

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

**ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA COMO
FONTE ALTERNATIVA À ADUBAÇÃO MINERAL
NITROGENADA PARA A CULTURA DO MILHO NO
CERRADO**

Autora: Daniely Karen Matias Alves
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

RIO VERDE - GO
Janeiro – 2025

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - CAMPUS RIO VERDE PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA COMO
FONTE ALTERNATIVA À ADUBAÇÃO MINERAL
NITROGENADA PARA A CULTURA DO MILHO NO
CERRADO**

Autora: Daniely Karen Matias Alves
Orientador: Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira

Tese apresentada como parte das exigências para obtenção do título de DOUTORA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde - GO
Janeiro – 2025

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

A474a Alves, Daniely Karen Matias.
 Água residual de suinocultura como fonte
alternativa à adubação mineral nitrogenada para a
cultura do milho no Cerrado / Daniely Karen Matias
Alves ; orientador Marconi Batista Teixeira. -- Rio
Verde, 2025.
 79 f.

 Tese (Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia)
-- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2025.

 1. *Zea mays* L. 2. Fertirrigação. 3. Ureia. 4. Produ-
tividade de grãos. 5. Eficiência agrônoma. 6. Reuso
da água. 7. Reciclagem de nutrientes I. Teixeira,
Marconi Batista, 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

- | | |
|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:
Daniely Karen Matias Alves

Matrícula:
202020320140010

Título do trabalho:
Água residuária de suinocultura como fonte alternativa à adubação mineral nitrogenada para a cultura do milho no Cerrado

RESTRICÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 30 / 01 / 2025

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 incluídos 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.

Documento assinado digitalmente
 DANIELY KAREN MATIAS ALVES
Data: 30/01/2025 16:54:57-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Rio Verde - GO
Local

30 / 01 / 2025
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

 MARCONI BATISTA TEIXEIRA
Data: 30/01/2025 16:49:20-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>
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

Documentos 81/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA COMO FONTE ALTERNATIVA À ADUBAÇÃO MINERAL NITROGENADA PARA A CULTURA DO MILHO NO CERRADO

Autora: Daniely Karen Matias Alves

Orientador: Dr. Marconi Batista Teixeira

TITULAÇÃO: Doutorado em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de Concentração em
Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em, 06 de dezembro de 2024.

Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira (Presidente)

Prof. Dr. Leandro Carlos (Avaliador interno)

Dr. Luan Peroni Venancio (Avaliador externo)

Prof. Dr. Fernando Nobre Cunha (Avaliador interno)

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

Documento assinado eletronicamente por:

- Marconi Batista Teixeira, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - CCM DAGRO-R, em 06/12/2024 11:45:54.
- Leandro Carlos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 06/12/2024 12:05:39.
- Edson Cabral da Silva, 2015102344060001 - Discente, em 06/12/2024 12:56:33.
- Fernando Nobre Cunha, Fernando Nobre Cunha - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde (10651417000500) , em 09/12/2024 11:58:16.

gov.br

Documento assinado digitalmente

LUAN PERONI VENANCIO

Data: 09/12/2024 19:25:56-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/12/2024. 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: 658810
Código de Autenticação: 223ea59f8c



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

DEDICO

A Deus,

Pela graça da vida, pela força e proteção em todos os momentos.

OFEREÇO

À minha família,

Aos meus pais, José Barbosa Alves e Maria Aparecida Matias Alves. À minha irmã, Gabriely Vitória Matias Alves. À minha avó, Sebastiana Estevão (*in memoriam*).
Ao meu esposo, Fernando Rodrigues Cabral Filho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por todas as vitórias e pela força ao longo da vida.

À minha família, em especial aos meus pais, José Barbosa e Maria Aparecida, que me incentivaram aos estudos com muita sabedoria e amor, sempre acreditando em mim. À minha irmã, Gabriely, pelo companheirismo e inspiração. Ao meu querido esposo, Fernando Cabral, pelo suporte, compreensão e apoio incondicional, além da ajuda essencial em todos os meus experimentos durante a graduação, mestrado e doutorado.

Expresso meus sinceros agradecimentos aos amigos e colegas do Laboratório de Hidráulica e Irrigação (grupo de pesquisa AGRICE), e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Agradeço o incentivo e as contribuições, através das discussões e trocas de experiências, que foram fundamentais ao longo de todo curso de pós-graduação.

Ao meu estimado orientador, Prof. Dr. Marconi Batista Teixeira, que desde a iniciação científica tem sido um alicerce para minha formação, orientando-me com zelo e sendo peça fundamental em minha trajetória acadêmica. Ao Prof. Dr. Frederico Antonio Loureiro Sores, por todo o apoio e ensinamentos compartilhados. Agradeço também a todo o corpo docente do IF Goiano, por transmitirem seus conhecimentos e experiências.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia e a todos os departamentos envolvidos. Ao IF Goiano – Campus Rio Verde, pela oportunidade e pelo suporte que possibilitaram a realização deste curso e o desenvolvimento deste trabalho. Também agradeço a todos os funcionários da instituição, pela atenção e colaboração ao longo da caminhada.

Ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelas verbas de auxílio financeiro ao projeto e fomento à pesquisa de maneira geral.

BIOGRAFIA DA AUTORA

DANIELY KAREN MATIAS ALVES, filha de José Barbosa Alves e Maria Aparecida Matias Alves, nasceu no dia 05 de fevereiro de 1997, na cidade de Iporá, Goiás.

No mês de fevereiro de 2011 iniciou no curso Técnico em Informática integrado ao Ensino Médio no Instituto Federal Goiano – Campus Iporá, GO, finalizando em dezembro de 2013.

Em fevereiro de 2014, ingressou no curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, graduando-se em agosto de 2018.

Em 2015, durante o curso superior ingressou na Iniciação Científica (IC) no Laboratório de Hidráulica e Irrigação, como bolsista (PIBIC), sob a orientação dos Professores Dr. Marconi Batista Teixeira e Dr. Frederico Antonio Loureiro Soares, até a conclusão da graduação em 2018.

Em agosto de 2018, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em setembro de 2020.

Em outubro de 2020, iniciou no curso de doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia, no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO, sob a orientação do Professor Dr. Marconi Batista Teixeira, concluindo em dezembro de 2024.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE TABELAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	vix
RESUMO.....	25
ABSTRACT.....	14
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	18
2 OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos.....	21
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
3 CAPÍTULO I	25
DESEMPENHO VEGETATIVO DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA.....	25
3.1 INTRODUÇÃO	26
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
3.4 CONCLUSÕES	46
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
4 CAPÍTULO II.....	52
EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA REGIÃO DE CERRADO	52
4.1 INTRODUÇÃO	53
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	55
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.4 CONCLUSÕES	74
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
5. CONCLUSÃO GERAL.....	79

ÍNDICE DE TABELAS

CAPÍTULO I - DESEMPENHO VEGETATIVO DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA

Tabela 1.	Características químicas e granulométricas do solo (Latossolo Vermelho distroférico), na camada de 0-20 cm.....	29
Tabela 2.	Descrição dos tratamentos.....	30
Tabela 3.	Caracterização físico-química da água residuária de suinocultura.....	31
Tabela 4.	Quantidades da Água Residuária de Suinocultura (ARS) e da ureia aplicadas por tratamento.....	32
Tabela 5.	Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila a (CLRa), b (CLRb), relação a/b (CLRa/b) e total (CLRt) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52, 62, 72, 82 e 92 dias após a semeadura (DAS), primeira safra (2022/23).....	34
Tabela 6.	Índice de Clorofila Falker do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52, 62, 72, 82 e 92 dias após a semeadura (DAS), primeira safra (2022/23).....	35
Tabela 7.	Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila a (CLRa), b (CLRb), relação a/b (CLRa/b) e total (CLRt) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).....	36
Tabela 8.	Índice de Clorofila Falker do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).....	37
Tabela 9.	Resumo da análise de variância para as variáveis índice SPAD e NDVI do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).....	39
Tabela 10.	Índice SPAD e NDVI do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).....	40
Tabela 11.	Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e área foliar (AF) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).....	41

Tabela 12.	Altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e área foliar do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).....	42
Tabela 13.	Resumo da análise de variância para as variáveis massa seca das folhas (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca total (MST), relação massa seca das folhas / massa seca do colmo (MSF/MSC) e, o particionamento dos fotoassimilados nas folhas (%FTF) e colmo (%FTC) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).....	44
Tabela 14.	Massa seca das folhas (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca total (MST), relação massa seca folhas/colmo (MSF/MSC), particionamento dos fotoassimilados nas folhas (%FTF) e colmo (%FTC) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).....	45

CAPÍTULO II - EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA REGIÃO DE CERRADO

Tabela 1.	Características químicas e granulométricas do solo (Latosolo Vermelho distroférico), na camada de 0-20 cm.....	56
Tabela 2.	Descrição dos tratamentos.....	58
Tabela 3.	Caracterização físico-química da água residuária de suinocultura.....	58
Tabela 4.	Resumo da análise de variância para as variáveis número de espigas por planta (NEP), número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por planta (NGP), diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).....	62
Tabela 5.	Número de espigas por planta (NEP), número de grãos por fileira (NGF), diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).....	63
Tabela 6.	Resumo da análise de variância para as variáveis massa de mil grãos (MMG), massa de grãos por espiga (MGESP), massa de grãos por planta (MGP) e da produtividade de grãos por hectare (PROD) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).....	66

Tabela 7.	Massa de mil grãos (MMG), massa de grãos por planta (MGP) e da produtividade de grãos (PROD) do milho fertirrigado com água residual de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).....	67
Tabela 8.	Custo médio da fertirrigação com água residual de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço na cultura do milho (safra 2022/23 e 2023/24).....	72
Tabela 9.	Avaliação dos custos de produção do milho fertirrigado com água residual de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23).....	73
Tabela 10.	Avaliação dos custos de produção do milho fertirrigado com água residual de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I - DESEMPENHO VEGETATIVO DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA

- Figura 1.** Mapa de geolocalização do município de Rio Verde - Goiás e identificação do local do experimento (milho de segunda safra, 2022/23 e 2023/24)..... 28
- Figura 2.** Dados de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa durante o período do experimento na safra de 2022/23 (A) e 2023/24 (B)..... 29
- Figura 3.** Croqui do experimento instalado em campo..... 31
- Figura 4.** Quantidades da ARS e da Ureia aplicadas por tratamento..... 31
- Figura 5.** Índice de clorofila *a* (A) e clorofila *total* (B) na folha do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 52 (clorofila *a*) e 62 (clorofila *total*) dias após a semeadura, primeira safra (2022/23)... 38
- Figura 6.** Índice SPAD (a) e índice NDVI (b) na folha do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 52 dias após a semeadura, segunda safra (2023/24)..... 40
- Figura 7.** Altura da planta (A) na primeira safra (2022/23) e diâmetro de colmo (B) na segunda safra (2023/24) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço..... 43
- Figura 8.** Massa seca total no 1º ciclo (safra 2022/23) e no 2º ciclo (safra 2023/24) do milho submetido a diferentes manejos de adubação nitrogenada com água residuária de suinocultura e ureia..... 41
- Figura 9.** Índice SPAD e NDVI aos 52 dias após a semeadura no 2º ciclo (safra 2023/24) do milho submetido a adubação nitrogenada com água residuária de suinocultura (ARS) e Ureia+ARS..... 42

CAPÍTULO II - EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA REGIÃO DE CERRADO

- Figura 1.** Dados de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa durante o período do experimento na safra de 2022/23 (A) e 2023/24 (B)..... 56
- Figura 2.** Número de fileiras de grãos (A), número de grãos por espiga (B) e número de grãos por planta (C) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23)..... 65

Figura 3.	Número de espigas por planta (NEP) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).....	66
Figura 4.	Massa de grãos por espiga (MGESP) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23).....	68
Figura 5.	Massa de mil grãos (A) e massa de grãos por espiga (B) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).....	68
Figura 6.	Índice de eficiência agrônômica (IEA) (A), eficiência agrônômica de nitrogênio (EAN) (B) e produtividade relativa (PRODRel) (C) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23).....	70
Figura 7.	Índice de eficiência agrônômica (IEA) (A), eficiência agrônômica de nitrogênio (EAN) (B) e produtividade relativa (PRODRel) (C) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).....	71

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
%	Porcentagem
%FTF	Particionamento dos fotoassimilados nas folhas
%FTC	Particionamento dos fotoassimilados no colmo
dm ³	Decímetro cúbico
°C	Graus Celsius
AF	Área foliar
AIE	Altura de inserção da espiga
Al	Alumínio
AP	Altura de planta
ARS	Água residuária de suinocultura
B	Boro
CT	Custo do tratamento
Ca	Cálcio
Ca ⁺²	Íon Cálcio
CE	Comprimento de espiga
CF	Comprimento da folha
CLRa	Clorofila <i>a</i>
CLRb	Clorofila <i>b</i>
CLR _t	Clorofila <i>total</i>
CLRa/b	Relação clorofila <i>a</i> /clorofila <i>b</i>
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro quadrado
CM _g	Custo marginal
cmol _c dm ⁻³	Centimol de carga por decímetro cúbico
CO ₂	Dióxido de carbono
CTC	Capacidade de troca de cátions
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de variação
DAS	Dias após a semeadura
DC	Diâmetro de colmo
DE	Diâmetro de espiga
DN	Dose aplicada de nitrogênio por tratamento
EAN	Eficiência agrônômica de nitrogênio
EUN	Eficiência de uso de nitrogênio
Fe	Ferro
FV	Fonte de variação
g	Gramas
g.dm ⁻³	Gramas por decímetro cúbico
GL	Grau de liberdade
ha	Hectare
ICF	Índice de Clorofilas Falker
IEA	Índice de eficiência agrônômica
IL	Índice de lucratividade
K	Potássio
K ⁺	Íon potássio
kg	Quilograma
L	Litros
LF	Largura da folha

LVdf	Latossolo Vermelho distroférico
m	Metros
M. O.	Matéria orgânica
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
MB	Margem bruta
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
mg dm ⁻³	Miligrama por decímetro cúbico
Mg ⁺²	Íon Magnésio
MGP	Massa de grãos por planta
MGESP	Massa de grãos por espiga
ml	Mililitros
mm	Milímetros
MMG	Massa de mil grãos
MSC	Matéria seca do colmo
MSF	Matéria seca das folhas
MST	Massa seca total
N	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NH ₄ ⁺	Íon amônio
NH ₃	Amônia
NEP	Número de espigas por planta
NF	Número de folhas
NFG	Número de fileiras de grãos
NGE	Número de grãos por espiga
NGF	Número de grãos por fileira
NGP	Número de grãos por planta
NO ₃ ⁻	Nitrato
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
P	Fósforo
Pe _q	Ponto de equilíbrio
P _g	Preço efetivamente recebido no mercado pelo grão
pH	Potencial de hidrogênio
PROD	Produtividade de grãos
PROD _{ARS}	Produtividade de grãos com a utilização de Água Residuária de Suinocultura
PROD _{Ureia}	Produtividade de grãos com a utilização de Ureia
PRODRel	Produtividade relativa
PROD _t	Produtividade de grãos por tratamento
R\$	Reais
RB	Receita bruta
Rent	Rentabilidade
t	Tonelada
S	Enxofre
Y	Volume de grãos colhidos
Zn	Zinco

RESUMO

ALVES, D. K. M. **Água residuária de suinocultura como fonte alternativa à adubação mineral nitrogenada para a cultura do milho no cerrado.** 2024. 81p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

O milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais importantes do mundo, sendo considerado uma cultura exigente em nutrientes, principalmente nitrogênio, que é o nutriente requerido em maior quantidade por este cereal, onerando no custo de produção. Dessa forma, a adoção de fontes alternativas de fornecimento de nitrogênio para a cultura do milho apresenta benefícios agrônomo, ambiental e econômico. Nesse contexto, objetivou-se com este estudo avaliar o crescimento, desenvolvimento, rendimento de grãos e custo de produção da cultura do milho (híbrido AS1820PRO3), submetido à fertirrigação com água residuária de suinocultura e adubação mineral com ureia, em Latossolo Vermelho de Cerrado. O ensaio foi conduzido em duas safras, na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, fase Cerrado, de textura argilosa. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em cinco proporções de água residuária de suinocultura (ARS) via fertirrigação complementadas com a aplicação de ureia a lanço, com base na dose recomendada de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, sendo: T1 - 0ARS+100Ureia: 0% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 100% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T2 - 25ARS+75Ureia: 25% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 75% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T3 - 50ARS+50Ureia: 50% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 50% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T4 - 75ARS+25Ureia: 75% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 25% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T5 - 100ARS+0Ureia: 100% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 0% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia. As parcelas experimentais foram compostas por cinco linhas de 5 m de comprimento, totalizando uma área ocupada pelo experimento de 281,25 m². A aplicação dos tratamentos ocorreu em cobertura na cultura do milho no estágio fenológico de V4 e V6. Foram avaliados os teores de clorofilas nas folhas, parâmetros de crescimento, acúmulo de matéria seca, parâmetros produtivos do milho e parâmetros econômicos da fertirrigação com água residuária de suinocultura. A água residuária de suinocultura em substituição total a ureia resulta em eficiência agrônoma satisfatória, demonstrando seu potencial como fonte alternativa de nitrogênio para a cultura do milho, porém, devido aos entraves no transporte, o custo por hectare é maior. Portanto, do ponto de vista econômico, recomenda-se a substituição parcial da ureia com água residuária de suinocultura, através da proporção 50ARS+50Ureia.

Palavras-chave: *Zea mays* L., fertirrigação, ureia, produtividade de grãos, eficiência agrônoma, reuso da água, reciclagem de nutrientes.

ABSTRACT

ALVES, D. K. M. **Swine wastewater as an alternative source of nitrogen in maize grain cultivation in the Brazilian cerrado.** 2024. 81p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias – Agronomia. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Brasil.

Corn (*Zea mays* L.) is one of the most important cereals in the world, and is considered a nutrient-demanding crop, especially nitrogen, which is the nutrient required in the greatest quantity by this cereal and the one that most burdens production costs. Thus, the adoption of alternative nitrogen sources supply for corn crops presents agronomic, environmental and economic benefits. In this context, the objective of this study was to evaluate the growth, development, grain yield and production cost of corn (hybrid AS1820PRO3), subjected to fertigation with swine wastewater and mineral fertilization with urea, in Cerrado Red Latosol. The experiment was conducted in two harvests, at the experimental station of the Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO. The soil used was classified as dystroferic Red Latosol, Cerrado phase, with clayey texture. The experimental design was in randomized blocks, with five replications, totaling 25 experimental plots. The treatments consisted of five proportions of swine wastewater (SWW) via fertigation supplemented with broadcast urea application, based on the recommended dose of nitrogen topdressing in corn crops, being: T1 - 0SWW+100Urea: 0% of the nitrogen dose applied via fertigation with SWW and 100% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T2 - 25SWW+75Urea: 25% of the nitrogen dose applied via fertigation with SWW and 75% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T3 - 50SWW+50Urea: 50% of the nitrogen dose applied via fertigation with SWW and 50% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T4 - 75ARS+25Urea: 75% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 25% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T5 - 100ARS+0Urea: 100% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 0% of the nitrogen dose applied broadcast via urea. The experimental plots consisted of five 5 m long rows, totaling an area of 281.25 m². The treatments were applied as topdressing in the corn crop at the V4 and V6 phenological stages. The chlorophyll contents in the leaves, growth parameters, dry matter accumulation, corn production parameters and economic parameters of fertigation with swine wastewater were evaluated. Pig wastewater as a total replacement for urea results in satisfactory agronomic efficiency, demonstrating its potential as an alternative nitrogen source for corn crops. However, due to transportation obstacles, its cost per hectare is higher. Therefore, from an economic point of view, it is recommended to partially replace urea with pig wastewater, using the ratio 50ARS+50Urea.

Keywords: *Zea mays* L., fertigation, urea, grain productivity, agronomic efficiency, water reuse, nutrient recycling.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.) pertencente à família Poaceae (Gramineae), exerce ampla importância cultural, sendo bastante utilizado como fonte alimentícia para humanos e para animais (REIS, 2023). Ressalta-se que o grão também possui múltiplas aplicações na indústria, tais como a fabricação de materiais de construção civil, papel e papelão, cosméticos e produtos químicos (ALVES e BACHA, 2022).

O milho é considerado uma cultura estratégica para o alicerce da agricultura brasileira, compondo diversos sistemas de cultivos e alcançando nas últimas décadas o patamar de maiores culturas agrícolas do mundo (CONTINI *et al.*, 2019). Desse modo, a produção de milho no país tem se mostrado robusta e crescente nos últimos anos, consolidando o Brasil como um dos maiores produtores e exportadores do grão no mundo (ROCHA, 2024).

Em contexto mundial, o Brasil é o terceiro maior produtor de milho, à frente estão Estados Unidos e China (REIS, 2023). Na safra 2023/2023, o Brasil registrou uma produção de 137 milhões de toneladas, equivalentes a 11% da produção mundial. O país tem aumentado significativamente a produção nas últimas décadas, com destaque para os estados de Mato Grosso, Paraná e Goiás. Em 2023, o Brasil também se tornou o maior exportador mundial de milho, superando os Estados Unidos ao exportar 55 milhões de toneladas (USDA, 2023; CONAB, 2023).

Para alcançar altos rendimentos na cultura do milho, o nitrogênio (N) é um dos fertilizantes de maior importância (RANSON *et al.*, 2020), pois é o nutriente exigido em maior quantidade e frequentemente limita a produtividade de grãos. O N é diretamente responsável pela produção de proteínas, componentes das células vegetais, aminoácidos, ácidos nucleicos e pelas moléculas de clorofila, que são essenciais para o processo fotossintético e para obter altos rendimentos de grãos, visto que a falta de N inibe o crescimento do milho, acarretando perdas de produtividade (TAIZ *et al.*, 2017).

Assim, para atender às exigências nutricionais da cultura do milho e para repor o nitrogênio exportado pela colheita dos grãos, há necessidade de adicionar esse nutriente aos sistemas produtivos (ALVES NETO *et al.*, 2016), através da adubação nitrogenada em cobertura, cujas principais fontes são o sulfato de amônio, nitrato de amônio e a ureia (BIANCHO *et al.*, 2022). A principal desvantagem do nitrato e sulfato de amônio é seu alto custo. Já a ureia é um composto que apresenta menor custo por kg de nitrogênio, contendo cerca de 45% do nutriente na composição, e causa menor acidificação do solo, em relação às outras fontes de N (PRIMAVESI *et al.*, 2004).

No Brasil, a principal forma de fornecimento de N para a cultura do milho é por meio da aplicação de ureia em cobertura, porém essa fonte apresenta alta suscetibilidade às perdas por volatilização da amônia (NH_3) (FRAZÃO *et al.*, 2014). Desse modo, a adubação nitrogenada via ureia pode resultar em perda de 60% de nitrogênio no sistema solo-água-plantas, e reduzir a eficiência de uso de N (EUN) em até 50% pela cultura do milho (MOTASIM *et al.*, 2022).

Além disso, os cuidados com a preservação ambiental, tem conduzido a uma situação de manejo e utilização mais eficiente do nitrogênio (LOPES e LIMA, 2015), desse modo, é fundamental encontrar fontes alternativas de fornecimento desse nutriente para as plantas.

Atividades do setor agroindustrial, como a suinocultura, produzem diariamente quantidades significativas de efluentes com elevada carga de nutrientes e matéria orgânica (SILVA, 2019; GOMES, 2016), que ao serem aplicados em áreas agrícolas, configuram excelente oportunidade de reciclagem de nutrientes ao solo.

Diante da expectativa de crescimento da atividade da suinocultura, há grande preocupação com os passivos ambientais que podem ser gerados neste setor (SILVA, 2018), principalmente em relação a quantidade de dejetos produzidos, que apresentam poder poluente, especialmente quando lançados sem tratamento em corpos hídricos, trazendo prejuízos à qualidade da água, à fauna e à flora (MATTEDI, 2021).

A água residuária de suinocultura (ARS), contém quantidades significativas de carbono, macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio) e micronutrientes (cobre, zinco, entre outros), o que torna interessante reciclá-los como adubos orgânicos na agricultura (NICOLOSO *et al.*, 2024). Portanto, devido às suas propriedades químicas, essa fonte de água residuária apresenta alto potencial de fertilidade, podendo substituir parcial ou totalmente os fertilizantes minerais, contribuindo consideravelmente para aumentar a produtividade das lavouras e reduzir os custos de produção (SEGANFREDO e JUNIOR, 2008), além de ser uma forma de destinação final mais adequada para esses resíduos, considerados passivos ambientais.

O fornecimento de nutrientes presentes nas águas residuárias para as plantas pode acontecer via sistema de irrigação, processo denominado fertirrigação, cujo método de gotejamento é o mais indicado, pela eficiência na aplicação do efluente e ao baixo risco de contaminação dos produtos agrícolas, assim como dos operadores no campo

(BATISTA *et al.*, 2013), destacando-se entre os demais métodos pela eficiência e uniformidade de aplicação.

Para a fertirrigação com água residuária de origem animal, o Brasil ainda não dispõe de normatização técnica específica, somente resoluções estaduais e leis municipais que regulamentam essa prática e restringem alguns parâmetros. Porém, é necessário que a água destinada ao reúso na irrigação atenda as recomendações da Organização Mundial da Saúde para a qualidade microbiológica (WHO, 2006).

Diversos estudos relatam a eficiência da utilização das águas residuárias na fertirrigação agrícola como opção para suprir as necessidades hídricas e nutricionais das plantas (MORETTI *et al.*, 2017; GUIDINELLE, 2019; SARTO *et al.*, 2019; AZEVEDO *et al.*, 2020; RAMOS, 2023), podendo assim substituir as fontes minerais de nitrogênio, além de nutrir as plantas e diminuir os custos de produção (ABREU, 2023).

Neste sentido, a utilização da água residuária de suinocultura em substituição e/ou associação com a fonte mineral de nitrogênio, na forma de ureia, na cultura do milho, possui aspectos agronômicos e econômicos viáveis, demandando estudos que visam analisar os efeitos da água residuária de suinocultura nos parâmetros agronômicos da cultura de milho.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Objetivou-se com este estudo avaliar o crescimento, desenvolvimento, rendimento de grãos e custo de produção da cultura do milho (híbrido AS1820PRO3), submetido à fertirrigação com água residuária de suinocultura e adubação mineral com ureia, em Latossolo Vermelho de Cerrado.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a viabilidade agrônômica da utilização da água residuária de suinocultura como suplementação de nitrogênio na cultura do milho;
- Determinar a proporção de água residuária de suinocultura via fertirrigação complementada com a aplicação de ureia a lanço, que proporcione o melhor crescimento e desenvolvimento da cultura do milho;
- Quantificar os incrementos no crescimento, na biomassa e no rendimento da cultura do milho (híbrido AS1820PRO3) provenientes da fertirrigação com água residuária de suinocultura;
- Determinar o efeito da fertirrigação com água residuária de suinocultura no índice de eficiência agrônômica, eficiência agrônômica de nitrogênio e produtividade relativa da cultura do milho;
- Determinar os parâmetros econômicos da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia, como suplementação de nitrogênio na cultura do milho.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P. A. D. S. **Uso de biofertilizante na fertirrigação de milho: efeitos na planta e no solo.** Tese (Agronomia – Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 228 p., 2023.

ALVES NETO, A. J.; LANA, M. C.; RAMPIM, L.; COSTA, L. A. M.; COPPO, J. C.; ALVES, A. G. Água residuária de suinocultura sobre a produtividade de soja e milho segunda safra: uso e viabilidade econômica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 15, n. 3, p. 350-357, 2016.

ALVES, L. R. A.; BACHA, C. J. C. **Panorama da agricultura brasileira: estrutura de mercado, comercialização, formação de preços, custos de produção e sistemas produtivos.** 2 ed. Campinas: Alínea, 320 p., 2022.

AZEVEDO, L. S., CARLOS, M. C., JUSTINO, A., GUIDINELLE, R. B., RANGEL, O. J. P., PASSOS, R. R. Biocarvão e água residuária de suinocultura no desenvolvimento inicial do café conilon. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 3, p. 78-88, 2020.

BATISTA, R. O.; OLIVEIRA, R. A.; SANTOS, D. B. D.; OLIVEIRA, A. D. F.; AZEVEDO, C. A.; MEDEIROS, S. D. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 698-705, 2013.

BIANCHO, L. E.; SOUZA, R. N.; DONATONI, K. A. P.; SOUZA, H. N.; CARVALHO, J. B.; NAKAO, A. H. Manejo da irrigação e da adubação nitrogenada em cultivo de milho safrinha. **Unifunec Científica Multidisciplinar**, v. 11, n. 13, p. 1-15, 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira, Safra 2022/23 – 7º Levantamento março**, Brasília. 2023. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/infraestrutura-e-logistica/2023/88a-ro-26-04-2023/ct-log_apresentacao_conab_-7o-lev-safra-graos.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/infraestrutura-e-logistica/2023/88a-ro-26-04-2023/ct-log_apresentacao_conab_-7o-lev-safra-graos.pdf). Acesso em: 10/10/2024.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E. MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, L. V.; MENDES, S. M. Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos. In: **Série desafios do agronegócio brasileiro (NT2)**, EMBRAPA, 320 p., 2019.

FRAZÃO, J. J.; SILVA, Á. R.; SILVA, V. L.; OLIVEIRA, V. A.; CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 18, n. 12, p. 1262-1267, 2014.

GOMES, L. M. **Tratamento de efluente da piscicultura utilizando os processos fenton e eletroquímico: eficiência e toxicidade.** Tese (Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 118 p., 2016.

GUIDINELLE, R. B. **Água residuária de suinocultura e sistema plantio direto no desenvolvimento do milho para produção de silagem.** Dissertação (Mestrado em Agroecologia) - Programa de Pós-Graduação em Agroecologia do Instituto Federal do Espírito Santo - IFES, Campus de Alegre - ES, 125 p., 2019.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção.** Viçosa, MG: Ed. UFV, 492 p., 2015.

MATTEDI, L. **Filtros anaeróbios preenchidos com resíduos de indústrias de cerâmica no tratamento de águas residuárias de suinocultura.** Instituto Federal do Espírito Santo – Santa Teresa, 28 p., 2021.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU-JUNIOR, C. H. Carbon mineralization in soils irrigated with treated swine wastewater. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, n. 3, p. 19-29, 2017.

MOTASIM, A. M.; SAMSURI, A. W.; SUKOR, A. S. A.; AMIN, A. M. Effects of liquid urea application frequency on the growth and grain yield of corn (*Zea mays* L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 53, n. 17, p. 2245-2256, 2022.

NICOLOSO, R. S.; BARROS, E. C.; WUANDEN, C. R. **Eficiência agronômica dos dejetos de suínos como fonte de nitrogênio para o milho.** Comunicado Técnico 622: Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, 9 p., 2024.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORRÊA, L. A.; CANTARELLA, H.; SILVA, A. G.; FREITAS, A. R.; VIVALDI, L. J. Adubação Nitrogenada em Capim-Coastcross: Efeitos na Extração de Nutrientes e Recuperação Aparente do Nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia.**, v. 33, n. 1, p. 68-78, 2004.

RAMOS, G. L. **Utilização de água residuária na irrigação da aveia preta.** Universidade Federal do Pampa – Alegrete, 38 p., 2023.

RANSON, C. J.; KITCHEN, N. R.; CAMBERATO, J. J.; CARTER, P. R.; FERGUSON, R. B.; FERNÁNDEZ, F. G.; FRANZEN, D. W.; LABOSKI, C. A. M.; NAFZIGER, E. D.; SAWYER, J. E.; SCHARF, P. C.; SHANAHAN, J. F. nitrogen rate recommendation tools' performance across eight US midwest corn belt states. **Agronomy journal**, [s. l.], v. 112, n. 1, p. 470-492, jan. 2020.

REIS, B. S. S. **Desempenho de híbridos de milho com aplicação de *Trichoderma harzianum* em função de doses de nitrogênio e fósforo.** Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Goiás – UEG, Campus Ipameri, 53 p., 2023.

ROCHA, J. C. **Análise da produção e estoque de milho: tendências e desafios.** Inhumas, 15 p., 2024.

SARTO, J. R. W.; NERES, M. A.; SUNAHARA, S. M. M.; NATH, C. D.; SARTO, M. V. M. Chemical composition of swine wastewater, soil, and tifton 85 after 8 years of application. **Revista Caatinga**, v.32, n.1, p.259-269, 2019.

SEGANFREDO, M. A.; JUNIOR, V. **Dejetos suínos: adubo ou poluente**. Embrapa Suínos e Aves, 2 p., 2008.

SILVA, M. A. A. P. A. **Aplicação de água residuária de suinocultura após dois anos sucessivos em sistema agroflorestal**. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 64 p., 2018.

SILVA, M. L. G. **Uso do sólido de suínos de forma parcelada como fonte de nitrogênio (N) em adubação de cobertura no cultivo do milho verde irrigado por gotejamento**. Instituto Federal Goiano – *Campus* Urutaí, Urutaí, 18 p., 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. A. MURPHY. A. **Fisiologia e Desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: ArtMed, 888 p., 2017.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **World Agricultural Production**. Circular Series WAP, p. 10-23, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater**. vol. 2. France, 114 p., 2006.

3 CAPÍTULO I

DESEMPENHO VEGETATIVO DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA

Resumo: O nitrogênio é primordial em todo o ciclo de crescimento e desenvolvimento do milho, atuando como constituinte das células vegetais. A água residuária de suinocultura contém nitrogênio e outros nutrientes que, ao serem absorvidos pela planta de milho, desencadeiam benefícios agrônômicos para esta cultura agrícola. Objetivou-se avaliar o crescimento, desenvolvimento e acúmulo de biomassa da cultura do milho (híbrido AS1820PRO3), submetido à fertirrigação com água residuária de suinocultura e adubação química com ureia, em Latossolo Vermelho de Cerrado. O estudo foi conduzido em duas safras, em uma estação experimental, no município de Rio Verde – GO. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em cinco proporções de água residuária de suinocultura via fertirrigação complementadas com a aplicação de ureia a lanço, com base na dose recomendada de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, sendo: T1 - 0ARS+100Ureia: 0% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 100% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T2 - 25ARS+75Ureia: 25% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 75% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T3 - 50ARS+50Ureia: 50% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 50% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T4 - 75ARS+25Ureia: 75% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 25% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T5 - 100ARS+0Ureia: 100% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 0% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia. As parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de 5 m de comprimento, totalizando uma área ocupada pelo experimento de 281,25 m². A aplicação dos tratamentos ocorreu em cobertura na cultura do milho no estágio fenológico de V4 e V6. As variáveis avaliadas foram a clorofila *a*, *b* e *total*, relação CLRa/*b*, índice NDVI, índice SPAD, altura de planta, altura de inserção da espiga, diâmetro do colmo, número de folhas, comprimento da folha, largura da folha, área foliar, massa seca das folhas, colmo e total, relação MSF/MSC e particionamento de fotoassimilados. A produção de matéria seca pela cultura do milho não é influenciada por nenhum dos tratamentos de fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com adubação mineral via ureia a lanço, na primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24). A produção de matéria seca pela cultura do milho não é influenciada por nenhum dos tratamentos de fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com adubação mineral via ureia a lanço, na primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24). O crescimento e desenvolvimento do milho cultivado em Latossolo Vermelho de Cerrado fertirrigado com água residuária de suinocultura como fonte de nitrogênio é equivalente ao verificado nessa cultura sob adubação mineral com ureia a lanço.

Palavras-chave: *Zea mays* L., nitrogênio, ureia, clorofila, SPAD, NDVI.

Abstract: Nitrogen is essential throughout the growth and development cycle of corn, acting as a constituent of plant cells. Pig wastewater contains nitrogen and other nutrients that, when absorbed by the corn plant, trigger agronomic benefits for this agricultural crop. The objective of this study was to evaluate the growth, development and biomass accumulation of corn (hybrid AS1820PRO3), subjected to fertigation with pig wastewater

and chemical fertilization with urea, in a Cerrado Red Latosol. The study was conducted in two harvests, in an experimental station, in the municipality of Rio Verde - GO. The experimental design used was randomized blocks, with five replications, totaling 25 experimental plots. The treatments consisted of five proportions of swine wastewater via fertigation supplemented with the application of urea broadcast, based on the recommended dose of nitrogen topdressing in the corn crop, being: T1 - 0ARS+100Urea: 0% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 100% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T2 - 25ARS+75Urea: 25% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 75% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T3 - 50ARS+50Urea: 50% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 50% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T4 - 75ARS+25Urea: 75% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 25% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T5 - 100ARS+0Urea: 100% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 0% of the nitrogen dose applied broadcast via urea. The experimental plots consisted of 5 rows of 5 m in length, totaling an area of 281.25 m². The treatments were applied as topdressing in the corn crop at the phenological stage of V4 and V6. The variables evaluated were chlorophyll a, b and total, CLRa/b ratio, NDVI index, SPAD index, plant height, ear insertion height, stem diameter, number of leaves, leaf length, leaf width, leaf area, leaf dry mass, stem and total, MSF/MSC ratio and photo assimilate partitioning. The dry matter production by the corn crop is not influenced by any of the fertigation treatments with swine wastewater supplemented with mineral fertilization via broadcast urea, in the first (2022/23) and second (2023/24) harvests. The dry matter production by the corn crop is not influenced by any of the fertigation treatments with swine wastewater supplemented with mineral fertilization via broadcast urea, in the first (2022/23) and second (2023/24) harvests. The growth and development of corn cultivated in Cerrado Red Latosol fertigated with pig farm wastewater as a nitrogen source is equivalent to that observed in this crop under mineral fertilization with broadcast urea.

Keywords: *Zea mays* L., nitrogen, urea, chlorophyll, SPAD, NDVI.

3.1 INTRODUÇÃO

O cerrado é um dos principais polos produtores de grãos no cenário brasileiro. Porém, os solos dessa região possuem elevado índice de acidez e alto teor de alumínio tóxico, dificultando o desenvolvimento e crescimento das raízes em profundidade, além de apresentar baixa fertilidade natural, demandando a utilização de fertilizantes (SILVA, 2016; SOUSA *et al.*, 2005; SOUSA; LOBATO, 2004), para alcançar altas produtividades.

O milho responde muito bem aos fertilizantes, sendo uma das culturas mais exigentes em adubos nitrogenados (MORTATE *et al.*, 2018) para complementar a quantidade de nitrogênio (N) fornecida pelo solo, que majoritariamente está na forma orgânica, demandando de mineralização para torna-se disponível para absorção pelas plantas (RIBEIRO *et al.*, 2024).

O N é primordial em todo o ciclo de crescimento e desenvolvimento do milho, visto que apresenta grande importância em processos bioquímicos, metabólitos

secundários e coenzimas (NAVARRO-LEÓN *et al.*, 2022). Esse nutriente é absorvido através do sistema radicular das plantas e atua como constituinte de muitos componentes das células vegetais, como aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos (constituente da molécula de clorofila), atuando nos processos de fotossíntese e de divisão e expansão celular, conferindo às plantas maior desenvolvimento vegetativo e, conseqüentemente, produção de fotoassimilados (TAIZ; ZEIGER, 2009).

A absorção de N acontece principalmente na fase vegetativa, sendo necessária disponibilidade suficiente para atender aos requerimentos da planta durante esta fase (OLIVEIRA *et al.*, 2023). Nesse contexto, Xie *et al.* (2019) afirmam que a aplicação de adubação nitrogenada é importante para garantir o desenvolvimento e a capacidade produtiva dos cereais.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado mundialmente, todavia é um insumo de fácil volatilização, o que promove perda fácil de nitrogênio, principalmente em países de clima tropical como o Brasil (SOUZA *et al.*, 2018; FRAZÃO *et al.*, 2014). Portanto, a utilização de água residuária surge como fonte alternativa de adubação nitrogenada, atuando na redução das doses de fertilizantes minerais necessárias para a cultura (ABREU, 2019).

As águas residuárias de origem animal representam fontes de nutrientes ao solo, tais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, entre outros, que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento de diversas culturas (SILVA, 2017). A atividade de suinocultura produz diariamente quantidades significativas de água residuária que, ao ser utilizada na fertirrigação, tem potencial de beneficiar as culturas agrícolas no fornecimento de água e nutrientes (PRIOR *et al.*, 2015; FIA *et al.*, 2015; RAMOS, 2023). Ademais, a aplicação de água residuária de suinocultura como adubação de cobertura pode aumentar a eficiência da resposta da cultura ao N aplicado (PACHECO, 2012), pois a adubação mineral ao ser suplementada com matéria orgânica possibilita aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e redução de perdas por lixiviação (PEREIRA *et al.*, 2020).

Dessa forma, a irrigação com águas residuárias constitui uma técnica viável para reciclar resíduos gerados no setor de produção (JORGE *et al.*, 2017), atuando em concordância com a agricultura conservacionista, cuja prática tem sido difundida e demonstrado grande interesse entre os agropecuaristas, principalmente da região Centro-Oeste (DIAS, 2018).

Neste sentido, a hipótese deste estudo é que a utilização da água residuária de suinocultura pode substituir a adubação mineral com ureia, na suplementação de nitrogênio à cultura do milho, proporcionando maiores produções de biomassa e teores de clorofilas. Portanto, objetivou-se avaliar o crescimento, desenvolvimento e acúmulo de biomassa da cultura do milho (híbrido AS1820PRO3), submetido à fertirrigação com água residuária de suinocultura e adubação mineral com ureia, em Latossolo Vermelho de Cerrado.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de campo foi conduzido nas safras de outono (segunda safra), nos anos de 2022/23 e 2023/24, na área experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, na cidade de Rio Verde, localizada na região sudoeste do estado de Goiás, nas coordenadas geográficas 17°48'29.3"S 50° 53' 57.9"W; com altitude média de 720 m ao nível do mar (Figura 1). O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928) e Alvares *et al.* (2013), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio e, com seca nos meses de junho a setembro. As precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais.

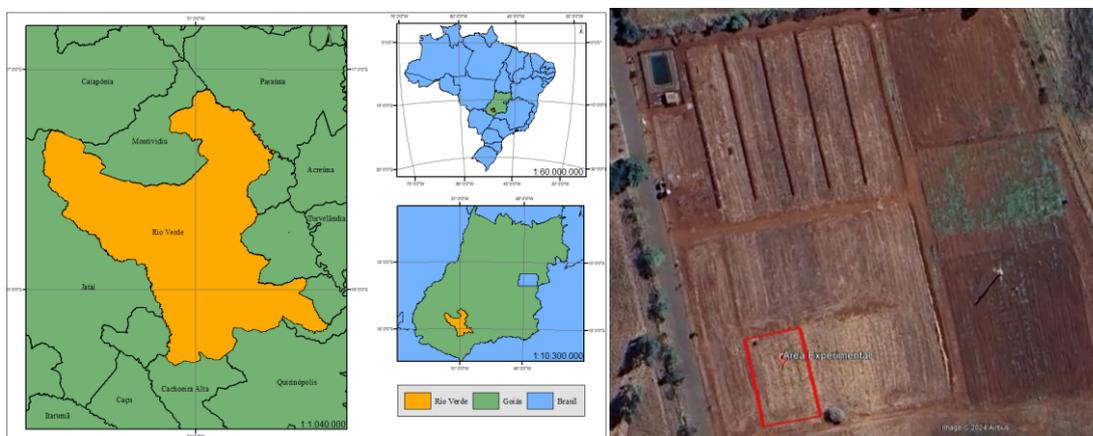


Figura 1. Mapa de geolocalização do município de Rio Verde - Goiás e identificação do local do experimento (milho de segunda safra, 2022/23 e 2023/24).

Fonte: Autora (2024)

Os dados climáticos durante o desenvolvimento da cultura do milho, nas safras de 2022/23 e 2023/24, estão dispostos na Figura 2.

A)

B)

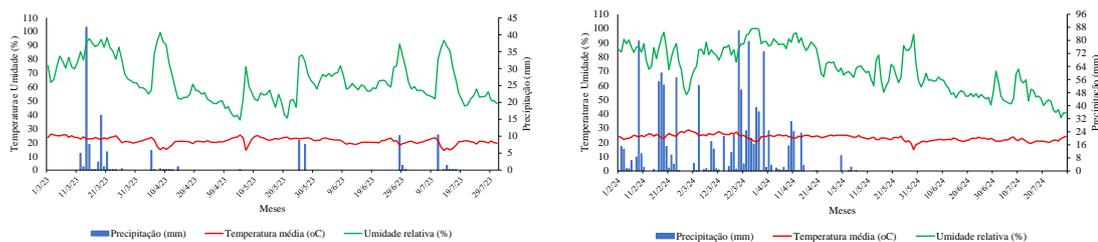


Figura 2. Dados de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa durante o período do experimento na safra de 2022/23 (A) e 2023/24 (B).

Fonte: Autora (2024)

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS *et al.*, 2018). Antes da instalação do experimento, foram efetuadas coletas de amostras deformadas de solo, na camada de 0-20 cm, para a caracterização química e granulométrica (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo (Latossolo Vermelho distroférico), na camada de 0-20 cm.

Safra	pH	M.O. g.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg	Al	H+Al	T	V
					--- cmolc.dm ⁻³ ---					-%-
2022/23	5,29	46,5	2,4	228	3,9	2,3	<0,1	4,0	10,8	63
2023/24	5,7	29,0	35		3,3	1,8	0,0	1,8	7,17	75
Safra	m	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia
	-- % --	----- mg.dm ⁻³ -----						--- g.kg ⁻¹ ---		
2022/23	0,0	8,7	<0,12	1,3	4,7	8,0	1,1	600	100	300
2023/24	0,0	8,0	0,12	2,4	23	1,9	0,5	600	100	300

P (Fósforo) - Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) - Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio) - KCl 1 mol.L⁻¹; S (Enxofre) - Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol.L⁻¹; M.O. - Método colorimétrico; B (Boro) - água quente

T - Capacidade de troca catiônica; V - saturação de bases; m - saturação de alumínio; M.O. - Matéria orgânica

Fonte: Autora (2024)

O milho foi semeado em 03/03/2023 e 22/02/2024, utilizando uma semeadora de 5 linhas com sistema de distribuição de sementes por disco horizontal. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m com 3 plantas por metro linear, numa representatividade de 66.666 plantas ha⁻¹. Foi utilizado o híbrido AS1820PRO3. O sistema de plantio adotado foi o de plantio direto, tendo como antecessora a cultura da soja. A adubação de semeadura foi efetuada com 200 kg do formulado 04:14:08 e em cobertura, foi efetuada

a adubação com 100 kg de cloreto de potássio, dividido em duas aplicações em V0 e V4, conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em cinco proporções de água residuária de suinocultura via fertirrigação complementadas com a aplicação de ureia a lanço, com base na dose recomendada de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, sendo: T1 - 0ARS+100Ureia: 0% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 100% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T2 - 25ARS+75Ureia: 25% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 75% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T3 - 50ARS+50Ureia: 50% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 50% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T4 - 75ARS+25Ureia: 75% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 25% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T5 - 100ARS+0Ureia: 100% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 0% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos.

Tratamento	DN (kg ha ⁻¹)	Adubação
T1 - 0ARS+100Ureia	120	0% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 100% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T2 - 25ARS+75Ureia	120	25% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 75% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T3 - 50ARS+50Ureia	120	50% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 50% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T4 - 75ARS+25Ureia	120	75% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 25% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T5 - 100ARS+0Ureia	120	100% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 0% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.

Dose de nitrogênio (DN); Água Residuária de Suinocultura (ARS); V4 e V6: estágio fenológico vegetativo em que a planta de milho se encontra com 4 e 6 folhas completamente abertas, respectivamente.

Fonte: Autora (2024)

As parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de 5 m de comprimento (11,25 m²), totalizando uma área ocupada pelo experimento de 281,25 m² (Figura 3).

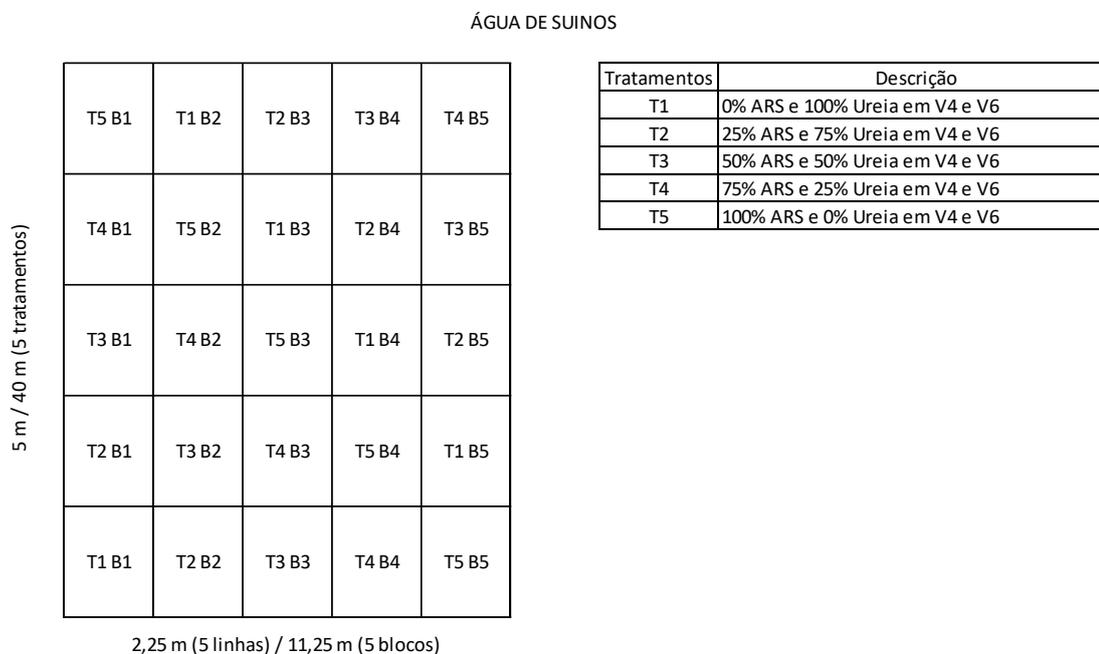


Figura 3. Croqui do experimento instalado em campo.

Fonte: Autora (2024)

A aplicação dos tratamentos ocorreu em cobertura na cultura do milho via líquida através da fertirrigação com água residuária de suinocultura, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, e via sólido granulado através da adubação mineral com ureia, conforme recomendação de Sousa e Lobato (2004) (120 kg ha⁻¹ de N) e, seguindo os tratamentos descritos. A fonte mineral de fertilizante utilizada foi a ureia granulada convencional, de coloração branca, com concentração de 45% de N. A água residuária de suinocultura (ARS) foi obtida em uma granja no município de Rio Verde - GO, coletada após o processo de tratamento via biodigestão e decantação, cujas características físico-químicas estão apresentadas na Tabela 3, conforme as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Tabela 3. Caracterização físico-química da água residuária de suinocultura.

Parâmetro	Valor	Unidade
pH	7,83	-

Turbidez	289,25	NTU
Demanda Química de Oxigênio	1172,47	mg L ⁻¹
Sólidos totais	3915,66	mg L ⁻¹
Sólidos fixos	2330,21	mg L ⁻¹
Sólidos voláteis	1585,45	mg L ⁻¹
Nitrogênio total	2800,00	mg L ⁻¹
Nitrogênio orgânico	196,00	mg L ⁻¹
Nitrogênio inorgânico	2604,00	mg L ⁻¹
Amônia	2187,36	mg L ⁻¹
Nitrato + Nitrito	416,64	mg L ⁻¹
Fósforo	11,53	mg L ⁻¹
Potássio	83,56	mg L ⁻¹
Cálcio	41,90	mg L ⁻¹
Magnésio	48,29	mg L ⁻¹
Sódio	57,3	mg L ⁻¹
Cobre	1,26	mg L ⁻¹
Zinco	8,9	mg L ⁻¹
Ferro	10,77	mg L ⁻¹
Manganês	1,84	mg L ⁻¹

Fonte: Autora (2024)

A ARS utilizada possuía 2,8 kg de N para cada 1000 L. Portanto, para o fornecimento da dose de 120 kg de N ha⁻¹ foi necessária a aplicação de 43.000 L (43 m³) de ARS. Enquanto para fonte mineral, foi necessária a aplicação de 267 kg de ureia (Figura 4).

Tabela 4. Quantidades da Água Residuária de Suinocultura (ARS) e da ureia aplicadas por tratamento.

Tratamentos	N ha ⁻¹	ARS	Ureia	ARS	Ureia
	kg	kg de N 1000 L ⁻¹	% de N 100 kg ¹	L ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
0ARS+100UREIA	120,0	2,8	45,0	0	267
25ARS+75UREIA	120,0	2,8	45,0	10714	200,0
50ARS+50UREIA	120,0	2,8	45,0	21429	133,3
75ARS+25UREIA	120,0	2,8	45,0	32143	66,7
100ARS+0UREIA	120,0	2,8	45,0	42857	0,0

Nitrogênio (N).

Fonte: Autora (2024).

Os teores de clorofilas foram avaliados com base no Índice de Clorofilas Falker (ICF) aos 42, 52, 62, 72, 82 e 92 dias após a semeadura (DAS) na primeira safra (2022/23)

e, aos 42, 52 e 62 DAS na segunda safra (2023/24). A mensuração foi efetuada através da leitura em duas folhas por parcela, quantificando-se: Clorofila *a* (CLRa); Clorofila *b* (CLRb); Clorofila *total* (CLRt) e, a relação clorofila *a*/clorofila *b* (CLRa/b), utilizando o aparelho Falker ClorofiLOG® modelo CFL 1030.

Ainda na segunda safra foram avaliados o índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o índice SPAD aos 42, 52 e 62 DAS. O índice NDVI foi mensurado utilizando um sensor de lavoura portátil GreenSeeker® (Trimble). As leituras foram realizadas perpendicularmente às linhas de semeadura, numa altura de 50 cm, por caminhamento na parcela. O índice SPAD (SPAD) foi obtido com auxílio do aparelho Minolta SPAD® 502, efetuado a leitura em duas folhas por parcela no período da manhã.

No momento do florescimento, aos 70 DAS na primeira e segunda safra, foram determinados as variáveis de crescimento e acúmulo de matéria seca pela cultura do milho, sendo avaliados: Altura de planta (AP – m); Altura de inserção da espiga (AIE – m); Diâmetro do colmo (DC – mm); Número de folhas (NF); Comprimento da folha (CF – cm); Largura da folha (LF – cm); Área foliar (AF – cm²); Massa seca das folhas, colmo e total (MSF, MSC e MST); Relação MSF/MSC; e particionamento de fotoassimilados (%MSF e %MSC).

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A clorofila *a* e *total* do milho aos 52 e 62 dias após a semeadura (DAS) foi significativa para a fertirrigação com água residuária de suinocultura (ARS) complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23), respectivamente (Tabela 5).

Não houve efeito significativo da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, para a clorofila *a* aos 42, 62, 72, 82 e 92 DAS, para a clorofila *total* aos 42, 52, 72, 82 e 92 DAS, para a clorofila *b* e relação clorofila *a/b* do milho aos 42, 52, 62, 72, 82 e 92 DAS, primeira safra (2022/23).

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila *a* (CLRa), *b* (CLRb), relação *a/b* (CLRa/b) e *total* (CLRt) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52, 62, 72, 82 e 92 dias após a semeadura (DAS), primeira safra (2022/23).

FV	GL	Quadrados Médio			
		CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
42 DAS					
Tratamentos	4	1,27 ^{ns}	8,09 ^{ns}	0,11 ^{ns}	13,86 ^{ns}
Bloco	3	2,57 ^{ns}	2,66 ^{ns}	0,04 ^{ns}	7,17 ^{ns}
Erro	12	1,68	9,32	0,16	16,53
CV (%)		3,38	17,88	17,35	7,33
52 DAS					
Tratamentos	4	7,59 [*]	15,39 ^{ns}	0,15 ^{ns}	42,22 ^{ns}
Bloco	3	3,41 ^{ns}	3,67 ^{ns}	0,07 ^{ns}	9,22 ^{ns}
Erro	12	1,94	6,38	0,07	14,33
CV (%)		3,72	14,18	12,57	6,87
62 DAS					
Tratamentos	4	4,03 ^{ns}	10,86 ^{ns}	0,08 ^{ns}	26,82 [*]
Bloco	3	1,61 ^{ns}	2,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	3,66 ^{ns}
Erro	12	1,54	3,77	0,06	7,06
CV (%)		3,23	10,89	11,11	4,72
72 DAS					
Tratamentos	4	12,60 ^{ns}	10,54 ^{ns}	0,17 ^{ns}	43,08 ^{ns}
Bloco	3	16,73 ^{ns}	15,72 ^{ns}	0,23 ^{ns}	58,82 ^{ns}
Erro	12	7,71	14,69	0,27	41,61
CV (%)		7,09	23,01	21,04	11,56
82 DAS					
Tratamentos	4	3,77 ^{ns}	6,47 ^{ns}	0,14 ^{ns}	13,86 ^{ns}
Bloco	3	3,92 ^{ns}	4,93 ^{ns}	0,12 ^{ns}	11,29 ^{ns}
Erro	12	5,53	12,91	0,22	32,23
CV (%)		6,25	20,34	21,33	10,27
92 DAS					
Tratamentos	4	14,54 ^{ns}	12,61 ^{ns}	0,14 ^{ns}	53,45 ^{ns}
Bloco	3	5,95 ^{ns}	15,40 ^{ns}	0,22 ^{ns}	38,11 ^{ns}
Erro	12	8,38	9,85	0,16	34,60
CV (%)		7,22	18,39	16,44	10,30

Fonte de variação (FV); Grau de liberdade (GL); Coeficiente de variação (CV). Índice de Clorofila Falker *a* (CLRa), *b* (CLRb), relação *a/b* (CLRa/b) e *total* (CLRt); Dias Após a Semeadura (DAS). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Autora (2024).

O milho fertirrigado com ARS complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42 DAS, primeira safra (2022/23), apresentou uma clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* média de aproximadamente 38,42, 17,08, 2,30 e 55,48. A clorofila *b*, *a/b* e *total* aos 52 DAS, apresentou média geral de 17,82, 2,12 e 55,08. Aos 62 DAS a clorofila *a*, *b* e *a/b* foi de

aproximadamente 38,46, 17,86 e 2,20. Já a clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* do milho apresentou média geral de 39,16, 16,68, 2,46 e 55,80 aos 72 DAS, respectivamente.

Após 82 DAS a clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* foi de aproximadamente 37,62, 17,66, 2,22 e 55,26. Na última avaliação (92 DAS) a clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, na primeira safra (2022/23), apresentou média geral de 40,08, 17,06, 2,44 e 57,14, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Índice de Clorofila Falker do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52, 62, 72, 82 e 92 dias após a semeadura (DAS), primeira safra (2022/23).

Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
42 DAS				
UREIA	38,9	19,4	2,0	58,3
ARS	37,8	16,5	2,3	54,3
50UREIA+50ARS	38,3	15,8	2,5	54,1
25UREIA+75ARS	39,1	17,4	2,3	56,4
75UREIA+25ARS	38,0	16,3	2,4	54,3
Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
52 DAS				
UREIA		17,1	2,1	53,7
ARS		17,9	2,2	57,1
50UREIA+50ARS		20,7	1,9	59,1
25UREIA+75ARS		18,1	2,0	54,9
75UREIA+25ARS		15,3	2,4	50,6
Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
62 DAS				
UREIA	38,7	17,1	2,3	
ARS	39,3	19,1	2,1	
50UREIA+50ARS	39,5	20,1	2,0	
25UREIA+75ARS	37,3	16,5	2,3	
75UREIA+25ARS	37,5	16,5	2,3	
Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
72 DAS				
UREIA	39,0	16,8	2,6	55,8
ARS	40,1	18,4	2,2	58,5
50UREIA+50ARS	40,1	17,6	2,3	57,6
25UREIA+75ARS	40,5	16,5	2,5	56,9
75UREIA+25ARS	36,1	14,1	2,7	50,2
Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
82 DAS				
UREIA	39,1	18,0	2,4	57,1
ARS	38,0	18,3	2,1	56,3

50UREIA+50ARS	37,3	19,2	2,0	56,4
25UREIA+75ARS	37,2	15,9	2,4	53,1
75UREIA+25ARS	36,5	16,9	2,2	53,4
Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
92 DAS				
UREIA	37,6	15,1	2,6	52,7
ARS	40,8	17,2	2,5	58,0
50UREIA+50ARS	41,7	18,6	2,3	60,3
25UREIA+75ARS	38,6	15,4	2,6	54,0
75UREIA+25ARS	41,7	19,0	2,2	60,7

¹Médias não diferem significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade; Dias Após a Semeadura (DAS).

Alguns autores também não verificaram diferença significativa para clorofila, além disso observaram valores de clorofila *a* (38,9), *b* (20,7) e *total* (59,6) para a cultura do milho, próximos aos encontrados nesse estudo (SCHLEMMER *et al.*, 2013; BALASHANMUGAVEL *et al.*, 2025). O N é um elemento-chave na clorofila, com alta correlação, portanto o conhecimento sobre o conteúdo de clorofila é uma alternativa importante para tomar decisões sobre suprimentos de nitrogênio (SCHLEMMER *et al.*, 2005; RAMOS-GARCÍA *et al.*, 2022).

Não houve efeito significativo da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, para a clorofila *a*, *b*, relação *a/b* e *total* do milho aos 42, 52 e 62 DAS, segunda safra (2023/24). Corroborando com Souza (2021), que constatou equivalências entre fertilizantes orgânicos e minerais na produção de clorofila pelo milho (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância para as variáveis clorofila *a* (CLRa), *b* (CLRb), relação *a/b* (CLRa/b) e *total* (CLRt) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).

FV	GL	Quadrados Médio			
		CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
42 DAS					
Tratamentos	4	10,84 ^{ns}	3,39 ^{ns}	0,05 ^{ns}	21,14 ^{ns}
Bloco	3	8,01 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,04 ^{ns}	11,48 ^{ns}
Erro	12	7,20	2,31	0,03	15,18
CV (%)		7,17	9,98	7,29	7,40
52 DAS					
Tratamentos	4	8,20 ^{ns}	12,69 ^{ns}	0,28 ^{ns}	37,54 ^{ns}
Bloco	3	5,05 ^{ns}	6,48 ^{ns}	0,13 ^{ns}	22,88 ^{ns}

Erro	12	4,40	9,91	0,19	24,51
CV (%)		5,40	19,57	17,46	9,01
62 DAS					
Tratamentos	4	21,45 ^{ns}	3,79 ^{ns}	0,38 ^{ns}	18,32 ^{ns}
Bloco	3	29,29 ^{ns}	5,74 ^{ns}	0,65 ^{ns}	16,50 ^{ns}
Erro	12	26,65	8,67	0,35	49,50
CV (%)		13,91	19,54	23,26	13,48

Fonte de variação (FV); Grau de liberdade (GL); Coeficiente de variação (CV). Índice de Clorofila Falker *a* (CLRa), *b* (CLRb), relação *a/b* (CLRa/b) e *total* (CLRt); Dias Após a Semeadura (DAS). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Autora (2024).

O milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42 DAS, na segunda safra (2023/24), apresentou clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* com média de aproximadamente 37,42, 15,22, 2,48 e 52,70, respectivamente. A clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* aos 52 DAS, apresentou média geral de 38,86, 16,10, 2,50 e 54,94. Aos 62 DAS, apresentou a clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* média de aproximadamente 37,12, 15,06, 2,54 e 52,16, respectivamente (Tabela 8).

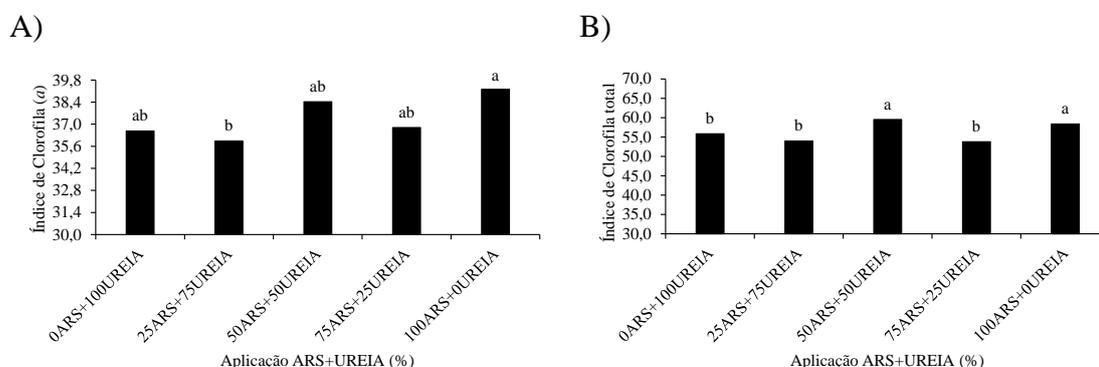
Tabela 8. Índice de Clorofila Falker do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).

Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
	42 DAS			
UREIA	36,1	15,7	2,3	51,9
ARS	39,7	16,0	2,5	55,8
50UREIA+50ARS	37,8	15,7	2,4	53,5
25UREIA+75ARS	37,3	14,6	2,6	51,9
75UREIA+25ARS	36,2	14,1	2,6	50,4
Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
	52 DAS			
UREIA	40,7	18,5	2,2	59,2
ARS	37,6	14,3	2,8	51,8
50UREIA+50ARS	39,3	15,2	2,7	54,5
25UREIA+75ARS	39,0	16,6	2,4	55,6
75UREIA+25ARS	37,7	15,9	2,4	53,6
Tratamentos ¹	CLRa	CLRb	CLRa/b	CLRt
	62 DAS			
UREIA	39,4	14,9	2,9	54,3
ARS	36,7	13,9	2,7	50,6
50UREIA+50ARS	33,9	16,0	2,1	49,8
25UREIA+75ARS	37,6	15,9	2,4	53,5
75UREIA+25ARS	38,0	14,6	2,6	52,6

¹Médias não diferem significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

Embora o conteúdo de clorofila *a*, *b* e *total*, a depender da época de avaliação, possa ser maior conforme a dose de nitrogênio aumenta, geralmente nem todos apresentaram diferenças significativas entre fontes e doses de N (RAMOS-GARCÍA *et al.*, 2022).

Aos 52 DAS da primeira safra (2022/23), o fornecimento de 100% da dose de nitrogênio via água residuária de suinocultura (ARS) proporcionou o maior teor de clorofila *a* nas folhas de milho, seguido pelos tratamentos de 50ARS+50Ureia, 75ARS+25Ureia, 0ARS+100Ureia e por fim, 25ARS+75Ureia. No tratamento 100ARS+0Ureia quantificou-se 39,2 índices de clorofila Falker (ICF), valor 8,41% superior ao obtido no tratamento 25ARS+75Ureia (Figura 5A).



Médias com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autora (2024).

Figura 5. Índice de clorofila *a* (A) e clorofila *total* (B) na folha do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 52 (clorofila *a*) e 62 (clorofila *total*) dias após a semeadura, primeira safra (2022/23).

Os maiores teores de clorofila *a* deste estudo são superiores aos observados por Martins *et al.* (2018), que obtiveram teores deste pigmento estimado em 22,86 ICF nas folhas de milho. Ramos (2019) constatou em seus trabalhos que os tratamentos com maior incremento de clorofila *a* foram aqueles em que o solo foi fertirrigado com fontes orgânicas, apresentando a diferença média percentual de 48,89%, em relação ao solo adubado com fonte mineral, evidenciando assim, a eficiência do uso de fontes orgânicas via fertirrigação no cultivo do milho.

A utilização dos tratamentos 100ARS+0Ureia e 50ARS+50Ureia proporcionaram o maior teor de clorofila *total* aos 62 DAS da primeira safra, sendo, em média, 7,49%

superior aos demais tratamentos (Figura 5B). A produção de clorofila pelo milho é uma resposta importante para a adubação nitrogenada realizada na cultura, pois o nitrogênio atua diretamente na constituição das moléculas de clorofila (COELHO *et al.*, 2010).

Os diferentes tratamentos empregados influenciaram o índice SPAD e o índice NDVI do milho apenas aos 52 DAS, na segunda safra 2023/24 (Tabela 9), possivelmente em decorrência da época de aplicação dos tratamentos. O NDVI está entre os índices de vegetação mais amplamente utilizados e estudados, sendo comprovada sua relação com as características agrônômicas da cultura, como a área foliar, concentração de clorofila (HUNT JR *et al.*, 2013), biomassa (TIAN *et al.*, 2016), produtividade e radiação fotossinteticamente ativa (PAR) absorvida (WIEGAND *et al.*, 1991).

Tabela 9. Resumo da análise de variância para as variáveis índice SPAD e NDVI do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42, 52 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).

FV	GL	Quadrados Médio		
		42 DAS	52 DAS	62 DAS
Índice SPAD				
Tratamentos	4	48,76 ^{ns}	51,83 [*]	28,35 ^{ns}
Bloco	3	41,18 ^{ns}	81,98 ^{ns}	33,66 ^{ns}
Erro	12	63,62	14,88	39,28
CV (%)		15,23	7,43	12,69
Índice NDVI				
Tratamentos	4	0,004 ^{ns}	0,02 [*]	0,002 ^{ns}
Bloco	3	0,01 ^{ns}	0,004 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Erro	12	0,006	0,003	0,004
CV (%)		10,63	7,87	8,55

Fonte de variação (FV); Grau de liberdade (GL); Coeficiente de variação (CV); Dias Após a Semeadura (DAS); Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Autora (2024)

Em relação ao índice SPAD e NDVI avaliados na segunda safra (2023/24), aos 42 DAS, apresentaram valores médios de 52,36 e 0,71, respectivamente. Já aos 62 DAS o índice SPAD e NDVI médio foi de aproximadamente 49,40 e 0,72, respectivamente (Tabela 10).

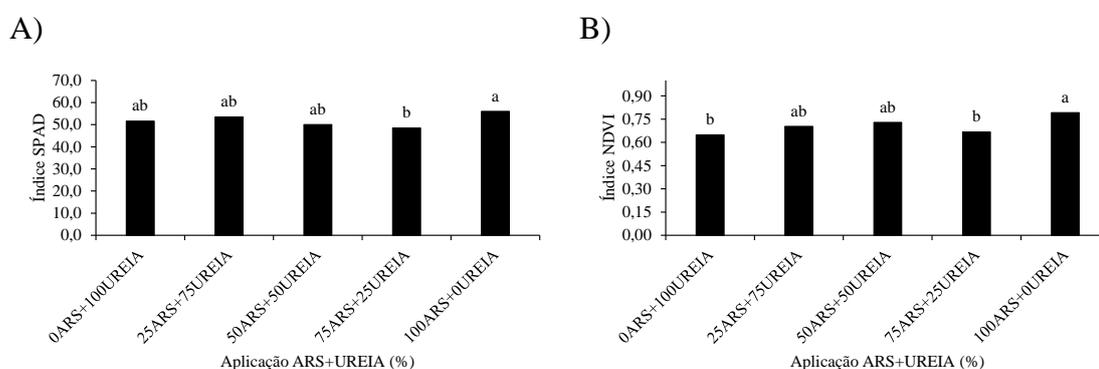
Tabela 10. Índice SPAD e NDVI do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 42 e 62 dias após a semeadura (DAS), segunda safra (2023/24).

Tratamentos ¹	SPAD		NDVI	
	42 DAS	62 DAS	42 DAS	62 DAS
UREIA	48,80	53,02	0,70	0,73
ARS	51,63	49,35	0,72	0,71
50UREIA+50ARS	56,39	47,23	0,73	0,75
25UREIA+75ARS	51,26	48,97	0,73	0,70
75UREIA+25ARS	53,71	48,43	0,67	0,71

¹Médias não diferem significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade, Dias Após a Semeadura (DAS).

Para indicadores de conteúdo de nitrogênio e clorofila, um dos índices mais comuns é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que se correlaciona com a quantidade de biomassa, conteúdo de clorofila e conteúdo de nitrogênio (RANJAN; PARIDA, 2020). Cabe destacar que alguns índices podem ter saturação em altos conteúdos de N, pois em biomassa mais alta, a sensibilidade do índice NDVI e outros índices saturam à medida que o dossel se fecha, e aumentos adicionais na biomassa não resultam em maior reflectância, portanto mesmo entre elevadas doses de N, as diferenças tornam-se mínimas, não ocorrendo diferença significativa para esses índices (MYNENI; WILLIAMS, 1994; CHEN *et al.*, 2010; BALASHANMUGAVEL *et al.*, 2025).

Na segunda safra 2023/24, a aplicação de 100ARS+0Ureia como fonte de nitrogênio proporcionou o maior valor de índice SPAD nas folhas (56,0), correspondendo ao incremento de 13,39%, em relação aos tratamentos em que foi utilizado 75ARS+25Ureia (Figura 6A). Abreu (2022) relacionou o aumento nos valores SPAD na folha do milho com o aumento do teor de nitrogênio, ao longo do ciclo da cultura do milho. Portanto, em função dos maiores valores de SPAD, possivelmente os tratamentos com adubação nitrogenada 100% via fertirrigação com água residuária de suinocultura, proporcionaram maior disponibilidade de nitrogênio à absorção pelas plantas de milho.



Médias com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autora (2024).

Figura 6. Índice SPAD (a) e índice NDVI (b) na folha do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço aos 52 dias após a semeadura, segunda safra (2023/24).

O maior índice NDVI também foi obtido ao utilizar 100ARS+0Ureia (Figura 6B), sendo este 16,45% superior ao observado nos tratamentos 0ARS+100Ureia e 75ARS+25Ureia, em média, corroborando com Abreu (2023), que obteve os maiores índices de NDVI ao utilizar fonte de adubação orgânica, sendo superior aos tratamentos que receberam fonte mineral e mistura de adubo orgânico+mineral. Vian *et al.* (2021), obtiveram valores de NDVI na faixa entre 0,259 e 0,631, sendo inferiores aos valores de NDVI encontrados neste trabalho para todos os tratamentos.

Na primeira safra (2022/23), os diferentes tratamentos empregados influenciaram apenas a altura da planta, quando observadas as características biométricas do milho. Já na segunda safra (2023/24), somente para o diâmetro de colmo do milho obteve-se resposta significativa aos diferentes tratamentos aplicados (Tabela 11).

Tabela 11. Resumo da análise de variância para as variáveis altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e área foliar (AF) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).

FV	GL	QM						
		Primeira safra (2022/23)						
		AP	AIE	DC	NF	CF	LF	AF
Tratamentos	4	0,13**	0,01 ^{ns}	2,22 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,00005 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Bloco	3	0,01 ^{ns}	0,001 ^{ns}	13,12 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,0001 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Erro	12	0,01	0,01	2,71	0,67	0,001	0,00008	0,01
CV (%)		3,96	9,77	8,02	6,85	2,71	10,54	14,56
		Segunda safra (2023/24)						
Tratamentos	4	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	8,99**	0,61 ^{ns}	18,77 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Bloco	3	0,004 ^{ns}	0,02 ^{ns}	2,48 ^{ns}	0,34 ^{ns}	2,68 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Erro	12	0,01	0,01	1,78	0,49	19,01	0,39	0,01
CV (%)		5,78	8,93	5,70	5,44	4,80	6,00	9,70

Fonte de variação (FV); Grau de liberdade (GL); Quadrado médio (QM); Coeficiente de variação (CV). Altura de planta (AP); altura de inserção da espiga (AIE); diâmetro do colmo (DC); número de folhas (NF); comprimento da folha (CF); largura da folha (LF); área foliar (AF). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Autora (2024).

O milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23), apresentou a média geral de altura de inserção da espiga e diâmetro do colmo de aproximadamente 1,14 cm e 20,52 mm. O número de folhas, comprimento da folha e largura da folha, apresentou média geral de 11,98, 110 cm e 0,10 cm, respectivamente. Com isto, foi observada uma área foliar de aproximadamente 0,76 cm² (Tabela 12).

Tabela 12. Altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), número de folhas (NF), comprimento da folha (CF), largura da folha (LF) e área foliar do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).

Tratamentos ¹	AIE	DC	NF	CF	LF	AF
	cm	mm	-	cm	cm	cm ²
Primeira safra (2022/23)						
UREIA	1,2	21,2	12,1	1,1	0,1	0,8
ARS	1,1	21,3	12,0	1,1	0,1	0,8
50UREIA+50ARS	1,1	19,8	12,4	1,1	0,1	0,8
25UREIA+75ARS	1,2	19,7	12,3	1,1	0,1	0,8
75UREIA+25ARS	1,1	20,6	11,1	1,1	0,1	0,6
Tratamentos ¹	AP	AIE	NF	CF	LF	AF
	cm	cm	-	cm	cm	cm ²
Segunda safra (2023/24)						
UREIA	2,1	1,2	13,2	89,3	10,6	1,3
ARS	2,1	1,1	13,1	91,9	10,2	1,2
50UREIA+50ARS	2,1	1,1	12,9	92,0	11,1	1,3
25UREIA+75ARS	2,1	1,1	12,3	88,4	10,2	1,1
75UREIA+25ARS	2,1	1,1	12,9	92,9	10,4	1,2

¹Médias não diferem significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

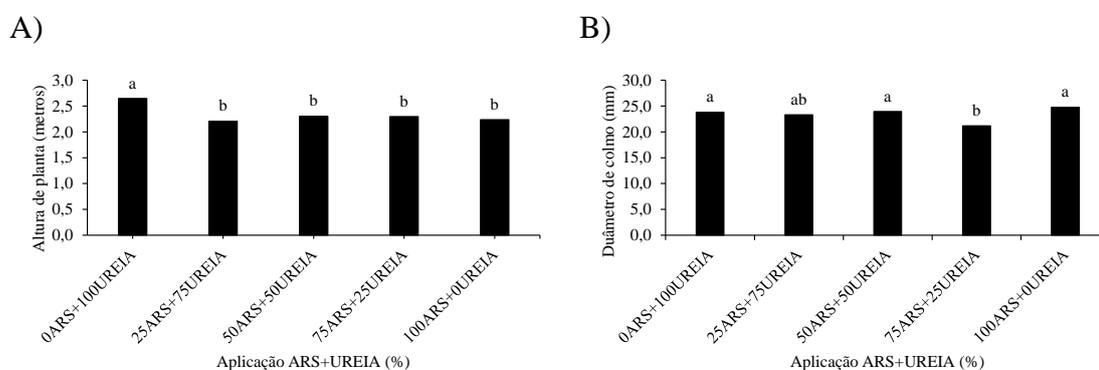
Martins *et al.* (2017) trabalhando com milho submetido à aplicação de resíduos também não verificaram diferenças significativas no diâmetro do colmo, altura de inserção da espiga, número de folhas e área foliar, além disso, destacaram que em solos já cultivados as características do milho são pouco influenciadas pelas fontes e doses na adubação.

Na segunda safra (2023/24), a altura de planta e altura de inserção da espiga foram de aproximadamente 2,10 e 1,12 cm. O número de folhas, comprimento da folha e largura da folha do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com

a aplicação de ureia a lanço, apresentou média geral de 12,88, 90,90 cm e 10,50 cm, respectivamente. Enquanto a área foliar foi de aproximadamente 1,22 cm² (Tabela 12).

A cultura do milho submetido a diferentes proporções de adubação mineral com água residuária de suinocultura, não apresentou efeitos significativos sobre a altura de planta, inclusive em relação a aplicação de diferentes doses (PRIOR *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2023).

A utilização de 0ARS+100Ureia proporcionou a maior altura de planta do milho (2,6 m), representando incremento de 0,35 m na planta, em relação à média dos demais tratamentos aplicados (Figura 7A), na primeira safra (2022/23).



Médias com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autora (2024).

Figura 7. Altura da planta (A) na primeira safra (2022/23) e diâmetro de colmo (B) na segunda safra (2023/24) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço.

Santos *et al.* 2021, avaliando a resposta do milho com adubação mineral e orgânica em diferentes dosagens, sobre o crescimento e desenvolvimento da planta, demonstraram que adubação mineral proporcionou maior altura de plantas e diâmetro de colmo comparadas com a adubação orgânica. As respostas biométricas da cultura do milho são diversas quando submetido a diferentes tratamentos com fontes de adubação orgânica e mineral, pois, diversos fatores como o híbrido utilizado, o índice pluviométrico e o teor de nutrientes no solo podem influenciar nestas respostas (CABRAL FILHO, 2024).

O maior diâmetro foi observado nos tratamentos 0ARS+100Ureia, 50ARS+50Ureia e 100ARS+0Ureia, com valor médio de 24,17 mm, sendo 12,29% maior

que o diâmetro de colmo do milho quando aplicado o tratamento 75ARS+25Ureia, na segunda safra 2023/24 (Figura 7B). Macan *et al.* (2019), afirmam que a utilização de fontes orgânicas aumenta o diâmetro de colmo na cultura do milho, bem como o índice aéreo da planta.

O diâmetro de colmo é uma característica estreitamente relacionada à produtividade, por ser um órgão de reserva para as plantas, assim, correlaciona diretamente com o desempenho dos grãos (CRUZ *et al.*, 2008). O colmo atua como uma estrutura destinada ao armazenamento de sólidos solúveis que são utilizados posteriormente na formação dos grãos com isso, plantas com maiores diâmetros de caule no desenvolvimento inicial, tendem a se tornar plantas mais vigorosas e produtivas (BRITO *et al.*, 2014).

A produção de matéria seca pela cultura do milho não foi influenciada por nenhum dos tratamentos de adubação nitrogenada, na primeira (2022/23) e segunda (2023/24) safra (Tabela 13), semelhante aos estudos de Neumann *et al.* (2019), sendo observado que a massa seca das folhas e do colmo do milho não foram afetadas pelos diferentes tratamentos de adubação com nitrogênio. Estes resultados revelam o potencial de uso agrícola da água residuária de suinocultura na fertirrigação do milho, atuando como fonte de água e de nitrogênio, acarretando produção de biomassa similar a obtida quando utilizado adubos minerais.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para as variáveis massa seca das folhas (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca total (MST), relação massa seca das folhas / massa seca do colmo (MSF/MSC) e, o particionamento dos fotoassimilados nas folhas (%FTF) e colmo (%FTC) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).

FV	GL	QM					
		Primeira safra (2022/23)					
		MSF	MSC	MST	MSF/MSC	%FTF	%FTC
Tratamentos	4	93,02 ^{ns}	4186 ^{ns}	4460 ^{ns}	0,03 ^{ns}	50,84 ^{ns}	50,84 ^{ns}
Bloco	3	165,10 ^{ns}	2229 ^{ns}	3414 ^{ns}	0,02 ^{ns}	25,33 ^{ns}	25,33 ^{ns}
Erro	12	231,02	2206	2742	0,05	70,09	70,08
CV (%)		19,15	27,19	20,77	44,77	25,62	12,44
		Segunda safra (2023/24)					
Tratamentos	4	32,83 ^{ns}	1799 ^{ns}	1717 ^{ns}	0,02 ^{ns}	38,85 ^{ns}	38,84 ^{ns}
Bloco	3	163,7 ^{ns}	1326 ^{ns}	1514 ^{ns}	0,03 ^{ns}	49,39 ^{ns}	49,39 ^{ns}

Erro	12	48,56	1203	1353	0,01	23,72	23,72
CV (%)		12,75	30,25	21,72	21,48	14,73	7,28

Fonte de variação (FV); Grau de liberdade (GL); Quadrado médio (QM); Coeficiente de variação (CV). Massa seca das folhas (MSF); massa seca do colmo (MSC); massa seca total (MST); relação massa seca das folhas / massa seca do colmo (MSF/MSC); particionamento dos fotoassimilados nas folhas (%FTF) e colmo (%FTC). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.
Fonte: Autora (2024)

A massa seca das folhas, massa seca do colmo e massa seca total do milho na primeira safra foi de aproximadamente 79,38, 172,72 e 252,10 g, respectivamente. A média geral da relação massa seca folhas/colmo foi de 0,52. O particionamento dos fotoassimilados nas folhas e colmo do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, na primeira safra (2022/23), apresentou média geral de 32,66 e 67,34%, respectivamente (Tabela 14).

A utilização de resíduos como fonte alternativa de adubação geralmente não apresenta diferenças no rendimento da massa seca das folhas, massa seca do colmo e massa seca total do milho em comparação a adubação convencional, mesmo em dois ciclos consecutivos de cultivo (SAKURADA *et al.*, 2016; FREITAS *et al.*, 2021).

A média geral de massa seca das folhas na segunda safra, massa seca do colmo e massa seca total foi de aproximadamente 54,64, 114,72 e 169,34 g, respectivamente. A média geral da relação massa seca folhas/colmo foi de 0,50. Portanto, a média geral de particionamento dos fotoassimilados nas folhas e colmo foi de aproximadamente 33,08 e 66,92%, respectivamente (Tabela 14).

Tabela 14. Massa seca das folhas (MSF), massa seca do colmo (MSC), massa seca total (MST), relação massa seca folhas/colmo (MSF/MSC), particionamento dos fotoassimilados nas folhas (%FTF) e colmo (%FTC) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).

Tratamentos ¹	MSF	MSC	MST	MSF/MSC	%FTF	%FTC
	g	g	g	-	%	%
Primeira safra (2022/23)						
UREIA	73,7	174,7	248,4	0,6	33,0	67,0
ARS	81,8	227,3	309,1	0,4	26,7	73,3
50UREIA+50ARS	86,0	154,3	240,3	0,6	35,9	64,1
25UREIA+75ARS	79,4	162,0	241,4	0,5	32,9	67,1
75UREIA+25ARS	76,0	145,3	221,3	0,5	34,8	65,2
Tratamentos ¹	MSF	MSC	MST	MSF/MSC	%FTF	%FTC
	g	g	g	-	%	%

	Segunda safra (2023/24)					
UREIA	53,5	148,5	202,0	0,4	28,5	71,5
ARS	53,7	105,3	158,9	0,5	33,7	66,3
50UREIA+50ARS	58,7	105,2	163,9	0,6	36,1	63,9
25UREIA+75ARS	52,0	105,1	157,1	0,5	33,3	66,7
75UREIA+25ARS	55,3	109,5	164,8	0,5	33,8	66,2

¹Médias não diferem significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

A planta de milho tem maior crescimento e diâmetro do colmo quando há a adição da fonte mineral na água residuária, contudo, para a matéria seca, já não foram observados efeitos significativos (KESSLER *et al.*, 2014; LIU *et al.*, 2023).

Isto demonstra o potencial agrônômico de utilização da ARS como fonte de N, visto que, por ser um resíduo da atividade de suinocultura e não conter um processo de fabricação e padronização dos teores nutricionais, sua utilização resultou em desempenho agrônômico satisfatório, considerando a produção de clorofilas, índices foliares, crescimento vegetativos e a produção de biomassa seca pela cultura do milho, com a grande parte dos resultados semelhante ao obtido com o uso da fonte mineral de nitrogênio (ureia).

Vale destacar que além de N, a ARS contém outros macronutrientes, micronutrientes e matéria orgânica, que podem, também, contribuir para a melhoria da fertilidade do solo e para o potencial produtivo das culturas agrícolas. Além de ser uma forma de reciclar nutrientes, a utilização desta prática promove o reúso da água, constituindo uma maneira mais adequada de destinação final dos resíduos gerados pela atividade de suinocultura.

3.4 CONCLUSÕES

A fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, não promove efeito significativo na clorofila *a*, *b*, *a/b* e *total* do milho aos 42, 72, 82 e 92 DAS, na primeira safra (2022/23).

Na segunda safra (2023/24), não há efeito significativo da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, para a clorofila *a*, *b*, *a/b*, *total*, índice SPAD e NDVI do milho aos 42 e 62 DAS.

A aplicação de água residuária de suinocultura complementada com adubação mineral via ureia a lanço não influencia significativamente a altura de inserção da espiga, número de folhas, comprimento da folha, largura da folha e área foliar do milho, na primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).

A produção de matéria seca pela cultura do milho não é influenciada por nenhum dos tratamentos de fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com adubação mineral via ureia a lanço, na primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).

O crescimento e desenvolvimento do milho cultivado em Latossolo Vermelho de Cerrado fertirrigado com água residuária de suinocultura como fonte de nitrogênio é equivalente ao verificado nessa cultura sob adubação mineral com ureia a lanço.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. A. A. **Estado de nitrogênio, índice spad, teor de açúcar e produtividade de genótipos de milho doce (*Zea mays L. saccharata*) em função de doses de nitrogênio.** Tese (Pós-graduação em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 84 p., 2022.

ABREU, P. A. D. S. **Uso de biofertilizante na fertirrigação de milho: efeitos na planta e no solo.** Tese (Agronomia – Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 226 p., 2023.

ABREU, P. A. S. **Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica biodigestor como fonte de nitrogênio na cultura do milho.** Dissertação (Agronomia). Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu – SP, 126 p., 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 23^a ed. Washington: American Public Health Association, 40 p., 2017.

BALASHANMUGAVEL, B.; SUBRAMANI, M.; SUBBIAH, J.; THANGAVEL, P. K.; VUNNAM, V.; KASIVISWANATHAN, S. C. B. Enrichment of chlorophyll content of maize (*Zea mays L.*) hybrid through biodegradable polymer coated urea fertilizers. **Agricultural Science Digest**, A Research Journal of Agriculture, Animal and Veterinary Sciences, v.1, n.1, p.1-8, 2025.

BRITO, C. F. B.; FONSECA, V. A.; BEBÉ, F. V.; SANTOS, L. G. Desenvolvimento inicial do milho submetido a doses de esterco bovino. **Revista Verde**, Mossoró, v 9, n. 3, p. 244-250, 2014.

CABRAL FILHO, F. R. **Fontes alternativas de suplementação potássica para o milho: dinâmica no solo, teor nutricional e aspectos produtivos da cultura.** Tese (Ciências Agrárias – Agronomia), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Rio Verde, 74 p., 2024.

CHEN, P.; HABOUDANE, D.; TREMBLAY, N.; WANG, J.; VIGNEAULT, P.; LI, B. New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat. **Remote Sens. Environ.**, v.114, n.2, p.1987-1997, 2010.

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; BICUDO, S. J.; ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS, J. R.; MACHADO, C. G. Nutrição do milho e da *Brachiaria decumbens* cultivado em consórcio em diferentes preparos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, p. 733-739, 2008.

DIAS, D. C. P. **Água residuária de suinocultura como alternativa para fertilização do solo no cerrado**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 23 p., 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, n. 35, v. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIA, R.; VILAS BOAS, R. B.; CAMPOS, A. T. C.; FIA, R. L.; De SOUZA, E. G. Remoção de nitrogênio, fósforo, cobre e zinco de águas residuais de suinocultura por capim-bermuda e taboa em sistemas de áreas úmidas construídas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 1, p. 112-113, jan./fev. 2014.

FRAZÃO, J. J.; SILVA, A. R.; SILVA, V. L.; OLIVEIRA, V. A.; CORRÊA, R. S. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n. 12, p.1262-1267, 2014.

FREITAS, J. M.; VAZ, M. C.; DUTRA, G. A.; SOUZA, J. L.; REZENDE, C. F. A. Resposta da produtividade do milho à adubação mineral e organomineral. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p.1-8, 2021.

HUNT JR, E. R.; DORAISWAMY, P. C.; MCMURTREY, J. E.; DAUGHTRY, C. S.; PERRY, E. M.; AKHMEDOV, B. A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 103-112, 2013.

JORGE, M. F; PINHO, C. F; NASCENTE, A. L; ALVES, DG; ALMEIDA, GV; SILVA, JBG; SILVA, LDB. 2017. Tomato fertigation with dairy cattle wastewater. **Horticultura Brasileira**, v35, n.2, p. 230-234, 2017.

KESSLER, N. C. H.; SAMPAIO, S. C.; SORACE, M.; LUCAS, S. D.; PALMA, D. Swine wastewater associated with mineral fertilization on corn crop (*Zea mays*). **Eng. Agríc**, Jaboticabal, v.34, n.3, p.554-566, 2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: **Verlag Justus Perthes**. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LIU, Z.; GAO, J.; ZHAO, S.; SHA, Y.; HUANG, Y.; HAO, Z.; MI, G. Nitrogen responsiveness of leaf growth, radiation use efficiency and grain yield of maize (*Zea mays* L.) in Northeast China. **Field Crops Research**, v.291, n.1, p. 108806, 2023.

MACAN, G. P. F.; PINTO, D. F. P.; HOMMA, S. K. Eficiência de diferentes adubos orgânicos na adubação do milho. **Revista Brasileira De Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 04, p. 66-74, 2019.

MARTINS, D. C.; RESENDE, A. V.; GALVÃO, J. C. C.; SIMÃO, E. D. P.; FERREIRA, J. D. C.; ALMEIDA, G. D. O. Organomineral phosphorus fertilization in the production of corn, soybean and bean cultivated in succession. **Am. J. Plant Sci.**, v.17., n.8, p.2407–2421, 2017.

MARTINS, C. A. C.; SANTOS, F. S.; PORTZ, A.; SANTOS, A. M. Desenvolvimento inicial do milho (*Zea Mays* L.) em substrato contendo lodo de esgoto compostado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 48, p. 69-79, 2018.

MORTATE, R. K.; NASCIMENTO, E. F.; GONÇALVES, E. G. S.; LIMA, M. W. P. Resposta do milho (*Zea mays* L.) à adubação foliar e via solo de nitrogênio. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 5, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2018.

MYNENI, R. B.; WILLIAMS, D. L. On the relationship between FAPAR and NDVI. **Remote Sens. Environ.**, v.49, n.3, p. 200-211, 1994.

NAVARRO-LEÓN, E.; LÓPEZ-MORENO, F. J.; BORDA, E.; MARÍN, C.; SIERRAS, N.; BLASCO, B.; RUIZ, J. M. Effect of l-amino acid-based biostimulants on nitrogen use efficiency (NUE) in lettuce plants. **Journal of the science of food and agriculture**, [s.l.], v.102, n. 15, p.7098-7106, jun. 2022.

NEUMANN, M.; HORST, E. H.; de SOUZA, A. M.; VENANCIO, B. J.; JUNIOR, E. S. S.; KARPINSKI, R. A. K. Avaliação de doses crescentes de nitrogênio em cobertura em milho para silagem. **Agrarian**, v.12, n.44, p.156-164, 2019.

OLIVEIRA, D. T. M.; ANDRADE, C. L. L.; CABRAL FILHO, F. R.; TEIXEIRA, M. B.; FERREIRA, T. M. Avaliação biométrica do uso de diferentes fontes de nitrogênio no milho safrinha. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 1, p. 63-71, 2023.

PACHECO, F. P. **Água residuária de suinocultura aplicada em cobertura na cultura do milho com cultivo sequencial de aveia preta**. Dissertação (Engenharia Agrícola) - Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, 67 p., 2012.

PEREIRA, B. D. O. H.; DINIZ, D. A.; REZENDE, C. F. A. Adubação organomineral e mineral sem desempenho agrônômico do milho e mudanças transformadas do solo. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 6, n. 8, p. 58694-58706, 2020.

PRIOR, M.; SAMPAIO, S. C.; NÓBREGA, L. H.; DIETER, J.; COSTA, M. S. D. M. Estudo da associação de água residuária de suinocultura e adubação mineral na cultura do milho e no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 744-755, 2015.

RAMOS, G. L. **Utilização de água residuária na irrigação da aveia preta.** Universidade Federal do Pampa – Alegrete, 3 p., 2023.

RAMOS-GARCÍA, C. A.; MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, L. J.; BERNAL-RIOBO, J. H. Estimating chlorophyll and nitrogen contents in maize (*Zea mays* L.) leaves with spectroscopic analysis. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 16, n. 1, p.1-15, 2022.

RAMOS, J. G.; LIMA, V. L. A.; NASCIMENTO, R.; ARAÚJO, N. C.; GUIMARÃES, R. F. B.; PEREIRA, M. O. Parâmetros fisiológicos do milho cultivado sob adubação organomineral de NPK, água amarela e manipueira. **Irriga**, v. 24, n. 2, p. 444-459, 2019.

RANJAN, A. K.; PARIDA, B. R. Estimating biochemical parameters of paddy using satellite and near-proximal sensor data in Sahibganj Province, Jharkhand (India). **Remote Sens. Appl.: Soc. Environ.**, v.18, n.1, p.100293, 2020.

RIBEIRO, M. C.; GENZ, R.; SANTANA, G. G.; GUIMARÃES, C. R. R. Manejo do nitrogênio e ciclagem de nutrientes na cultura do milho safrinha. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 7, n. 1, p. 13, 2024.

SAKURADA, R.; BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; MUNIZ, A. S.; PAGLIARI, P. H. Organomineral phosphate fertilizers: agronomic efficiency and residual effect on initial corn development. **Agron. J.**, v.108, n.5, p.2050–2059, 2016.

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

SANTOS, J. K. F.; CABRAL FILHO, F. R.; BASTOS, A. V. S.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, E. C.; SANTOS, E. A.; VIDAL, V. M.; MORAIS, W. A.; AVILA, R. G.; SOARES, F. A. L. Desenvolvimento de plantas de milho submetidas a doses de adubação NPK mineral e organomineral. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 15 p., 2021.

SCHLEMMER, M. R.; FRANCIS, D. D.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. **Agron. J.**, v.97, n.1, p.106-112, 2005.

SCHLEMMER, M.; GITELSON, A.; SCHEPERS, J.; FERGUSON, R.; PENG, Y.; SHANAHAN, J.; RUNDQUIST, D. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. **Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.**, v.25, n.1, p.47-54, 2013.

SILVA, E. L. **Adubação potássica na cultura da soja cultivada na região de cerrado maranhense.** Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 31 p., 2016.

SILVA, J. R. M. **Aplicação de efluente de estação de tratamento de esgoto em solo cultivado com Grama esmeralda (*Zoysia japonica*).** Dissertação (Mestrado em

Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 73 p., 2017.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado**. 2ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 19 p., 2005.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 416 p., 2004.

SOUZA, D. J. G. **O uso de fertilizantes organominerais para o desenvolvimento inicial do milho**. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 25 p., 2021.

SOUZA, J. A.; ROCHA, G. C.; GOMES, M. D. P.; REZENDE, C. H. Dinâmica do nitrogênio em Latossolo cultivado com café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 22, n. 6, p. 390-395, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p., 2009.

TIAN, F.; BRANDT, M.; LIU, Y. Y.; VERGER, A.; TAGESSON, T.; DIOUF, A. A.; FENSHOLT, R. Remote sensing of vegetation dynamics in drylands: Evaluating vegetation optical depth (VOD) using AVHRR NDVI and in situ green biomass data over West African Sahel. **Remote Sensing of Environment**, v. 177, p. 265-276, 2016.

VIAN, A. L.; BREDEMEIER, C.; DRUM, M. A.; PIRES, J. L. F.; FOCHESSATTO, E. Vegetation sensors as a tool for plant population identification and corn grain yield estimation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 51, e66926, p. 1-8, 2021.

WIEGAND, C. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E.; GERBERMANN, A. H. Vegetation Indices in Crop Assessments. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 105-119, 1991.

XIE, Y.; TANG, L.; HAN, Y.; YANG, L.; XIE, G.; PENG, J.; TIAN, C.; ZHOU, X.; LIU, Q.; RONG, X.; ZHANG, Y. Reduction in nitrogen fertilizer applications by the use of polymercoatedurea: effect on maize yields and environmental impacts of nitrogen losses. **Journal of the science of food and agriculture**, [s. l.], v. 99, n. 5, p.2259-2266, 2019.

4 CAPÍTULO II

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO MILHO FERTIRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA NA REGIÃO DE CERRADO

Resumo: Do custo total para produção de milho, a maior parte está relacionada à aplicação de fertilizantes minerais, especialmente os nitrogenados. Nesse contexto, o uso de fontes orgânicas como alternativa para fornecimento de nutrientes pode contribuir não somente do ponto de vista produtivo, mas também oferecendo benefícios econômicos e ambientais. Objetivou-se avaliar os componentes produtivos, índice de eficiência agronômica, eficiência agronômica de nitrogênio e custo de produção da cultura do milho (híbrido AS1820PRO3), submetido à fertirrigação com água residuária de suinocultura e adubação química com ureia, em Latossolo Vermelho de Cerrado. O ensaio foi conduzido em duas safras, em uma estação experimental no município de Rio Verde – GO. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em cinco proporções de água residuária de suinocultura via fertirrigação complementadas com a aplicação de ureia a lanço, com base na dose recomendada de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, sendo: T1 - 0ARS+100Ureia: 0% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 100% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T2 - 25ARS+75Ureia: 25% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 75% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T3 - 50ARS+50Ureia: 50% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 50% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T4 - 75ARS+25Ureia: 75% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 25% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T5 - 100ARS+0Ureia: 100% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 0% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia. As parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de 5 m de comprimento, totalizando uma área ocupada pelo experimento de 281,25 m². A aplicação dos tratamentos ocorreu em cobertura na cultura do milho no estágio fenológico de V4 e V6. Na maior parte dos parâmetros produtivos e na produtividade de grãos, a utilização da ARS em substituição parcial ou total a ureia resulta em um mesmo desempenho agronômico. Na maior parte dos parâmetros produtivos e na produtividade de grãos, a utilização da ARS em substituição parcial ou total a ureia resulta em um mesmo desempenho agronômico. O uso de água residuária via fertirrigação complementada com a aplicação de ureia a lanço proporciona a maior margem bruta nas duas safras, o menor ponto de equilíbrio e maior rentabilidade, tornando viável sua utilização em conjunto com a adubação mineral convencional.

Palavras-chave: *Zea mays* L., produtividade, nitrogênio, ureia, custos de produção, reciclagem de nutrientes.

Abstract: From the total cost of corn production, most is related to the mineral fertilizers application especially nitrogen fertilizers. In this context, the use of organic sources as an alternative for nutrient supply can contribute not only from a production point of view, but also by offering economic and environmental benefits. The objective of this study was to evaluate the productive components, agronomic efficiency index, nitrogen agronomic efficiency and production cost of corn (hybrid AS1820PRO3), subjected to

fertigation with swine wastewater and chemical fertilization with urea, in a Cerrado Red Latosol. The trial was conducted in two harvests, in an experimental station in the municipality of Rio Verde - GO. The experimental design used was randomized blocks, with five replications, totaling 25 experimental plots. The treatments consisted of five proportions of swine wastewater via fertigation supplemented with the application of urea broadcast, based on the recommended dose of nitrogen topdressing in the corn crop, being: T1 - 0ARS+100Urea: 0% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 100% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T2 - 25ARS+75Urea: 25% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 75% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T3 - 50ARS+50Urea: 50% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 50% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T4 - 75ARS+25Urea: 75% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 25% of the nitrogen dose applied broadcast via urea; T5 - 100ARS+0Urea: 100% of the nitrogen dose applied via fertigation with ARS and 0% of the nitrogen dose applied broadcast via urea. The experimental plots consisted of 5 rows of 5 m in length, totaling an area of 281.25 m². The treatments were applied as top dressing in the corn crop at the V4 and V6 phenological stages. In most of the productive parameters and grain yield, the use of ARS in partial or total replacement of urea results in the same agronomic performance. In most of the productive parameters and grain yield, the use of ARS in partial or total replacement of urea results in the same agronomic performance. The use of wastewater via fertigation complemented by the application of urea in broadcasting provides the highest gross margin in both harvests, the lowest break-even point and highest profitability, making its use viable in conjunction with conventional mineral fertilization.

Keywords: *Zea mays* L., productivity, nitrogen, urea, production costs, nutrient recycling.

4.1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) tem grande importância para a economia mundial, sendo o cereal mais cultivado no mundo e um produto altamente utilizado na alimentação humana, animal, e atualmente está sendo demandado também como matriz energética, na produção de etanol (ABREU, 2023). Entre as culturas agrícolas produzidas no Brasil, o milho destaca-se pela ampla distribuição nas diversas regiões brasileiras (IBGE, 2022), com cadeia produtiva representada por um milhão de produtores em todo o país (IBGE, 2017).

A região Centro-Oeste do Brasil, que inclui os estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e o Distrito Federal, é uma das principais áreas produtoras de milho. Na safra de 2023, esta região alcançou recorde de produção de 91,2 milhões de toneladas. A área plantada expandiu para 14,8 milhões de hectares, e corresponde ao aumento de 4% em relação a 2022. Em Goiás, a safra de 2023 registrou a produção de 13,4 milhões de toneladas, o aumento de 13% em relação ao ano anterior (CONAB, 2023a).

Aliado ao acréscimo de produtividade, está o aumento do requerimento nutricional, cujo nitrogênio (N) é o nutriente mais absorvido e extraído pela cultura do milho (MOREIRA *et al.*, 2019). Atualmente, a adubação mineral nitrogenada é a mais utilizada para suprir esta demanda (ABREU, 2023), porém, onera os custos de produção, de forma que do custo total de produção por hectare do milho, em média R\$ 60,00 por saca de 60 kg produzida, a maior parte é proveniente da aplicação de fertilizantes, sendo R\$ 12,17 cada saca de 60 kg produzida (20,3%) (CONAB, 2023b). Nesse contexto, fontes alternativas de N para o solo e plantas em substituição aos fertilizantes minerais, estão recebendo destaque por apresentarem potencial agrônomo, ambiental e econômico, como é o caso das águas residuárias de origem animal.

Em efluentes de suinocultura, na maioria das vezes, a fração amoniacal perfaz aproximadamente 50% do nitrogênio total, um teor elevado de N prontamente disponível para a cultura do milho (BASSO *et al.*, 2005; SCHERER *et al.*, 2007). Além de nitrogênio, outros nutrientes presentes nas águas residuárias, após mineralizados, são disponibilizados à absorção pelas plantas (BATISTA *et al.*, 2014), atuando como complemento no processo de adubação (BASTOS, 2016), que reduz custos com fertilizantes minerais.

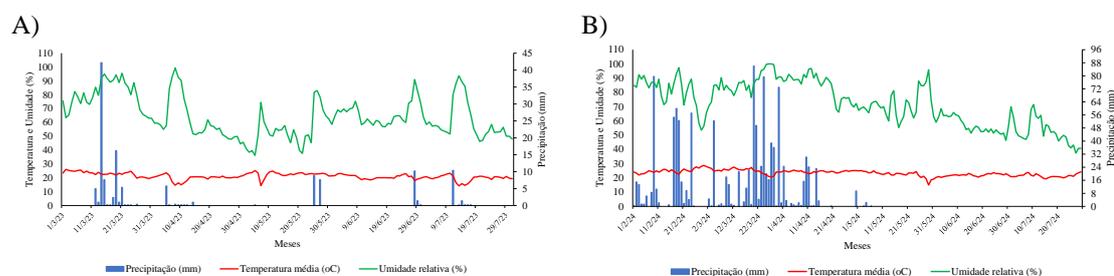
Com base na capacidade de disponibilizar nutrientes e de proporcionar melhorias nas características químicas inerentes à fertilidade do solo, a aplicação de água residuária de suinocultura apresenta resultados positivos no aumento de produtividade em culturas anuais, como o milho, e no aumento na concentração de Ca^{+2} , K^+ , Mg^{+2} e P disponíveis no solo (MAGGI *et al.*, 2011; ROSA *et al.*, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2018). Além disso, o aproveitamento de águas residuárias na fertirrigação de culturas agrícolas constitui uma opção de descarte mais adequado desses resíduos, contribuindo para a redução dos riscos de poluição ambiental proporcionados pelo lançamento desses efluentes em corpos hídricos.

Neste sentido, a hipótese deste estudo é que a utilização da água residuária de suinocultura pode substituir a adubação mineral com ureia, na suplementação de nitrogênio à cultura do milho, proporcionando maiores produções de grãos e viabilidade econômica. Portanto, objetivou-se avaliar os componentes produtivos, índice de eficiência agrônomo, eficiência agrônomo de nitrogênio e custo de produção da cultura do milho (híbrido AS1820PRO3), submetido à fertirrigação com água residuária de suinocultura e adubação mineral com ureia, em Latossolo Vermelho de Cerrado.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nas safras de outono (segunda safra) nos anos de 2022/23 e 2023/24, na área experimental do IFGoiano – Campus Rio Verde, na cidade de Rio Verde, localizada na região sudoeste do estado de Goiás, nas coordenadas geográficas 17°48'29.3"S 50° 53' 57.9"W; com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen e Geiger (1928) e Alvares *et al.* (2013), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio e, com seca nos meses de junho a setembro. As precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais.

Os dados climáticos durante o desenvolvimento da cultura do milho, nas safras de 2022/23 e 2023/24, estão dispostos na Figura 1.



Fonte: Autora (2024)

Figura 1. Dados de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa durante o período do experimento na safra de 2022/23 (A) e 2023/24 (B).

Fonte: Autora (2024).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS *et al.*, 2018). Antes da instalação do experimento, foram efetuadas coletas de amostras deformadas de solo, na camada de 0-20 cm, para a caracterização química e granulométrica (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo (Latossolo Vermelho distroférico), na camada de 0-20 cm.

Safra	pH	M.O. g.dm ⁻³	P mg.dm ⁻³	K	Ca	Mg --- cmolc.dm ⁻³ ---	Al	H+Al ---	T	V -%-
2022/23	5,29	46,5	2,4	228	3,9	2,3	<0,1	4,0	10,8	63
2023/24	5,7	29,0	35		3,3	1,8	0,0	1,8	7,17	75

Safra	m	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Argila	Silte	Areia
	-- % --	----- mg.dm ⁻³ -----						--- g.kg ⁻¹ ---		
2022/23	0,0	8,7	<0,12	1,3	4,7	8,0	1,1	600	100	300
2023/24	0,0	8,0	0,12	2,4	23	1,9	0,5	600	100	300

P (Fósforo) - Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) - Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio) - KCl 1 mol.L⁻¹; S (Enxofre) - Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol.L⁻¹; M.O. - Método colorimétrico; B (Boro) - água quente

T - Capacidade de troca catiônica; V - saturação de bases; m - saturação de alumínio; M.O. - Matéria orgânica
Fonte: Autora (2024).

O milho foi semeado em 03/03/2023 e 22/02/2024, utilizando uma semeadora de 5 linhas com sistema de distribuição de sementes por disco horizontal. O espaçamento entre linhas foi de 0,45 m com 3 plantas por metro linear, numa representatividade de 66.666 plantas ha⁻¹. As parcelas experimentais foram compostas por 5 linhas de 5 m de comprimento (11,25 m²), totalizando a área ocupada pelo experimento de 281,25 m². Foi utilizado o híbrido AS1820PRO3. O sistema de plantio adotado foi o de plantio direto, tendo como antecessora a cultura da soja. A adubação de semeadura foi efetuada com 200 kg do formulado 04:14:08 e em cobertura, foi efetuada a adubação com 100 kg de cloreto de potássio, dividido em duas aplicações em V0 e V4, conforme as recomendações de Sousa e Lobato (2004).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em cinco proporções de água residuária de suinocultura via fertirrigação, complementadas com a aplicação de ureia a lanço, com base na dose recomendada de nitrogênio em cobertura na cultura do milho, sendo: T1 - 0ARS+100Ureia: 0% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 100% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T2 - 25ARS+75Ureia: 25% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 75% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T3 - 50ARS+50Ureia: 50% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 50% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T4 - 75ARS+25Ureia: 75% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 25% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia; T5 - 100ARS+0Ureia: 100% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 0% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos.

Tratamento ¹	DN (kg ha ⁻¹)	Adubação
-------------------------	---------------------------	----------

T1 - 0ARS+100Ureia	120	0% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 100% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T2 - 25ARS+75Ureia	120	25% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 75% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T3 - 50ARS+50Ureia	120	50% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 50% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T4 - 75ARS+25Ureia	120	75% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 25% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.
T5 - 100ARS+0Ureia	120	100% da dose de nitrogênio aplicado via fertirrigação com ARS e 0% da dose de nitrogênio aplicado a lanço via ureia no estágio fenológico de V4 e V6 na cultura do milho.

¹Dose de Nitrogênio (DN); Água Residuária de Suinocultura (ARS); V4 e V6: estágio fenológico vegetativo em que a planta de milho se encontra com 4 e 6 folhas completamente abertas, respectivamente.
Fonte: Autora (2024).

A aplicação dos tratamentos ocorreu em cobertura na cultura do milho via líquida através da fertirrigação com água residuária de suinocultura, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, e via sólido granulado através da adubação mineral com ureia, conforme recomendação de Sousa e Lobato (2004) (120 kg ha⁻¹ de N) e, seguindo os tratamentos descritos. A fonte mineral de fertilizante utilizada foi a ureia granulada convencional, de coloração branca, com concentração de 45% de N. A água residuária de suinocultura (ARS) foi obtida em uma granja no município de Rio Verde - GO, coletada após o processo de tratamento via biodigestão e decantação, cujas características físico-químicas estão apresentadas na Tabela 3, conforme as metodologias descritas no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

Tabela 3. Caracterização físico-química da água residuária de suinocultura.

Parâmetro	Valor	Unidade
pH	7,83	-
Turbidez	289,25	NTU
Demanda Química de Oxigênio	1172,47	mg L ⁻¹
Sólidos totais	3915,66	mg L ⁻¹
Sólidos fixos	2330,21	mg L ⁻¹
Sólidos voláteis	1585,45	mg L ⁻¹

Nitrogênio total	2800,00	mg L ⁻¹
Nitrogênio orgânico	196,00	mg L ⁻¹
Nitrogênio inorgânico	2604,00	mg L ⁻¹
Amônia	2187,36	mg L ⁻¹
Nitrato + Nitrito	416,64	mg L ⁻¹
Fósforo	11,53	mg L ⁻¹
Potássio	83,56	mg L ⁻¹
Cálcio	41,90	mg L ⁻¹
Magnésio	48,29	mg L ⁻¹
Sódio	57,3	mg L ⁻¹
Cobre	1,26	mg L ⁻¹
Zinco	8,9	mg L ⁻¹
Ferro	10,77	mg L ⁻¹
Manganês	1,84	mg L ⁻¹

Fonte: Autora (2024).

A ARS utilizada possuía 2,8 kg de N para cada 1000 L. Portanto, para o fornecimento da dose de 120 kg de N ha⁻¹ foi necessária a aplicação de 43.000 L (43 m³) de ARS. Enquanto para fonte mineral, foi necessária a aplicação de 267 kg de ureia (Figura 4).

No momento da colheita foi considerada a área útil de 3,6 m² por parcela, sendo determinados através da medição de duas espigas por parcela: Número de espigas por planta (NEP); Número de grãos por espiga (NGE); Comprimento de espiga (CE – cm); Diâmetro de espiga (DE – mm); Número de fileiras de grãos (NFG); Número de grãos por fileira (NGF); e Número de grãos por planta (NGP). Em função da área colhida e da trilhagem dos grãos foi mensurado: Massa de mil grãos (MMG - gramas); Massa de grãos por espiga (MGESP); Massa de grãos por planta (MGP – gramas por planta); e Produtividade de grãos (PROD – kg ha⁻¹), sendo que, a massa de grãos foi corrigida para a umidade de 14%.

Após a obtenção da produção de grãos por tratamento, foi possível efetuar o cálculo dos índices agronômicos, conforme metodologias propostas por Fageria e Baligar (2005), descritas nas equações 1 a 3:

$$IEA = \frac{PROD_t}{DN} \quad (1)$$

$$EAN = \frac{(PROD_{ARS} - PROD_{Ureia})}{DN} \quad (2)$$

$$PRODRel = \frac{PROD_{ARS}}{PROD_{Ureia}} \quad (3)$$

Em que:

IEA - Índice de eficiência agrônômica, kg grãos kg N⁻¹;

PROD_t - Produtividade de grãos por tratamento, kg ha⁻¹;

DN - Dose de nitrogênio aplicada por tratamento, kg ha⁻¹;

EAN - Eficiência agrônômica de nitrogênio, kg grãos kg N⁻¹;

PRODRel - Produtividade relativa, kg grãos kg grãos⁻¹;

PROD_{Ureia} - Produtividade de grãos com a utilização de Ureia como fonte de N;

PROD_{ARS} - Produtividade de grãos com a utilização de Água Residuária de Suinocultura como fonte de N.

Para a avaliação econômica dos tratamentos, primeiramente foram levantados os preços dos fertilizantes utilizados na produção de milho segunda safra, no período de 2023 a 2024, no município de Rio Verde – GO e região.

O custo operacional de cada tratamento foi definido como sendo o gasto com a fonte e a dose do fertilizante, obtido em reais por hectare (R\$ ha⁻¹). O valor da saca de milho paga ao produtor na época da comercialização, no mercado de Rio Verde - GO no período de janeiro a outubro de 2023 e 2024, era de R\$ 52,00 a saca ou R\$ 0,87 kg (CONAB, 2024). O valor da Água Residuária de Suinocultura, considerando-se o processo de tratamento, transporte e aplicação, é de R\$ 25,00 o metro cúbico. O valor da ureia no período de janeiro a outubro de 2023 e 2024 foi de R\$ 3.000,00 a tonelada.

Após estimar os custos de cada tratamento, foram calculados os indicadores de rentabilidade, conforme descritos em Martin *et al.* (1998) e Francischini *et al.* (2018):

a) Receita bruta (RB) é a receita obtida com a venda da produção, resultado do produto entre o volume de grãos colhidos (Y) e o preço efetivamente recebido no mercado pelo grão (P_g), conforme equação 4:

$$RB = Y * P_g \quad (4)$$

Em que:

RB - Receita bruta, R\$ ha⁻¹;

Y - Volume de grãos colhidos, sacas ha⁻¹;

P_g - Preço efetivamente recebido no mercado pelo grão, R\$ saca⁻¹.

b) Margem bruta (MB) é o resultado da diferença entre a RB e o custo do tratamento (CT), conforme equação 5:

$$MB = RB - CT \quad (5)$$

Em que:

MB - Margem bruta, R\$ ha⁻¹;

RB - Receita bruta, R\$ ha⁻¹;

CT - Custo do tratamento, R\$ ha⁻¹.

c) Índice de lucratividade (IL) expressa a parte da receita que ficará disponível para futuros investimentos após o pagamento dos custos operacionais (KANEKO *et al.*, 2016), conforme equação 6:

$$IL = \left(\frac{MB}{RBT} \right) * 100 \quad (6)$$

Em que:

IL - Índice de lucratividade, %;

MB - Margem bruta, R\$ ha⁻¹;

RBT - Receita bruta tota, R\$ ha⁻¹.

d) Ponto de equilíbrio (Pe_q) é a relação entre o CT e o preço da saca de milho no momento da comercialização, determina quantas unidades produzidas são necessárias para pagar o CT, conforme equação 7:

$$Pe_q = \frac{CT}{P} \quad (7)$$

Em que:

Pe_q - Ponto de equilíbrio, kg ha⁻¹;

CT - Custo operacional total, R\$ kg ha⁻¹;

P - Preço recebido pelo cereal, R\$.

e) Custo marginal (CM_g): é a resposta obtida, resultado da relação entre a variação no custo total (ΔC) e a variação no produto (ΔP_g) (VASCONCELLOS; GARCIA, 2009).

Em outras palavras, é o indicador que considera quanto eleva o custo para produzir uma unidade a mais do produto. A parcela que contou com a aplicação de nitrogênio via ureia foi considerada como indicador para o cálculo do custo marginal (CM_g), conforme equação 8:

$$CM_g = \frac{\Delta C}{\Delta P_g} \quad (8)$$

Em que:

CM_g - Custo marginal, R\$ ha⁻¹;

ΔC - Variação do custo total, R\$;

ΔP_g - Variação no produto.

Dessa forma, é viável e mais interessante do ponto de vista econômico o tratamento que apresentar maior MB e IL, menor Pe_q , pois com valores menores se compensa o gasto com os produtos, e quando o $CM_g < P_g$, pois aumentos na produção elevam a receita e, quando $CM_g \geq P_g$ não se deve aumentar a produção pois se elevam os custos acima do preço do produto no mercado.

Os dados de produtividade foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®] (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira safra (2022/23), os tratamentos de adubação nitrogenada influenciaram o número de fileiras de grãos, número de grãos por espiga e o número de grãos por planta, quando observados os parâmetros produtivos do milho. Na segunda safra (2023/24), a prolificidade foi o único parâmetro produtivo biométrico influenciado pelos diferentes tratamentos de adubação nitrogenada (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para as variáveis número de espigas por planta (NEP), número de fileiras de grãos (NFG), número de grãos por fileira (NGF), número de grãos por espiga (NGE), número de grãos por planta (NGP), diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura

complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).

FV	GL	QM						
		Primeira safra (2022/23)						
		NEP	NFG	NGF	NGE	NGP	DE	CE
Tratamentos	4	0,01 ^{ns}	31,16 [*]	2,07 ^{ns}	46823 [*]	31585 [*]	3,10 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Bloco	3	0,01 ^{ns}	0,19 ^{ns}	5,44 ^{ns}	1715 ^{ns}	615 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Erro	12	0,01	1,02	3,72	1886	7097	5,07	0,74
CV (%)		10,72	6,67	5,27	7,85	14,27	4,52	5,02
		Segunda safra (2023/24)						
Tratamentos	4	0,51 [*]	0,86 ^{ns}	5,34 ^{ns}	265,44 ^{ns}	166685 ^{ns}	7,15 ^{ns}	1,78 ^{ns}
Bloco	3	0,17 ^{ns}	0,61 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1451 ^{ns}	53601 ^{ns}	8,62 ^{ns}	1,41 ^{ns}
Erro	12	0,18	1,34	4,03	2476	66002	7,65	0,64
CV (%)		24,21	6,79	6,00	8,74	25,98	6,78	6,13

Fonte de variação (FV); Grau de liberdade (GL); Quadrado médio (QM); Coeficiente de variação (CV). Número de espigas por planta (NEP); número de fileiras de grãos (NFG); número de grãos por fileira (NGF); número de grãos por espiga (NGE); número de grãos por planta (NGP); diâmetro da espiga (DE); comprimento da espiga (DE). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade. Fonte: Autora (2024).

Na primeira safra (2022/23), o milho apresentou média geral do número de espigas por planta e número de grãos por fileira de 1,10 e 36,54. Em relação ao diâmetro e comprimento da espiga o valor foi de 49,84 mm e 17,08 cm, respectivamente (Tabela 5). Gish *et al.* (2024), constataram que a aplicação de água residuária de suinocultura equiparou-se à aplicação de fertilizante mineral no número de espigas do milho, em Latossolo Vermelho distroférrico.

Na segunda safra (2023/24), o número de fileiras de grãos e número de grãos por fileira do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, apresentou média geral de 17,02 e 33,48. O número de grãos por espiga e o número de grãos por planta do milho, segunda safra (2023/24), apresentou média geral de 569,48 e 988,90, sendo que, o diâmetro da espiga e comprimento da espiga foi 40,82 mm e 13,06 cm, respectivamente (Tabela 5). O uso de fontes orgânicas em relação à fonte mineral, não influenciou significativamente no comprimento e peso de espiga do milho segunda safra, conforme estudos desenvolvidos por Souza *et al.* (2021).

Tabela 5. Número de espigas por planta (NEP), número de grãos por fileira (NGF), diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).

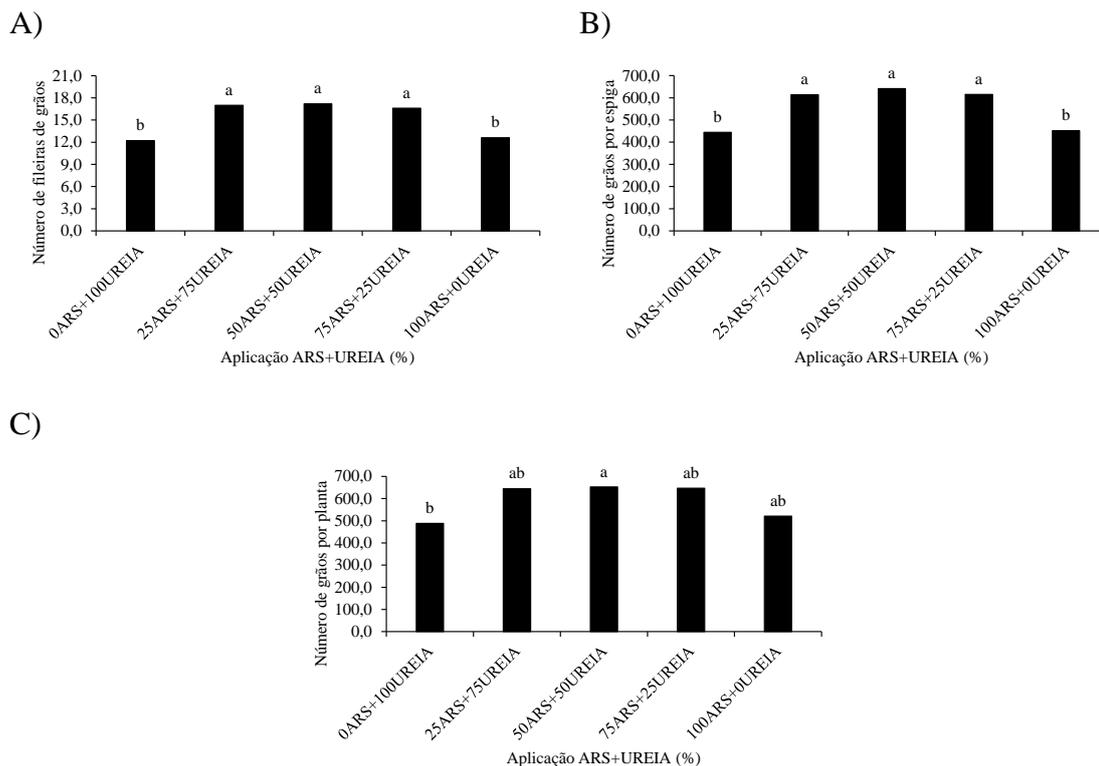
Tratamentos ¹	NEP	NGF	DE	CE		
	-	-	mm	cm		
Primeira safra (2022/23)						
UREIA	1,1	36,4	49,1	17,5		
ARS	1,2	35,8	49,9	16,9		
50UREIA+50ARS	1,0	37,3	51,1	17,3		
25UREIA+75ARS	1,1	37,1	49,4	16,9		
75UREIA+25ARS	1,1	36,1	49,7	16,8		
Tratamentos ¹	NFG	NGF	NGE	NGP	DE	CE
	-	-	-	-	mm	cm
Segunda safra (2023/24)						
UREIA	17,0	34,0	578,4	1093,5	40,2	13,3
ARS	17,2	33,4	572,8	1145,6	39,8	12,5
50UREIA+50ARS	17,6	31,9	561,5	1065,5	42,6	12,4
25UREIA+75ARS	16,5	34,7	572,3	687,9	41,5	13,9
75UREIA+25ARS	16,8	33,4	562,4	952,0	40,0	13,2

¹Médias não diferem significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

Na primeira safra (2022/23), a aplicação dos tratamentos 25ARS+75Ureia, 50ARS+50Ureia e 75ARS+25Ureia proporcionou o maior número de fileira de grãos de milho, sendo em média, 36,5% superior ao valor encontrado nos tratamentos 0ARS+100Ureia e 100ARS+0Ureia, correspondendo ao incremento de 4,53 fileiras de grãos (Figura 2A). O maior valor de número de fileira de grãos, em média, deste estudo (16,93) é próximo ao encontrado por Alves (2020) (17,23), ao aplicar diferentes diluições de água residuária no milho.

O mesmo comportamento foi observado ao avaliar o número de grãos por espiga, no qual a adubação nitrogenada fornecida através dos tratamentos 25ARS+75Ureia, 50ARS+50Ureia e 75ARS+25Ureia, promoveram acréscimo de 39,2%, em média, no número de grãos por espiga, em comparação aos tratamentos 0ARS+100Ureia e 100ARS+0Ureia (Figura 2B). O tratamento 50ARS+50Ureia proporcionou o maior número de grãos por planta (652,7), com incremento de 25,2%, ao comparar com o obtido utilizando com o tratamento 0ARS+100% Ureia, na primeira safra 2022/23 (Figura 2C).

Esse resultado pode estar associado à composição da água residuária de suinocultura, que contém nitrogênio, fósforo e potássio, entre outros nutrientes. Estudos realizados por Furtado (2015), constataram que a aplicação de água residuária em conjunto com a adubação mineral nitrogenada, proporcionou efeitos positivos de nitrogênio pelas plantas.



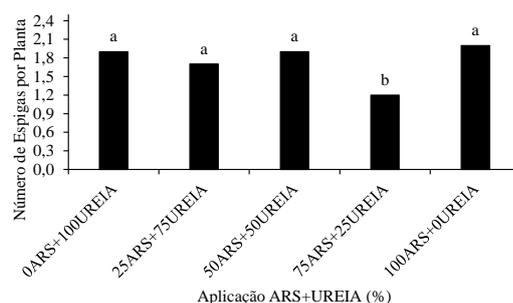
Médias com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autora (2024).

Figura 2. Número de fileiras de grãos (A), número de grãos por espiga (B) e número de grãos por planta (C) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23).

Os tratamentos que receberam 75ARS+25Ureia, proporcionaram a menor prolificidade, sendo de 1,2 espigas por planta, valor 36% inferior ao número de espigas por plantas obtidos, em média, nos outros tratamentos aplicados neste estudo (0ARS+100Ureia, 50ARS+50Ureia, 25ARS+75Ureia e 100ARS+0Ureia), na segunda safra 2023/24 (Figura 3). Meneghetti (2010) não obteve diferença significativa no número de espigas por planta entre os tratamentos que receberam água residuária de suinocultura em aplicação exclusiva e combinada com adubação mineral.

Como a população de plantas utilizada neste estudo foi a mesma, bem como estavam submetidas às mesmas condições ambientais, sugere-se, então que, a menor prolificidade observada no tratamento 75ARS+25Ureia, pode estar associada a disponibilização de nutrientes em função da proporção de mistura.



Médias com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autora (2024).

Figura 3. Número de espigas por planta (NEP) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).

Ainda em relação aos parâmetros produtivos do milho, a massa seca de grãos por espiga foi influenciada pelos tratamentos de adubação nitrogenada, na primeira safra (2022/23). Os diferentes tratamentos empregados influenciaram a massa de mil grãos e a massa seca de grãos por espiga, na segunda safra (2023/24) (Tabela 6).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para as variáveis massa de mil grãos (MMG), massa de grãos por espiga (MGESP), massa de grãos por planta (MGP) e da produtividade de grãos por hectare (PROD) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24).

FV	GL	QM			
		Primeira safra (2022/23)			
		MMG	MGESP	MGP	PROD
Tratamentos	4	94,97 ^{ns}	1435 [*]	1,08 ^{ns}	269411 ^{ns}
Bloco	3	144,70 ^{ns}	92,87 ^{ns}	0,02 ^{ns}	561834 ^{ns}
Erro	12	869,40	206,94	0,57	448670
CV (%)		14,74	13,08	25,00	12,26
Segunda safra (2023/24)					
Tratamentos	4	1064 ^{**}	440,18 [*]	4961 ^{ns}	1645584 ^{ns}
Bloco	3	308,27 ^{ns}	51,34 ^{ns}	327,65 ^{ns}	1045428 ^{ns}
Erro	12	225,65	139,76	1804	1900600
CV (%)		12,46	17,19	35,17	22,46

Fonte de variação (FV); Grau de liberdade (GL); Quadrado médio (QM); Coeficiente de variação (CV). Massa de mil grãos (MMG); massa de grãos por espiga (MGESP); massa de grãos por planta (MGP); produtividade de grãos por hectare (PROD). ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Fonte: Autora (2024).

A massa de mil grãos e a massa de grãos por planta do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, na primeira safra (2022/23), apresentou média geral de 200,02 e 117,22 g. A produtividade de grãos foi de aproximadamente 5465,44 kg ha⁻¹ (Tabela 7). Convergindo com os resultados apresentados por Lima *et al.* (2023), em que o uso de água residuária de suinocultura como fonte de nitrogênio, não promoveu efeito significativo na produtividade do milho, reiterando o valor desse resíduo na substituição parcial ou total frente ao adubo mineral.

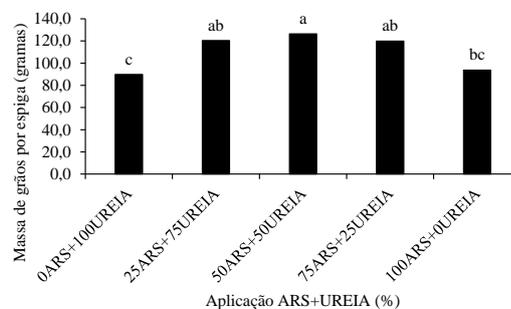
Tabela 7. Massa de mil grãos (MMG), massa de grãos por planta (MGP) e da produtividade de grãos (PROD) do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).

Tratamentos ¹	MMG	MGP	PROD
	g	g	kg ha ⁻¹
Primeira safra (2022/23)			
UREIA	201,8	98,3	5105,2
ARS	206,7	107,3	5727,1
50UREIA+50ARS	198,3	128,4	5593,6
25UREIA+75ARS	195,6	125,7	5436,0
75UREIA+25ARS	197,7	126,4	5465,3
Tratamentos ¹	MGP	PROD	
	g	kg ha ⁻¹	
Segunda safra (2023/24)			
UREIA	155,5	5678,4	
ARS	140,9	6135,2	
50UREIA+50ARS	131,8	6174,6	
25UREIA+75ARS	81,7	7060,8	
75UREIA+25ARS	94,1	5635,6	

¹Médias não diferem significativamente entre si, pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

Na segunda safra (2023/24) a massa de grãos por planta do milho apresentou média geral de 120,80 g. Já a produtividade de grãos apresentou média geral de 6136,92 kg ha⁻¹ (Tabela 7). Outros autores trabalhando com milho em Cerrado sob aplicação de diferentes fontes e doses de nitrogênio, também não verificaram diferenças significativas nos componentes de produção e produtividade de grãos (VALDERRAMA *et al.*, 2011; FREITAS *et al.*, 2021).

Na primeira safra (2022/23), ao aplicar 50ARS+50Ureia obteve-se a maior massa seca de grãos por espiga de milho (126,5 g), correspondendo ao incremento de 29% quando comparado ao tratamento utilizando 0ARS+100Ureia (Figura 4).



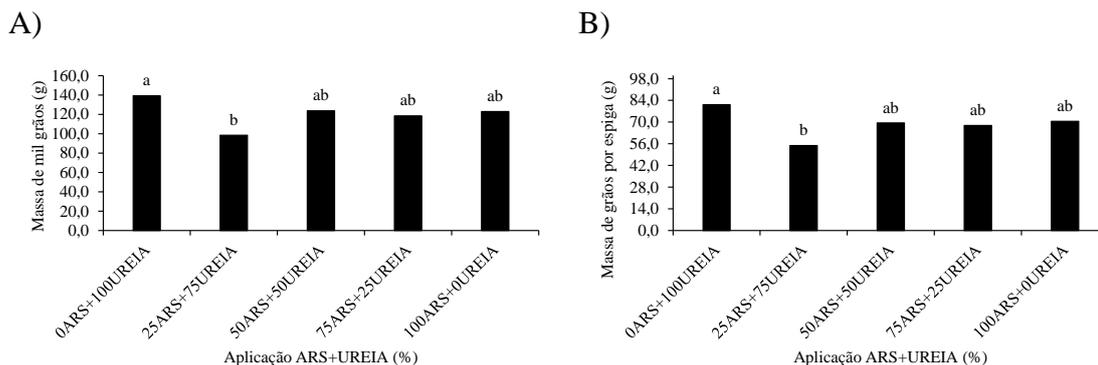
Médias com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autora (2024).

Figura 4. Massa de grãos por espiga (MGESP) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23).

Em Latossolo Vermelho distroférico, Seidel *et al.*, (2010) avaliando a aplicação de água residuária de suinocultura (ARS) verificaram que as plantas de milho que receberam adubação de nitrogênio em cobertura, via ureia, obtiveram maior produtividade de grãos em relação aos tratamentos adubados somente com água residuária. Os autores salientam que o nitrogênio (N) presente na ARS, é formado por 70% de $N-NH_4^+$ e por 30% de N orgânico $N-NH_3$, quando são tratados em lagoas de estabilização anaeróbia. Após a aplicação da ARS a forma de $N-NH_4^+$ são oxidadas a NO_3^- . Já o N orgânico tornam-se disponíveis as culturas em longo prazo. Este fato justifica em diversas ocasiões a necessidade da complementação da ARS com fertilizante mineral.

No cultivo do milho na segunda safra 2023/24, o fornecimento de nitrogênio via 0ARS+100Ureia promoveu a maior massa de mil grãos (MMG) e massa de grãos por espiga (MGESP), seguido pelos tratamentos 100ARS+0Ureia, 50ARS+50Ureia, 75ARS+25Ureia e, por fim por 25ARS+75Ureia. A utilização de 0ARS+100Ureia promoveu acréscimo de 29,1% e 32,38%, na MMG e na MGESP, respectivamente, em comparação ao tratamento 25ARS+75Ureia (Figura 5).



Médias com a mesma letra minúscula não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autora (2024).

Figura 5. Massa de mil grãos (A) e massa de grãos por espiga (B) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).

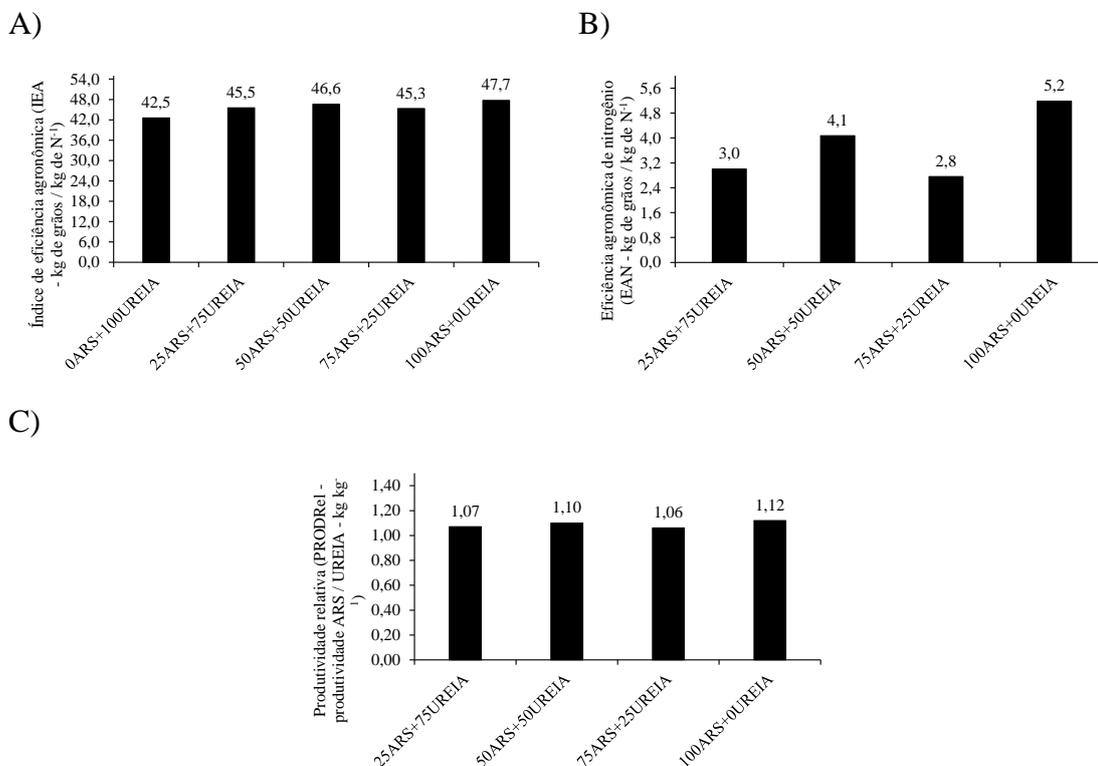
A massa de mil grãos obtida no tratamento 0ARS+100Ureia neste estudo (139,1 g) foi inferior à encontrada por Junior *et al.*, (2021) (205,16 g) ao utilizar essa mesma fonte de nitrogênio na cultura do milho. Em estudos sobre manejos de adubação nitrogenada conduzidos em duas safras, Abreu (2023) observou que, a massa de espiga, massa de grãos por espiga, massa seca de grãos, produtividade de grãos e massa de 100 grãos de milho, foram estatisticamente superiores em tratamentos que receberam adubação mineral em relação aos tratamentos que receberam adubação via orgânica ou mistura (orgânica + mineral). O autor relaciona esse resultado à frequência de aplicação da água residuária no solo para suprir a demanda de nitrogênio da cultura, aliado a forma como o nutriente estava disponível no efluente, resultando em maior eficiência na absorção dos nutrientes fornecidos pela fonte mineral e, conseqüentemente, maior acúmulo no grão de milho.

Os diferentes tratamentos com água residuária de suinocultura e ureia não afetaram de forma significativa a produtividade de grãos do milho. Cabral Filho (2024) também não observou influência de fontes orgânicas na produtividade do milho em comparação a fontes minerais. Abreu *et al.* (2022), ao avaliarem a utilização de efluente tratado em relação à adubação mineral, também não encontraram diferenças significativas para as variáveis massa e produtividade de grãos. Alves *et al.* (2018) associam esse efeito à concentração de nutrientes presentes nas fontes de água residuária, bem como do correto manejo da fertirrigação, que é capaz de reduzir perdas por lixiviação e volatilização.

Destaca-se que, na primeira safra (2022/23), o tratamento 100ARS+0Ureia apresenta os maiores valores de eficiência agrônômica, em média 47,7 kg de grãos por quilograma de nitrogênio fornecido. Em relação aos tratamentos que continham complementação com ureia, o tratamento 100ARS+0Ureia produziu em média 2,72 kg de grãos a mais para cada quilograma de nitrogênio fornecido (Figura 6A).

A utilização de 100ARS+0Ureia proporcionou a maior eficiência agrônômica de nitrogênio em relação ao tratamento 0ARS+100Ureia, com a produção de 5,2 kg de grãos para cada quilograma de nitrogênio fornecido. Já os tratamentos com complementação de ureia produziram em média 3,3 kg de grãos para cada quilograma de nitrogênio fornecido, em relação ao tratamento 0ARS+100Ureia (Figura 6B).

Adotando como referência a utilização de ureia, a produtividade relativa dos tratamentos 100ARS+0Ureia foram superiores a 1,0, produzindo cerca de 1,12 kg de grãos para cada 1,0 kg de grãos produzidos no tratamento apenas com ureia (0ARS+100Ureia). Os tratamentos complementados com ureia também apresentaram produtividade relativa superior a 1,0, quando comparado os tratamentos sem a ARS (Figura 6C).



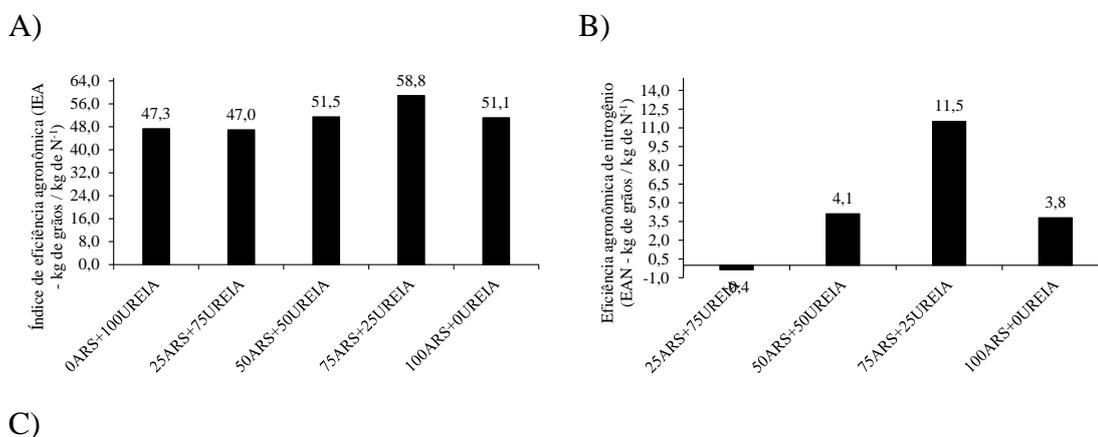
Fonte: Autora (2024).

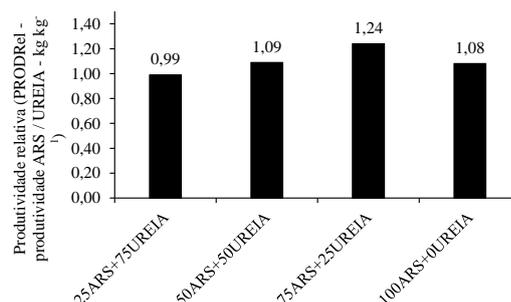
Figura 6. Índice de eficiência agrônômica (IEA) (A), eficiência agrônômica de nitrogênio (EAN) (B) e produtividade relativa (PRODRel) (C) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23).

Na segunda safra (2023/24), o tratamento 75ARS+25Ureia apresenta os maiores valores de eficiência agrônômica, sendo em média de 58,8 kg de grãos por quilograma de nitrogênio fornecido, que ao ser comparado com os tratamentos 100ARS+0Ureia e 0ARS+100Ureia, produziu 7,7 e 11,5 kg de grãos, respectivamente, a mais para cada quilograma de nitrogênio fornecido (Figura 7A).

Destaca-se que a utilização do tratamento 25ARS+75Ureia proporcionou eficiência agrônômica de nitrogênio inferior ao tratamento 0ARS+100Ureia, na ordem de -0,4 kg de grãos produzidos para cada quilograma de nitrogênio fornecido nestes tratamentos (Figura 7B).

Adotando como referência a utilização de ureia (0ARS+100Ureia), a produtividade relativa dos tratamentos apenas com a água residuária de suinocultura foram superiores a 1,0, ou seja, os tratamentos 100ARS+0Ureia produziram cerca de 1,08 kg de grãos para cada 1,0 kg de grãos produzidos no tratamento 0ARS+100Ureia. Os tratamentos complementares 50ARS+50Ureia e 75ARS+25Ureia também apresentaram produtividade relativa superior a 1,0, quando comparado ao tratamento apenas com o ureia (Figura 7C).





Fonte: Autora (2024).

Figura 7. Índice de eficiência agrônômica (IEA) (A), eficiência agrônômica de nitrogênio (EAN) (B) e produtividade relativa (PRODRel) (C) do milho em função da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).

Na Tabela 8 é apresentado o custo de aplicação dos tratamentos considerando-se as médias de preços na primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24), e pode-se observar que o preço da tonelada da ureia é mais de 100 vezes superior ao metro cúbico da água residuária de suinocultura (ARS), neste caso, iguais a R\$ 3.000,00 (1 tonelada) e R\$ 25,00 (1 metro cúbico, já considerando o transporte e aplicação), respectivamente. Contudo, pela quantidade aplicada por hectare para fornecer a dose de 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, o custo final do tratamento é superior quando se utiliza a ARS em todas as proporções.

Tabela 8. Custo médio da fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço na cultura do milho (safra 2022/23 e 2023/24).

Tratamentos	Quantidade aplicada		Custos por fonte		Custo da adubação -
	Ureia	ARS	Ureia	ARS	
	t ha ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	--- R\$ ha ⁻¹ ---		--- R\$ ha ⁻¹ ---
0ARS+100Ureia	0,27	0,00	801,00	0,00	810,00
25ARS+75Ureia	0,20	10,71	600,00	267,85	867,85
50ARS+50Ureia	0,13	21,43	399,00	535,73	934,73
75ARS+Ureia	0,07	32,14	201,00	803,58	1004,58
100ARS+0Ureia	0,00	42,86	0,00	1071,43	1071,43

Fonte: Autora (2024).

Para fornecer 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N) é necessário aplicar 43 m³, ou seja, a cada 1,0 m³ de ARS é fornecido 2,8 kg de nitrogênio, enquanto a ureia fornece 450 kg de

N a cada 1.000 kg. Portanto, o custo do N na ARS é superior ao da ureia, neste caso, iguais a R\$ 8,9 e R\$ 6,7, sendo 34% superior, respectivamente. Quando se fornece a totalidade da dose de N via ARS o tratamento custou R\$ 1.071,43 por hectare, sendo R\$ 270,43 (+34%) mais caro do que o tratamento que utiliza apenas a ureia. Nos demais tratamentos este valor é superior a R\$ 136,70, R\$ 66,85 e R\$ 203,58, respectivamente, nos tratamentos 50ARS+50Ureia, 75ARS+25Ureia e 25ARS+75Ureia (Tabela 8).

Na média das safras o preço do quilograma do milho grão foi comercializado a R\$ 0,87, o equivalente a R\$ 52,00 a saca de 60 kg. Neste caso, com base na produtividade de grãos por hectare, foi calculado o rendimento bruto (RB) em R\$ ha⁻¹. Portanto, o efeito do tratamento sobre a produtividade influencia no rendimento bruto final, que neste caso, foi maior no tratamento que utilizou apenas ARS na primeira safra (100ARS+0Ureia) e o tratamento 75ARS+25Ureia na segunda safra. Ou seja, em ambas as safras, as maiores proporções de ARS resultaram em maiores rendimentos brutos por hectare (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9. Avaliação dos custos de produção do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, primeira safra (2022/23).

Tratamentos ¹	CT	RM	RB	MB	CM _g	IL	Peq	Rent
	R\$ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
0ARS+100UREIA	801,00	5.105	4.424,33	3.623,33	-	81,90	924,23	-
25ARS+75UREIA	867,85	5.465	4.736,33	3.868,48	2,41	81,68	1001,37	245,15
50ARS+50UREIA	934,73	5.594	4.848,13	3.913,41	1,91	80,72	1078,53	290,08
75ARS+25UREIA	1.004,58	5.436	4.711,20	3.706,63	3,03	78,68	1159,13	83,29
100ARS+0UREIA	1.071,43	5.727	4.963,40	3.891,98	1,72	78,41	1236,26	268,64

¹Custos dos tratamentos (CT), Rendimentos médios (RM), Receita bruta (RB), Margem bruta (MB), Custo marginal (CM_g), Índice de lucratividade (IL), Ponto de equilíbrio (Peq) e Rentabilidade (Rent).

Fonte: Autora (2024).

Tabela 10. Avaliação dos custos de produção do milho fertirrigado com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, segunda safra (2023/24).

Tratamentos ¹	CT	RM	RB	MB	CM _g	IL	Peq	Rent
	R\$ ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	R\$ ha ⁻¹
0ARS+100UREIA	801,00	5.678	4.920,93	4.119,93	-	83,72	924,23	-
25ARS+75UREIA	867,85	5.636	4.884,53	4.016,68	-20,66	82,23	1001,37	-103,25

50ARS+50UREIA	934,73	6.175	5.351,67	4.416,94	1,88	82,53	1078,53	297,01
75ARS+25UREIA	1.004,58	7.061	6.119,53	5.114,96	0,73	83,58	1159,13	995,03
100ARS+0UREIA	1.071,43	6.135	5.317,00	4.245,58	2,34	79,85	1236,26	125,64

¹Receita bruta (RB), Margem bruta (MB), Custo marginal (CMg), Índice de lucratividade (IL), Ponto de equilíbrio (Peq) e Rentabilidade (Rent).

Fonte: Autora (2024).

Na primeira safra (2022/23) (Tabela 9), o tratamento 50ARS+50Ureia apresentou a maior MB. Neste caso, o aumento do rendimento de grãos não foi tão superior quanto ao custo, devido a isto, a MB do tratamento 100ARS+0Ureia foi inferior R\$ -21,43 ao tratamento 50ARS+50Ureia. Já na segunda safra (2023/24), o tratamento 75ARS+25Ureia apresentou a maior MB.

O tratamento que contou com a aplicação de nitrogênio via ureia (0ARS+100Ureia) foi considerado como indicador para o cálculo do custo marginal. Em média na primeira safra (2022/23), é mais caro para elevar a produção em 1 kg nos tratamentos com complementação, do que em comparação ao tratamento com apenas água residuária (100ARS+0Ureia). Já na segunda safra (2023/24), o tratamento 25ARS+75Ureia proporcionou rendimento de grãos inferior ao tratamento 0ARS+100Ureia, o que resultou em CM_g de -20,66, contudo, nesta safra é mais barato elevar a produção em 1 kg nos tratamentos complementados (Tabelas 9 e 10).

Em ambas as safras, de modo geral, o aumento do percentual de ARS na complementação com ureia proporciona redução no IL, sendo que, o tratamento 100ARS+0Ureia, apresentou IL inferior a 80%.

Uma informação importante é referente a quantidade de grãos que deve ser produzida para pagar os custos com o manejo. Esta informação é representada pelo ponto de equilíbrio (Peq). Portanto é necessário produzir 18, 24, 21, 22 e 19 sacas de 60 kg por hectare para cobrir os custos com os tratamentos 0ARS+100Ureia, 100ARS+0Ureia, 50ARS+50Ureia, 75ARS+25Ureia e 25ARS+75Ureia, respectivamente.

Por último, foi analisada a rentabilidade dos tratamentos em comparação ao tratamento padrão de 0ARS+100Ureia, ou seja, o ganho adicional em R\$ por hectare que é obtido quando utilizado os demais tratamentos em comparação à apenas a ureia. Assim sendo, o tratamento 100ARS+0Ureia apresenta rentabilidade de R\$ 268,64 e R\$ 125,64, ou seja, +5,16 e +2,42 sacas por hectare na primeira e segunda safra (2022/23 e 2023/24),

respectivamente. Na segunda safra (2023/24), o tratamento 25ARS+75Ureia proporciona rentabilidade negativa, ou seja, não sendo recomendada a utilização (Tabelas 9 e 10).

Analisando os parâmetros econômicos, é mais interessante o tratamento que apresentar as seguintes condições: maior MB e IL e, menor Peq, pois com valores menores se compensam o gasto com os produtos; quando o $CMg < Pg$, pois aumentos na produção elevam a receita e; quando $CMg \geq Pg$ não se deve aumentar a produção porque eleva os custos acima do preço do produto no mercado.

Portanto, devido ao custo dos tratamentos reduzido, mesmo aqueles com ureia, em relação a receita obtida pelo produto, todos os tratamentos apresentaram $CMg < Pg$, indicando que o aumento da produtividade através do investimento nestes tratamentos é viável, ao ponto que o CMg é baixo, e o custo é inferior ao preço do produto. Contudo, os tratamentos com 50% e 75% da dose oriunda da ARS foram os que apresentaram a maior margem bruta, porém, utilizando apenas ureia são observados os maiores índices de lucratividade e menor ponto de equilíbrio. Ou seja, neste tratamento, pouco se gasta e muito se produz, comprometendo pequena parte da produção para pagar os custos do manejo.

A utilização da ARS, seja substituindo de forma parcial ou total a adubação nitrogenada química com ureia, resulta em desempenho produtivo igual a adubação convencional. Sendo assim, uma fonte alternativa de nitrogênio a cultura do milho, quando se considera os aspectos agrônômicos.

4.4 CONCLUSÕES

A fertirrigação com água residuária de suinocultura complementada com a aplicação de ureia a lanço, não promove efeito significativo no número de grãos por fileira, diâmetro da espiga, comprimento da espiga, massa de grãos por planta e produtividade de grãos do milho na primeira (2022/23) e segunda safra (2023/24).

Na maior parte dos parâmetros produtivos e na produtividade de grãos, a utilização da ARS em substituição parcial ou total a ureia resulta no mesmo desempenho agrônômico.

O fornecimento de 100% da dose de nitrogênio via fertirrigação com água residuária de suinocultura proporciona a maior eficiência agrônômica, eficiência agrônômica de nitrogênio e produtividade relativa, sendo que a cada quilograma de grãos

produzidos ao utilizar ureia, a água residuária proporciona produção de 1,12 kg, na primeira safra (2022/23).

Nas duas safras, as maiores proporções de água residuária como fonte de nitrogênio (75ARS+25Ureia e 100ARS+0Ureia) resultam em maiores rendimentos brutos por hectare e menores índices de lucratividade, por apresentarem os maiores custos de produção.

O uso de água residuária via fertirrigação complementada com a aplicação de ureia a lanço proporciona a maior margem bruta nas duas safras, o menor ponto de equilíbrio e maior rentabilidade, tornando viável a utilização em conjunto com a adubação mineral convencional.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, P. A. D. S. **Uso de biofertilizante na fertirrigação de milho: efeitos na planta e no solo.** Tese (Agronomia – Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 226 p., 2023.

ABREU, P. A. S.; COSTA, B. R. S.; OLDONI, H.; SILVA, W. T. L.; BASSOI, L. H. Corn crop responds positively to fertigation with black water from sewage treated by decentralized anaerobic system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 46, p. 1-17, 2022.

ALMEIDA, A. C. S.; SANTOS, H. H. O.; BORTOLO, D. P.; LOURENTE, E. R. P.; CORTEZ, J. W.; OLIVEIRA, F. C. (2018). Soil physical properties and yield of soybean and corn grown with wastewater. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 12, p. 843-848, 2018.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, D. K. M. **Desenvolvimento, produtividade e estado nutricional de milho fertirrigado com água residuária de piscicultura e suinocultura diluídas.** Mestrado (Ciências Agrárias – Agronomia), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Rio Verde, 119 p., 2020.

ALVES, P. F. S.; SANTOS, S. R. D.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; OLIVEIRA, P. M. D. Fertirrigação do milho com água residuária sanitária tratada: crescimento e produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 05, p. 833-839, 2018.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 23^a ed. Washington: American Public Health Association, 40 p., 2017.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 1234-1242, 2005.

BASTOS, R. K. **Influência da água residuária da suinocultura sobre a acidez do óleo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.)**. Dissertação (Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 66 p., 2016.

BATISTA, R. O.; MARTINEZ, M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. A.; CECON, P. R. O efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 127-135, 2014.

CABRAL FILHO, F. R. **Fontes alternativas de suplementação potássica para o milho: dinâmica no solo, teor nutricional e aspectos produtivos da cultura**. Tese (Ciências Agrárias – Agronomia), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde. Rio Verde, 74 p., 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB (a). **Acompanhamento da safra brasileira, Safra 2022/23 – 7º Levantamento**, Brasília, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/infraestrutura-e-logistica/2023/88a-ro-26-04-2023/ct-log_apresentacao_conab_-7o-lev-safra-graos.pdf. Acesso em: 25/10/2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB (b). Produção agrícola: Custos de produção. **Milho segunda safra**. Janeiro, 2023. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/custos-de-producao.html>. Acesso em: 25/10/2024.

FAGERIA, N.K., BALIGAR V.C. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants, **Advances in Agronomy**, Academic Press, v. 88, p. 97-185, 2005.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, n.35. v.6, p.1039-1042, 2011.

FRANCISCHINI, R.; SILVA, A.G. da; TESSMANN, D.J. Eficiência de bioestimulantes e fungicida nos caracteres agronômicos e econômicos na cultura do milho verde. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 17, n.2, p. 274-286, 2018.

FREITAS, J. M.; VAZ, M. C.; DUTRA, G. A.; SOUZA, J. L.; REZENDE, C. F. A. Resposta da produtividade do milho à adubação mineral e organomineral. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p.1-8, 2021

FURTADO, F. M. V. **Características do solo, crescimento e composição química do capim-tifton sob adubação e irrigação com água residuária da piscicultura**. Tese (Zootecnia), Universidade Federal do Ceará, Universidade Federal Rural de Pernambuco e Universidade Federal da Paraíba. Fortaleza, 61 p., 2015.

GISCH, P. H.; REDIN, M.; SOUZA, E. L.; SILVA, D. M.; GUERRA, D.; LANZANOVA, M. E.; BOHRER, R. E. G. Doses de dejetos líquidos suínos afetam o crescimento e produtividade da cultura do milho. **Nativa**, v. 12, n. 1, p. 140-146, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. 2017. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15/10/2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa Agrícola Municipal - PAM 2021**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 10/10/2024.

JUNIOR, J. A. M. S.; FREITAS, J. M.; REZENDE, C. F. A. Produtividade do milho associado a inoculação com *Azospirillum brasilense* e diferentes doses de adubação nitrogenada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. 1-8, 2021.

KANEKO, F. H.; SABUNDJIAN, M. T.; ARF, O.; LEAL, A. J. F.; CARNEIRO, L. F.; PAULINO, H. B. Análise econômica do milho em função da inoculação com *Azospirillum*, fontes e doses de N em cobertura. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.2, p.202-216, 2016.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. *Klimate der Erde*. Gotha: **Verlag Justus Perthes**. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LIMA, A. R. S.; CABRAL FILHO, F. R.; ANDRADE, C. L. L.; TEIXEIRA, M. B.; ALVES, D. K. M. Produtividade do milho em diferentes manejos de adubação com água residuária de suinocultura. **Brazilian Journal of Science**, v. 2, n. 1, p. 53-62, 2023.

MAGGI, C. F.; FREITAS, P. S. L.; SAMPAIO, S. C.; DIETER, J. Lixiviação de nutrientes em solo cultivado com aplicação de água residuária de suinocultura. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 15, n. 2, p. 170-177, 2011.

MARTIN, N.B.; SERRA, R.; ANTUNES, J.F.G.; OLIVEIRA, M.D.M.; OKAWA, H. Custos: sistemas de custo de produção agrícola. **Informações Econômicas**, v.24, n.9, p.97-122, 1998.

MENEGHETTI, A. M. **Aspectos ambientais e agronômicos da cultura do minimilho sob aplicação de água residuária de suinocultura tratada após lagoa de estabilização**. Tese (Engenharia Agrícola), UNIOESTE. Cascavel, 240 p., 2010.

MOREIRA, R. C.; VALADÃO, F. C. A.; JÚNIOR, D. D. V. Desempenho agronômico do milho em função da inoculação com *Azospirillum brasilense* e adubação nitrogenada. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 62, p. 1-10, 2019.

ROSA, D. M.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, P. A. M.; MAULI, M. M.; REIS, R. R. Swine wastewater: impacts on soil, plant, and leachate. **Engenharia Agrícola**, v. 37, p. 928-939, 2017.

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

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 123- 131, 2007.

SEIDEL, E. P.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C.; VANIN, J. P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds). Cerrado: correção do solo e adubação. 2. ed. Brasília: **Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa-CPA**, 416 p., 2004.

SOUZA, E. P.; SILVA, J. E. V. C.; MALAQUIAS, M. F.; FERREIRA, L. E. Bioinsumos no crescimento e produção de plantas de milho. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.9, p.82-92, 2021.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M. Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 254-263, 2011.

VASCONCELLOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. **Fundamentos de Economia**. 3ª ed. São Paulo: Editora Saraiva. 2009, 245p.

5. CONCLUSÃO GERAL

A fertirrigação com água residuária de suinocultura é eficiente na nutrição da cultura do milho, apresentando potencial como fonte de adubação nitrogenada na agricultura, com produção de clorofila, índice SPAD e NDVI equivalentes a adubação mineral com ureia a lanço.

O reuso agrícola da água residuária de suinocultura constitui uma técnica importante de descarte desse resíduo, além de proporcionar o aporte e reciclagem de nutrientes que refletem em crescimento, desenvolvimento e produção de biomassa do milho semelhante à adubação com ureia a lanço.

A utilização de água residuária de suinocultura via fertirrigação possibilita o aproveitamento de água e nutrientes, resultando em componentes produtivos e produtividade de grãos do milho comparáveis a aplicação de ureia a lanço, em solo de Cerrado.

A água residuária de suinocultura em substituição total a ureia a lanço resulta em eficiência agrônômica satisfatória, demonstrando seu potencial como fonte alternativa de nitrogênio, porém, devido aos entraves no transporte, o seu custo por hectare é maior, portanto, para a cultura do milho, do ponto de vista econômico, recomenda-se a substituição parcial da ureia a lanço por água residuária de suinocultura, na proporção de 50% de ARS e 50% de Ureia a lanço.