (Figura 3C). Em função das doses de N orgânico, comparando a dose de 0 e 8 T ha⁻¹ de N orgânico, observou-se a redução de 1,982% no POL da cana-de-açúcar (Figura 3D).

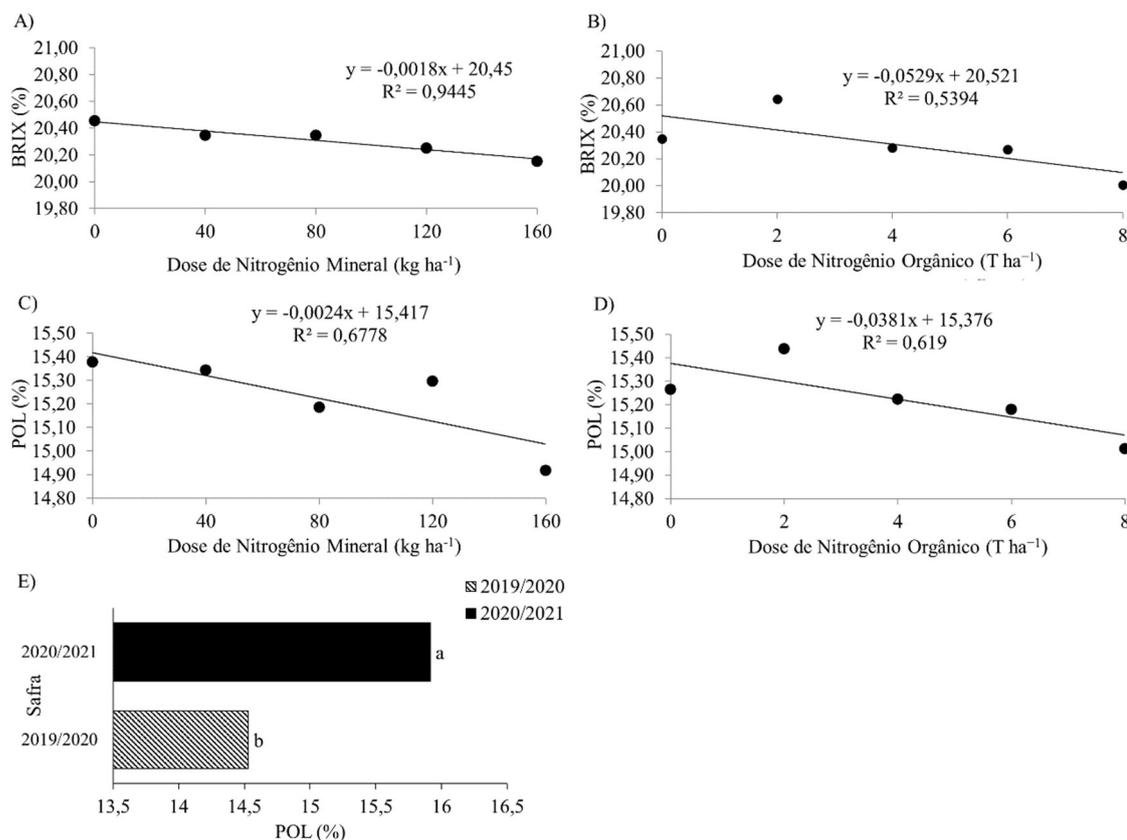


Figura 3. Brix%caldo da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (A), Brix%caldo da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (B), pol%cana da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral (C), pol%cana da cana-de-açúcar em função das doses de N orgânico (D), pol%cana da cana-de-açúcar em função da safra (E). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade).

A pureza da cana-de-açúcar foi afetada individualmente pelas doses de NM e NO, pela interação entre as doses de NM x NO e pela safra (Figura 4A, 4B, 4C). O efeito foi observado para as doses de 0 e 8 T ha⁻¹ de N orgânico, que obtiveram R^2 de 82,52% e 99,35%, respectivamente. As doses de 2, 4 e 6 T ha⁻¹ de N orgânico não se adequaram a nenhum modelo e tiveram as médias de 88,601, 88,684 e 88,529, respectivamente (Figura 4A). Quando desdobrado as doses de NO dentro dos níveis de NM, observou-se que as doses de N mineral de 0, 40 e 80 kg ha⁻¹ não se adequaram a nenhum modelo, com valores

médios de 88,913, 89,00 e 88,422. O nível de dose de 120 kg ha⁻¹ adequou-se ao modelo quadrático com R² de 81,93% e a dose de 160 kg ha⁻¹ ao modelo linear com R² de 78,85% (Figura 4B). Observou-se que na safra 2019/2020 o valor médio observado foi 87,490, enquanto na safra 2020/2021 o valor médio observado foi 89,752 (Figura 4C).

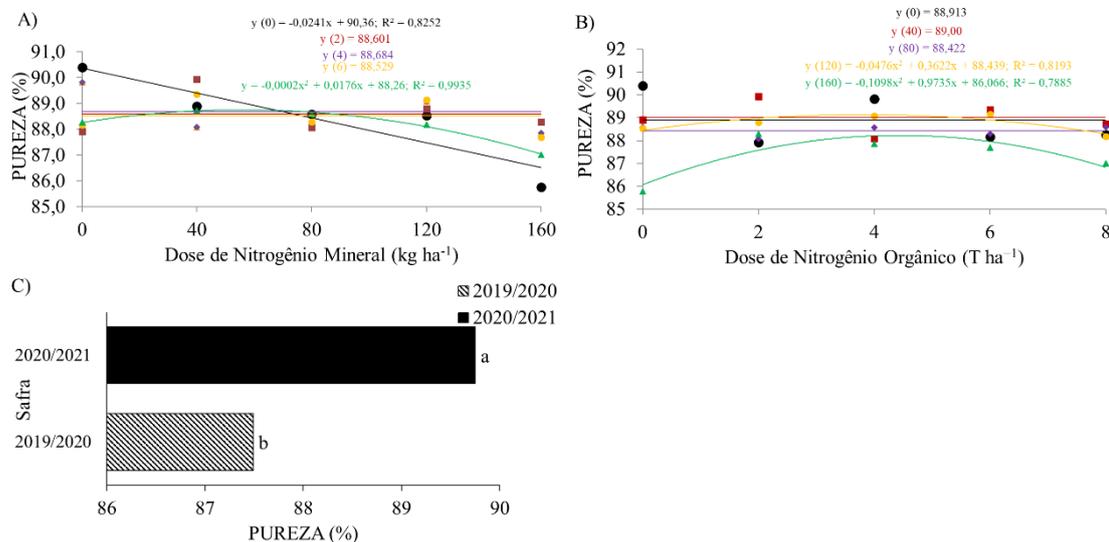


Figura 4. Pureza da cana-de-açúcar em função da interação doses de N mineral (NM) x doses de N orgânico (NO) (A), pureza da cana-de-açúcar em função da interação NO x NM (B), pureza da cana-de-açúcar em função da safra (C). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade).

Para o ATR da cana-de-açúcar houve desdobramento de dose de N mineral em cada nível de dose de N orgânico (Figura 5A). O ATR da cana-de-açúcar (variedade IACSP95-5094) variou para os níveis de doses de N orgânico de 0, 6 e 8 T ha⁻¹ em função das doses de N mineral. O nível de dose de N orgânico 0 T ha⁻¹ adequou-se ao modelo linear com R² médio de 82,58, enquanto os níveis de doses de N orgânico de 6 e 8 T ha⁻¹ tiveram um R² médio de 89,16 e 99,15%, respectivamente. Conforme a equação de regressão observou-se que para a dose de 0 T ha⁻¹ de N orgânico houve aumento linear no teor de ATR da cana-de-açúcar até a dose de N mineral de 160 kg ha⁻¹ (155,848 kg t⁻¹). Para a dose de 6 T ha⁻¹ de N orgânico, os menores valores foram observados na dose de N mineral de 0 kg ha⁻¹ (147,720 kg t⁻¹), os maiores valores foram observados na dose de N mineral de 87 kg ha⁻¹ (153,740 kg t⁻¹). Para a dose de 8 T ha⁻¹ de N orgânico, os menores valores foram observados na dose de N mineral de 0 kg ha⁻¹ (146,420 kg t⁻¹), enquanto os maiores valores foram observados na dose de N mineral de 38 kg ha⁻¹ (150,922 kg t⁻¹). As doses de 2 e 4 T ha⁻¹ de N orgânico não se adequaram a nenhum modelo para as doses de N mineral, obtendo os valores médios de 153,43 e 151,35 kg t⁻¹, respectivamente (Figura 5A). A análise do desdobramento de dose de N orgânico em cada

nível de dose de N mineral para o ATR, plotado em função das doses de 0, 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹ que as doses de 0 e 120 kg ha⁻¹, adequaram-se ao modelo quadrático com R² de 78,14 e 93,67%, respectivamente, enquanto a dose de 160 kg ha⁻¹ seguiu modelo linear com R² de 87,14%. As doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ N mineral não se adequaram a nenhum modelo para as doses de N mineral, obtendo os valores médios de 152,420 e 151,00 kg t⁻¹, respectivamente (Figura 5B). O ATR foi afetado pelo fator Safra, e os maiores valores foram observados na safra 2020/2021 (158,163 kg t⁻¹) e os menores valores para a safra 2019/2020 (145,665 kg t⁻¹) (Figura 5C).

Para o TAH foi afetado pela interação N mineral x N orgânico e individualmente pela Safra (Figura 5D, 5E, 5F). O TAH quando analisado as doses de N mineral em cada nível de N orgânico, observou-se que as doses de N mineral adequaram-se ao modelo linear para o nível 0 T ha⁻¹ de N orgânico, e o maior valor foi observado na dose de 160 kg/ha de N mineral (21,084 t ha⁻¹). O TAH não foi afetado pelos níveis de N orgânico de 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹ em função das doses de N mineral. Foi observado efeito de cada nível de N mineral em função das doses de N orgânico, exceto para a dose de 160 kg/ha de N mineral (Figura 5E). Para as doses de 0 e 120 kg/ha de N mineral observou-se comportamento quadrático dos dados com R² de 98,42 e 98,52%. Em ambas as doses (0 e 120 kg/ha de N mineral) houve decréscimos dos valores de TAH a partir da dose de 5 e 4,2 T ha⁻¹ de N orgânico, e atingiram valores máximos de 22,001 e 22,845 t ha⁻¹. Os níveis de doses de 40 e 80 kg/ha de N mineral adequaram-se ao modelo linear, com R² de 63,84 e 98,00%, respectivamente, sendo os maiores valores observados na dose de 8 T ha⁻¹ de N orgânico, 21,870 e 21,538 t ha⁻¹, respectivamente (Figura 5E). O fator safra foi significativo, sendo os menores valores observados na safra 2020/2021 (19,817 t ha⁻¹) e os maiores na safra 2019/2020 (21,756 t ha⁻¹).

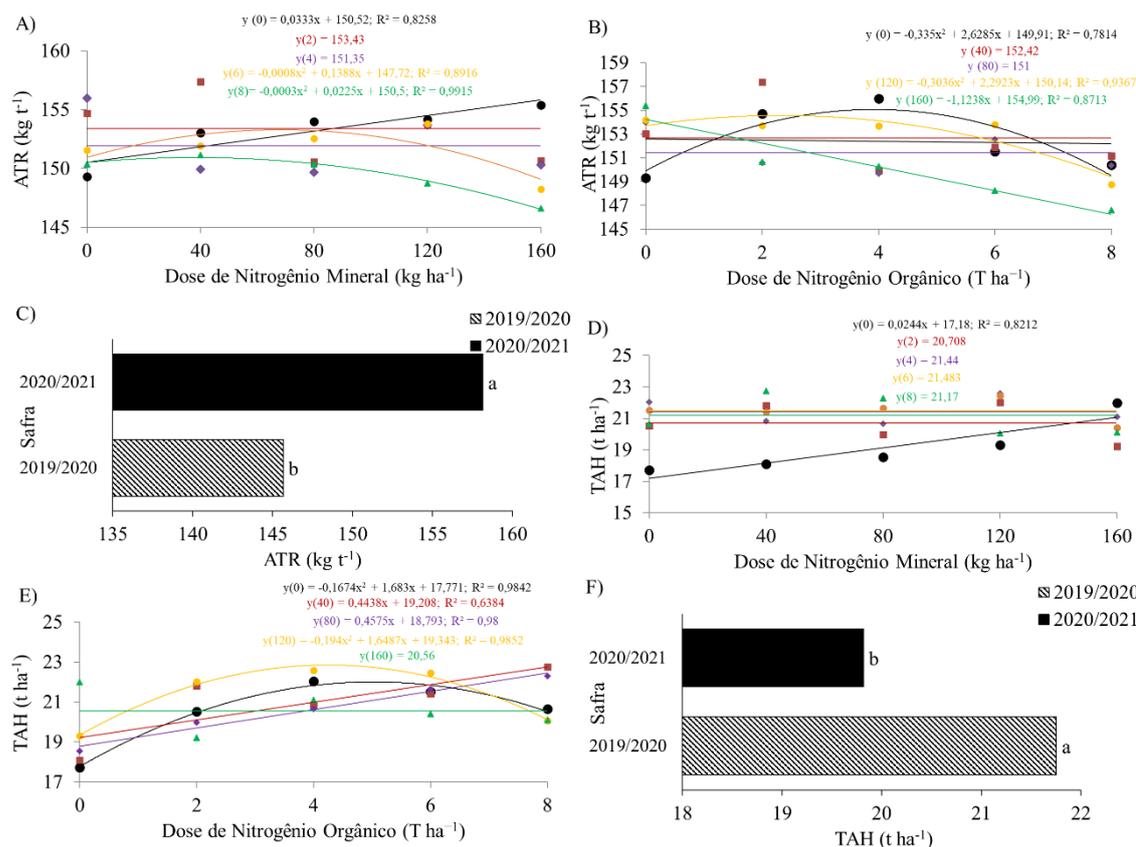


Figura 5. Teor de ATR em função da interação doses de N mineral (NM) x doses de N orgânico (NO) (A), teor de ATR em função da interação NO x NM (B), teor de ATR em função da safra (C), TAH em função da interação doses de N mineral (NM) x doses de N orgânico (NO) (D), TAH em função da interação NO x NM (E), TAH em função da safra (F). Barras seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste F (5% de probabilidade).

4.4 DISCUSSÃO

As diferentes doses de N orgânico e N mineral aumentaram de forma linear o teor de N no colmo. A matéria orgânica proveniente da cama de frango desempenha papel significativo no aumento do teor de N no solo (Cassity-Duffey *et al.*, 2020; Lipiec *et al.*, 2021; Qiu *et al.*, 2021). Composta por resíduos orgânicos como penas e excrementos, essa matéria é decomposta por microrganismos no solo, liberando nutrientes, incluindo N, durante o processo de mineralização (Bhunia *et al.*, 2021; Chand *et al.*, 2023; Shaji; Chandran; Mathew, 2021). A presença da cama de frango estimula a atividade microbiana, facilitando a transformação de compostos orgânicos em formas nitrogenadas como nitrato (NO₃⁻) e amônio (NH₄⁺), formas disponíveis para as plantas (Hoang *et al.*, 2022; Nguyen *et al.*, 2022). Além disso, a melhoria da estrutura do solo promovida pela matéria orgânica facilita a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Bhunia *et al.*,

2021; Chaudhari; Upadhyay; Kulshreshtha, 2021). Essa fonte de N, proveniente de materiais orgânicos, fornece liberação gradual do nutriente, contribuindo para o crescimento sustentável das culturas ao longo do tempo (Drózdź *et al.*, 2020; Shaji; Chandran; Mathew, 2021). Essa abordagem não apenas fornece nutrientes essenciais para as plantas, mas pode melhorar a eficiência no uso do N, destacando a importância do manejo adequado de adubação para otimizar o crescimento da cana-de-açúcar e de outras culturas. Por outro lado, a aplicação de N mineral na forma de nitrato de amônio fornece uma forma imediatamente disponível de N para as plantas (Boschiero *et al.*, 2020; Degaspari *et al.*, 2020; Furtado Da Silva *et al.*, 2020), resultando em aumento direto no teor de N no colmo. No estágio inicial de crescimento da cana-de-açúcar, o aporte de N proveniente de fertilizantes é crucial, sendo que a eficiência final depende de fatores como o manejo adequado de adubação (Bhatt *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2021).

Não houve diferença entre os teores de P e K no colmo da cana-de-açúcar pelas diferentes doses de N mineral, porém as diferentes doses de N orgânico aumentaram os teores de P e K no colmo da cana-de-açúcar. Ocorrendo porque a cama de frango, além de ser rica em N orgânico possui outros nutrientes na forma orgânica, que também são gradualmente liberados à medida que a matéria orgânica se decompõe, tornando disponíveis para a planta, ao longo do tempo, como P, K e micronutrientes (DHALIWAL *et al.*, 2019; SHAJI; CHANDRAN; MATHEW, 2021; SINGH *et al.*, 2020).

Observou-se a redução de forma linear nos teores de BRIX em relação ao aumento das doses de N orgânico e N mineral. O BRIX é o parâmetro mais utilizado na indústria do açúcar e álcool, expressa a porcentagem dos sólidos solúveis contidos no caldo (Costa *et al.*, 2021). A diminuição do Brix com o aumento da adubação de N mineral e orgânico deve-se as altas quantidades de N que podem afetar os processos metabólicos da cana-de-açúcar (Bassi; Menossi; Mattiello, 2018; Boschiero *et al.*, 2019). Em vez de direcionar recursos para a produção de açúcares, a planta redireciona esses recursos para o crescimento do colmo, resultando em menor acumulação de sólidos solúveis (Muchow *et al.*, 1996; Verma *et al.*, 2019).

No contexto tecnológico da cana-de-açúcar, o colmo contém um líquido composto por água e a combinação de substâncias solúveis totais (açúcares e outros compostos não solúveis em água), além de sólidos insolúveis, como a fibra (ESCOBAR *et al.*, 2022; UNGUREANU; VLĂDUȚ; BIRIȘ, 2022; WANG *et al.*, 2022). O POL (Pol%Caldo) é a porcentagem de sacarose contida no caldo da cana (MARTINS *et al.*, 2023). O POL teve decréscimo linear em função das doses de N mineral e orgânico. Cunha *et al.*, 2020

observou que os atributos tecnológicos como Brix e Pol%Caldo da cana-de-açúcar tendem a diminuir com o aumento das doses de N. ocorrendo pelo excesso de N, a planta tende a direcionar uma quantidade significativa de energia e nutrientes para o crescimento de folhas, colmo e outros tecidos vegetativos, resultando na redução, na alocação de recursos para a síntese e acumulação de sacarose no caldo (Cunha *et al.*, 2016; Cunha *et al.*, 2020; Lofton; Tubaña, 2015).

Não foi observado efeito das doses de NM e NO sobre os teores de fibra. Como as doses de NM e NO não alteraram os teores de fibra, sob um ponto de vista industrial, isso pode representar efeito benéfico do N disponibilizado por essas fontes, já que esse elemento possibilita o aumento na produção de açúcar e mantém o equilíbrio energético da indústria através da fibra (BHATT, 2020; DEVI; VIGNESH; CHOZHAVENDHAN, 2020; SINGH *et al.*, 2021). Ocorre porque as fibras são utilizadas como combustível nos caldeirões, gerando vapor que é convertido em energia elétrica para abastecer a indústria sucroalcooleira (AJALA *et al.*, 2021; PALACIOS-BERECHE *et al.*, 2022; ROSSETTO *et al.*, 2022).

A alta pureza é considerada um incentivo e fator crucial para produção de açúcar, tendo impacto direto no rendimento de açúcar obtido (EGGLESTON; LIMA, 2015; SHI *et al.*, 2021). Observou-se nas doses de NM que para o nível de dose de 0 T ha⁻¹ de NO, houve decréscimo de forma linear, sendo a menor pureza obtida para a dose de 160 kg/ha de NM. Não houve diferenças observadas para as doses de 2, 4 e 6 T ha⁻¹ em função das doses de NM. As variações na pureza da cana foram observadas em função das doses de NO x NM. Quando a dose de NO era 8 T ha⁻¹ e foi aplicado NM, houve queda na pureza a partir da dose de 80 kg/ha de NM. Abazied e El-Bakry, 2018 estudando variedades de cana-de-açúcar observou que o excesso de N reduz a qualidade do caldo de cana, e pode ser causada pela quantidade excessiva de N que atrasa a maturidade, causando diminuição da pureza. A diminuição da pureza também ocorre pelo excesso de N pela diluição da sacarose e aumento do teor de água pelo maior crescimento vegetativo (MEGDA *et al.*, 2012; SHRIVASTAVA *et al.*, 2015).

O teor de ATR aumentou de forma linear quando a dose de NO foi de 0 T ha⁻¹ em função das doses de NM, indicando efeito positivo na aplicação do N mineral na ausência de N orgânico (0 T ha⁻¹). Não houve alterações no ATR para os níveis de 2 e 4 T ha⁻¹ de NO em função das doses de NM. Em função das doses de NM, para os níveis de 6 e 8 T ha⁻¹ de NO observou-se a redução na quantidade de ATR, sendo essa redução evidente a partir da aplicação de 80 kg/ha de NM. O ATR representa a quantidade total

de açúcares redutores obtidos da cana colhida até a formação do xarope, ou seja, é a quantidade de açúcar presente na cana que a indústria efetivamente consegue aproveitar (Iwuozor *et al.*, 2022; Palacios-Bereche *et al.*, 2022). Na cana-de-açúcar, a transformação da sacarose em glicose e frutose é uma reação de inversão, ocorrendo durante processos metabólicos como fotossíntese e respiração (Khan *et al.*, 2023; Koli; Gaikar, 2017; Muller *et al.*, 2023; Vasantha *et al.*, 2021). Portanto, compreender o teor de ATR é fundamental para avaliar a qualidade da matéria-prima. Cunha *et al.* (2020) também notaram aumento linear no teor de ATR na cana-de-açúcar em resposta às doses de N, evidenciando esse padrão até a aplicação de 180 kg/ha de ureia.

Houve interação entre as doses de N mineral x N orgânico para a produção de açúcar (TAH). Em que o TAH aumentou linearmente em função das doses de N mineral para o nível 0 T ha⁻¹ de N orgânico. Como esperado, sugerindo impacto positivo do N mineral na produtividade. Porém, para os níveis de doses de N orgânico de 2, 4, 6 e 8 T ha⁻¹ não há incremento na produtividade da cana-de-açúcar em função das doses de N mineral. Analisando os níveis de N mineral em função das doses de N orgânico, observou-se que para as doses de 0 e 120 kg/ha de N mineral houve decréscimos dos valores de TAH a partir da dose de 5 e 4,2 T ha⁻¹ de N orgânico, que atingiram valores máximos de 22,001 e 22,845 t ha⁻¹. Os níveis de doses de 40 e 80 kg/ha de N mineral tiveram maiores valores observados na dose de 8 T ha⁻¹ de N orgânico, 21,870 e 21,538 t ha⁻¹, respectivamente. Os incremento no TAH pode ser atribuído ao aumento da geração de colmos em resposta à adubação nitrogenada, porém o excesso reduz o TAH, como observado nas combinações de 160 kg/ha de N mineral e 8 T ha⁻¹ de N orgânico que apresentaram média de 20,56. Outros estudos também apontam que a adubação nitrogenada pode diminuir o teor de sacarose nos colmos, porém, a quantidade total de açúcar por hectare é superior pelo aumento na produção de colmos (Cunha *et al.*, 2020; Rhein; Silva, 2017; Mm Neana; Ae Abd El Hak, 2014).

Houve diferenças significativas entre as safras 2019/2020 e 2020/2021. Na safra 2020/2021, verificou-se um aumento significativo nos parâmetros de qualidade da cana-de-açúcar, incluindo maiores teores de Pol, Pureza e ATR. Esses resultados indicam uma resposta positiva à aplicação de N, sugerindo a influência positiva da adubação nessas características desejáveis. Além disso, os teores de P e K no colmo também foram superiores na safra 2020/2021, indicando possível impacto benéfico da aplicação de N na disponibilidade desses nutrientes. Como esperado, na safra 2019/2020 foi observado os maiores vales para os teores de N no colmo, destacando a complexidade das interações

entre a adubação e as condições climáticas. A análise do TAH (toneladas de açúcar por hectare) revelou que, apesar das melhorias na qualidade, a produção total de açúcar foi superior na safra 2019/2020, possivelmente pelas condições climáticas mais favoráveis, como a maior quantidade de chuvas. Esses resultados ressaltam a importância de considerar não apenas a qualidade, mas, também a produção total ao avaliar os efeitos da adubação na cultura da cana-de-açúcar, já que o aumento na produção de açúcar nas partes aproveitáveis compensa a diminuição relativa da pureza aparente, levando ao aumento na quantidade total de açúcar recuperável.

4.5 CONCLUSÃO

Em síntese, os resultados deste experimento destacam a influência positiva das diferentes doses de N orgânico e mineral no teor de N no colmo da cana-de-açúcar. Além disso, observou-se que a adição de nitrogênio orgânico teve impactos positivos nos teores de P e K, contribuindo para a liberação gradual desses nutrientes, ao longo do tempo. No contexto tecnológico, a aplicação equilibrada de N favoreceu o aumento na produção de açúcar (TAH), já que em função da dose de $4,2 \text{ T ha}^{-1}$ N orgânico com o nível de aplicação de 120 kg/ha de N mineral observou um TAH de $22,845 \text{ t ha}^{-1}$. Além disso, para o nível de 6 T ha^{-1} N orgânico, as doses correspondentes de N mineral resultaram em TAH médio de $21,483 \text{ t ha}^{-1}$. Embora tenha sido evidenciado que doses excessivas de N, tanto orgânico como mineral, podem comprometer a qualidade do caldo, reduzindo o teor de sacarose. A compreensão dessas interações é fundamental para o manejo adequado da adubação, buscando otimizar não apenas a produção, mas a qualidade da cana-de-açúcar.

4.6 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam gratidão ao CNPq, pelo suporte financeiro, ao campus Rio Verde do Instituto Federal Goiano, pela infraestrutura fornecida para as análises, e aos estudantes participantes deste estudo. Além disso, os autores reconhecem a parceria e a colaboração da Usina Danusa, que disponibilizou área e maquinário para a realização dos experimentos de campo.

4.7 REFERÊNCIAS

ABAZIED, Sakina R.; EL-BAKRY, A. Effect of excessive nitrogen fertilization on yield and juice quality of some sugar cane varieties. **J. Biol. Chem. Environ. Sci**, v. 13, n. 2, p. 135-158, 2018.

AJALA, E. O. et al. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. **Bioresources and Bioprocessing**, v. 8, n. 1, p. 1-25, 2021.

Anas, Muhammad et al. Fate of nitrogen in agriculture and environment: agronomic, eco-physiological and molecular approaches to improve nitrogen use efficiency. *Biological Research*, v. 53, n. 1, p. 1-20, 2020.

Ashworth, A. J. et al. Nutrient characteristics of poultry manure and litter. *Animal manure: Production, characteristics, environmental concerns, and management*, v. 67, p. 63-87, 2020.

BASSI, Denis; MENOSSI, Marcelo; MATTIELLO, Lucia. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 2327, 2018.

BHATT, Rajan. Resources management for sustainable sugarcane production. **Resources use efficiency in agriculture**, p. 647-693, 2020.

BHUNIA, Shantanu et al. Agronomic efficiency of animal-derived organic fertilizers and their effects on biology and fertility of soil: A review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 823, 2021.

Borges, Carolina Eggers et al. Aluminum toxicity reduces the nutritional efficiency of macronutrients and micronutrients in sugarcane seedlings. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 44, p. e015120, 2020.

BOSCHIERO, Beatriz N. et al. Nitrogen fertilizer effects on sugarcane growth, nutritional status, and productivity in tropical acid soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 117, p. 367-382, 2020.

BOSCHIERO, Beatriz Nastaro et al. Biomass yield, nutrient removal, and chemical composition of energy cane genotypes in Southeast Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 191, p. 115993, 2023.

BOSCHIERO, Beatriz Nastaro et al. Influence of nitrate-ammonium ratio on the growth, nutrition, and metabolism of sugarcane. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 139, p. 246-255, 2019.

Carpanez, T. G. et al. Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks. *Science of The Total Environment*, v. 832, p. 154998, 2022.

Carvalho, João Luís Nunes et al. Multilocation straw removal effects on sugarcane yield in south-central Brazil. *BioEnergy Research*, v. 12, p. 813-829, 2019.

CASSITY-DUFFEY, Kate et al. Nitrogen mineralization from organic materials and fertilizers: Predicting N release. **Soil Science Society of America Journal**, v. 84, n. 2, p. 522-533, 2020.

CHAND, Subhash et al. Microbial and physico-chemical dynamics associated with chicken feather compost preparation vis-à-vis its impact on the growth performance of tomato crop. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 54, p. 102885, 2023.

CHAUDHARI, Sanya; UPADHYAY, Abhidha; KULSHRESHTHA, Shweta. Influence of organic amendments on soil properties, microflora and plant growth. **Sustainable Agriculture Reviews** 52, p. 147-191, 2021.

Chojnacka, Katarzyna et al. Management of biological sewage sludge: Fertilizer nitrogen recovery as the solution to fertilizer crisis. *Journal of Environmental Management*, v. 326, p. 116602, 2023.

COSTA, Marcus V. Americano da et al. Ultrabrix: A device for measuring the soluble solids content in sugarcane. **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1227, 2021.

CUNHA, Fernando N. et al. Yield of sugarcane submitted to nitrogen fertilization and water depths by subsurface drip irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 841-846, 2016.

CUNHA, Fernando Nobre et al. Industrial quality of sugarcane under fertigation with nitrogen and zinc. **Sugar Tech**, v. 22, n. 2, p. 232-240, 2020.

DEGASPARI, Iracema Alves Manoel et al. Nitrogen sources and application rates affect emissions of N₂O and NH₃ in sugarcane. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 116, p. 329-344, 2020.

Desalegn, Belete et al. Sugarcane productivity and sugar yield improvement: Selecting variety, nitrogen fertilizer rate, and bioregulator as a first-line treatment. *Heliyon*, v. 9, n. 4, 2023.

DEVI, G. Karthiga; VIGNESH, K.; CHOZHAVENDHAN, S. Effective utilization of sugarcane trash for energy production. In: **Refining biomass residues for sustainable energy and bioproducts**. Academic Press, 2020. p. 259-273.

DHALIWAL, S. S. et al. Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 1, p. 100007, 2019.

DRÓZDŹ, Danuta et al. Management of poultry manure in Poland—Current state and future perspectives. **Journal of Environmental Management**, v. 264, p. 110327, 2020.

EGGLESTON, Gillian; LIMA, Isabel. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries. **Sustainability**, v. 7, n. 9, p. 12209-12235, 2015.

ESCOBAR, Estephanie Laura Nottar et al. Combination of green solvents for efficient sugarcane bagasse fractionation. **Biomass and Bioenergy**, v. 161, p. 106482, 2022.

Fagodiya, Ram Kishor et al. Role of nitrogen and its agricultural management in changing environment. *Contaminants in Agriculture: Sources, Impacts and Management*, p. 247-270, 2020.

Fallah, Nyumah et al. Free-living bacteria stimulate sugarcane growth traits and edaphic factors along soil depth gradients under contrasting fertilization. *Scientific Reports*, v. 13, n. 1, p. 6288, 2023.

Ferreira, D. F. Sisvar: Um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia*. 2011, 35, 1039–1042.

FURTADO DA SILVA, Nelmicio et al. Nitrogen utilization from ammonium nitrate and urea fertilizer by irrigated sugarcane in Brazilian Cerrado Oxisol. *Agriculture*, v. 10, n. 8, p. 323, 2020.

HOANG, Hong Giang et al. The nitrogen cycle and mitigation strategies for nitrogen loss during organic waste composting: A review. *Chemosphere*, v. 300, p. 134514, 2022.

INSTITUTO AGRONÔMICO (IAC). *Variedades de cana-de-açúcar para o Centro-Sul do Brasil: 21.a liberação do programa cana IAC (1959-2021)*. /Marcos Guimarães de Andrade Landell, Mauro Alexandre Xavier, Daniel Nunes da Silva, et al. Campinas: Instituto Agrônômico, 2021. 40 p. on-line (Série Tecnologia APTA. Boletim técnico IAC, 227).

IWUOZOR, Kingsley O. et al. Valorization of sugar industry's by-products: a perspective. *Sugar Tech*, v. 24, n. 4, p. 1052-1078, 2022.

JUNIOR, Aureo Evangelista Santana; DUDA, Rose Maria; DE OLIVEIRA, Roberto Alves. Improving the energy balance of ethanol industry with methane production from vinasse and molasses in two-stage anaerobic reactors. *Journal of Cleaner Production*, v. 238, p. 117577, 2019.

Karuppanan, Sathish Kumar et al. Application of poultry industry waste in producing value-added products—A review. *Concepts of advanced zero waste tools*, p. 91-121, 2021.

KHAN, Qaisar et al. A Review of the Diverse Genes and Molecules Involved in Sucrose Metabolism and Innovative Approaches to Improve Sucrose Content in Sugarcane. *Agronomy*, v. 13, n. 12, p. 2957, 2023.

KOLI, Aditya C.; GAIKAR, Vilas G. Continuous cane sugar inversion process using immobilized invertase. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, v. 92, n. 4, p. 787-792, 2017.

Köppen, W.; Geiger, R. *Klimate der Erde*; Verlag Justus Perthes: Gotha, Germany, 1928.
Lai, Huiling et al. Nitrogen distribution and soil microbial community characteristics in a legume–cereal intercropping system: A review. *Agronomy*, v. 12, n. 8, p. 1900, 2022.

Liang, Hao et al. Long-term green manuring enhances crop N uptake and reduces N losses in rice production system. *Soil and Tillage Research*, v. 220, p. 105369, 2022.

LIPIEC, Jerzy et al. Effects of application of recycled chicken manure and spent mushroom substrate on organic matter, acidity, and hydraulic properties of sandy soils. **Materials**, v. 14, n. 14, p. 4036, 2021.

Liu, Churong et al. Optimizing nitrogen management diminished reactive nitrogen loss and acquired optimal net ecosystem economic benefit in a wheat-maize rotation system. *Journal of Cleaner Production*, v. 331, p. 129964, 2022.

Liu, Lei et al. Ammonia volatilization as the major nitrogen loss pathway in dryland agro-ecosystems. *Environmental Pollution*, v. 265, p. 114862, 2020.

LOFTON, Josh; TUBAÑA, Brenda. Effect of nitrogen rates and application time on sugarcane yield and quality. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 2, p. 161-176, 2015.

MA, Zhanxia et al. Optimal Water-Fertilizer Combinations for Efficient Nitrogen Fixation by Sugarcane at Different Stages of Growth. **Water**, v. 13, n. 20, p. 2895, 2021.

Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. D. *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações*. Potafos: Piracicaba, Brasil, 1997, p. 319.

MARTINS, Murilo Battistuzzi et al. Productivity and Quality Sugarcane Broth at Different Soil Management. **Agronomy**, v. 13, n. 1, p. 170, 2023.

MEGDA, Michele Xavier Vieira et al. Agronomic efficiency of nitrogen fertilizers on green harvesting sugarcane ratoon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1681-1690, 2012.

MM NEANA, Shahrzad; AE ABD EL HAK, Kamla. Effect of Irrigation Regime and Nitrogen Fertilization Levels on Sugarcane Yield and Its Components. **Alexandria Science Exchange Journal**, v. 35, n. OCTOBER-DECEMBER, p. 288-294, 2014

Mohamed, Gihan A. et al. Soil Properties, nutrients availability and wheat productivity as affected by compost and nitrogen Sources. *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, v. 11, n. 1, p. 35-42, 2020.

Montofré, Ítalo L. et al. Evaluation of copper tailing amendments through poultry waste and ammonium nitrate. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 43, p. 2213-2230, 2021.

MUCHOW, R. C. et al. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, v. 47, n. 2-3, p. 143-153, 1996.

MULLER, Gabriela et al. Improved Sugarcane-Based Fermentation Processes by an Industrial Fuel-Ethanol Yeast Strain. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 8, p. 803, 2023.

NGUYEN, Minh Ky et al. Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review. **Chemosphere**, v. 299, p. 134488, 2022.

OLIVEIRA, Ana Paula Pessim et al. Agronomic performance of green cane fertilized with ammonium sulfate in a coastal tableland soil. **Bragantia**, v. 76, p. 246-256, 2017.

Pahalvi, Heena Nisar et al. Chemical fertilizers and their impact on soil health. Microbiota and Biofertilizers, Vol 2: *Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs*, p. 1-20, 2021.

PALACIOS-BERECHE, M. C. et al. Brazilian sugar cane industry—A survey on future improvements in the process energy management. **Energy**, v. 259, p. 124903, 2022.

QIU, Zhongping et al. Study on nitrogen-retaining microbial agent to reduce nitrogen loss during chicken manure composting and nitrogen transformation mechanism. **Journal of Cleaner Production**, v. 285, p. 124813, 2021.

RHEIN, Andressa Freitas de Lima; SILVA, Marcelo de Almeida. Nitrogen doses on physiological attributes and yield of sugarcane grown under subsurface drip fertigation. **Journal of plant nutrition**, v. 40, n. 2, p. 227-238, 2017.

ROSSETTO, Raffaella et al. Sustainability in sugarcane supply chain in Brazil: Issues and way forward. **Sugar Tech**, v. 24, n. 3, p. 941-966, 2022.

Sanches, Guilherme M.; Otto, Rafael. A novel approach for determining nitrogen requirement based on a new agronomic principle—sugarcane as a crop model. *Plant and Soil*, v. 472, n. 1-2, p. 29-43, 2022.

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos.; Oliveira, V. A. de; Lumberras, J. F., Coelho; M. R.; Almeida, J. A. de; Araujo Filho, J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, DF: EMBRAPA.

SHAJI, Hitha; CHANDRAN, Vinaya; MATHEW, Linu. Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. In: **Controlled release fertilizers for sustainable agriculture**. Academic Press, 2021. p. 231-245.

SHANTHI, R. M. et al. Impact of Climate Change on Sucrose Synthesis in Sugarcane Varieties. In: **Agro-industrial Perspectives on Sugarcane Production under Environmental Stress**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023. p. 13-38.

SHI, Changrong et al. Sugar and value-added products derived from retentate concentrate of sugarcane juice. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123915, 2021.

Shi, Xinrui et al. Exploring optimal nitrogen management strategies to mitigate nitrogen losses from paddy soil in the middle reaches of the Yangtze River. *Agricultural Water Management*, v. 228, p. 105877, 2020.

SHRIVASTAVA, A. K. et al. Physiological interventions for enhancing sugarcane and sugar productivity. **Sugar Tech**, v. 17, p. 215-226, 2015.

Shukla, S. K. et al. Improving Soil Health and Sugarcane Productivity by Managing Crop Residue and Sugar Industry By-products. *Organic Crop Production Management: Focus on India, with Global Implications*, 2023.

SINGH, Surendra Pratap et al. Sugarcane wastes into commercial products: Processing methods, production optimization and challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 328, p. 129453, 2021.

SINGH, Teg Bahadur et al. Role of organic fertilizers in improving soil fertility. **Contaminants in agriculture: sources, impacts and management**, p. 61-77, 2020.

Sousa, D. M. G.; Lobato, E. *Cerrado: correção do solo e adubação*, 2^a ed. Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA: Brasília, Brasil, 2004, p. 416.

Swelum, Ayman A. et al. Ammonia emissions in poultry houses and microbial nitrification as a promising reduction strategy. *Science of The Total Environment*, v. 781, p. 146978, 2021.

Tarumoto, Miriam Büchler et al. Carbohydrate partitioning and antioxidant substances synthesis clarify the differences between sugarcane varieties on facing low phosphorus availability. *Frontiers in Plant Science*, v. 13, p. 888432, 2022.

TISCHLER, André Luís et al. Sugarcane harvest time for processing and technological quality of brown sugar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, 2021.

Tofanello, Vanessa R. et al. Role of bundle sheath conductance in sustaining photosynthesis competence in sugarcane plants under nitrogen deficiency. *Photosynthesis Research*, v. 149, p. 275-287, 2021.

UNGUREANU, Nicoleta; VLĂDUȚ, Valentin; BIRIȘ, Sorin-Ștefan. Sustainable valorization of waste and by-products from sugarcane processing. **Sustainability**, v. 14, n. 17, p. 11089, 2022.

VASANTHA, S. et al. Physiology of sucrose productivity and implications of ripeners in sugarcane. **Sugar Tech**, p. 1-17, 2021.

VERMA, I. et al. Expression analysis of genes associated with sucrose accumulation and its effect on source–sink relationship in high sucrose accumulating early maturing sugarcane variety. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, p. 207-220, 2019.

WANG, Yiqin et al. Bioconversion of cellulose and hemicellulose in reed sawdust to xylo-oligosaccharides and L-lactic acid. **Industrial Crops and Products**, v. 187, p. 115390, 2022.

5. CAPÍTULO III

Efeito Residual de Fontes Orgânicas e Minerais no Crescimento, Qualidade e Produtividade da Cana-de-Açúcar

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma cultura agrícola de grande importância econômica global, sendo amplamente cultivada para a produção de açúcar, etanol e outros subprodutos. A eficácia da fertilização desempenha papel crucial na otimização do rendimento e qualidade da cana-de-açúcar. Nesse contexto, a adubação nitrogenada e orgânica emerge como fatores determinantes no manejo nutricional dessa cultura. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos residuais da adubação nitrogenada, utilizando nitrato de amônio, e da adubação orgânica, empregando cama de frango, na produção e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). O experimento conduzido na Fazenda São Pedro, Goiás, avaliou os efeitos das doses de nitrogênio mineral (nitrato de amônio) e orgânico (cama de frango) na cana-de-açúcar. O solo foi corrigido e o experimento seguiu um delineamento de blocos ao acaso em um esquema fatorial 5x5. Durante a safra 2019/2020, foram aplicadas doses variadas de nitrogênio e os tratamentos foram implementados no estágio de cana-planta. Na segunda soca (safra 2021/2022), foram avaliados os efeitos residuais do nitrogênio mineral e orgânico. A análise abrangeu variáveis como altura das plantas, Brix, Pol (percentual de sacarose em massa), pureza, fibra, açúcares redutores (AR), açúcares totais recuperáveis

(ATR) e produtividade. Os resultados revelaram que o nitrogênio mineral não causou diferenças significativas, atribuídas às perdas por volatilização de nitrato de amônio no solo. No entanto, o nitrogênio orgânico influenciou diversas variáveis. A altura das plantas respondeu linearmente ao aumento das doses de nitrogênio orgânico, enquanto Brix e Pol mostraram respostas quadráticas complexas. Houve redução na qualidade da sacarose com doses mais altas de nitrogênio orgânico, indicando comprometimento na qualidade da cana-de-açúcar. Apesar do aumento na produtividade com doses mais elevadas de nitrogênio orgânico, os resultados destacam que o excesso de nitrogênio reduz a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar.

PALAVRAS-CHAVE: adubação nitrogenada; fertilizantes orgânicos; cama de frango; qualidade tecnológica; *Saccharum officinarum*.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) is a globally significant agricultural crop, widely cultivated to produce sugar, ethanol, and other byproducts. The effectiveness of fertilization plays a crucial role in optimizing the yield and quality of sugarcane. In this context, nitrogen and organic fertilization emerge as determining factors in the nutritional management of this crop. This study aimed to evaluate the residual effects of nitrogen fertilization using ammonium nitrate and organic fertilization employing chicken litter on the production and technological quality of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). The experiment conducted at Fazenda São Pedro in Goiás evaluated the effects of mineral nitrogen (ammonium nitrate) and organic (chicken litter) doses on sugarcane. The soil was corrected, and the experiment followed a randomized block design in a 5x5 factorial scheme. During the 2019/2020 harvest, several nitrogen doses were applied, and treatments were implemented at the sugarcane plant stage. In the second crop (2021/2022 harvest), the residual effects of mineral and organic nitrogen were assessed. The analysis covered variables such as plant height, Brix, Pol (percentage of sucrose by mass), purity, fiber, reducing sugars (AR), total recoverable sugars (ATR), and productivity. The results revealed that mineral nitrogen did not cause significant differences, attributed to losses through ammonium nitrate volatilization in the soil. However, organic nitrogen influenced several variables. Plant height responded linearly to increasing doses of

organic nitrogen, while Brix and Pol showed complex quadratic responses. There was a reduction in sucrose quality with higher doses of organic nitrogen, indicating compromised sugarcane quality. Despite increased productivity with higher doses of organic nitrogen, the results emphasize that excess nitrogen reduces the technological quality of sugarcane.

KEYWORDS: nitrogen fertilization; organic fertilizers; poultry litter; technological quality; *Saccharum officinarum*.

5.1 INTRODUÇÃO

A relevância da Cana-de-Açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na produção de biocombustíveis, açúcar e energia elétrica destaca o papel crucial no cenário agrícola, especialmente no Brasil, um dos principais produtores, que revela expressivo potencial produtivo (Bordonal *et al.*, 2018). No entanto, a alta exigência nutricional da cultura, em particular em relação ao nitrogênio, ressalta a necessidade de estratégias eficazes de adubação para assegurar o vigoroso desenvolvimento e a qualidade da matéria-prima (Quassi *et al.*, 2018).

O nitrogênio, essencial para o crescimento da cultura, é influenciado por diversos fatores, incluindo condições ambientais, vigor das raízes e fixação biológica de nitrogênio atmosférico (Cunha *et al.*, 2020). A disponibilidade adequada desse nutriente é crucial para evitar problemas qualitativos no produto, como no caldo responsável pela produção de álcool, sendo que tanto a falta quanto o excesso de nitrogênio podem impactar negativamente a qualidade da matéria-prima (Otto *et al.*, 2016).

Além das fontes convencionais de nitrogênio, como fertilizantes minerais, a utilização de resíduos orgânicos, como a cama de frango proveniente da avicultura, emerge como alternativa sustentável (Kyakuwaire *et al.*, 2019). Considerando a produção intensiva de aves, que gera quantidades significativas de resíduos, torna-se essencial compreender a dinâmica desses insumos no solo/planta da Cana-de-Açúcar (Bhatnagar *et al.*, 2022). Nesse sentido, estudos são necessários para estabelecer recomendações adequadas tanto para fertilizantes nitrogenados quanto para a cama de frango.

A aplicação de adubação nitrogenada na Cana-de-Açúcar é um tema amplamente debatido, com divergências sobre a dose ideal (Boschiero *et al.*, 2020). Enquanto alguns estudos indicam incremento na produtividade com doses moderadas, outros sugerem que

doses mais elevadas podem proporcionar resultados mais expressivos (Yang *et al.*, 2021). A identificação precisa da dose de nitrogênio é crucial, considerando que este é frequentemente reconhecido como o nutriente mais limitante para a produtividade das culturas em todo o mundo (Zhang *et al.*, 2015).

A utilização combinada de fertilizantes orgânicos, como a cama de frango, emerge como uma alternativa promissora (Gana, 2021). Estudos indicam que essa abordagem pode não apenas atender às demandas nutricionais da Cana-de-Açúcar, mas, também promover práticas agrícolas sustentáveis, tanto economicamente quanto ambientalmente (Ranjan *et al.*, 2020). Essa integração oferece oportunidade para preservar os solos, otimizar a eficiência dos fertilizantes e dar destino adequado aos subprodutos da produção animal, contribuindo para um manejo nutricional equilibrado e responsável (Oliveira *et al.*, 2022).

Com o intuito de aprofundar o entendimento sobre o efeito residual dessas práticas, o presente experimento focou na avaliação do impacto da adubação nitrogenada e da cama de frango na terceira safra (segunda soca) da Cana-de-Açúcar, buscando *insights* valiosos para orientar futuras decisões de manejo agrícola.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Denusa – Destilaria Nova União S/A, Fazenda São Pedro, BR-060, km 274, Margem Esquerda, município de Jandaia, Goiás, na Fazenda São Pedro – 41, talhão 69. A área experimental foi implantada em maio de 2020 com a variedade IAC95-5094 de ciclo médio e responsiva à adubação sendo o ambiente de produção B, em Latossolo Vermelho Eutrófico, textura argilosa (30 a 60% de argila). Foram realizadas todas as correções de solo com uso de calcário, gesso e fosfato reativo nas camadas de 00-20 e 20-40. Foi utilizado arado de aivecas para o preparo de solo, a fim de corrigir as camadas subsuperficiais.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 5 x 5, com 4 repetições, sendo 5 doses de nitrogênio e 5 doses de cama de frango. Os tratamentos foram implementados durante o estágio de cana-planta, durante a safra 2019/2020. As doses de nitrogênio foram: 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹, utilizando como fonte o nitrato de amônio (NM) e as doses de cama de frango (NO) foram: 0, 1, 2, 4 e 8 Toneladas/ha⁻¹, sendo os adubos aplicados no fundo do sulco de plantio no mesmo dia da distribuição dos toletes de cana que será uniformizada o número de gemas em 12 viáveis por metro linear. A cobertura de terra foi realizada com auxílio da cobridora química

DMB, e foram pulverizados sobre os toletes um inseticida para controle de pragas de solo (Fipronil 800 WG) na dose de $0,1 \text{ kg ha}^{-1}$ e um nematicida para o controle de nematoides (Carbosulfano 700 EC) na dose de $4,5 \text{ l/ha}^{-1}$. Aproximadamente um mês após a conclusão da colheita da cana-planta, os procedimentos foram aplicados da mesma maneira que no ciclo anterior, conforme descrito previamente (safra 2020/2021).

Foi enviada uma amostra da cama de frango para análise em laboratório para caracterização química. Cada parcela experimental foi formada por oito (8) linhas de 10 m de comprimento e 1,5 m entrelinhas de plantio, totalizando 120 m^2 . Entre cada parcela foi feito um carreador de 2 m, para facilitar a colheita. Todos os tratamentos foram individualizados em sacos plásticos com a quantidade exata a ser aplicada em cada linha, para facilitar a aplicação. Os tratamentos foram dispostos no início de cada linha de cada parcela e distribuídos com auxílio de baldes, para manter padrão na distribuição. Além dos tratamentos, foi realizada a adubação de correção básica com Ca, Mg, P, K, S e micronutrientes conforme a necessidade da cultura, indicada pela análise de solo.

Na segunda soca da cana-de-açúcar (safra 2021/2022), procedeu-se à avaliação do efeito residual do nitrogênio mineral (nitrato de amônio) e do nitrogênio orgânico (cama de frango). Nesse contexto, nenhuma adubação de cobertura foi aplicada na segunda soca, visando examinar o impacto remanescente das adubações realizadas nos anos anteriores. Foram avaliadas as seguintes variáveis quantitativas contínuas e discretas para determinação do efeito dos tratamentos no desenvolvimento e qualidade da cana-de-açúcar, sendo elas: número de perfilhos viáveis por metro (NPM), diâmetro médio de colmo (DMC), altura média do colmo (AMC), produtividade em tonelada de cana por hectare (TCH), ATR (Açúcar Total Recuperado), POL (% em massa de sacarose em uma solução açucarada de peso normal), Pureza (POL/Brix), a pureza e determinada pela relação $\text{POL/Brix} \times 100$ (Brix: porcentagem em massa de sólidos solúveis contidos em uma solução de sacarose quimicamente pura), quanto maior a pureza da cana, melhor a qualidade da matéria-prima para recuperar açúcar, e fibra (reflete na eficiência da extração da moenda). Todas as avaliações foram feitas utilizando as quatro linhas centrais, dispensando as linhas laterais para diminuir a interferência de fatores climáticos e físicos do ambiente e químicos do solo, que pudessem ocorrer durante a condução do ensaio.

Para a avaliação do número de perfilhos viáveis, foram contadas todas as plantas que estavam disponíveis nas quatro linhas centrais de cada parcela. Essas amostras foram coletadas no dia anterior à colheita mecânica e foram dispostas em número de plantas por

metro linear. Para a determinação do diâmetro médio dos colmos, foi utilizado um paquímetro para medir o diâmetro inferior, médio e superior de 10 plantas por linha, retiradas aleatoriamente dentro das quatro linhas centrais. Essas medições foram realizadas no dia anterior à colheita e os resultados foram obtidos como diâmetro médio de colmo por parcela em centímetros (cm). Para a determinação da altura do colmo, as mesmas plantas da amostragem de diâmetro médio foram utilizadas, com o auxílio de uma trena, no dia anterior à colheita. Os resultados foram demonstrados como altura média de cana por parcela em centímetros (cm). Nas avaliações de diâmetro médio de colmo e altura média de cana, as 30 canas que foram amostradas por parcela foram seccionadas na altura de corte mecânico (3 cm), agrupadas em feixes de 10 canas, etiquetadas e levadas para fora da área do ensaio para facilitar a mensuração delas. Para a avaliação do efeito dos tratamentos na produtividade em TCH (Tonelada de Cana por Hectare), a colheita foi realizada aos 13 meses após a data de colheita anterior, devido ao ambiente de produção (C1) e ao estágio de corte que se encontrava a variedade, seguindo a matriz de produção desenvolvida pelo Instituto Agrônomo de Campinas. Foi realizada a tara da balança a cada linha. Foram colhidas por inteiro as quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando as duas linhas laterais, com o auxílio de colhedora de cana John Deere, modelo 3520, e pesadas em caminhão transbordo instrumentado com célula de carga no chassi. Depois de colhida, a cana foi enviada para a indústria, para seu processamento.

Para as determinações de ATR, POL, Pureza e Fibra, foram amostradas 10 canas por parcela aleatoriamente, dentro das três linhas centrais, e enviadas ao laboratório próprio da empresa no dia anterior à colheita. Essa amostragem foi realizada nesse período específico, pois após o corte, ocorre rapidamente a deterioração por ação de enzimas invertases que degradam a sacarose em monossacarídeos, além da ação de microrganismos que causam a hidrólise da sacarose e concentram dextrana, afetando a qualidade da matéria-prima.

Na análise estatística, foi realizada a análise de variância da regressão. No caso de interação significativa, foi realizada a decomposição dessa interação. Se a interação não fosse significativa seria conduzida a análise de regressão para os fatores independentes (doses dos adubos).

5.3 RESULTADOS

A variação na altura das plantas de cana-de-açúcar em resposta às diferentes doses de NO foi modelada linearmente, com R^2 de 71% (Figura 1A). Ao comparar a dose de 8 T ha⁻¹ com a dose 0 T ha⁻¹, observou-se significativa diferença de 14,058% na altura das plantas em relação às diferentes doses de NO (Fig 1A).

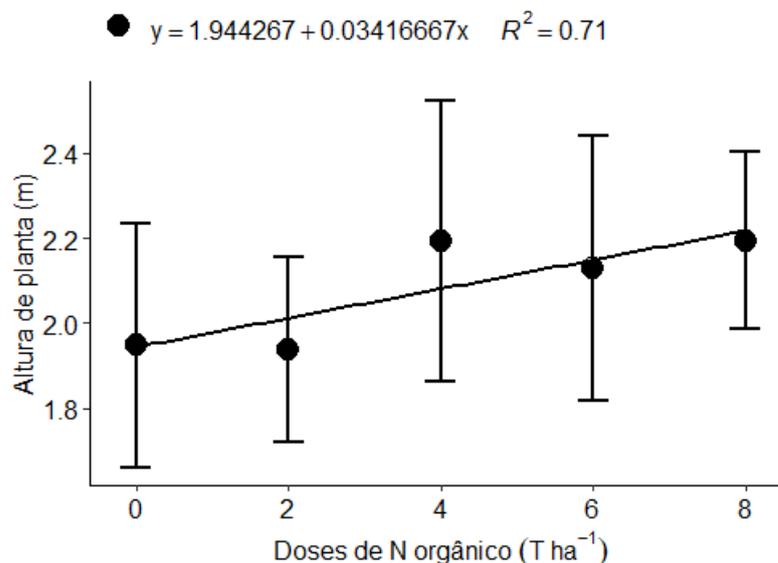


Figura 1. Altura das plantas de cana-de-açúcar na segunda soca, em decorrência do efeito residual proveniente das distintas doses de nitrogênio orgânico, aplicado na forma de cama de frango.

Para a variável Brix, observou-se significativa diferença em resposta às diferentes doses de NO, sendo ajustada ao modelo quadrático com um R^2 de 74%. Os menores valores foram registrados na dose de 8 T ha⁻¹ de NO, atingindo 21.327%, representando redução de 2.9% em comparação com a dose de 0 T ha⁻¹ de NO, que alcançou 21.946% (Figura 2A). No que diz respeito ao teor de Pol nas plantas de cana-de-açúcar em relação às doses de NO, o ajuste ao modelo linear mostrou um R^2 de 87%. Houve diminuição nos teores com o aumento das doses de NO, atingindo os valores mais baixos na dose de 8 T ha⁻¹ de NO (15.943%) e os valores mais altos na dose de 0 T ha⁻¹ de NO (16.532%) (Figura 2B). A análise da pureza, conforme a equação de regressão, revelou que a dose de 8 T ha⁻¹ de NO apresentou os valores mais elevados (89.991%), em comparação com a dose de 0 T ha⁻¹ de NO (88.423%), resultando em redução de 1.774% na pureza da cana (Figura 2C). Quanto ao teor de fibra, foi observada diferença de 6.026% entre a dose de 0 (11.688%) e 8 T ha⁻¹ de NO (11.024%) (Figura 2D). No que se refere ao AR (Açúcares Redutores), os maiores valores foram registrados na dose de 8 T ha⁻¹ de NO (0.520%), enquanto os menores foram na dose de 0 T ha⁻¹ de NO (0.478%) (Figura 2E). Quanto ao ATR (Açúcares Totais Recuperáveis), a dose de 8 T ha⁻¹ de NO apresentou valor superior

(163.595 kg t⁻¹), em comparação com a dose de 0 T ha⁻¹ de NO (158.302 kg t⁻¹) (Figura 2F).

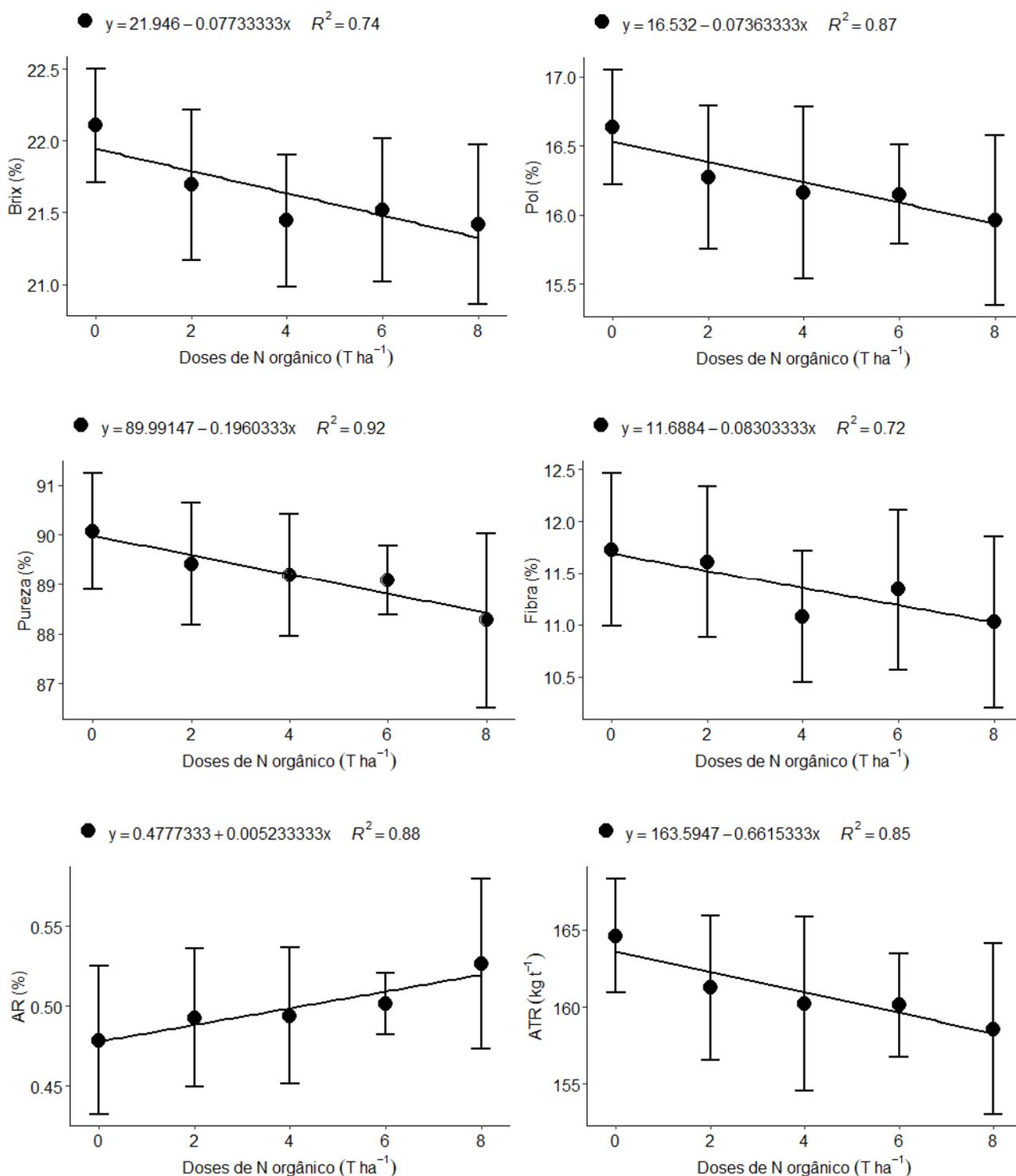


Figura 2. Brix (A), Pol (B), Pureza (C), Fibra (D), AR (E) e ATR (F) das plantas de cana-de-açúcar na segunda soca, em decorrência do efeito residual proveniente das distintas doses de nitrogênio orgânico, aplicado na forma de cama de frango.

A análise da produtividade (TCH) das plantas de cana-de-açúcar em resposta às diferentes doses de NO foi realizada utilizando modelo linear, alcançando um R^2 de 78%. Ao comparar a dose de 0 T ha⁻¹ (92.667 T ha⁻¹) com a dose de 8 T ha⁻¹ (110.806 T ha⁻¹), destaca-se notável diferença na produtividade, atingindo 18.138 T ha⁻¹ (ou 19.573%) em relação às diferentes doses de nitrogênio orgânico (Figura 3).

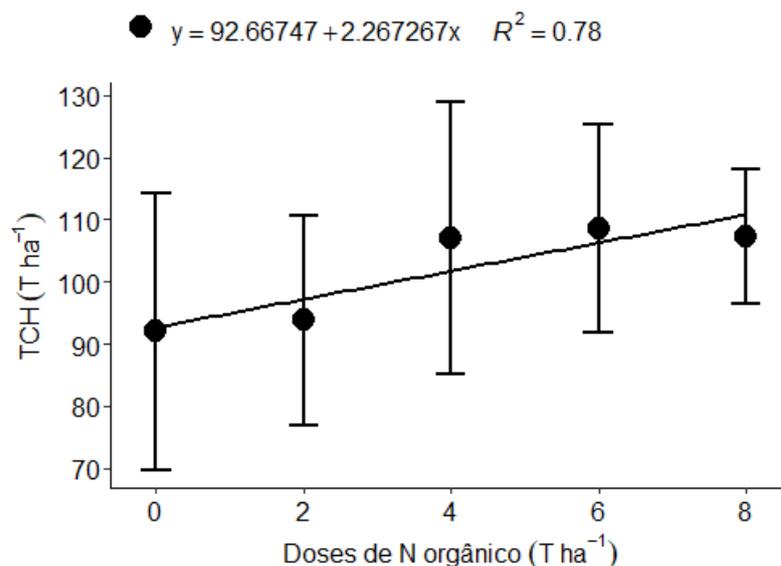


Figura 3. Produtividade (TCH) das plantas de cana-de-açúcar na segunda soca, em decorrência do efeito residual proveniente das distintas doses de nitrogênio orgânico, aplicado na forma de cama de frango.

5.4 DISCUSSÃO

Não foram observadas diferenças significativas para o efeito residual das doses de N mineral na qualidade tecnológica (Brix, Pol, Pureza, Fibra, AR e ATR), altura das plantas e produtividade (TCH). Estes resultados são atribuídos às perdas por volatilização de nitrato de amônio no solo, um fenômeno significativo capaz de impactar a eficiência do fertilizante nitrogenado (Barlóg; Grzebisz; Łukowiak, 2022; Bibi *et al.*, 2016). O nitrato de amônio (NH₄NO₃) é uma fonte de nitrogênio amplamente utilizada na agricultura pela alta concentração de nitrogênio e rápida disponibilidade para as plantas (Asif *et al.*, 2020; Fulya; Sağlam, 2018; Munene *et al.*, 2017). As perdas por volatilização do nitrato de amônio ocorrem quando há a conversão do íon amônio (NH₄⁺) para amônia gasosa (NH₃) (Palanivell Et Al., 2015; Selvarajh; Ch'ng; Zain, 2020; Smaltiené, 2019). Isso é influenciado por diversos fatores, como pH do solo, temperatura, umidade e

presença de microrganismos do solo (Cevallos *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2022; Mandal *et al.*, 2016).

A resposta linear da altura das plantas à variação nas doses de NO pode ser atribuída à influência direta do N no desenvolvimento vegetativo. O aumento na altura observado com doses mais elevadas pode indicar estimulação do crescimento celular e alongação pelo fornecimento adequado de nitrogênio, um componente essencial para a síntese de proteínas e metabolismo do nitrogênio (Bassi; Menossi; Mattiello, 2018; Shrivastava *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2019).

A resposta quadrática do Brix sugere uma relação mais complexa entre o NO e os sólidos solúveis. Os menores valores na dose de 8 T ha⁻¹ de NO podem ser interpretados como possível resposta as doses mais elevadas de NO, impactando negativamente a acumulação de açúcares (Fortes *et al.*, 2013; Muchow *et al.*, 1996; Robertson *et al.*, 1996; Robinson *et al.*, 2013). Este fenômeno pode estar relacionado à interferência nas vias metabólicas responsáveis pela síntese e transporte de carboidratos (Baslam *et al.*, 2020; Shrivastava *et al.*, 2015).

A diminuição linear no teor de Pol com o aumento nas doses de NO sugere comprometimento na qualidade da sacarose nas plantas submetidas a doses mais elevadas. A redução pode estar associada ao aumento na produção de outros compostos, como aminoácidos e proteínas, às custas da acumulação de sacarose (Lofton; Tubaña, 2015; El-Taib; Attia; Abazid, 2021). Essa mudança pode ser um reflexo da alocação diferencial de recursos pela planta em resposta ao estímulo de altas quantidades de NO.

A redução na pureza da cana-de-açúcar, conforme a equação de regressão, reforça a influência negativa das doses mais altas de NO na qualidade do produto. A possível explicação reside na alocação prioritária dos recursos da planta para o crescimento vegetativo em detrimento da acumulação de açúcares (Abazied; El-Bakry, 2018). O aumento na biomassa vegetativa pode diluir a concentração de sacarose, resultando em redução da pureza da cana-de-açúcar (Robinson *et al.*, 2013).

A redução do teor de fibra pode ser resultado da complexa interação entre o NO e a síntese de componentes estruturais (Ahmed, 2020). O excesso de nitrogênio pode levar ao crescimento vegetativo excessivo, resultando em plantas mais altas e com maior produção de folhas, em detrimento da formação adequada de colmos (Lofton; Tubaña, 2015). Um alto teor de fibras na cana-de-açúcar pode resultar em menor eficiência na produção de açúcar, pois as fibras dificultam a extração da sacarose durante o

processamento (Singh *et al.*, 2021). Além disso, o excesso de fibras pode aumentar os custos de produção e reduzir a qualidade do produto (Mahmud; Anannya, 2021).

Os maiores valores de AR na dose de 8 T ha⁻¹ sugerem possível melhoria na eficiência fotossintética e estimulou o metabolismo de carboidratos, influenciando positivamente a produção de açúcares redutores. No entanto, essa intensificação metabólica pode ter prejudicado a síntese de outros componentes essenciais para a qualidade tecnológica, como a sacarose (El-Azez *et al.*, 2018). Isso é evidenciado pelas reduções nos teores de Brix, Pol e Pureza, acompanhadas do consequente aumento nos açúcares redutores, como glicose e frutose.

Altas doses de nitrogênio podem criar desequilíbrio nutricional, influenciando a absorção de outros nutrientes essenciais para a produção de açúcares (Thorburn *et al.*, 2011). Podendo resultar em composição química da cana-de-açúcar menos propícia à acumulação de ATR (Matei *et al.*, 2020). O ATR é a quantidade de açúcares redutores totais recuperada da cana colhida até a formação do xarope (Toledo Piza *et al.*, 2016). A inversão da sacarose, ao gerar açúcares redutores, pode influenciar a composição do ATR (Tewari; Malik, 2007; Bragga *et al.*, 2016). Se a produção de glicose e frutose foi significativamente maior em relação à sacarose, isso pode ter contribuído para a redução dos valores de ATR (Tewari; Malik, 2007; Bragga *et al.*, 2016).

A resposta positiva da produtividade à aplicação de doses mais elevadas de NO destaca o potencial benefício da otimização da adubação com cama de frango. O aumento na produção de biomassa e, conseqüentemente de cana-de-açúcar, pode ser atribuído à promoção do crescimento vegetativo e ao estímulo ao desenvolvimento radicular proporcionado pelo NO (Quassi *et al.*, 2018).

5.5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam a ausência de efeito residual proveniente da adubação nitrogenada com nitrato de amônio, enquanto destacam o impacto residual das doses de NO, sendo a dose de 8 T ha⁻¹ associada a um notável estímulo no crescimento das plantas e na produtividade. No entanto, vale destacar que a qualidade da cana-de-açúcar foi prejudicada, especialmente pelo aumento dos açúcares redutores. Nesse cenário, o desafio crucial reside na busca pelo equilíbrio adequado que otimize tanto a quantidade quanto a qualidade da produção, considerando os aspectos econômicos e ambientais ligados ao uso de fertilizantes. A interpretação desses resultados não apenas

contribui para o entendimento do cultivo da cana-de-açúcar, mas, também oferece subsídios valiosos para orientar práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis. Essa perspectiva é fundamental para promover uma abordagem equilibrada e consciente na busca por uma agricultura mais produtiva e ambientalmente responsável.

5.6 AGRADECIMENTOS

Os autores expressam gratidão ao CNPq, pelo suporte financeiro, ao campus Rio Verde do Instituto Federal Goiano, pela infraestrutura fornecida para as análises, e aos estudantes participantes deste estudo. Além disso, os autores reconhecem a parceria e a colaboração da Usina Danusa, que disponibilizou área e maquinário para a realização dos experimentos de campo.

5.7 REFERÊNCIAS

ABAZIED, Sakina R.; EL-BAKRY, A. Effect of excessive nitrogen fertilization on yield and juice quality of some sugar cane varieties. **J. Biol. Chem. Environ. Sci**, v. 13, n. 2, p. 135-158, 2018.

AHMED, G. Effect of levels, doses of nitrogen fertilizer and seeding rate on yield and quality of sugarcane. **Fayoum Journal of Agricultural Research and Development**, v.34, p. 8-27, 2020.

ASIF, Muhammad et al. Nitrogen supply in combination of nitrate and ammonium enhances harnessing of elevated atmospheric CO₂ through improved nitrogen and carbon metabolism in wheat (*Triticum aestivum*). **Crop and Pasture Science**, v. 71, n. 2, p. 101-112, 2020.

BARŁÓG, Przemysław; GRZEBISZ, Witold; ŁUKOWIAK, Remigiusz. Fertilizers and fertilization strategies mitigating soil factors constraining efficiency of nitrogen in plant production. **Plants**, v. 11, n. 14, p. 1855, 2022.

BASLAM, Marouane et al. Recent advances in carbon and nitrogen metabolism in C3 plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 1, p. 318, 2020.

BASSI, Denis; MENOSSI, Marcelo; MATTIELLO, Lucia. Nitrogen supply influences photosynthesis establishment along the sugarcane leaf. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 2327, 2018.

BHATNAGAR, N. et al. A comprehensive review of green policy, anaerobic digestion of animal manure and chicken litter feedstock potential – Global and Irish perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.154, 2022.

BIBI, Sadia et al. Environmental impacts of nitrogen use in agriculture, nitrate leaching and mitigation strategies. **Soil science: Agricultural and environmental prospectives**, p. 131-157, 2016.

BORDONAL, R.O. et al. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for sustainable development**, v.38, n.13, 2018.

BOSCHIERO, B.N. et al. Nitrogen fertilizer effects on sugarcane growth, nutritional status, and productivity in tropical acid soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.117, p.367-382, 2020.

BRAGA, J.K. et al. Effect of 2-bromoethanesulfonate on anaerobic consortium to enhance hydrogen production utilizing sugarcane bagasse. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.41, n. 48, p. 22812-22823, 2016.

CEVALLOS, Evelin et al. Evaluate the effect of three levels pH in leaching and volatilization of nitrogen fertilizers, in three soil types. **Der Pharma Chem**, v. 7, p. 521-532, 2015.

CUNHA, F.N. et al. Productive potential of nitrogen and zinc fertigated sugarcane. **Agronomy**, v.10, p.1096, 2020.

EL-AZEZ, Y.A. et al. Yield and yield components of some sugarcane varieties (*Saccharum officinarum* L.) as affected by different nitrogen fertilization levels. **Journal of Plant Production**, v.09, n. 7, p.553-557, 2018.

EL-TAIB, A. B. A.; ATTIA, A. M.; ABAZID, Sakina R. Impact of Bio and Inorganic Potassium and Nitrogen Fertilization on Juice Quality and Sugar Yield of Promising Sugarcane Genotypes. **Journal of Plant Production**, v. 12, n. 4, p. 413-422, 2021.

FORTES, Caio et al. Stalk and sucrose yield in response to nitrogen fertilization of sugarcane under reduced tillage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 88-96, 2013.

FULYA, T. A. N.; SAĞLAM, Cihangir. A different method of using nitrogen in agriculture; Anhydrous ammonia. **International Advanced Researches and Engineering Journal**, v. 2, n. 1, p. 43-47, 2018.

GANNA, A.K. Effects of organic and inorganic fertilizers on sugarcane production. **African journal of general agriculture**, v. 4, n. 1, 2021.

ISLAN, M.A. et al. Effect of organic, inorganic fertilizers and plant spacing on the growth and yield of cabbage. **Agriculture**, v.7, 2017.

KHAN, M.T. et al. Sugarcane biofuels and bioenergy production in Pakistan: current scenario, potential, and future avenues. **Sugarcane Biofuels**, p. 175-202, 2019.

KYAKUWAIRE, M. et al. How safe is chicken litter for land application as an organic fertilizer?: A Review. **Int. J. Environ. Res. Public health**, v.16, 2019.

LI, Tianling et al. Ammonia volatilization mitigation in crop farming: A review of fertilizer amendment technologies and mechanisms. **Chemosphere**, v. 303, p. 134944, 2022.

LOFTON, Josh; TUBAÑA, Brenda. Effect of nitrogen rates and application time on sugarcane yield and quality. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 2, p. 161-176, 2015.

MAHMUD, Md Arif; ANANNYA, Ferdausee Rahman. Sugarcane bagasse-A source of cellulosic fiber for diverse applications. **Heliyon**, v. 7, n. 8, 2021.

MANDAL, Sanchita et al. Biochar-induced concomitant decrease in ammonia volatilization and increase in nitrogen use efficiency by wheat. **Chemosphere**, v. 142, p. 120-127, 2016.

MATEI, J.C. et al. Enzymatic delignification of sugar cane bagasse and rice husks and its effect in saccharification. **Renewable Energy**, v.157, p. 987-997, 2020.

MUCHOW, R. C. et al. Effect of nitrogen on the time-course of sucrose accumulation in sugarcane. **Field Crops Research**, v. 47, n. 2-3, p. 143-153, 1996.

MUNENE, Rozy et al. Effects of different nitrogen forms on growth, phenolics, flavonoids and antioxidant activity in amaranth species. **Trop. Plant Res**, v. 4, n. 1, p. 81-89, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, A.C. et al. Effect of mineral and organic nitrogen sources on vegetative development, nutrition, and yield of sugarcane. **Agronomy**, v.13, p.1627, 2023.

OLIVEIRA, M.W. et al. Impact of green and organic fertilizers on soil fertility and sugarcane productivity. **Agro-industrial Perspectives on Sugarcane Production under Environmental Stress**, p. 193-213, 2022.

OTTO, R. et al. Nitrogen use efficiency for sugarcane-biofuel production: what is next?. **Bioenergy Research**, v.9, p. 1272-1289, 2016.

PALANIVELL, Perumal et al. Mitigating ammonia volatilization from urea in waterlogged condition using clinoptilolite zeolite. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 17, n. 1, 2015.

QUASSI, S.G.C. et al. Harvesting systems, soil cultivation, and nitrogen rate associated with sugarcane yield. **Bioenergy Research**, v.11, p.583-591, 2018.

RAMOS, L.A. et al. Effect of organo-mineral fertilizer and poultry litter waste on sugarcane yield and some plant and soil chemical properties. **African journal of agricultural research**, v.17, n.01, p.20-27, 2017.

RANJAN, A. et al. A review on effect of INM on sugarcane growth, yield and quality. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 9, n.1, 2020.

ROBERTSON, M. J. et al. Accumulation of reducing sugars by sugarcane: effects of crop age, nitrogen supply and cultivar. **Field Crops Research**, v. 49, n. 1, p. 39-50, 1996.

ROBINSON, Nicole et al. Nitrogen physiology of sugarcane. **Sugarcane: physiology, biochemistry, and functional biology**, p. 169-195, 2013.

SELVARAJH, Gunavathy; CH'NG, Huck Ywih; ZAIN, Norhafizah Md. Effects of rice husk biochar in minimizing ammonia volatilization from urea fertilizer applied under waterlogged condition. **AIMS Agriculture and Food**, 2020.

SHRIVASTAVA, A. K. et al. Physiological interventions for enhancing sugarcane and sugar productivity. **Sugar Tech**, v. 17, p. 215-226, 2015.

SINGH, Surendra Pratap et al. Sugarcane wastes into commercial products: Processing methods, production optimization and challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 328, p. 129453, 2021.

SMALSTIENĖ, Vita et al. The relationship between nitrogen fertilizer forms and meteorological conditions on nitrogen transformation in the soil and loss via volatilization. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 106, n. 3, 2019.

TEWARI, J.C. e MALIK, K. In situ laboratory analysis of sucrose in sugarcane bagasse using attenuated total reflectance spectroscopy and chemometrics. **International Journal of Food Science & Technology**, v.42, p. 200-207, 2007.

THORBURN, P.J. et al. An improved way to determine nitrogen fertiliser requirements of sugarcane crops to meet global environmental challenges. **Plant Soil**, v.339, p.51-67, 2011.

TOLEDO PIZA, C.S. et al. Period prior to interference of morning glory in sugarcane. **Científica**, v. 44, n. 4, p. 543-548, 2016.

WANG, G.Y. et al. Different amounts of nitrogen fertilizer applications alter the bacterial diversity and community structure in the rhizosphere soil of sugarcane. **Frontier Microbiology**, v.12, 2021.

YANG, Y. et al. The physiological and agronomic responses to nitrogen dosage in different sugarcane varieties. **Frontier Plant Science**, v. 10, p. 406, 2019.

YANG, Yingying et al. The physiological and agronomic responses to nitrogen dosage in different sugarcane varieties. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 406, 2019.

ZENG, X.P. et al. Long-term effects of different nitrogen levels on growth, yield, and quality in sugarcane. **Agronomy**, v. 10, p. 353, 2020.

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

6. CONCLUSÃO GERAL

Os resultados deste estudo convergem para a necessidade de um manejo equilibrado entre nitrogênio orgânico e mineral no cultivo da cana-de-açúcar. A aplicação de nitrogênio orgânico, proveniente da cama de frango, demonstrou ser comparável em eficácia ao nitrogênio mineral, impulsionando o crescimento e a produtividade da cultura. Essa abordagem apresenta como alternativa sustentável e economicamente viável para a fertilização, especialmente em solos eutróficos da região Centro-Oeste do Brasil.

A análise equilibrada das doses de nitrogênio orgânico e mineral revelou melhorias nos teores de nitrogênio, fósforo e potássio, resultando em aumento na produção de açúcar. No entanto, doses excessivas de ambos os tipos de nitrogênio foram associadas a redução na qualidade do caldo, manifestada pela diminuição do teor de sacarose. O manejo cuidadoso dessas interações é crucial para otimizar não apenas a quantidade, mas, também a qualidade da cana-de-açúcar.

A falta de efeito residual da adubação nitrogenada com nitrato de amônio destaca a importância de encontrar equilíbrio delicado entre a maximização da produção e a preservação da qualidade da cana-de-açúcar. O desafio fundamental reside em atingir níveis elevados de produção sem comprometer a qualidade, considerando os aspectos econômicos e ambientais ligados ao uso de fertilizantes.

Adicionalmente, a constatação de efeito residual da adubação com cama de frango destaca a relevância dessa fonte orgânica como alternativa viável para a fertilização, mesmo diante da observação da diminuição na qualidade tecnológica. O desafio reside em equilibrar o estímulo ao crescimento e à produtividade com a manutenção dos padrões desejados de qualidade, considerando os aspectos econômicos e ambientais associados ao uso de fertilizantes.