

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

Tese

Sistemas de preparo do solo e de colheita no longo prazo em solo de tabuleiro costeiro e seus efeitos na produção de cana-de-açúcar e nos teores de micronutrientes e carbono orgânico do solo

Giovane Leal de Souza Silva

2024



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E DE COLHEITA NO LONGO
PRAZO EM SOLO DE TABULEIRO COSTEIRO E SEUS EFEITOS NA
PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E NOS TEORES DE
MICRONUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO.**

GIOVANE LEAL DE SOUZA SILVA

Sob a Orientação do professor
Margarida Goréte Ferreira do Carmo

e Co-orientação do professor
Eduardo Lima

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Doutor em Fitotecnia, no Curso de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Área
de Concentração em Produção
Vegetal.

Seropédica, RJ
Julho de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586s SILVA, Giovane Leal de Souza, 1985-
Sistemas de preparo do solo e de colheita
no longo prazo em solo de tabuleiro costeiro
e seus efeitos na produção de cana-de-açúcar
e nos teores de micronutrientes e carbono
orgânico do solo / Giovane Leal de Souza Silva.
- Seropédica, 2024.
94 f.: il.

Orientadora: Margarida Gorete Ferreira do
Carmo.

Coorientador: Eduardo Lima.

Tese (Doutorado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM FITOTECNIA, 2024.

1. Micronutrientes. 2. Colheita. 3. Preparo
do solo. 4. Manejo. I. Gorete Ferreira do
Carmo, Margarida, 1963-, orient. II. Lima,
Eduardo, 1955-, coorient. III Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. CURSO DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
COORDENAÇÃO DE EXTENSÃO/GOYTACAZES**



HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO Nº 29 / 2024 - CEXTECAMPOS (11.39.00.04)

Nº do Protocolo: 23083.049209/2024-80

Campos Dos Goytacazes-RJ, 11 de setembro de 2024.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

GIOVANE LEAL DE SOUZA SILVA

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Fitotecnia**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia.

TESE APROVADA EM 23 de julho de 2024.

Dr.^a Margarida Gorete Ferreira do Carmo (UFV)
(Orientador)

Dr. Heroldo Weber. (USP)
(Membro)

Dr. Carlos Frederico Menezes Veiga (UENF)
(Membro)

Dr. Juliano Bahiense Stafanato (UFRRJ)
(Membro)

Dr.^a Leticia Pastore Mendonça (UNESP)
(Membro)

(Assinado digitalmente em 11/09/2024 14:11)
CARLOS FREDERICO DE MENEZES VEIGA
ENGENHEIRO AGRONOMO
CEXTECAMPOS (11.39.00.04)
Matrícula: 140673

(Assinado digitalmente em 11/09/2024 10:51)
GIOVANE LEAL DE SOUZA SILVA
ENGENHEIRO AGRONOMO
CEXTECAMPOS (11.39.00.04)
Matrícula: 2261253

(Assinado digitalmente em 11/09/2024 10:57)
JULIANO BAHIENSE STAFANATO

(Assinado digitalmente em 11/09/2024 12:22)
LETICIA PASTORE MENDONCA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
COORDAGRO (12.28.01.00.00.00.24)
Matrícula: 1282206

ENGENHEIRO AGRONOMO
CADMGOY (11.39.99)
Matrícula: 1060091

(Assinado digitalmente em 13/09/2024 08:16)
MARGARIDA GORETE FERREIRA DO CARMO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptFITO (12.28.01.00.00.00.32)
Matrícula: 1213072

(Assinado digitalmente em 12/09/2024 09:47)
HEROLDO WEBER
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 356.669.947-00

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **29**, ano: **2024**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO**, data
de emissão: **11/09/2024** e o código de verificação: **ccbf45f77f**

DEDICATÓRIA

À minha esposa, Selma Cristina, por sua paciência, compreensão e amor, que me sustentaram durante os momentos mais desafiadores deste longo percurso.

Aos meus filhos, Thiago e Thaís, que são a fonte da minha energia diária e que, com seus sorrisos e carinhos, me deram forças para continuar quando as dificuldades pareciam intransponíveis.

Ao professor Eduardo Lima, pela disponibilidade, apoio, amizade e sabedoria compartilhados ao longo destes anos. Sua confiança em meu trabalho foi fundamental para a realização desta tese.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, força e perseverança para superar os desafios e alcançar este objetivo.

À minha amada esposa, Selma Cristina, e a meus queridos filhos, Thiago e Thais, por todo amor e força durante esta caminhada.

À minha mãe, Oneida Leal, meus avós, tios, primos, padrinhos, sogros, cunhados, sobrinhos, enfim toda minha família, base forte de onde vem minha sustentação.

Ao meu amigo e professor Eduardo Lima, meu orientador, pela amizade, confiança, oportunidade, ensinamentos e construção profissional desde a graduação.

À minha orientadora Margarida Gorete Ferreira do Carmo, pela confiança e ajuda ao longo desta caminhada.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, que através do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, do departamento de solos e do Campus Campos dos Goytacazes pela oportunidade de obter este título e realizar pesquisa e extensão em prol da sociedade brasileira e de toda humanidade.

À CAPES, FAPERJ, CPGA-CS e FAPUR pelo apoio ao longo dos 32 anos do experimento permitindo a realização deste trabalho.

Aos integrantes da Comissão Examinadora de Defesa de Tese de Doutorado, Dr. Heroldo Weber, Dr. Carlos Frederico Veiga, Dra. Letícia Mendonça, Dr. Juliano Stafanato e Dra. Margarida Gorete Carmo, pelas valiosas contribuições.

Ao José Geraldo Simões e ao Gilson Barreiras pela ajuda na colheita, renovação e manutenção do experimento por tantos anos.

Aos discentes do professor Eduardo – Amanda Bruner, Rakiely da Silva, Rafaela Martins, Eduardo entre outros, e os professores Fabio Freitas e Juliano Bahiense – que muito ajudaram nas colheitas.

Ao Luiz Otávio Santos e à Adriana Figueira pela realização das análises laboratoriais no departamento de Solos - IA da UFRRJ.

À Elizabeth Freitas por todo apoio, articulação e descontração;

Ao José Carlos de Moraes pela presteza na condução dos veículos, a ajuda no campo, descontração e amizade.

Aos diversos funcionários da LASA, onde nomeio Olivero, Felipe Albuquerque, Antônio Lima e José Luiz da Penha, que sempre nos receberam muito bem e nos auxiliaram na execução do experimento.

Ao Dr Josil Carneiro Júnior por toda ajuda e orientação na avaliação fitossanitária no experimento em Linhares-ES.

Aos estagiários José Gabriel, Isadora Santos, Letícia Sobrinho e Ygor Fernandes que ajudaram na análise do Boro em Campos dos Goytacazes.

Aos caroneiros do Blablacar que me acompanharam durante os anos do curso na estrada de madrugada para chegar e após longos dias de aula na volta, me ajudando a superar o cansaço ao volante.

Aos professores Dr. Mauricio Ballesteiro, Dra Marilene Hilda e Dr. Jair Felipe Garcia, assim como ao colega Carmino Afonso e aos discentes Aline Costa, Luciana Pinto, Gabriela Junqueira, Gabriel, Marcio Rocha, Laio Almeida que atuaram no primeiro projeto de doutoramento.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

RESUMO GERAL

SILVA, Giovane Leal de Souza. **Sistemas de preparo do solo e de colheita no longo prazo em solo de tabuleiro costeiro e seus efeitos na produção de cana-de-açúcar e nos teores de micronutrientes e carbono orgânico do solo.** 2024. 94f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2024.

Nos últimos anos, o cultivo da cana-de-açúcar passou por mudanças significativas com a adoção de práticas conservacionistas, como a colheita mecanizada sem queima e a manutenção da palhada no campo. Contudo, faltam estudos de longo prazo que avaliem os efeitos dessas práticas na produtividade e nos teores de micronutrientes do solo. Esta pesquisa teve como objetivo analisar, em um experimento de longa duração, o impacto dos sistemas de colheita e preparo do solo na incidência de doenças, na produtividade, na qualidade tecnológica do caldo e dos colmos, bem como nos teores de micronutrientes e de carbono orgânico no solo. O estudo foi conduzido em dois experimentos iniciados em 1989, no Espírito Santo, com a cultivar RB965917 em sua sexta safra (5ª soca). Ao longo de 32 anos, foram realizadas 29 colheitas e três renovações dos canaviais. No primeiro experimento, foram avaliados sistemas de colheita com queima (QQQQ), sem queima (CCCC) e alternados (CQCQ e QCQC). No segundo, foram combinados sistemas de preparo do solo (convencional e plantio direto) com esses mesmos sistemas de colheita. A incidência de doenças, a produtividade da parte aérea, os parâmetros tecnológicos e os teores de boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e carbono orgânico (CO) do solo foram analisados. Os resultados mostraram que os tratamentos não afetaram a sanidade das plantas em ambos os experimentos. No primeiro experimento, não houve diferença significativa na produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos, bem como nos parâmetros tecnológicos do caldo e colmo. Os teores de B e Fe foram adequados, enquanto os demais micronutrientes estavam abaixo do recomendado. Observou-se que os sistemas de colheita influenciaram os teores de Cu, Fe e Mn no solo, com os tratamentos contínuos (CCCC e QQQQ) apresentando maiores teores de Cu nas camadas mais superficiais do solo, enquanto o Fe apresentou o efeito oposto. O sistema CCCC resultou em maior teor de carbono orgânico na camada superficial do solo. No segundo experimento, houve interação significativa entre os sistemas de preparo do solo e colheita. O sistema de preparo convencional combinado com a colheita de cana crua apresentou maior produtividade de ponteiros, sendo 16,64 Mg ha⁻¹ maior do que na cana queimada. A cana queimada apresentou maiores teores de fibra e pureza, enquanto a cana crua teve maiores teores de açúcares redutores. Os sistemas de preparo e colheita também afetaram os teores de Cu, Fe, Zn e CO do solo. Conclui-se que a incidência de doenças não é influenciada pelos sistemas de preparo e colheita. Contudo, esses sistemas impactam a produtividade, os parâmetros tecnológicos e os teores de micronutrientes e carbono orgânico do solo.

Palavras chaves: conservação do solo; boro (B); cobre (Cu); ferro (Fe); manganês (Mn); zinco (Zn); palhada de cana-de-açúcar.

ABSTRACT

SILVA, Giovane Leal de Souza. **Long-term soil tillage and harvesting systems in coastal tableland soil and their effects on sugarcane production and soil micronutrient and organic carbon levels.** 2024. 94f. Thesis (Doctor Science in Crop Science). Agronomy Institute, Crop Science Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2024.

In recent years, sugarcane cultivation has undergone significant changes with the adoption of conservation practices, such as mechanized harvesting without burning and maintaining crop residues (straw) in the field. However, long-term studies evaluating the effects of these practices on crop performance and soil micronutrient levels are lacking. This research aimed to evaluate, in a long-term experiment, the impact of sugarcane harvesting systems and the interaction between soil tillage and harvesting systems on disease incidence, yield, technological quality of juice and stalks, as well as soil micronutrient and organic carbon contents. The study was conducted in two experiments initiated in 1989 in Espírito Santo, Brazil, with cultivar RB965917 in its sixth crop cycle (fifth ratoon). Over 32 years, 29 harvests and three field renewals were carried out. In the first experiment, the following harvesting systems were evaluated: pre-harvest burning (QQQQ), unburned harvest (CCCC), and alternating systems (CQCQ and QCQC). In the second experiment, conventional tillage and no-till systems were combined with the same harvesting systems. Disease incidence, aboveground biomass yield, technological parameters, and the soil contents of boron (B), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn), and soil organic carbon (SOC) were analyzed. Results showed that treatments did not affect plant health in either experiment. In the first experiment, there were no significant differences in dry leaf, tip, and stalk yield, as well as in juice and stalk quality parameters. Boron and iron levels were adequate, while the other micronutrients were below recommended levels. Harvesting systems influenced Cu, Fe, and Mn soil contents, with continuous treatments (CCCC and QQQQ) showing higher Cu contents in surface soil layers, while Fe showed the opposite trend. The CCCC system resulted in higher soil organic carbon content in the surface layer. In the second experiment, a significant interaction was observed between soil tillage and harvesting systems. Conventional tillage combined with unburned harvesting resulted in higher tip yield, with 16.64 Mg ha⁻¹ higher stalk yield compared to burned sugarcane. Burned sugarcane had higher fiber and purity levels, while unburned sugarcane had higher reducing sugar content. Soil tillage and harvesting systems also affected Cu, Fe, Zn, and SOC soil contents. In conclusion, disease incidence is not influenced by soil tillage and harvesting systems. However, these systems affect yield, technological parameters, and soil micronutrient and organic carbon levels.

Keywords: soil conservation, boron (B), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), zinc (Zn), sugarcane residues.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Análise da palhada de cana-de-açúcar (HASSUANI et al., 2005). | 12 |
| Tabela 2. Total de fertilizantes entregues ao mercado brasileiro em toneladas de produto (ANDA, 2023). | 17 |
| Tabela 3. Quantidades de macronutrientes e micronutrientes exportadas pela parte aérea média da cana planta e 1ª soqueira (Orlando Filho, 1993; Malavolta, 1990)..... | 19 |
| Tabela 4. Extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio das diferentes partes da planta por 100 toneladas de cana-de-açúcar em diferentes cultivares de cana-de-açúcar (Oliveira et al, 2010; Oliveira et al, 2011). | 20 |
| Tabela 5. Recomendação de micronutrientes para cana-de-açúcar em função da análise de solo (QUAGGIO et al, 2022). | 21 |
| Tabela 6. Tratamentos de sistemas de colheita quanto ao manejo de palhada ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, aplicados ao longo do tempo, em solo de tabuleiro costeiro, no município de Linhares-ES. C: cana crua, Q: cana queimada. | 34 |
| Tabela 7. Características agrônômicas da cultivar de cana-de-açúcar RB739735, SP79-1011 e RB965917 (OLIVEIRA; BARBOSA; DAROS, 2021; COPERSUCAR, 1991) | 36 |
| Tabela 8. Tabela de análise de variância de delineamento em blocos casualizados utilizado na análise do experimento. | 41 |
| Tabela 9. Produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos (em Mg ha ⁻¹), da cultivar de cana-de-açúcar RB965917 em 5ª soca, sob diferentes sistemas de colheita ao longo de 32 anos, na safra 2020/2021, em Argisolo Amarelo. | 45 |
| Tabela 10. Parâmetros tecnológicos do caldo e colmo avaliados da cultivar de cana-de-açúcar RB965917 em 5ª soca, sob diferentes sistemas de colheita ao longo de 32 anos, na safra 2020/2021, em Argisolo Amarelo. | 45 |
| Tabela 11. Tratamentos de método de colheita e preparo do solo ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, aplicados ao longo de 4 ciclos, e as cultivares plantadas, no município de Linhares-ES. PD: plantio direto, PC: plantio convencional, C: cana crua, Q: cana queimada. | 55 |
| Tabela 12. Tabela de análise de variância de delineamento em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas utilizado na análise do experimento. | 61 |
| Tabela 13. Produtividade de folhas secas, ponteiros e colmo em resposta aos sistemas de preparo do solo e de colheita para a safra 2020/2021 (5ª soqueira). | 66 |
| Tabela 14. Parâmetros tecnológicos avaliados em resposta aos sistemas de preparo do solo e de colheita para a safra 2020/2021 (5ª soqueira). | 67 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Países com maior produção de cana-de-açúcar no mundo no ano de 2022 (FAO, 2024) | 7 |
| Figura 2. Produção e produtividade dos dez maiores estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil (CONAB, 2024). | 8 |
| Figura 3. Área colhida com colheita mecanizada no Brasil, em percentil (%), ao longo dos últimos anos/safra (CONAB, 2024). * Estimativa em abril/2024. | 10 |
| Figura 4. Mercado de fertilizantes no Brasil (em volume) (BRASIL, 2021). | 18 |
| Figura 5. Consumo de fertilizantes por cultura em 2024. Fonte: GlobalFert (2024) | 18 |
| Figura 6. Médias climatológicas de precipitação e temperaturas mínimas e máximas calculadas a partir de uma série de dados de 30 anos observados em Linhares – ES. (CLIMATEMPO, 2022). | 32 |
| Figura 7. Média mensal das temperaturas máxima e mínima, e precipitação mensal durante os meses de setembro de 2020 a setembro de 2021, em Linhares - ES. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2024), Estação automática do INMET em Linhares-ES (INMET, 2024) | 33 |
| Figura 8. Croqui do experimento com diferentes combinações de método de colheita da cana-de-açúcar ao longo de quatro ciclos da cultura (1989-1996, de 1997-2004, de 2005-2014 e de 2015-2021), em Linhares (ES), no ano de 2021 – 5ª soca da cultivar RB965917. | 35 |
| Figura 9. Aspecto dos canaviais do experimento (à direita) com bom aspecto de sanidade e do talhão com a cultivar RB988082 (à esquerda) com aspecto ferruginoso e elevado comprometimento da capacidade fotossintética. | 43 |
| Figura 10. Teores médios de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D), zinco (E) e carbono orgânico (F) do solo, nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m, sob diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo, em Linhares-ES. *: Nestas profundidades os tratamentos apresentaram diferenças significativa pelo teste de média de Duncan a 5%. | 48 |
| Figura 11. Croqui do experimento tendo como parcelas diferentes sistemas de preparo do solo, plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), e como sub-parcelas diferentes método de colheita, com queima (Q) e sem queima (C) prévia da cana-de-açúcar, em Linhares – ES (Usina Linhares Agropecuária S.A – 2021), avaliados no ano de 2021, na 5ª soca da cultivar RB965917. | 56 |
| Figura 12. Colmo com sintomas de 'Podridão vermelha' (<i>Colletotrichum falcatum</i>) no colmo associada a rachadura do entrenó. | 64 |
| Figura 13. Sintomas de 'Podridão vermelha' (<i>Colletotrichum falcatum</i>) em colmos amostrados no experimento associado ao ataque de cupins. | 64 |
| Figura 14. Sintomas de 'Podridão vermelha' (<i>Colletotrichum falcatum</i>) associada ao ataque de broca-da-cana em colmos amostrados no experimento. | 64 |
| Figura 15. Sintoma severo de 'podridões' decorrente do ataque de cupins. | 64 |
| Figura 16. Teores médios de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D), zinco (E) e carbono orgânico (F) do solo, nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m, sob diferentes sistemas de preparo do solo e colheita da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo, em Linhares-ES. * efeito principal significativo para os sistemas de preparo do solo; ** efeito principal significativo par os sistemas de colheita de cana-de-açúcar. | 71 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo 1. Tratamentos de sistemas de colheita quanto ao manejo de palhada ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, aplicados ao longo do tempo, em solo de tabuleiro costeiro, no município de Linhares-ES. C: cana crua, Q: cana queimada..... | 90 |
| Anexo 2. Teores de boro, cobre, ferro, manganês, zinco e carbono orgânico de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3 a 0,4 m. | 92 |
| Anexo 3. Teores de boro, cobre e ferro de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3 a 0,4m. | 93 |
| Anexo 4. Teores de manganês, zinco e carbono orgânico de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3 a 0,4m..... | 94 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 1 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 2 |
| 2.1. Cana-de-açúcar..... | 2 |
| 2.1.1. Origem | 2 |
| 2.1.2. História | 2 |
| 2.1.3. Taxonomia | 3 |
| 2.1.4. Melhoramento genético e recomendações de cultivares. | 4 |
| 2.1.5. Ecofisiologia | 5 |
| 2.1.6. Propagação..... | 6 |
| 2.1.7. Produção e usos de cana-de-açúcar | 6 |
| 2.2. Preparo do Solo e Conservação do Solo na Cana-de-Açúcar..... | 9 |
| 2.3. Colheita Sem Queima e a Palhada da Cana-de-açúcar. | 10 |
| 2.3.1. Disponibilidade de água do solo sob a palhada | 12 |
| 2.3.2. Disponibilidade, ciclagem de nutrientes e conservação do solo sob a palhada..... | 14 |
| 2.4. Manejo e Fitossanidade da Cultura..... | 15 |
| 2.4.1. Doenças da cana-de-açúcar..... | 15 |
| 2.4.2. Efeito do sistema de preparo do solo nas doenças na cana-de-açúcar..... | 16 |
| 2.4.3. Efeito do sistema de colheita sobre as doenças da cana-de-açúcar | 17 |
| 2.5. Micronutrientes do Solo..... | 17 |
| 2.5.1. Adubação na cultura da cana-de-açúcar no Brasil: Tendências e necessidades nutricionais | 17 |
| 2.5.2. Micronutrientes: Importância, Absorção e Disponibilidade para as Plantas | 22 |
| 2.5.3. Cobre (Cu) | 23 |
| 2.5.4. Ferro (Fe) | 23 |
| 2.5.5. Manganês (Mn)..... | 23 |
| 2.5.6. Níquel (Ni)..... | 23 |
| 2.5.7. Zinco (Zn)..... | 23 |
| 2.5.8. Boro (B)..... | 23 |
| 2.5.9. Cloro (Cl)..... | 23 |
| 2.5.10. Molibdênio (Mo) | 24 |
| 2.5.11. Micronutrientes e os sistemas de preparo do solo e colheita da cana-de-açúcar... | 24 |
| 2.6. Experimentação de Longo Prazo na Cana-de-açúcar..... | 25 |
| 2.6.1. Ciclo da cana-de-açúcar..... | 25 |
| 2.6.2. Experimentação em cana-de-açúcar | 25 |
| CAPÍTULO I | 27 |
| COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM QUEIMA PRÉVIA, POR 32 ANOS, E SEUS EFEITOS NA CULTURA E NO TEOR DE MICRONUTRIENTES E CARBONO ORGANICO DO SOLO..... | 27 |
| 3. INTRODUÇÃO | 30 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 32 |
| 4.1. Descrição da Área Experimental | 32 |
| 4.2. Tratamentos e Delineamento Experimental | 33 |
| 4.3. Cultivares de Cana-de-açúcar | 35 |
| 4.4. Ciclos da Cultura ao Longo dos 32 Anos | 36 |
| 4.4.1. 1º ciclo - 1989 a 1996 | 36 |
| 4.4.2. 2º ciclo – 1997 a 2004 | 37 |
| 4.4.3. 3º ciclo - 2005 a 2014 | 37 |

| | | |
|---|--|----|
| 4.4.4. | 4° ciclo - 2015 a 2021 | 38 |
| 4.5. | Avaliação Fitopatológica..... | 38 |
| 4.6. | Colheita de Cana-de-açúcar | 39 |
| 4.7. | Produtividade e Parâmetros Tecnológicos..... | 39 |
| 4.8. | Amostragem..... | 39 |
| 4.9. | Determinação de Micronutrientes e do Carbono Orgânico do Solo..... | 39 |
| 4.10. | Análise Estatística..... | 40 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 42 |
| 5.1. | Efeito dos Tratamento na Sanidade da Cana-de-açúcar | 42 |
| 5.2. | Produtividade e Análise Tecnológica..... | 43 |
| 5.3. | Micronutrientes e Carbono Orgânico do Solo..... | 45 |
| 6. | CONCLUSÃO | 49 |
| CAPÍTULO II..... | | 50 |
| SISTEMA DE PREPARO DO SOLO E DE MANEJO DE COLHEITA E SEUS EFEITOS NA FITOSSANIDADE, PRODUTIVIDADE, QUALIDADE DA CANA- DE-AÇÚCAR E NOS TEORES DE MICRONUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO | | 50 |
| 7. | INTRODUÇÃO..... | 53 |
| 8. | MATERIAIS E MÉTODOS | 54 |
| 8.1. | Descrição da Área Experimental | 54 |
| 8.2. | Tratamentos e Delineamento Experimental | 54 |
| 8.3. | Cultivares de Cana-de-açúcar | 56 |
| 8.4. | Ciclos da Cultura ao Longo dos 32 Anos | 56 |
| 8.4.1. | 1° ciclo - 1989 a 1996 | 56 |
| 8.4.2. | 2° ciclo – 1997 a 2004 | 57 |
| 8.4.3. | 3° ciclo - 2005 a 2014 | 57 |
| 8.4.4. | 4° ciclo - 2015 a 2021 | 58 |
| 8.5. | Avaliação Fitopatológica..... | 58 |
| 8.6. | Colheita de Cana-de-açúcar | 58 |
| 8.7. | Produtividade e Parâmetros Tecnológicos..... | 59 |
| 8.8. | Amostragem..... | 59 |
| 8.9. | Determinação de Micronutrientes e do Carbono Orgânico do Solo..... | 59 |
| 8.10. | Análise Estatística..... | 60 |
| 9. | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 62 |
| 9.1. | Efeito dos Tratamento na Sanidade da Cana-de-açúcar | 62 |
| 9.2. | Produtividade e Análise Tecnológica..... | 65 |
| 9.3. | Micronutrientes e Carbono Orgânico do Solo..... | 67 |
| 10. | CONCLUSÃO | 72 |
| 11. | CONSIDERAÇÕES GERAIS | 73 |
| 12. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 74 |
| 13. | ANEXOS | 90 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar é uma cultura estratégica do ponto de vista econômico e ambiental. Um dos grandes desafios é continuar com meta de atingir parâmetros cada vez melhores com relação ao balanço energético da cultura, para que a produção de açúcar e de etanol tenha mais sustentabilidade, incluindo a manutenção e/ou promoção da segurança do solo. Além do manejo da palhada, o manejo da adubação de plantio e das soqueiras, em especial da adubação nitrogenada, controle de pragas e doenças, a seleção de cultivares, o espaçamento de plantio, o controle de tráfego de máquinas e o tipo de preparo do solo são fatores que, se adotados de maneira adequada, podem contribuir para a longevidade e produtividade dos canaviais, e no balanço energético positivo da cultura.

Um dos principais fatores para a adoção da colheita sem queima é o legal (legislação ambiental) que trata sobre a restrição e não uso do fogo antes da colheita, associada às colheitadeiras mecânicas. As colheitadeiras mecânicas foram adaptadas para essa nova realidade de cortar e espalhar a palhada da cana no campo ou, de recolher para produção de energia. Nesse sistema de colheita sem a queima da palhada, são depositados sobre os solos, em média, $15 \text{ Mg ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ de palhada de cana-de-açúcar (SCHULTZ et al, 2010). Esta grande quantidade de resíduos sobre o solo tem chamado a atenção dos produtores para o recolhimento de parte ou da totalidade da palhada da cana para a produção de bioenergia e/ou álcool de segunda geração.

A taxa de acúmulo de carbono no solo em sistema com manutenção da palhada da cana-de-açúcar é dependente principalmente das condições edafoclimáticas de cada região de cultivo e do tempo de implantação do sistema. Geralmente, as frações mais lábeis da matéria orgânica do solo são mais sensíveis que o carbono orgânico do solo às mudanças dos sistemas de manejo adotado, indicando respostas ou caminhos mesmo a curto prazo.

A palhada da cana-de-açúcar contribui com a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta, a fertilidade e biota do solo. A maior densidade e diversidade da fauna do solo geralmente é observada em condições de manejo mais conservacionista, pois esses invertebrados do solo são altamente sensíveis a alterações de umidade e/ou oferta de alimentos no solo.

A disponibilidade de nutrientes da palhada da cana-de-açúcar está relacionada ao teor existente na sua composição, à decomposição da palhada, à dinâmica do nutriente no solo e à capacidade de recuperação da cultura. Diversos trabalhos já estudaram o efeito da queima e não queima nos macronutrientes, porém pouco se conhece do efeito nos micronutrientes. A matéria orgânica do solo é favorecida pela não queima aumentando seu teor ao longo do manejo com a não queima. A disponibilidade de micronutrientes está muito relacionada à matéria orgânica do solo, ao pH do solo e à textura do solo.

A maior retenção da umidade do solo devido à manutenção da palhada é responsável pelo maior rendimento de colmos, principalmente, em regiões que apresentam restrições hídricas ao longo do ano. A camada densa de palhada também diminui a erosão hídrica, sendo um processo de degradação que ocorre com muita frequência nas lavouras canavieiras.

O objetivo deste estudo foi o de avaliar a influência do sistema de colheita da cana-de-açúcar e a influência da interação entre sistema de preparo do solo e sistema de colheita de cana-de-açúcar no longo prazo na incidência de doenças, nos teores de micronutrientes e do carbono orgânico do solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cana-de-açúcar

2.1.1. Origem

O exato centro de origem da cana-de-açúcar, assim como a sua história, não é bem definido. A Índia, Indonésia, Papua Nova Guiné, China e ilhas da Polinésia, Fiji e Salomão estão entre as regiões mais citadas. Embora existam divergências em relação aos países, acredita-se que a cana-de-açúcar seja nativa do sudeste da Ásia. A teoria mais aceita sobre a origem da cana-de-açúcar considera que esta seja nativa das ilhas do arquipélago da Polinésia, sendo o seu centro de diversidade a Nova Guiné, onde se teve o primeiro contato com uma planta “*associada intimamente com a essência da doçura*”. Acredita-se que a cana-de-açúcar se estabeleceu há cerca de 6.000 anos a.C. na Melanésia, na Indonésia e na Nova Guiné, disseminando-se para o Pacífico Sul, Índia, China e vizinhanças, entre 1.500 a.C. e 1.000 a.C. (BRANDES; SARTORIS, 1936).

2.1.2. História

A partir do seu local de origem, a cultura da cana-de-açúcar foi difundida na Indonésia, Malásia, China, Índia, Micronésia e Polinésia durante o período pré-histórico, tendo sido desenvolvidas, na Índia e China, as técnicas de extração do açúcar. Daí em diante, a cana-de-açúcar passou a ser cultivada na Pérsia, no norte da África e nas ilhas do Atlântico (ARTSCHWAGER; BRANDES, 1958).

Quando Alexandre "o Grande" invadiu a Índia em 327 a.C., seus escribas anotaram que os nativos “*mascavam uma cana maravilhosa, que produzia uma espécie de 'mel' sem ajuda das abelhas*”. Esta planta foi levada pelos árabes para a Espanha, Sicília, Marrocos, Egito e outras regiões mediterrâneas (BAYMA, 1974). Com a extensão do plantio de cana na região do Mar Mediterrâneo, o consumo de açúcar difundiu-se pela Europa no início do século XIII.

No século XV, os portugueses e os espanhóis a introduziram na Ilha da Madeira, Canárias, Cabo Verde, São Tomé e na África Ocidental (BAYMA, 1974). Na América, as primeiras mudas foram trazidas por Cristóvão Colombo por ocasião de sua segunda viagem, e plantadas primeiramente em Santo Domingo (HUMBERT, 1968).

Com o apoio oficial do Rei Dom João III as primeiras mudas de cana plantadas no Brasil foram trazidas da Ilha da Madeira por Martim Afonso de Souza, em 1532. Os três primeiros engenhos do Brasil foram construídos nas cercanias da atual cidade de Santos. O primeiro, em 1532, por Pero Luiz de Góes; o segundo pela família Adorno em 1533 e o terceiro por Martim Afonso de Souza, 1534 (BERNARDES; CÂMARA, 2001).

A produção de cana-de-açúcar no Brasil foi impulsionada pela colonização e pela rentável extração agrícola para comércio internacional (PRADO JUNIOR, 2006). A cana-de-açúcar floresceu principalmente no Nordeste e foi exportada para a Europa por quatro séculos (BRANDÃO, 1984).

A extração de metais preciosos dominava a economia colonial até o final do século XVIII, quando a cana-de-açúcar também se destacou economicamente, contribuindo significativamente para a balança comercial portuguesa e o comércio internacional (HOLANDA, 1995; GALEANO, 1976). As empresas holandesas tinham grande participação no comércio de cana, frequentemente superando os lucros da coroa portuguesa (GALEANO, 1976).

A expansão da produção de açúcar pelos holandeses nas Américas no século XVII causou a primeira grande crise do açúcar no Brasil, forçando Portugal a redefinir sua exploração de recursos para aliviar o impacto da crise (MENDONÇA; PIRES, 2002). O modelo de *plantation* de cana-de-açúcar no Brasil foi baseado em latifúndios, monocultura e trabalho escravo (DEAN, 1996; PRADO JUNIOR, 2006).

O açúcar foi o primeiro grande produto de exportação do Brasil, com os engenhos produzindo principalmente açúcar mascavo e cachaça (RODRIGUES, 2011). A economia açucareira continuou a influenciar a paisagem e a sociedade brasileira até o século XX, quando o governo interveio para regular o setor e incentivar a produção de etanol com a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) em 1933 (MORAES, 2007).

A Segunda Guerra Mundial afetou as exportações de açúcar, mas a produção canavieira se expandiu no Sudeste, particularmente em São Paulo, na década de 1950 (SZMRECSÁNYI; MOREIRA, 1991). No século XX, políticas desenvolvimentistas favoreceram a industrialização e a expansão da produção canavieira para o Centro-Sul do Brasil. Em 1975, o governo criou o Proálcool para incentivar a produção de etanol, reduzindo a dependência de petróleo importado e controlando a superprodução de cana (SZMRECSÁNYI; MOREIRA, 1991).

A criação do Proálcool e o lançamento de carros flex em 2003 revigoraram o consumo de etanol, impulsionando a expansão da agroindústria canavieira, que se solidificou como um setor importante da economia brasileira e consolidando o Brasil como produtor de energia verde (BNDES; CGEE, 2008; RODRIGUES, 2011).

2.1.3. Taxonomia

De acordo com Daniels e Roach (1987), a cana-de-açúcar pertence à família das *Gramíneas* (*Poaceae*), sub-família *Panicoideae*, tribo *Andropogoneae*, Subtribo *Saccharinae*, grupo *Saccharastrae* e gênero *Saccharum* (referência em latim ao açúcar). A família *Poaceae* é uma das maiores dentre todas as famílias de monocotiledôneas e desenvolveu-se há mais de 50 milhões de anos, compreendendo, aproximadamente, 10 mil espécies distribuídas em 650 gêneros (GLASZMANN et al, 1997).

O gênero *Saccharum* divide-se em seis espécies, sendo que os acessos *Saccharum spontaneum* e *Saccharum robustum* que são encontrados crescendo de forma selvagem na Ásia e Indonésia. Os acessos de *Saccharum officinarum*, é uma planta conhecida pela sua importante participação na produção comercial dos séculos passados, *Saccharum barberi* e *Saccharum sinense*, são acessos antigos da Ásia e *S. edule*, que tem uma inflorescência abortiva utilizada na alimentação (IRVINE, 1999). As duas espécies silvestres e três das espécies cultivadas (com exceção de *S. edule*) são interférteis, que permite sua classificação como 'Conjunto Gênico Primário' pelo sistema de conjuntos gênicos de Harlan e Wet (1971). Este conjunto se caracteriza por ser composto por espécies com facilidade de cruzamentos, híbridos férteis, bom pareamento cromossômico, segregação gênica quase normal e transferência gênica simples.

A hipótese de um ancestral comum para os gêneros do "Complexo *Saccharum*" é a mais aceita. Estudos citogenéticos mostram que *S. officinarum* e *Sclerostachya* compartilham cinco dos dez cromossomos básicos, sugerindo um ancestral comum com número cromossômico básico de $x=5$ (PARTHASARATHY, 1948). Cruzamentos intergenéricos envolvendo *Saccharum*, *Sclerostachya* e *Narenga* corroboram essa hipótese (RAGHAVAN e GOVINDASAMY, 1956).

A domesticação de plantas começa com a exploração de espécies silvestres, passa pelo cultivo e seleção de plantas silvestres, e culmina na fixação de características morfológicas e genéticas distintas devido à seleção humana. Esta "síndrome de domesticação" inclui características que tornam a planta menos apta a sobreviver na natureza e dependente do

homem. Na cana-de-açúcar, essas características incluem a maciez da casca, maturação precoce, menor teor de fibra, despalha natural e colmos suculentos (PICKERSGILL, 2007).

2.1.4. Melhoramento genético e recomendações de cultivares.

O melhoramento genético da cana-de-açúcar se deu através da hibridação. As hibridações da cana-de-açúcar podem ser divididas em cinco períodos: 1) cruzamentos entre canas nobres (*S. officinarum*) para criar novas cultivares nobres; 2) nobilização cruzando *S. officinarum* com *S. spontaneum*; 3) cruzamentos entre cultivares nobilizadas para produzir híbridos; 4) cruzamentos entre híbridos interespecíficos para criar cultivares atuais; 5) cruzamentos para ampliar a base genética (MING et al., 2006; LANDELL et al., 2003).

Os primeiros híbridos interespecíficos foram obtidos em Java entre 1887 e 1893, a partir de cruzamentos entre *S. spontaneum* e híbridos naturais de *S. officinarum* e *S. spontaneum*. Híbridos como POJ100 e S.W.3 foram usados em cruzamentos posteriores, promovendo produtividade e resistência a doenças (BREMER, 1961).

As espécies *S. officinarum* e *S. spontaneum* foram cruciais na obtenção dos primeiros híbridos de cana-de-açúcar, estando presentes na genealogia de muitas das cultivares atuais. A espécie *S. officinarum* é conhecida por sua alta produção de açúcar, enquanto *S. spontaneum* contribui com resistência a pragas e doenças, vigor e adaptabilidade. O processo de cruzar clones "nobres" com espécies geneticamente próximas que oferecem vantagens, como resistência a doenças, é conhecido como "nobilização" (BREMER, 1961). Os híbridos resultantes da nobilização geralmente apresentam maior teor de sacarose e número de cromossomos aumentados em relação aos genitores.

O manejo de cultivares da cana-de-açúcar no Brasil é uma prática essencial para garantir alta produtividade, adaptabilidade a diferentes condições ambientais e resistência a pragas e doenças. Esse manejo envolve a seleção e o desenvolvimento de cultivares que atendam às necessidades específicas dos produtores e do mercado (BARBOSA; SILVEIRA, 2018).

No Brasil, os principais programas de melhoramento genético são conduzidos pela Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

A RIDESA é formada por 10 Universidades Federais, e desempenha um papel fundamental no melhoramento genético canavieiro, dando continuidade ao trabalho iniciado no PLANALSUCAR, que era vinculado ao Instituto do Açúcar e do Alcool, extinto em 1990. Suas cultivares RB (República do Brasil), como RB867515 e RB966928, são amplamente cultivadas devido à sua elevada produtividade e adaptabilidade a diferentes condições climáticas e de solo. A RIDESA foca na pesquisa e extensão, transferindo tecnologias e conhecimentos para os produtores.

O CTC, extinto Copersucar, também é uma instituição focada na cana-de-açúcar, desenvolvendo cultivares como CTC4 e CTC9001, que se destacam pela alta produtividade e resistência a doenças. O programa do CTC utiliza tanto técnicas de melhoramento convencional quanto biotecnológicas, incluindo engenharia genética para introduzir características desejáveis nas plantas e já lançou duas cultivares transgênicas do Brasil (CTC20BT e CTC9001BT).

O IAC, com um histórico de mais de um século de pesquisa agrícola, contribui com o desenvolvimento de cultivares como IACSP95-5000 e IAC91-1099, que são conhecidas por sua resistência a pragas e doenças. O IAC combina métodos tradicionais de melhoramento com técnicas moleculares para obter cultivares superiores.

A recomendação de cultivares deve ser realizada de forma regionalizada, levando em conta as condições específicas de cada área de cultivo. Isso inclui a avaliação do tipo de solo, regime de chuvas, temperatura, incidência de pragas e doenças, e práticas de manejo agrícola. Uma variedade que apresenta alto desempenho em uma região pode não ser adequada para outra

com condições ambientais diferentes. Portanto, é essencial realizar testes de campo em diferentes localidades antes de recomendar uma nova cultivar para plantio comercial (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2008).

Além disso, a diversificação de cultivares é uma prática recomendada para reduzir os riscos associados a fatores adversos, como surtos de pragas e doenças ou condições climáticas extremas. O uso de uma gama de cultivares com diferentes características agronômicas pode ajudar a garantir a estabilidade da produção ao longo das safras, como característica de maturação (cultivar precoce, média ou tardia).

O manejo varietal também deve incluir a observação contínua e a atualização das variedades plantadas, substituindo aquelas que se tornem obsoletas ou menos produtivas ao longo do tempo.

2.1.5. Ecofisiologia

A cana-de-açúcar é uma planta tropical que exige condições específicas de clima e solo para alcançar seu pleno potencial de desenvolvimento e produtividade. Estudos demonstraram que fatores climáticos, como temperatura, umidade e ventilação, desempenham um papel crucial no cultivo da cana-de-açúcar (ZHAO; LI, 2015; ZEMBA; JENNY, 2018).

Em termos de clima, a temperatura é um dos fatores mais importantes sendo sensível a variações extremas de temperatura (BRIGIDO-MORALES, 2023). A cana-de-açúcar próspera em regiões que apresentam temperaturas médias anuais entre 25°C e 30°C. Temperaturas abaixo de 20°C podem retardar o crescimento, enquanto geadas e temperaturas inferiores a 0°C são prejudiciais, podendo causar danos irreversíveis às plantas. Para alcançar a produção máxima de açúcar a cana-de-açúcar demanda um clima “ideal” caracterizado por: 1) estação longa, quente, com alta incidência de radiação solar e umidade adequada para promoção da brotação e crescimento vegetativo e, 2) estação razoavelmente seca, ensolarada e fresca, sem geada para amadurecimento (DIOLA et al. 2018). A planta também requer alta incidência de luz solar que é essencial para o processo de fotossíntese e o desenvolvimento das plantas (ZHAO; LI, 2015), sendo ideal um regime de pelo menos 1.500 a 2.500 horas de luz por ano (DIOLA et al. 2018).

A precipitação ideal para a cana-de-açúcar varia entre 1.100 e 1.500 mm anuais, bem distribuídos ao longo do ano. No entanto, a planta é relativamente resistente à seca, especialmente quando cultivada em sistemas de irrigação. Períodos de seca prolongada podem afetar negativamente o desenvolvimento e a produtividade, mas sistemas de irrigação podem mitigar esses efeitos (DIOLA et al. 2018).

Em relação ao solo, a cana-de-açúcar prefere se desenvolve melhor em solos profundos, bem drenados e ricos em matéria orgânica. Solos de textura média com boa capacidade de retenção de água são ideais (ROCHA; SPAROVEK, 2021; FARHATE et al., 2020). O pH do solo deve estar entre 5,5 e 6,5 para otimizar a absorção de nutrientes. A planta é exigente em termos de nutrientes, particularmente nitrogênio, fósforo e potássio, que são essenciais para seu crescimento vigoroso. Solos pobres necessitam de correção e adubação adequada para suportar o cultivo intensivo (ANDRADE, 2006; PIMENTEL; ANDRADE, 2020).

A cana-de-açúcar também apresenta média tolerância à salinidade, o que permite seu cultivo em áreas onde outras culturas poderiam não prosperar. No entanto, solos com alta salinidade podem reduzir a produtividade, sendo recomendada a seleção de cultivares mais tolerantes (DIOLA et al. 2018).

O ciclo fisiológico da cana-de-açúcar pode ser dividido em quatro fases principais: brotação e estabelecimento, perfilhamento, crescimento do colmo, e maturação:

1. Brotação e Estabelecimento: Esta fase se inicia com o plantio dos colmos (toletes), que brotam em condições adequadas de temperatura e umidade. A brotação das gemas leva ao

desenvolvimento das primeiras raízes e brotos, estabelecendo a planta jovem. Essa fase é crucial para o desenvolvimento de um sistema radicular robusto, essencial para a absorção de água e nutrientes.

2. Perfilhamento: Na fase de perfilhamento, a planta desenvolve vários brotos a partir do colmo principal. Este processo é influenciado por fatores como disponibilidade de luz, espaço entre plantas e manejo agrícola. O perfilhamento é vital para determinar o número de colmos por área, que diretamente afeta a produtividade final. Durante esta fase, a planta também acumula biomassa foliar, importante para a fotossíntese.

3. Alongamento do Colmo: Durante o alongamento do colmo, ocorre o crescimento rápido em altura e diâmetro dos colmos. Este crescimento é altamente dependente de fatores como temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, especialmente nitrogênio. A atividade fotossintética é maximizada, e a planta acumula sacarose nos colmos, que será o principal produto a ser extraído. Esta fase é crucial para a determinação do rendimento final em termos de biomassa e conteúdo de açúcar.

4. Maturação: A fase de maturação envolve a translocação de açúcares das folhas para os colmos, onde são armazenados como sacarose. A maturação é caracterizada pela redução do crescimento vegetativo e aumento do teor de açúcar nos colmos. A maturação adequada é essencial para a colheita eficiente e produtiva, e é influenciada por fatores como fotoperíodo, temperatura e manejo hídrico. Durante essa fase, práticas como a restrição hídrica são usadas para promover a concentração de açúcares.

2.1.6. Propagação

A propagação da cana-de-açúcar é realizada de forma vegetativa, utilizando-se principalmente segmentos do colmo, conhecidos como toletes. Estes segmentos contêm gemas que, quando plantadas, desenvolvem-se em novas plantas. Este método é eficiente em manter as características genéticas da planta-mãe (BARBOSA, 2018).

Existem diferentes técnicas de plantio vegetativo, sendo a mais comum o plantio de toletes. O plantio de toletes envolve o corte do colmo em pedaços de 20 a 40 cm, contendo geralmente de duas a três gemas. Estes toletes são enterrados em sulcos preparados no solo, onde brotam e dão origem a novas plantas. A vantagem deste método é sua simplicidade e baixo custo (BRAGA et al., 2019).

O método de mudas pré-brotadas é mais tecnificado. Consiste em brotar as gemas em ambiente controlado, permitindo o desenvolvimento inicial da planta antes do transplante para o campo. Este método assegura uma maior uniformidade das plantas, maior vigor inicial e pode reduzir a incidência de pragas e doenças (LANDEL et al, 2012; OLIVEIRA et al, 2018).

Além destes métodos tradicionais, outras tecnologias têm sido desenvolvidas, como a propagação por meio de cultura de tecidos. Este método é realizado em laboratório e permite a produção de mudas em larga escala a partir de pequenas amostras de tecido vegetal. A cultura de tecidos garante a produção de mudas livres de doenças e com alta uniformidade genética. No entanto, requer infraestrutura especializada e custos mais elevados (SNYMAN et al., 2011; MENDES et al., 2018).

2.1.7. Produção e usos de cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar tem grande importância global, destacando-se o Brasil como o maior produtor mundial, contribuindo com aproximadamente 38,7% da produção total em 2022 (FAO, 2024). Na safra 2023/24 a produção foi de 713.214.100 toneladas de cana-de-açúcar em uma área de 8.333.900 ha que produziu 45.678.700 toneladas de açúcar e 29.689.543.600 litros de etanol (CONAB, 2024). Em 2023 a produção de bioeletricidade de cana foi de 21 mil GWh, representando 75% de toda a geração de energia elétrica a partir de

biomassa no país (ÚNICA, 2024). A maior parte desta geração é oriunda da queima do bagaço, mas também é advinda da palhada da cana-de-açúcar.

Os principais países produtores depois do Brasil, é a Índia, com cerca de 439 milhões de toneladas anuais, seguida pela China que produz aproximadamente 103 milhões de toneladas por ano, a Tailândia com uma produção de cerca de 92 milhões de toneladas anualmente, fica em quarto lugar (FAO, 2024). Outros produtores significativos incluem Paquistão, México e Colômbia, que juntos contribuem significativamente para o volume global (Figura 1).

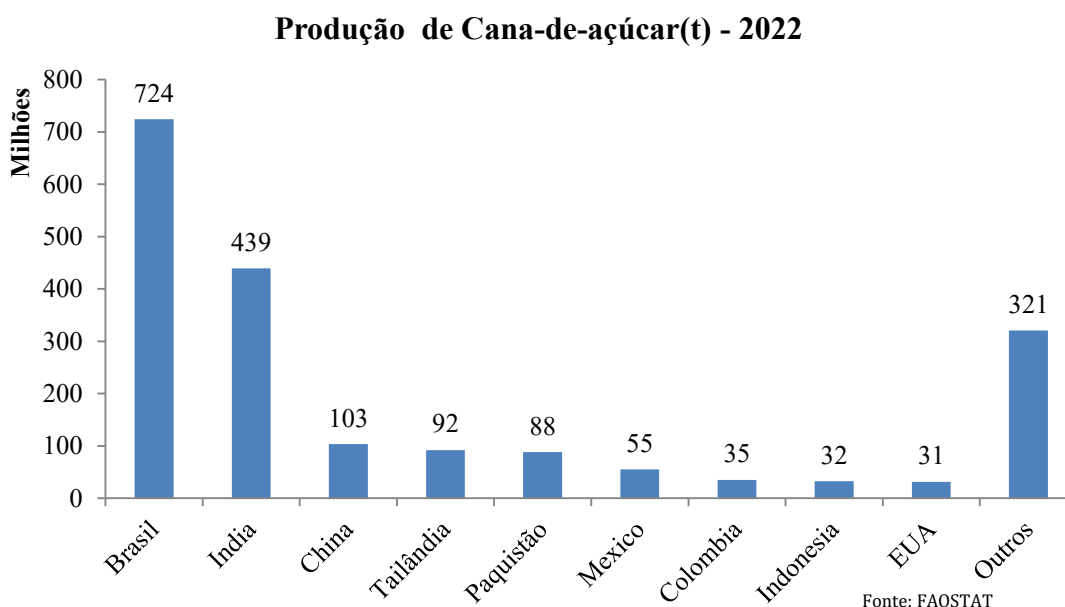


Figura 1. Países com maior produção de cana-de-açúcar no mundo no ano de 2022 (FAO, 2024)

No Brasil, os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Paraná, Alagoas e Mato Grosso são os principais produtores de cana-de-açúcar. São Paulo destaca-se como o maior produtor com 383,4 milhões de toneladas na última safra (2023/24) e é responsável por mais de 50% da produção nacional, devido a fatores como clima favorável, solo fértil e infraestrutura avançada (Figura 2). Minas Gerais tem mostrado crescimento significativo alcançando 81,4 milhões de toneladas na última safra, impulsionado pela expansão das áreas cultivadas e investimentos em tecnologia agrícola. Goiás e Mato Grosso do Sul também apresentam produção expressiva, beneficiados por condições climáticas adequadas e incentivos ao setor, com uma produção na safra 2023/24 de 76,6 e 50,7 milhões de toneladas, respectivamente. No Paraná, a produção de cana é relevante, com um aumento constante na área plantada e na produtividade, refletindo os esforços de modernização agrícola. No Nordeste, Alagoas e Pernambuco são os principais estados produtores, na safra 2023/24 tiveram uma produção de 19,7 e 13,8 milhões de toneladas respectivamente, tendo uma longa tradição na cultura da cana e uma economia regional fortemente dependente dessa atividade (CONAB, 2024).

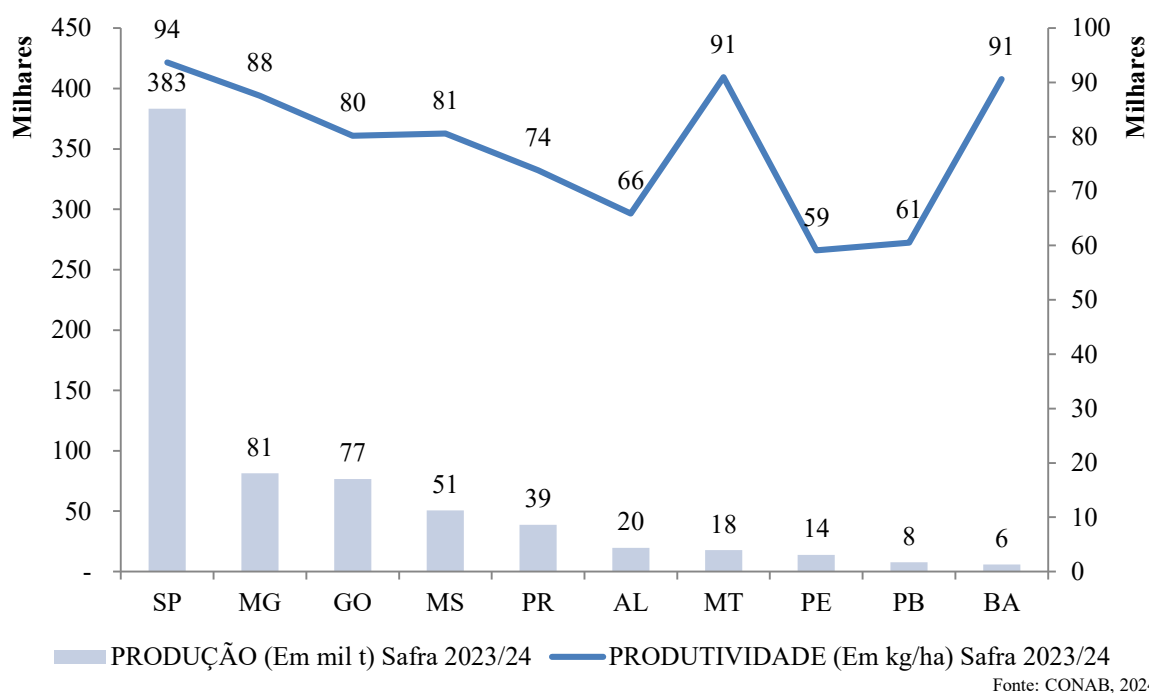


Figura 2. Produção e produtividade dos dez maiores estados produtores de cana-de-açúcar do Brasil (CONAB, 2024).

A produtividade nesses estados, entretanto, enfrenta desafios relacionados a questões climáticas e estruturais. No geral, a cana-de-açúcar no Brasil teve uma produtividade de 85,6 toneladas por hectare na safra 2023/24 (CONAB, 2024). A alta produtividade média nacional, superior a 70 toneladas por hectare, resulta de práticas agrícolas avançadas, como o uso de cultivares melhoradas, manejo adequado do solo e controle eficiente de pragas e doenças.

Os produtores de cana-de-açúcar no Brasil variam amplamente em termos de tamanho e organização, desde pequenos agricultores até grandes conglomerados industriais. O perfil dos produtores pode ser dividido em: 1) grandes usinas e conglomerados sucroenergéticos. Essas empresas possuem vastas áreas de cultivo e investem significativamente em tecnologias agrícolas avançadas, práticas sustentáveis, pesquisa e desenvolvimento de cultivares de cana-de-açúcar mais produtivas e resistentes a pragas e doenças. 2) os médios produtores operam fazendas que variam de 100 a 1.000 hectares e geralmente adotam tecnologias intermediárias e podem ter parcerias com usinas para garantir a compra de sua produção. 3) pequenos produtores operam áreas menores, muitas vezes menos de 50 hectares. No Brasil, estes agricultores frequentemente fazem parte de cooperativas ou programas de parceria com grandes usinas (DINARDO-MIRANDA; VASCONCELOS; LANDELL, 2008; SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2018.)

A cana-de-açúcar é uma cultura versátil e amplamente cultivada, desempenhando um papel crucial na economia global, especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Além de ser a principal fonte de açúcar, a cana-de-açúcar possui uma grande diversidade de usos, como produção de biocombustível (etanol de 1ª e 2ª geração), geração de energia elétrica a partir de biomassa (bagaço e palhada) e biogás (vinhaça), biofertilizantes (vinhaça e torta de filtro), bioplásticos, produtos químicos (produção de gás carbônico (CO₂) puro, bioplásticos, etc), ração animal, bebidas (cachaça, aguardente de cana, vodka, etc), rapadura, melado, entre outros produtos (SANTOS; BORÉM; CALDAS, 2018).

A produção de açúcar é o uso mais conhecido da cana-de-açúcar, sendo destinada para diversos tipos de açúcar utilizados na indústria alimentícia. O etanol, produzido a partir da

fermentação do caldo de cana, é um biocombustível renovável e amplamente utilizado, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Os resíduos da cana-de-açúcar, como o bagaço, são aproveitados na geração de energia, tornando as usinas energeticamente autossuficientes e permitindo a exportação de excedentes. Além disso, a cana-de-açúcar é fonte de matérias-primas para bioplásticos e produtos químicos.

2.2. Preparo do Solo e Conservação do Solo na Cana-de-Açúcar

Atualmente, diversos sistemas de preparo do solo são utilizados na cultura da cana-de-açúcar, incluindo o preparo convencional, o plantio direto e o cultivo mínimo (BORDONAL et al., 2018b). No preparo convencional, são empregadas práticas como aração, subsolagem e gradagens, visando remover os resíduos do cultivo anterior, romper camadas compactadas e revolver o solo. Por outro lado, o sistema de preparo mínimo, também chamado de preparo reduzido, é uma abordagem conservadora que busca reduzir o número de operações realizadas no preparo convencional, utilizando equipamentos mais leves, como a grade aradora, por exemplo, sem alterar significativamente o solo antes do plantio (GUIMARÃES JUNIOR et al., 2022). De acordo com Derpsch et al. (2014), o plantio direto é definido como um sistema agrícola de conservação, no qual as sementes são colocadas em sulcos estreitos abertos no solo não arado, sem realizar nenhum outro tipo de preparo do solo. No entanto, cerca de 30% da superfície do solo é perturbada pelo sulco de plantio, o que dificulta a adoção integral do plantio direto (BARBOSA et al., 2019). Por esse motivo, para alguns autores, o plantio direto na cultura da cana-de-açúcar é considerado um tipo de preparo reduzido, pois envolve a perturbação de aproximadamente 30% da camada superficial do solo, realizada uma vez a cada 5 ou 6 anos (BORDONAL et al., 2018b).

Esta técnica tem se destacado na cultura da cana-de-açúcar como uma estratégia conservacionista para preservar e melhorar as propriedades físicas (OLIVEIRA et al., 2022), químicas (CURY et al., 2014) e biológicas do solo (SEGNINI et al., 2013). Além disso, contribui para a redução das emissões de carbono orgânico do solo (BORDONAL et al., 2018b), aumento de produtividade (TAVARES; LIMA; ZONTA, 2010), estímulo ao crescimento radicular (LOVERA et al., 2021) e diminuição de até 40% o custo de implantação do canavial (BOLONHEZI, 2013). Neste sistema, o revolvimento do solo é concentrado apenas no sulco de plantio, mantendo a maior parte da superfície do solo coberta por resíduos da cultura (OLIVEIRA et al., 2022).

Os componentes biológicos do solo são compostos por organismos animais e vegetais, bem como por seus resíduos em diferentes níveis de matéria orgânica, incluindo a matéria orgânica não viva, que corresponde a 98% do total de carbono orgânico no solo. As propriedades biológicas do solo refletem mudanças no ambiente do solo e permitem ajustes rápidos devido às práticas agrícolas (OLIVEIRA et al., 2014). Grande parte do carbono acumulado durante o ciclo da cana-de-açúcar pode ser perdido após o revolvimento do solo durante as operações de renovação, que são realizadas uma vez a cada 5 ou 6 anos (FIGUEIREDO et al., 2015).

Vários estudos demonstram que a conservação da palhada sobre o solo protege contra a erosão, minimizando o impacto das gotas de chuva e a velocidade do escoamento superficial da água (ANDRASKI et al., 1985; TIMM et al., 2002). Além disso, tem sido avaliado quanto da palhada pode ser removida sem permitir o processo erosivo, considerando fatores como relevo, precipitação anual, sistema de preparo do solo, manejo e colheita (GRAHAM et al., 2007; WILHELM et al., 2004; SHEEHAN et al., 2004).

2.3. Colheita Sem Queima e a Palhada da Cana-de-açúcar.

A queima prévia da cana-de-açúcar é utilizada para a colheita manual, onde o cortador faz o corte braçalmente, para facilitar o trabalho e aumentar a produtividade da colheita, e para diminuir acidentes com animais peçonhentos e com as folhas da cana. Porém, esta prática traz impactos ambientais, agrícolas e sociais negativos, como emissão de gases do efeito estufa, perda de matéria orgânica, e doenças respiratórias, entre muitas outras (SCHULTZ et al, 2010; ROSSI; SCHIAVO; ATANÁZIO, 2014). Esta prática, atualmente, tem-se limitado às áreas onde o relevo não permite a colheita mecanizada.

Nos últimos 18 anos a colheita mecanizada da cana-de-açúcar deu um salto, mais que triplicou, tendo alcançado uma estabilidade a partir da safra 2016/17, como pode ser observada na Figura 3. Na safra 2024/25 o percentual estimado de colheita mecanizada é de 92,4% do total das operações em âmbito nacional, sendo que para a região Centro-Sul a estimativa é de 98,6% (CONAB, 2024). O potencial de geração de palhada para esta safra é de aproximadamente 91 milhões de toneladas e o aporte deste material interfere em toda dinâmica da cultura e do solo.

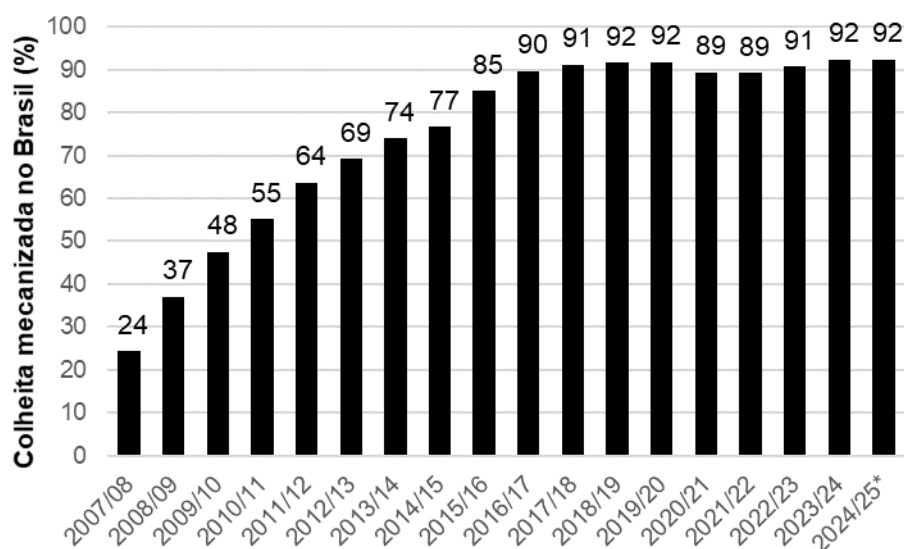


Figura 3. Área colhida com colheita mecanizada no Brasil, em percentil (%), ao longo dos últimos anos/safra (CONAB, 2024). * Estimativa em abril/2024.

Outro aspecto relevante refere-se aos nutrientes. A disponibilização dos nutrientes da palhada para a planta é afetada pela queima, sendo importante a caracterização desta condição para realização do melhor manejo da cultura. Resende et al. (2006a) observaram que com a manutenção da palhada houve aumento dos teores de N-total, magnésio e potássio, e redução dos teores de alumínio trocável, na camada superficial (0-0,2 m) do solo. Ainda, com a queima são perdidos cerca de 10 Mg ha⁻¹.ano⁻¹ de palhada, que contém diversos nutrientes, dentre os quais se destacam N (40-60 kg ha⁻¹), S (15-30 kg ha⁻¹) e C (4.500 kg ha⁻¹), (URQUIAGA et al.,1997; RESENDE et al., 2006a)

A queima do canavial é realizada com a finalidade de facilitar a colheita da cana-de-açúcar. Porém, a ausência da queimada resulta num aporte anual de 10 a 20 Mg ha⁻¹ de massa seca de palhada sobre a superfície do solo (SCHULTZ, et al., 2010). Ainda, a preservação da palhada promove vários benefícios agrônômicos como retenção de água e balanço de nutrientes no solo, aumento da diversidade de organismos no solo e mitigação da emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente CO₂, N₂O e CH₄

O avanço da colheita mecanizada tem promovido a não queima prévia do canavial da cana-de-açúcar e permitido a manutenção desta palhada sobre o solo. Com isso, o manejo verde da cana-de-açúcar inclui a deposição de grandes quantidades de palhada no solo após cada colheita, variando muito a quantidade por hectare. Este manejo influencia positivamente todo o processo produtivo da cana-de-açúcar, incluindo produtividade, manejo de fertilizantes, controle de plantas daninhas, erosão do solo e dinâmica da matéria orgânica do solo.

Os efeitos da palhada da cana-de-açúcar no solo têm sido estudados com foco no crescimento e renovação das raízes (BALL-COELHO, et al., 1993), dinâmica do nitrogênio do solo (MEIER et al., 2006), erosão do solo (ANDRADE et al., 2011), temperatura e teor de água do solo (CORRÊA et al., 2019), e estoques de carbono do solo (GALDOS et al., 2009).

Esta palhada é um material fibroso e heterogêneo compreendendo os ponteiros das plantas (os ponteiros e folhas verdes) e folhas secas (palha) (FRANCO et al., 2013). Vários estudos indicam que os canaviais contêm uma média de 8-30 Mg ha⁻¹ de massa seca de palhada (HASSUANI et al. 2005; VITTI et al., 2008; CARVALHO et al. 2013), e sua produção varia de acordo com a cultivar, estágio vegetativo, condições edafoclimáticas e práticas de manejo (HAMES et al., 2003; SANTOS et al., 2014).

Leal et al. (2013), em um levantamento da literatura, encontraram rendimentos de palhada na faixa de 7,4 – 24,3 Mg ha⁻¹ (base seca) e relação palha/colmo variando de 9,7% a 29,5%, sendo as médias encontradas, respectivamente, 14,1 Mg ha⁻¹ e 18,2%. Em avaliações de potencial, normalmente aceita-se uma faixa de 14% a 18% da proporção entre palhada e colmo.

Em geral, a palhada é composta por 54% de folhas secas e 46% de ponteiros das plantas (FRANCO et al., 2013), e o teor de umidade após a colheita gira em torno de 30-60% (MICHELAZZO; BRAUNBECK, 2008). Na época da colheita, normalmente, os ponteiros apresentam umidade variando de 60-70% enquanto as folhas secas apresentam teor de umidade em torno de 10% (FRANCO et al., 2013).

Trivelin et al. (2013), em estudo envolvendo quatro ciclos da cultura, demonstraram que as folhas secas foram responsáveis pela maior produção de fitomassa seca no sistema solo-planta. Ao longo destes quatro anos, em média, o aporte de fitomassa foi de 8,7 Mg ha⁻¹.ano⁻¹ via folhas secas e 4,0 Mg ha⁻¹.ano⁻¹ via ponteiros, totalizando 12,7 Mg ha⁻¹.ano⁻¹. A alta entrada de resíduos pós-colheita gerados pelos sistemas de colheita verde em cana-de-açúcar indica o potencial de aumento dos estoques de carbono orgânico do solo ao longo dos anos, conforme indicado por Galdos et al. (2009).

Em média, a palhada da cana-de-açúcar apresenta concentrações dos nutrientes N, P e K variando de 4,4 a 5,4; 0,1 a 0,7; e 2,8 a 10,8 g kg⁻¹, respectivamente (OLIVEIRA et al., 1999; FORTES et al., 2012; TRIVELIN et al., 2013; ANDREOTTI et al.; 2015).

Existe uma grande variação na quantidade de resíduos da cultura em pé e o que fica no solo após a colheita. Os dados apresentados na literatura e algumas vezes as informações apresentadas não permitem uma comparação completa devido à falta de detalhes sobre a metodologia, cultivares de cana-de-açúcar, produtividade e teor de umidade da palhada (LEAL et al., 2013).

Com relação às características da palhada é importante conhecer as análises. Hassuani et al. (2005) nas Tabela 1 apresentam as análises para os três principais componentes da palhada: folhas secas, folhas verdes e palmito. Essas separações foram feitas porque esses componentes possuem características diferentes e a participação de cada um na composição final da palhada depende do método de coleta e procedimento de colheita. Estes autores observaram uma contribuição média de 62%, 31% e 7% para folhas secas, folhas verdes e palmito, respectivamente, em base seca.

Tabela 1. Análise da palhada de cana-de-açúcar (HASSUANI et al., 2005).

| Determinação | Folhas secas | Folhas verdes | Palmito |
|--------------------------------|---------------------------------|---------------|---------|
| | % | | |
| Teor de umidade | 13,5 | 67,7 | 82,3 |
| Cinza | 2,7 | 3,7 | 4,3 |
| Carbono fixo | 11,6 | 15,7 | 16,4 |
| Matéria volátil | 84,5 | 80,6 | 79,3 |
| Carbono | 46,2 | 45,7 | 43,9 |
| Hidrogênio | 6,2 | 6,2 | 6,1 |
| Azoto | 0,5 | 1 | 0,8 |
| Oxigênio | 43 | 42,8 | 44 |
| Enxofre | 0,1 | 0,4 | 0,1 |
| Cloreto | 0,1 | 0,4 | 0,7 |
| | Conteúdo (g kg ⁻¹) | | |
| P ₂ O ₅ | 0,5 | 2 | 2,5 |
| K ₂ O | 2,7 | 13,3 | 29,5 |
| CaO | 4,7 | 3,9 | 2,6 |
| MgO | 2,1 | 2,2 | 2,5 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,9 | 0,5 | 0,2 |
| Al ₂ O ₃ | 3,5 | 1,4 | 0,5 |
| | Conteúdo (mg kg ⁻¹) | | |
| CuO | <0,6 | <0,6 | <0,6 |
| ZnO | 9 | 15 | 35 |
| MnO ₂ | 169 | 120 | 155 |
| Na ₂ O | 123 | 128 | 119 |

Os três componentes da palhada, folhas secas, folhas verdes e ponteiros, apresentam resultados semelhantes, exceto para o teor de umidade. No entanto, diferem quanto à composição mineral final (HASSUANI et al., 2005).

As diferenças mais importantes entre os componentes da palhada foram quanto aos teores de fósforo e zinco, menores nas folhas secas. O de potássio muito maior nos ponteiros; os de cálcio maior nas folhas secas e verdes e; de ferro e alumínio muito maiores nas folhas secas.

A colheita da cana verde é uma realidade predominante e o aporte da palhada sob o solo após a colheita demanda muitos ajustes nas práticas de manejo da cana-de-açúcar para evitar impactos negativos. As implicações no armazenamento de água no solo, ciclagem de nutrientes e controle da erosão do solo são evidentes, porém necessitam da integração com um conjunto complexo de fatores que podem interferir nos resultados do cultivo da cana-de-açúcar.

2.3.1. Disponibilidade de água do solo sob a palhada

A disponibilidade de água é fundamental para o crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando a absorção de nutrientes pelas raízes e o suprimento de água da planta em resposta à demanda atmosférica (LIU et al., 2010). Quando a palhada da cana-de-açúcar é depositada sobre o solo, ocorre uma redução na evaporação direta da superfície do solo (ZRIBI

et al., 2015), o aumento do carbono orgânico do solo (BORDONAL et al., 2018a) e melhora de sua qualidade física (CASTIONE et al., 2018), contribuindo significativamente para a conservação da umidade do solo (MEIER et al., 2002).

Embora a cobertura vegetal sobre o solo reduza a evaporação da água, sua eficácia é limitada pela espessura e densidade da cobertura, pois geralmente apresenta alta porosidade que permite rápida difusão e correntes de ar (LEAL et al., 2013). Embora a taxa de evaporação inicial sob cobertura morta seja reduzida, a economia de água é mais notável em condições de chuvas frequentes. No entanto, em períodos de estiagem prolongados, a cobertura morta pode manter a superfície do solo úmida, prolongando o primeiro estágio de evaporação, sem resultar em economia líquida de água (HILLEL, 1998).

A introdução da colheita mecânica da cana sem queima aumentou a adição de palhada na superfície do solo, o que reduz a evaporação do solo, aumentando a disponibilidade de água para a transpiração das plantas e, conseqüentemente, melhorando a eficiência do uso da água (BALL-COELHO et al., 1993; CHAPMAN et al., 2001). Como a cana-de-açúcar cobre completamente a superfície dos solos, por cerca de 60 a 90 dias após a colheita, a cobertura morta da palhada afeta principalmente a evapotranspiração durante os primeiros 90 dias (LEAL et al., 2013).

É importante notar que a demanda hídrica da cana-de-açúcar é mais significativa durante os estágios iniciais do ciclo, como brotação, perfilhamento e estabelecimento, enquanto durante o período de crescimento vegetativo, a demanda por água diminui (SCARPARE, 2011). Esses padrões foram confirmados por ensaios de campo, onde a perda de água foi semelhante para cana verde (não queimada) e queimada no estágio de crescimento tardio, enquanto a perda de água do solo no estágio inicial de crescimento sob cana verde foi apenas 32% da cana queimada (CHAPMAN et al., 2001).

Estudos de campo realizados por Ball-Coelho et al. (1993) no Brasil mostraram maior teor de água do solo em áreas com cobertura morta, o que aparentemente estava relacionado ao aumento da atividade radicular e fúngica na presença da camada de palhada. Além disso, a produtividade da cana-de-açúcar colhida da primeira safra de soca foi significativamente maior nas áreas com cobertura morta do que no tratamento de cana queimada (54 versus 37 Mg ha⁻¹) devido ao aumento da retenção de água no solo e à redução do crescimento de plantas daninhas sob a cobertura morta.

Simulações realizadas por Thorburn et al. (2002) indicaram que a produção de colmos de cana-de-açúcar na África do Sul foi maior no manejo não queimado devido ao aumento do teor de água no solo. Shrivastava, Shrivastava e Solomon (2011) sugeriram que o uso de palhada de cana-de-açúcar, com cerca de 0,1 m de espessura de cobertura espalhada entre as linhas, aumentava a eficácia da irrigação, reduzindo as perdas por evaporação da superfície do solo. A manutenção da palhada resultou em aumento de produtividade de cerca de 10% em sistemas de irrigação.

Corrêa et al. (2019) observaram que a presença de palhada reduziu as perdas de água do solo por evaporação e a incidência direta de radiação solar, resultando em melhor produtividade da cultura, especialmente nas fases iniciais de crescimento da cana-de-açúcar. Peres et al. (2010) quantificaram uma redução de 53,3% na perda de água do solo devido à cobertura morta.

Em resumo, a palhada de cana-de-açúcar sobre o solo e contribui para o armazenamento de água, melhorando sua disponibilidade para as plantas e aumentando a eficiência do uso da água, especialmente durante os estágios iniciais de crescimento da cultura. Este benefício é observado em uma variedade de condições climáticas e de manejo, tornando a palhada uma prática agrícola valiosa para a sustentabilidade dos canaviais.

2.3.2. Disponibilidade, ciclagem de nutrientes e conservação do solo sob a palhada

Há uma série de estudos que investigaram a ciclagem de nutrientes na cana-de-açúcar, abordando tanto a liberação de nutrientes da palhada quanto a dinâmica de decomposição (ABRAMO FILHO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1999; FORTES et al., 2012; THORBURN et al., 2012; TRIVELIN et al., 2013). Em um estudo pioneiro realizado no Brasil, Abramo Filho et al. (1993) constataram que apenas 60% do volume inicial de palhada foi decomposto ao longo de uma safra. Taxas de decomposição anuais mais elevadas, variando de 70% a 98%, foram observadas em outros estudos no Brasil (OLIVEIRA et al., 1999; FORTES et al., 2012) e na Austrália (ROBERTSON; THORBURN, 2007). Em geral, a palhada de cana-de-açúcar é caracterizada por uma taxa lenta de decomposição, atribuída às suas altas concentrações de lignina e polifenóis, bem como à alta razão C:N, que pode variar de 70:1 a 120:1 (GAVA et al., 2005; MEIER et al., 2006; ROBERTSON; THORBURN, 2007).

Trivelin et al. (2013) observaram que, ao longo de quatro anos, a quantidade média de N e K₂O acumulada nos resíduos culturais foi de aproximadamente 57 kg ha⁻¹ e 120 kg ha⁻¹, respectivamente. Destes, aproximadamente 31 kg ha⁻¹ de N e 85 kg ha⁻¹ de K₂O foram acumulados nos ponteiros, representando uma proporção considerável das taxas anuais normalmente aplicadas em áreas de replantio – de 60 a 120 kg ha⁻¹ de N e de 90 a 150 kg ha⁻¹ de K₂O (CANTARELLA et al. 2022). No entanto, apenas entre 3% e 15% do N contido na palhada da cana-de-açúcar é recuperado pela cultura durante o ciclo seguinte (GAVA et al., 2003; ROBERTSON; THORBURN, 2007; FORTES et al., 2013). Quanto ao potássio, Oliveira et al. (1999) observaram que 85% da quantidade total desse nutriente foi liberada após um ano, equivalente à aplicação de 56 kg ha⁻¹ de K₂O.

Vitti et al. (2010) indicaram que aproximadamente 40-60 kg ha⁻¹ de K₂O podem ser economizados do fertilizante potássico aplicado em áreas com palhada de cana-de-açúcar. Franco et al. (2013) sugeriram que tais economias podem ser ainda maiores, considerando que a palhada de cana-de-açúcar acumula cerca de 80 kg ha⁻¹ de K (equivalente a 96 kg ha⁻¹ de K₂O). O potássio não faz parte dos componentes estruturais da parede celular da planta de cana-de-açúcar, nem forma compostos dentro da planta (MEURER, 2006), portanto é facilmente liberado para o solo em uma forma iônica que contribui para a nutrição da planta a curto prazo.

Em um estudo de longo prazo das lavouras de cana-de-açúcar, Fortes et al. (2012) observaram a liberação de 92% do K, 70% do Mg, 65% do S, 54% do Ca, 31% do N e 23% do P contidos em resíduos pós-colheita (palhada) após três anos no campo. A alta relação C/N da palhada resulta em uma imobilização significativa de N devido ao aumento da atividade microbológica causada pelo aporte de energia no solo, levando a baixas taxas de liberação de N a curto prazo (MEIER et al., 2006).

A recuperação de N pela cana-de-açúcar a partir de resíduos de culturas foi avaliada usando técnicas de traçador de N e verificou-se que variou de 3% a 15% (BASANTA et al., 2003; FORTES et al., 2013; GAVA et al., 2003; VITTI et al., 2010; VITTI et al., 2011). Fortes et al. (2013) obtiveram uma recuperação de palhada - N acumulado em um período de três anos variando de 17% a 31%, enquanto Basanta et al. (2003) encontraram 6% após duas temporadas.

O efeito da retenção de palhada na mineralização líquida de N para canaviais australianos foi simulado por Vallis et al. (1996), concluindo que o sistema de retenção de palhada aumenta gradualmente a mineralização do N, atingindo o equilíbrio após 40 anos com o fornecimento de aproximadamente 40 kg ha⁻¹.ano⁻¹ de N. Além disso, a palhada pode fornecer outros nutrientes ao ecossistema solo-planta. Trinta anos após a implantação do sistema de cana crua, há uma redução potencial na adubação nitrogenada de 36 kg ha⁻¹.ano⁻¹, para a palhada sobre o solo (TRIVELIN et al., 2013).

Mkhonza e Muchaonyerwa (2023) observaram que a cana crua aumenta o armazenamento de carbono orgânico e a atividade microbiana quando comparada à cana

queimada. Os estoques de carbono orgânico no solo foram significativamente menores com a queima pré-colheita do que com a retenção da cana crua, com redução de 24,6%. Esses resultados sugerem que a cana crua pode contribuir significativamente para a produção sustentável da cana-de-açúcar.

O sistema da colheita da cana-de-açúcar com a manutenção da palhada no solo tem impacto nos componentes químicos, na mineralização e na formação de matéria orgânica, além de promover a fixação de fósforo e favorecer a maior disponibilidade de nutrientes como do potássio. O resíduo vegetal depositado também é considerado um melhorador do solo e uma fonte de nutrientes que contribui para aumentar a produtividade do solo (CANELLAS et al., 2003). Em áreas de planície costeira, os estudos realizados por Mendoza et al. (2000) mostraram maiores valores para magnésio e capacidade de troca catiônica no plantio sem queima em três profundidades diferentes e após cinco ciclos, enquanto os níveis de fósforo e potássio foram mais elevados na cana-de-açúcar queimada.

Diversos estudos demonstram que a conservação da palhada sobre o solo protege contra a erosão, minimizando o impacto das gotas da chuva e a velocidade do escoamento superficial da água (TIMM et al., 2002; MACEDO, 2005; ANDRADE et al., 2011).

Embora a erosão do solo na cultura da cana-de-açúcar seja geralmente limitada em comparação com culturas convencionais, como milho e soja, as perdas de solo podem variar dependendo de fatores como declividade, pluviosidade anual, sistema de manejo e colheita, entre outros. Estudos, como Maria e Dechen (1998), consideraram os efeitos de técnicas de plantio direto e práticas de conservação do solo, como semeadura em contorno, sulcos, escarificação e uso de terraços de absorção, além da colheita sem queima da palha.

Aumentar a colheita mecanizada (sem queima da palha) reduz a erosão do solo devido ao efeito de cobertura da palhada. Além disso, o manejo da palhada no solo influencia as taxas de erosão. Estudos indicam que a palhada na superfície do solo resulta em menores taxas de erosão e escoamento da precipitação (MACEDO, 2005).

Em relação às perdas de nutrientes devido à erosão do solo em canaviais após colheita com queima do canavial, Izidorio et al. (2005) encontraram perdas significativas de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Andrade et al. (2011) quantificaram os impactos econômicos e técnicos das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar no Brasil, concluindo que as maiores perdas ocorreram em áreas de cana-de-açúcar queimada. Comparativamente, a cana-de-açúcar não queimada teve custo de produção menor e retorno econômico maior.

A presença de palhada da cana-de-açúcar sobre o solo desempenha um papel importante na redução da erosão e, conseqüentemente, na diminuição da perda de nutrientes, tornando sua conservação uma vantagem significativa na disponibilidade de nutrientes para as plantas.

2.4. Manejo e Fitossanidade da Cultura

2.4.1. Doenças da cana-de-açúcar

Dentre os diversos fatores que impactam na produtividade da cultura da cana-de-açúcar, a ocorrência e a severidade de doenças destacam-se como causas significativas de decréscimo na produtividade, sendo inclusive o principal motivo para a substituição de cultivares (SANTOS, 2004; MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 2005). As doenças são resultado da interação entre patógenos, hospedeiros e ambiente, sendo que o clima afeta diretamente o desenvolvimento das doenças (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017). As variações climáticas ao longo do ano, como temperatura, precipitação e umidade, influenciam a incidência de doenças que podem ser mais prevalentes em determinadas épocas do ano. Estas variações têm ficado cada vez mais intensas com as mudanças climáticas, tornando a

sazonalidade uma característica cada vez mais frequente e importante na produção da cana-de-açúcar e controle de doenças.

Diferentes regiões podem estar sujeitas a doenças distintas em função das condições ambientais específicas. Tipo de solo, clima e práticas agrícolas locais também são características específicas de cada região que podem influenciar a cultura da cana-de-açúcar e as doenças. Compreender a sazonalidade e regionalidade é fundamental para a gestão da cultura da cana-de-açúcar. Adaptações no manejo e controle de doenças, considerando esses fatores, são essenciais para otimizar a produtividade e a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar (BORÉM; MIRANDA; FRITSCHÉ-NETO, 2017).

Com a expansão para áreas de cerrado a partir de 1975, e a criação do Programa Nacional do Alcool – PROÁLCOOL, criado pelo Governo Federal (Decreto 76.593 de 14/11/1975), intensificaram-se as pesquisas sobre as pragas e doenças em lavouras de cana-de-açúcar. Como exemplo de doenças clássicas na cultura, pode-se citar a gomose no século XIX, causada por *Xanthomonas axonopodis* pv. *vasculorum*, do mosaico em 1922, causado pelo vírus do mosaico da cana-de-açúcar (Sugarcane mosaic virus - SCMV) e do carvão em 1947, causada por *Sporisorium scitaminea* (= *Sporisorium scitaminea*) (LANDELL et al., 2003).

No mundo, são conhecidas e relatadas 216 doenças na cana-de-açúcar. No Brasil, até 1998, já haviam sido relatadas 58, causadas por fungos, bactérias, vírus e micoplasmas (SANGUINO et al., 1987). Segundo Matsuoka e Maccheroni (2018), nove doenças podem ser consideradas importantes para os programas de melhoramento e para os produtores de cana-de-açúcar no Brasil. São elas: escaldadura das folhas, causada por *Xanthomonas albilineans*; raquitismo das soqueiras, causada por *Leifsonia xyli*; mosaico, causado pelo vírus do mosaico da cana-de-açúcar (SCMV); carvão da cana, causado por *Sporisorium scitamineum*; estria vermelha, causada por *Pseudomonas rubrilineans*; ferrugem marrom, causada por *Puccinia melanocephala*; podridão vermelha, causada por *Colletotrichum falcatum*; podridão abacaxi, causada por *Ceratocystis paradoxa*; e ferrugem alaranjada, causada por *Puccinia kuehnii*. A principal estratégia para o controle destas doenças é a utilização e cultivares resistentes. Portanto, a seleção de genótipos produtivos e resistentes ou tolerantes às principais doenças da cultura constitui um dos principais desafios dos programas de melhoramento (MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 2005). Outros métodos de controle incluem uso de mudas sadias, tratamento térmico de mudas, escolha do local e época de plantio, adubação balanceada, controle de pragas como a broca da cana-de-açúcar e pulgões, realização de *roguing* e desinfecção de ferramentas e máquinas de corte (SIMON et al., 2016).

2.4.2. Efeito do sistema de preparo do solo nas doenças na cana-de-açúcar

São escassos os estudos que avaliam o impacto do sistema de preparo do solo na incidência e severidade das doenças na cana-de-açúcar.

Na Austrália, Crof e Saunders (1996) observaram uma diminuição na densidade de esporos de *Pachymetra chaunorhiza*, causador da síndrome da raiz podre, pelo plantio direto na entrelinha, indicando que esta técnica contribui para o controle da doença. No entanto, Braunack et al. (2012) não observaram diferenças significativas entre os diferentes sistemas de preparo do solo na densidade de esporos deste mesmo patógeno.

Nechet, Ramos e Halfeld-Vieira (2021) estudaram uma área com histórico de 20 anos de cultivo com cana-de-açúcar, com colheita 100% mecanizada e não queimada nos últimos 8 anos, avaliando três tratamentos de preparo do solo (convencional, reduzido e plantio direto) e duas épocas de plantio (cana de ano e meio e cana de ano). Constataram que geralmente não há influência dessas práticas na incidência de doenças foliares da cana-de-açúcar. As doenças avaliadas restringiram-se à mancha anelar e à podridão vermelha, não havendo diferenças significativas na severidade destas doenças entre os diferentes tratamentos de preparo do solo.

2.4.3. Efeito do sistema de colheita sobre as doenças da cana-de-açúcar

As plantações de cana-de-açúcar geram uma grande quantidade de restos vegetais que cobrem o solo, e técnicas conservacionistas estão sendo cada vez mais utilizadas para diminuir o impacto ambiental desse tipo de cultivo. No entanto, é importante considerar que essas práticas podem afetar a sobrevivência de fitopatógenos e o desenvolvimento de doenças e, consequentemente, o manejo futuro da cultura (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2013; SILVA et al., 2015).

No Brasil, a cana-de-açúcar é afetada por diferentes tipos de podridões, tanto no caule quanto nas raízes, além de doenças que afetam as folhas. A gravidade e o impacto econômico de cada enfermidade variam de acordo com as diferentes cultivares de cana-de-açúcar e os métodos de produção adotados, bem como das condições climáticas predominantes em cada área de cultivo (TOKESHI; RAGO, 2016). O impacto das doenças na produtividade da cana-de-açúcar é possível graças à utilização de genótipos resistentes e ao uso de material propagativo sadios e sem inóculo de fitopatógenos (URASHIMA; GRACHET, 2012; URASHIMA et al., 2020, NECHET et al., 2021). No entanto, as mudanças de práticas de manejo por outras mais conservadoras podem impactar na eficácia do método de controle e alterar a gravidade de cada doença em questão. Diante dessa situação, variações nas condições ambientais podem resultar no aumento da prevalência de doenças que anteriormente eram consideradas menos importantes.

2.5. Micronutrientes do Solo

2.5.1. Adubação na cultura da cana-de-açúcar no Brasil: Tendências e necessidades nutricionais

A adubação na cultura da cana-de-açúcar no Brasil tem sido objeto de estudo e análise ao longo dos anos, refletindo não apenas nas práticas agrícolas, mas também nas tendências do mercado de fertilizantes. O crescimento quantitativo dos fertilizantes comercializados, conforme mostrado na Figura 4, tem sido uma tendência nos últimos cinco anos, com um aumento geral de 24,45%. No entanto, é importante observar uma exceção nesse padrão: a redução de 10,4% em fertilizantes entregues ao mercado entre 2022 e 2021, atribuída a uma queda nas importações de fertilizantes intermediários, e uma retomada de crescimento em 2023 com um aumento de 11,6% em relação a 2022 (Tabela 2)(ANDA, 2023).

Tabela 2. Total de fertilizantes entregues ao mercado brasileiro em toneladas de produto (ANDA, 2023).

| Total do | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2023/22 |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|
| Ano | 36 238 381 | 40 564 138 | 45 855 071 | 41 077 519 | 45 825 687 | 11,6% |

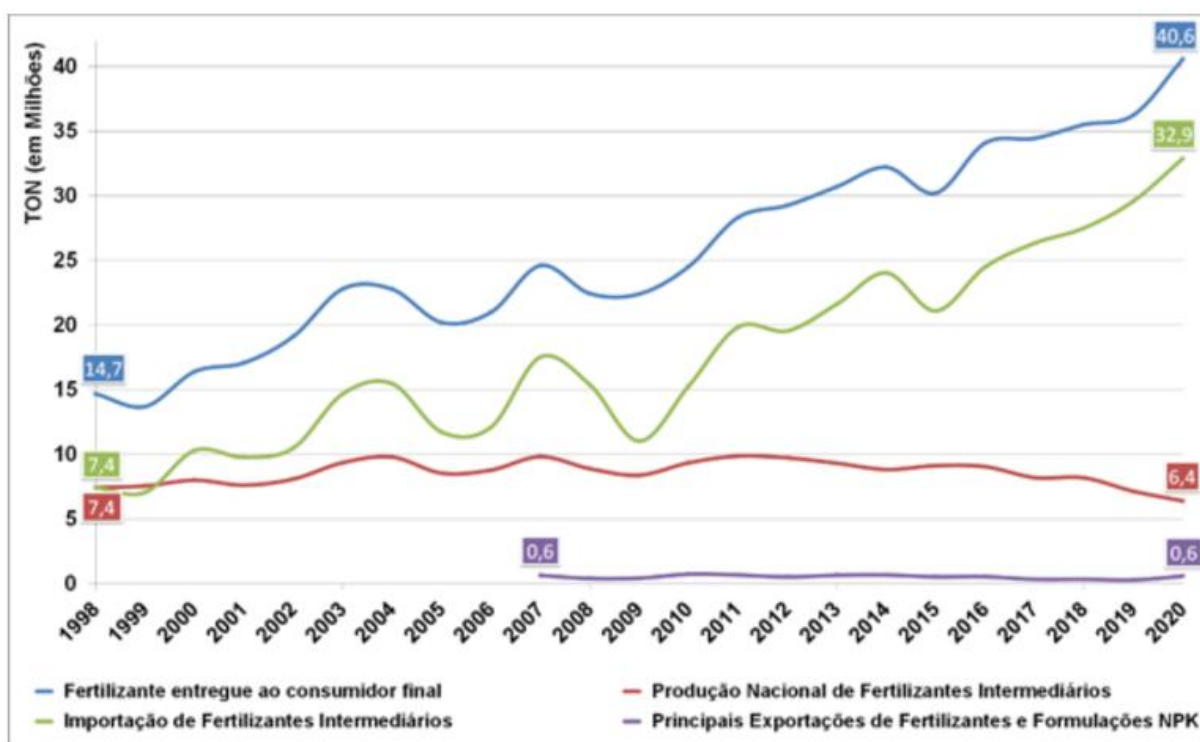


Figura 4. Mercado de fertilizantes no Brasil (em volume) (BRASIL, 2021)

A cana-de-açúcar, por ser uma das principais culturas do Brasil, consome cerca de 10,4% de todos os adubos comercializados no país, o que equivale a, aproximadamente, 4,8 milhões de toneladas de fertilizantes anualmente (Figura 5) (GlobalFert, 2024).

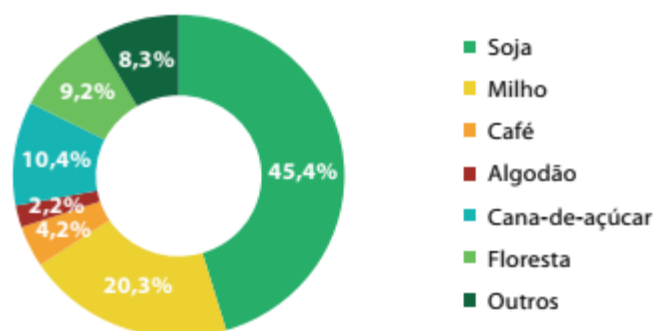


Figura 5. Consumo de fertilizantes por cultura em 2024. Fonte: GlobalFert (2024)

Essa demanda considerável por fertilizantes na cultura da cana-de-açúcar é justificada pela alta produção de biomassa por unidade de área e, conseqüentemente, pela elevada extração de nutrientes, conforme evidenciado por diversos estudos (VITTI et al., 2011; CALHEIROS et al., 2012; TRIVELIN et al., 2013; MISHRA et al., 2014). O suprimento adequado de nutrientes, incluindo macro e micronutrientes, é essencial para garantir a produtividade e a qualidade da cultura, como destacado por Santana (2019).

Ao longo das décadas, diversos estudos têm sido conduzidos para determinar as necessidades nutricionais específicas da cana-de-açúcar. Malavolta e Haag (1964) realizaram estudos pioneiros que estimaram as quantidades de nutrientes absorvidos pela cultura para a produção de 100 toneladas de colmo. Posteriormente, o PLANALSUCAR (1975) conduziu

ensaios de campo que forneceram novas informações sobre as demandas nutricionais da cultura, considerando diferentes tipos de solos.

Segundo Orlando Filho (1983), a demanda nutricional média da cultura para produzir 100 toneladas de colmo é a informada na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3. Quantidades de macronutrientes e micronutrientes exportadas pela parte aérea média da cana planta e 1ª soqueira (Orlando Filho, 1993; Malavolta, 1990).

| Partes da planta | Macronutrientes | | | | | |
|------------------|-----------------------|-----|------|------|-----|-----|
| | N | P | K | Ca | Mg | S |
| | kg 100t ⁻¹ | | | | | |
| Colmos | 83 | 11 | 78 | 47 | 33 | 26 |
| Folhas | 60 | 8 | 96 | 40 | 16 | 18 |
| Total | 143 | 19 | 174 | 87 | 49 | 44 |
| | Micronutrientes | | | | | |
| | B | Cu | Fe | Mn | Zn | Mo |
| | g 100 t ⁻¹ | | | | | |
| Colmos | 149 | 234 | 1393 | 1052 | 369 | 1 |
| Folhas | 86 | 105 | 5525 | 1420 | 223 | 1 |
| Total | 235 | 339 | 6918 | 2472 | 592 | 1.5 |

A diversidade genética das cultivares de cana-de-açúcar e as condições específicas de ambiente de cada região produtora devem ser consideradas para uma abordagem detalhada do manejo da fertilidade do solo e demanda nutricional da cultura. Oliveira et al. (2011) realizaram estudos abrangentes com onze cultivares de cana-de-açúcar, demonstrando variações nas necessidades nutricionais dessas plantas. As diferenças observadas foram atribuídas às características genéticas das cultivares e ao ambiente de produção em que estavam inseridas (Tabela 4) (OLIVEIRA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011).

Tabela 4. Extração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio das diferentes partes da planta por 100 toneladas de cana-de-açúcar em diferentes cultivares de cana-de-açúcar (Oliveira et al, 2010; Oliveira et al, 2011).

| Parte da planta | SP79- 1011 | RB81 3804 | RB86 3129 | RB87 2552 | RB94 3365 | RB72 454 | RB76 3710 | SP78- 4764 | SP81- 3250 | RB86 7515 | RB92 579 | Média |
|--------------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------|
| | ----- kg 100t ----- | | | | | | | | | | | |
| | Nitrogênio | | | | | | | | | | | |
| Colmo | 54,7 | 20,5 | 44,1 | 10,1 | 44,1 | 14,1 | 42,3 | 68,0 | 72,3 | 72,5 | 65,4 | 47,3 |
| Folha | 5,4 | 17,9 | 34,8 | 18,5 | 32,0 | 40,0 | 22,5 | 27,4 | 9,5 | 41,9 | 25,4 | 19,6 |
| Ponteiro | 31,6 | 14,7 | 29,3 | 25,7 | 15,5 | 25,6 | 15,5 | 16,7 | 22,2 | 13,2 | 10,7 | 25,0 |
| Total | 91,8 | 53,3 | 108,3 | 54,3 | 91,7 | 79,7 | 80,4 | 112,2 | 104,1 | 127,7 | 101,6 | 92,1 |
| Fósforo | | | | | | | | | | | | |
| Colmo | 9,3 | 10,8 | 10,2 | 10,1 | 4,7 | 6,1 | 7,8 | 8,2 | 6,6 | 5,1 | 6,3 | 7,6 |
| Folha | 1,4 | 2,3 | 1,9 | 1,8 | 4,8 | 2,6 | 2,3 | 2,0 | 2,5 | 3,4 | 2,1 | 2,5 |
| Ponteiro | 5,2 | 3,7 | 4,0 | 4,0 | 3,2 | 3,3 | 2,7 | 1,0 | 3,1 | 1,5 | 1,4 | 2,9 |
| Total | 15,9 | 16,8 | 16,1 | 15,9 | 12,7 | 12,1 | 12,8 | 11,1 | 12,2 | 10,0 | 9,8 | 13,1 |
| Potássio | | | | | | | | | | | | |
| Colmo | 165,1 | 130,9 | 88,2 | 117,0 | 92,2 | 85,7 | 103,4 | 92,4 | 101,4 | 86,1 | 37,8 | 96,9 |
| Folha | 38,6 | 26,9 | 39,4 | 27,8 | 71,2 | 64,4 | 42,6 | 46,9 | 37,5 | 42,7 | 27,1 | 42,0 |
| Ponteiro | 54,3 | 26,3 | 37,4 | 41,4 | 24,6 | 29,4 | 24,6 | 13,9 | 35,4 | 13,2 | 18,0 | 28,3 |
| Total | 258,1 | 184,2 | 165,2 | 186,4 | 188,1 | 179,2 | 170,7 | 153,3 | 174,3 | 142,0 | 83,0 | 167,3 |
| Cálcio | | | | | | | | | | | | |
| Colmo | 129,7 | 90,2 | 127,0 | 98,6 | 99,8 | 77,5 | 75,5 | 97,4 | 72,5 | 97,0 | 103,8 | 96,0 |
| Folha | 7,7 | 8,1 | 9,2 | 8,1 | 16,3 | 9,5 | 10,0 | 16,6 | 12,8 | 28,2 | 11,5 | 12,6 |
| Ponteiro | 15,0 | 10,4 | 9,7 | 12,6 | 3,6 | 9,8 | 6,1 | 2,7 | 11,5 | 2,5 | 4,0 | 7,8 |
| Total | 152,6 | 108,8 | 145,9 | 119,3 | 119,7 | 96,8 | 91,6 | 116,7 | 96,9 | 127,7 | 119,3 | 116,5 |
| Magnésio | | | | | | | | | | | | |
| Colmo | 26,1 | 32,3 | 36,3 | 36,6 | 35,2 | 31,7 | 29,7 | 34,7 | 32,4 | 37,6 | 38,7 | 33,9 |
| Folha | 3,7 | 9,0 | 4,8 | 6,2 | 11,3 | 10,1 | 7,2 | 8,9 | 5,7 | 9,8 | 6,5 | 7,3 |
| Ponteiro | 5,9 | 4,2 | 4,1 | 4,0 | 3,0 | 3,8 | 3,0 | 2,2 | 4,7 | 0,9 | 2,4 | 3,4 |
| Total | 35,7 | 42,0 | 45,2 | 46,9 | 49,6 | 45,5 | 40,0 | 45,9 | 42,8 | 48,4 | 47,6 | 44,7 |

Segundo Quaggio et al. (2022), para cada 100 toneladas de colmo colhidos são exportados 90 kg de N, 35 kg de P₂O₅ e 130 kg K₂O, e 120 g B, 260 g Cu, 1.400 g Fe, 970 g Mn, 160 g Mo, e 350 g Zn por hectare.

Além dos macronutrientes, a importância dos micronutrientes na nutrição da cana-de-açúcar tem sido cada vez mais reconhecida. No entanto, há uma lacuna significativa nos estudos sobre micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar, especialmente em ambientes de campo. Algumas pesquisas demonstraram respostas positivas da cultura à aplicação de micronutrientes, enquanto outras não observaram resultados significativos (MELLIS; QUAGGIO; CANTARELLA, 2008).

De acordo com Fageria et al. (2002) a deficiência de micronutrientes está muito generalizada por todo o mundo, devido ao aumento na demanda de micronutrientes por práticas mais intensivas de manejo e adaptação de cultivares altamente produtivos, que podem ter maior exigência em micronutrientes; aumento na produção de culturas em solos marginais com baixos níveis de nutrientes essenciais; maior uso de fertilizantes concentrados e com menor quantidade

de micronutrientes; diminuição no uso de esterco de animais, de compostos e de resíduos de culturas, o uso de solos com baixas reservas naturais, e envolvimento de fatores naturais e antropogênicos que limitam a adequada disponibilidade para as plantas e criam desequilíbrios entre os nutrientes.

A importância dos micronutrientes para a cultura da cana-de-açúcar é evidenciada quando se observam as quantidades extraídas dos mesmos. São quantidades relativamente baixas quando comparadas à extração de macronutrientes, porém de fundamental importância para o desenvolvimento da cultura. Reduções na produtividade e até morte de plantas são consequências naturais advindas de desarranjos nos processos metabólicos, ocasionados pela carência de micronutrientes (ORLANDO FILHO, 1983).

Teores adequados de micronutrientes no solo para a cana-de-açúcar foram apresentados por Malavolta (1990), sendo para boro entre 0,4 - 0,6 mg kg⁻¹ extraído em água quente, cobre entre 1,0 - 0,8 mg kg⁻¹, ferro entre 40 - 80 mg.kg⁻¹, manganês entre 20 - 40 mg kg⁻¹, estes três extraídos com Mehlich⁻¹, e molibdênio entre 0,08 - 0,12 mg kg⁻¹, extraído com oxalato de amônio pH 3,3, e zinco 0,9 - 1,2 mg kg⁻¹, extraído com HCl 0,7 mol L⁻¹.

Em São Paulo foi proposto, em função da análise do solo para adubação mineral de plantio, as doses constantes na Tabela 5 para os micronutrientes boro, cobre, manganês e zinco (QUAGGIO et al, 2022).

Tabela 5. Recomendação de micronutrientes para cana-de-açúcar em função da análise de solo (QUAGGIO et al, 2022).

| B ⁽¹⁾ | | Cu ⁽²⁾ | | Mn ⁽²⁾ | | Zn ⁽²⁾ | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Teor no solo | Dose a aplicar | Teor no solo | Dose a aplicar | Teor no solo | Dose a aplicar | Teor no solo | Dose a aplicar |
| mg kg ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | kg ha ⁻¹ | mg kg ⁻¹ | kg ha ⁻¹ |
| <0,2 | 2 | <0,3 | 5 | <1,2 | 5 | <0,6 | 10 |
| 0,2-0,6 | 1 | 0,3-0,8 | 0 | 1,2-5,0 | 0 | 0,6-1,2 | 5 |
| >0,6 | 0 | >0,8 | 0 | >5,0 | 0 | >1,2 | 2 |

(¹) Extração com água quente; (²) Extração com DTPA-TEA a pH 8,5.

Os trabalhos com micronutrientes na cana-de-açúcar no Brasil, principalmente realizados a campo, são poucos, sendo que em alguns casos são observadas respostas a aplicação de micronutrientes e em outros isso não ocorre.

Marinho e Albuquerque (1981), em ensaios conduzidos em Alagoas, obtiveram aumento de 14 a 24% na produtividade com a aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no sulco de plantio.

Alvarez e Wutke (1963), utilizando 1 kg ha⁻¹ de Boro no solo e Malavolta (1990), com duas aplicações foliares de 0,175 kg ha⁻¹ de B, conseguiram aumentos de produtividade da ordem de 18% para o ferro. Verificaram, ainda, que adições de 2 kg ha⁻¹ de Fe proporcionaram um aumento de 9% na produtividade de cana-de-açúcar. Também observaram resposta de até 21% para adição de 0,2 kg ha⁻¹ de Mo no sulco de plantio.

Em solos de tabuleiro em Pernambuco, foi verificado que 5 kg ha⁻¹ de Cu, como sulfato de cobre, foram suficientes para elevar a produtividade média (cana-planta e duas soqueiras) em 13 ton ha⁻¹ (IAA-PLANALSUCAR, 1984).

Já, Azeredo e Bolsanello (1981) para Manganês obtiveram aumento de até 27 % na produtividade cana-planta com o uso de 5 kg ha⁻¹ de Mn no sulco e um aumento de 10% com pulverização foliar de uma solução com 0,1 g L⁻¹ de Molibdênio.

O aumento da produtividade dos canaviais, que resulta em mais nutrientes exportados dos solos cultivados, junto com o uso de fertilizantes mais concentrados e com menos

micronutrientes e a exploração de solos arenosos e pobres em matéria orgânica e em micronutrientes têm gerado muito questionamento quanto à necessidade de se adicionar micronutrientes no manejo da adubação para a cana-de-açúcar. A verdade é que existem poucos estudos sobre micronutrientes em plantações de cana-de-açúcar, e não sabemos ao certo como ela reage à adição desses nutrientes (ADORNA, 2011).

Estudos sobre respostas da cana-de-açúcar aos micronutrientes realizados por Mellis et al. (2009), onde avaliaram a resposta da cana-planta a B, Cu, Zn, Mn e Mo, em uma rede de ensaios conduzidos em oito locais, em importantes regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo tiveram grande variação na amplitude de resposta da cana-de-açúcar aos micronutrientes, com ganho médio de produtividade de 17,6% na produção de colmos. Embora tenham sido observadas respostas positivas da cana-de-açúcar a todos os micronutrientes estudados, elas foram mais frequentes e intensas para o Zn e o Mo. A aplicação de micronutrientes não afetou significativamente a qualidade industrial da cana-de-açúcar, porém, devido ao aumento na produção de colmos, os pequenos incrementos de ATR obtidos com a aplicação de Zn, Cu, Mn e Mo, promoveram aumentos significativos na estimativa da produção de açúcar e etanol. Esses resultados demonstram a importância da aplicação de micronutrientes em cana-de-açúcar. Além disso, comparando os resultados obtidos nesse trabalho com os demais trabalhos encontrados na literatura, pode-se levantar a hipótese de que para alguns micronutrientes, como Zn, Cu e Mn, as doses recomendadas atualmente podem estar subestimadas (MELLIS; QUAGGIO, 2015).

A recomendação de micronutrientes em solos com baixos teores disponíveis são: com aplicação via solo de 1 a 2 kg ha⁻¹ de B; 2,5 a 6,0 kg ha⁻¹ de Cu; 5,0 a 8,0 kg ha⁻¹ de Zn; 3,0 a 6,0 kg ha⁻¹ de Mn; e 6,0 a 10,0 kg ha⁻¹ de Fe, e a aplicação foliar de 0,1 kg ha⁻¹ de Mo (MELLIS; QUAGGIO, 2015). Essas recomendações visam garantir uma nutrição equilibrada da cultura, promovendo aumentos sustentáveis na produtividade e na qualidade dos colmos.

Assim temos que a adubação na cultura da cana-de-açúcar no Brasil é um tema complexo e dinâmico, exigindo uma abordagem integrada que leve em consideração não apenas as demandas nutricionais da cultura, mas também as tendências do mercado de fertilizantes e as condições específicas de cada região produtora. Investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento são essenciais para garantir uma produção sustentável de cana-de-açúcar, atendendo às demandas do setor sucroenergético e contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico do país.

2.5.2. Micronutrientes: Importância, Absorção e Disponibilidade para as Plantas

Os micronutrientes desempenham um papel crucial no crescimento das plantas, sendo absorvidos em quantidades mínimas, da ordem de alguns miligramas por quilograma de matéria seca da planta. Sua função primordial é atuar na constituição de enzimas ou como ativadores das mesmas (DECHEN; NACHTIGAL, 2006).

A falta de qualquer micronutriente pode acarretar problemas no crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando diretamente a qualidade e quantidade da produção. Esses micronutrientes se dividem em catiônicos, como Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e Zinco (Zn); e aniônicos, como Boro (B), Cloro (Cl) e Molibdênio (Mo) (ORLANDO FILHO; ROSSETO; CASAGRANDE, 2001).

Os micronutrientes catiônicos, de natureza metálica, estão presentes nos solos e substratos na forma de óxidos, hidróxidos ou sais insolúveis em valores altos de pH. Já os aniônicos, como B e Cl, podem ser não metais, enquanto o Mo é um metal de transição.

Para diagnosticar deficiências de micronutrientes, um exame visual não é suficiente, uma vez que diferentes deficiências podem manifestar sintomas similares. Por isso, é necessário realizar análises de solo e, preferencialmente, de tecidos das plantas (ORLANDO FILHO;

ROSSETTO; CASAGRANDE, 2001). A carência de micronutrientes pode ocorrer pela falta do nutriente em quantidade suficiente no solo ou pela sua indisponibilidade devido à retenção em algum componente do solo ou à presença de outros elementos, caracterizando a deficiência induzida.

Vários fatores afetam a disponibilidade e absorção de micronutrientes pelas plantas, como o pH do solo, quantidade de matéria orgânica, textura do solo, atividade microbiana, drenagem, condições de oxidação-redução e condições climáticas (ORLANDO FILHO; ROSSETTO; CASAGRANDE, 2001).

2.5.3. Cobre (Cu)

O Cu na crosta terrestre é principalmente divalente (Cu^{2+}) e presente em diversas estruturas minerais. Sua disponibilidade no solo é influenciada pelo pH e pela matéria orgânica. A absorção de Cu pelas plantas ocorre de forma ativa e está relacionada com a plastocianina e enzimas de oxidorredução.

2.5.4. Ferro (Fe)

O Fe constitui cerca de 5% da crosta terrestre, podendo apresentar-se nas formas ferrosa e férrica no solo. Sua absorção pelas plantas é metabolicamente controlada e está relacionada com processos de oxidorredução. O Fe atua como grupo prostético em diversas enzimas e é essencial para a síntese de clorofila.

2.5.5. Manganês (Mn)

O Mn na crosta terrestre é aproximadamente 900 mg kg^{-1} e pode ser encontrado em diversas formas no solo. Sua absorção pelas plantas ocorre predominantemente como Mn^{2+} e está relacionada com o pH e as condições redox do solo. O Mn é essencial para a ativação de enzimas e a síntese de clorofila.

2.5.6. Níquel (Ni)

O Ni é absorvido pelas plantas na forma de cátion divalente (Ni^{2+}) e faz parte da metaloenzima urease, sendo essencial para a hidrólise da ureia. Sua concentração nas plantas varia entre $0,3$ e $3,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de matéria seca.

2.5.7. Zinco (Zn)

O Zn na crosta terrestre é de aproximadamente 70 mg kg^{-1} e sua disponibilidade no solo não se correlaciona diretamente com sua concentração total. Sua absorção pelas plantas ocorre como Zn^{2+} e está relacionada com o pH e a presença de matéria orgânica. O Zn é essencial para a estabilização de estruturas proteicas e a ativação de enzimas.

2.5.8. Boro (B)

O B na crosta terrestre é encontrado combinado como bórax, sendo absorvido pelas plantas como ácido bórico ou borato. Sua absorção está relacionada com o pH e a presença de matéria orgânica no solo. O B é essencial para o transporte de açúcares e o metabolismo de carboidratos.

2.5.9. Cloro (Cl)

O Cl na natureza ocorre principalmente como ânion cloreto (Cl^-) e sua absorção pelas plantas está relacionada com a presença de Cl^- na solução do solo. Sua concentração nas plantas

varia entre 70 e 1.000 mg kg⁻¹ de matéria seca. O Cl⁻ é fundamental na fotólise da água, no fotossistema II da fotossíntese.

2.5.10. Molibdênio (Mo)

O Mo na crosta terrestre é encontrado principalmente na forma aniônica (MoO₄²⁻) e sua disponibilidade no solo é influenciada pelo pH e pela presença de óxidos de Fe e Al. Sua absorção pelas plantas ocorre como MoO₄²⁻ e está relacionada com sua concentração na solução do solo. O Mo é essencial para a produção de grãos de pólen e a síntese de enzimas.

A disponibilidade desses micronutrientes para as plantas é crucial para alcançar maiores produtividades agrícolas, sendo necessário um adequado suporte nutricional em solos de baixa fertilidade. No entanto, a padronização de metodologias de análise e interpretação dos resultados ainda é um desafio no Brasil (ORLANDO FILHO, ROSSETTO, CASAGRANDE, 2001).

2.5.11. Micronutrientes e os sistemas de preparo do solo e colheita da cana-de-açúcar

A influência dos sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar nos micronutrientes do solo é fundamental para a sustentabilidade da produção agrícola. A escolha entre os métodos de preparo do solo e colheita com ou sem queima da palhada impactam significativamente a dinâmica dos nutrientes, especialmente os micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas (SANTOS et al. 2021; SIGNOR et al., 2014).

Estudos indicam que a colheita sem queima da cana-de-açúcar, mantendo a palhada sobre o solo, contribui para a conservação dos nutrientes e para a melhoria da qualidade do solo. A palhada aumenta a matéria orgânica (MO), favorecendo a retenção de água e a disponibilidade de micronutrientes, além de atuar como uma camada protetora que reduz a erosão, a lixiviação e promove a atividade microbiana essencial para a ciclagem de nutrientes (SIGNOR et al., 2014; SCHULTZ et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2014; PAREDES JUNIOR; PORTILHO; MECANTE., 2015).

Por outro lado, a queima da palha antes da colheita resulta na perda de MO e na alteração da dinâmica dos nutrientes do solo. A queima pode elevar o pH do solo, diminuindo a solubilidade de micronutrientes como ferro e manganês, tornando-os menos disponíveis para as plantas. Além disso, a remoção da palhada pela queima reduz a cobertura do solo, aumentando a vulnerabilidade à erosão e compactação, prejudicando a estrutura do solo e a capacidade de retenção de água e nutrientes (SILVA et al., 2021; BARROS et al., 2010; SEVERIANO et al., 2010; VASCONCELOS et al., 2014).

Métodos conservacionistas que minimizam o revolvimento do solo mantêm a umidade e preservam a estrutura, resultando em melhores condições para a absorção de nutrientes (ARCOVERDE et al., 2019; TAVARES, 2010). A compactação do solo pode restringir o crescimento das raízes e a absorção de micronutrientes, afetando a produtividade da cana-de-açúcar (ROQUE et al., 2010; SEVERIANO et al., 2010).

A MO desempenha um papel crucial na mobilização e disponibilidade de micronutrientes, aumentando a capacidade de troca catiônica e melhorando a retenção de nutrientes. Além disso, a MO pode atuar na formação de quelatos e na complexação de metais como Fe, Mn, Cu e Zn, diminuindo sua mobilidade e aumentando sua disponibilidade para as plantas (SANTOS et al. 2021; SIGNOR et al., 2014). A interação entre MO e micronutrientes é fundamental, pois a MO não apenas fornece nutrientes diretamente, mas também melhora as condições do solo, favorecendo a atividade microbiana que contribui para a ciclagem de nutrientes (SIGNOR et al., 2014; PAREDES JUNIOR; PORTILHO; MECANTE., 2015).

A manutenção da palhada na superfície do solo resulta em maior qualidade da MO e maior disponibilidade de nutrientes, protegendo o solo contra erosão e compactação (SIGNOR

et al., 2014; SIGNOR et al., 2016). Além disso, o plantio direto, que evita o revolvimento do solo, contribui para a preservação da estrutura e umidade do solo, essenciais para a disponibilidade de micronutrientes.

2.6. Experimentação de Longo Prazo na Cana-de-açúcar

2.6.1. Ciclo da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma cultura agrícola semi-perene, com um ciclo produtivo médio de seis anos, sendo que o primeiro ano é destinado ao plantio. Anualmente, realiza-se a colheita, seguida pela rebrota da soqueira, que será novamente colhida após 12 meses. A safra colhida a partir do plantio é denominada cana-planta e as safras colhidas a partir da rebrota são chamadas de soqueiras. Em cada safra a planta passa pelos estágios fenológicos da cana-de-açúcar - brotação e emergência; perfilhamento; crescimento dos colmos; maturação dos colmos (DIOLA et al, 2018).

O ciclo de seis anos é definido por parâmetros técnicos que consideram a viabilidade econômica do cultivo que tem sua produtividade decrescente a cada soqueira. Em média, aos cinco anos, a produtividade reduz ao ponto de não compensar os custos de produção. O cuidado com o manejo e os cuidados aplicados à cultura influenciam diretamente a produtividade do canavial a cada soca e, conseqüentemente, a viabilidade econômica além deste período.

Não raramente, é observado no Brasil canaviais com idade superior a 5 anos sem renovação, sendo possível encontrar idades superiores a 20 anos sem renovação. Tal realidade é um dos fatores que contribuem para baixa produtividade, em especial no Estado do Rio de Janeiro e Espírito Santo (CONAB, 2024).

2.6.2. Experimentação em cana-de-açúcar

O conceito de experimentação é antigo e, apesar de já ter sido muito estudado, ainda não há uma definição única para o termo. No entanto, na área agrônômica, é possível entender que a experimentação é uma atividade intuitiva que segue princípios teóricos básicos para obter pesquisas científicas que certificam um fenômeno (PETERNELLI et al, 2018). Esses princípios incluem a manipulação e controle de uma ou mais variáveis independentes, que se assumem não serem influenciadas por outras variáveis, e a observação das variações nas variáveis dependentes, que são as que se desejam avaliar.

No caso específico da cana-de-açúcar, a experimentação é fundamental para o avanço do setor sucroenergético. São três os principais tipos de experimentação: 1) a de laboratório, 2) a de campo para comparação de tratamentos culturais e 3) a de campo para programas de melhoramento genético. Na primeira, são realizados estudos de técnicas de criopreservação de gemas, por exemplo. Já na segunda, é realizada a comparação de diferentes tratamentos culturais para identificar aqueles que proporcionaram um aumento na produtividade de cultivares comerciais, como adubação e inoculação com microrganismos fixadores de N. Por fim, na terceira, é feita a seleção de indivíduos promissores para gerar um clone comercial, que, após inúmeras etapas dentro do programa de melhoramento, poderá resultar em um cultivar comercial de alto rendimento (PETERNELLI et al, 2018).

Independentemente do tipo de experimentação, é necessário que haja um planejamento cuidadoso. Isso envolve definir claramente o problema a ser estudado, escolher os tratamentos e o delineamento experimental, determinar o número de repetições, definir o tamanho das parcelas ou unidades experimentais e planejar as análises estatísticas a serem realizadas. Além disso, é importante ter um controle das variáveis externas que podem afetar o experimento, a fim de garantir a confiabilidade dos resultados obtidos. Por meio da experimentação, é possível

avançar no conhecimento sobre a cana-de-açúcar e contribuir para o desenvolvimento sustentável do setor sucroenergético.

Com um ciclo semi-perene da cana-de-açúcar, de 5 ou mais anos, pode-se definir como uma experimentação de curto prazo aquela que se limita a aplicar os tratamentos propostos e as avaliações dentro de um único ciclo. Em experimentação de longo prazo, os tratamentos são aplicados em mais de um ciclo da cana-de-açúcar.

A maior parte dos estudos realizados fazem experimentação de curto prazo considerando a cana-planta e a primeira soca, o que é considerado por muitos como as principais fases do ciclo da cana-de-açúcar. Esta prática muita das vezes atende aos anseios das pesquisas realizadas, assim como a demanda por rapidez na apresentação dos resultados para publicação e conclusão dos projetos que financiam a pesquisa no prazo estabelecido, 2 a 4 anos.

Porém, para muitos anseios, em especiais os agrônômicos, este tipo de experimentação não consegue elucidar várias questões postas e que são a realidade da cadeia produtiva da cana-de-açúcar.

Como exemplo de estudos de longo prazo com a cana-de-açúcar temos: Canellas et al. (2003) que avaliaram o efeito da preservação da palhada por 55 anos e da aplicação de vinhaça por 35 anos. Resende et al. (2006a) que estudaram por 15 anos a influência da queima do canavial e da adubação com N e vinhaça, observando benefícios na produção de açúcar. Resende et al. (2006b) que também destacaram a entrada de N por fixação biológica. Galdos et al. (2009) que estudaram ciclos de 2, 6 e 8 anos em áreas cultivadas por aproximadamente 50 anos. Anaya e Huber-Sannwald (2015) estudaram áreas cultivadas por 20 a 50 anos, concluindo que práticas de baixo impacto mantêm a estrutura do solo e o sequestro de carbono. Graham et al. (2002, 2006) conduziram estudos iniciados em 1939, com avaliações após 59 e 61 anos, respectivamente. Signor et al. (2016) observaram maior humificação em áreas sem queima após 19 anos de cultivo.

Diversos trabalhos demonstram que o efeito de longo prazo na produtividade e nas características do solo é uma expectativa, já que em sua grande maioria as avaliações realizadas se restringem ao período curto de 2 a 5 anos, em pesquisas em geral desenvolvidas na formação dos pesquisadores de mestrado e doutorado.

O produtivíssimo científico e a estrutura da pesquisa brasileira interfere nas experimentações com cana-de-açúcar que quanto ao tempo de experimentação dos trabalhos, geralmente de curta duração, não indicam diferenças nos parâmetros observados em especial os atributos do solo, embora indiquem que esses efeitos podem surgir a médio ou a longo prazo.

CAPÍTULO I

**COLHEITA DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM QUEIMA PRÉVIA,
POR 32 ANOS, E SEUS EFEITOS NA CULTURA E NO TEOR DE
MICRONUTRIENTES E CARBONO ORGANICO DO SOLO**

RESUMO

A colheita da cana crua tem se tornado uma realidade no Brasil, trazendo impactos ainda pouco compreendidos no cultivo da cana-de-açúcar. Este estudo avaliou a influência dos sistemas de colheita, cana crua (C) e cana queimada (Q), e sua alternância ao longo de 32 anos sobre a incidência de doenças, produtividade, parâmetros tecnológicos do caldo e colmo, e teores de micronutrientes e carbono orgânico do solo. O experimento, iniciado em 1989, abrangeu quatro ciclos de cultivo e três renovações do canavial, realizado em um solo classificado como Argissolo Amarelo, no Espírito Santo. A área experimental compreendeu cinco blocos com quatro parcelas, cada uma com 9 linhas de 22 m de comprimento, totalizando 5.940 m². Os tratamentos incluíram cana crua (CCCC), cana queimada (QQQQ) e suas alternâncias (CQCQ e QCQC) em todos os ciclos. O manejo foi mantido constante, variando apenas o modo de colheita. As avaliações foram realizadas em 2021, na 5ª soqueira da cultivar RB965917, após 29 safras colhidas. As análises incluíram a incidência e severidade de doenças, produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos, além de determinações tecnológicas do caldo e colmo. Amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades e analisadas quanto ao teor de carbono orgânico (CO) e aos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Os resultados mostraram que os sistemas de colheita não influenciaram a sanidade das parcelas, não sendo observados sintomas de doenças. As combinações de colheita ao longo dos ciclos não interferiram na produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos, nem nos parâmetros tecnológicos. Os teores médios de B e Fe foram adequados, enquanto Cu, Mn e Zn estavam abaixo do recomendado para o desenvolvimento da cana. Os teores de Cu, Fe e Mn variaram significativamente entre os sistemas de colheita. Os tratamentos CCCC e QQQQ apresentaram maiores teores de Cu nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,1 m em comparação a CQCQ e QCQC. Por outro lado, os teores de Fe foram superiores em CQCQ e QCQC na superfície em relação a QQQQ. O teor de CO na camada de 0,05 a 0,1 m foi maior com o tratamento CCCC em comparação aos outros tratamentos. Conclui-se que os sistemas de colheita não influenciam o estado fitossanitário, a produtividade e os parâmetros tecnológicos da cultura, mas os teores de micronutrientes e de CO do solo foram afetados pelas diferentes abordagens de colheita ao longo de 32 anos, exceto para B e Zn.

Palavras-chaves: Incidência de doenças, cana queimada, cana crua, produtividade.

ABSTRACT

The harvesting of raw sugarcane has become a reality in Brazil, bringing impacts that are still poorly understood in sugarcane cultivation. This study aimed to evaluate the influence of harvesting systems, raw sugarcane (R) and burned sugarcane (B), and their alternation over 32 years on disease incidence, productivity, technological parameters of juice and stalk, and levels of micronutrients and organic carbon in the soil. The experiment, initiated in 1989, encompassed four cultivation cycles and three renewals of the sugarcane field, conducted in a soil classified as Yellow Argisol in Espírito Santo. The experimental area consisted of five blocks, each containing four plots, with nine rows measuring 22 m in length, totaling 5,940 m². The treatments included raw sugarcane (CCCC), burned sugarcane (QQQQ), and their alternations (CQCQ and QCQC) across all cycles. The management practices were kept constant, varying only by the harvesting method. Assessments were conducted in 2021 during the 5th ratoon of the RB965917 cultivar, following 29 harvests. The analyses included the incidence and severity of diseases, productivity of dry leaves, shoots, and stalks, as well as technological determinations of juice and stalk. Soil samples were collected at different depths and analyzed for organic carbon (SOC) content and the micronutrients boron (B), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), and zinc (Zn). Results showed that the harvesting systems did not influence the health status of the plots, with no disease symptoms observed. The combinations of harvesting over the cycles did not interfere with the productivity of dry leaves, shoots, and stalks, nor the technological parameters. The average levels of B and Fe were adequate, while Cu, Mn, and Zn were below the recommended levels for sugarcane development. The levels of Cu, Fe, and Mn varied significantly among the harvesting systems. The treatments CCCC and QQQQ showed higher levels of Cu at depths of 0-0.05 and 0.05-0.1 m compared to CQCQ and QCQC. Conversely, the levels of Fe were higher in CQCQ and QCQC at the surface compared to QQQQ. The SOC content in the 0.05-0.1 m layer was greater with the CCCC treatment compared to the other treatments. In conclusion, harvesting systems do not influence the phytosanitary status, productivity, and technological parameters of the crop, but the levels of micronutrients and SOC in the soil were affected by the different harvesting approaches over 32 years, except for B and Zn.

Keywords: Disease incidence, burned cane, raw cane, productivity.

3. INTRODUÇÃO

As consequências da queima sobre a qualidade do solo são preocupantes, principalmente em se tratando de solos que, em função de sua mineralogia e elevado grau de intemperismo, apresentam baixa fertilidade natural, como é o caso dos solos de tabuleiro costeiros. O fogo altera a composição química, física e biológica do solo, prejudicando a ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2021; BARROS et al., 2010).

A quantidade de palhada de canaviais colhidos sem queima varia de 10 a 30 Mg ha⁻¹, formando uma camada que varia de 0,10 a 0,12 m de espessura (SCHULTZ et al, 2010; CERRI et al, 2013). Esta variação na quantidade de material depositado sobre o solo pode ser atribuída à cultivar plantada, idade da planta e região de cultivo (TRIVELIN; RODRIGUES; VICTORIA, 1996; CAMPOS, 2003). Com a queima são perdidos cerca de 10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de palhada, que contém 40-60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 15-30 kg ha⁻¹ de enxofre, além de 4500 kg ha⁻¹ de carbono (RESENDE et al. 2006b).

A colheita sem queima e a realização do corte manual ou mecânico sem o uso prévio do fogo, devido à legislação ambiental (Lei Federal nº 12.651/2012 (Código Florestal) - Resolução CONAMA nº 264/1999), é predominante atualmente, gerando a cobertura da superfície do solo com os restos culturais. Os restos culturais são compostos pelas folhas secas e verdes e ponteiros da cana-de-açúcar, normalmente triturados.

A produtividade da cana-de-açúcar no Brasil é muito abaixo do seu potencial biológico, que seria acima de 200 Mg ha⁻¹ de colmo (ADORNA et al. 2013). Isto se deve ao cultivo realizado em áreas com solos de baixa fertilidade, nas quais, os micronutrientes podem ser limitantes. A intensificação da produção nestas áreas poderá levar ao consumo das reservas dos micronutrientes do solo, devido especialmente à generalização da prática do aporte de NPK via fertilizantes químicos (minerais ou sintéticos) concentrados.

A absorção de micronutrientes pela cana-de-açúcar é influenciada por diversos fatores, destacando-se a idade da planta, o tipo de solo e a cultivar plantada. De maneira geral, em termos de exportação de micronutrientes pelos colmos da cana-de-açúcar tem-se a seguinte ordem: Fe > Mn > Zn > Cu > B > Mo.

A cana-de-açúcar tem na parte aérea (folhas + colmos) as seguintes quantidades de micronutrientes em cana planta, 311, 287, 8890, 2838, e 722 g de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente, por cada 100 toneladas de colmos (ORLANDO FILHO; ROSSETTO; CASAGRANDE, 2001).

Dentre os vários fatores que limitam à produção da cultura, destaca-se a ocorrência e a severidade de doenças que, dependendo das condições climáticas e suscetibilidade da cultivar podem causar um decréscimo de produtividade sendo o principal motivo para a substituição de cultivares (SANTOS, 2004; MATSUOKA; GARCIA; ARIZONO, 2005). O principal método de controle para a maioria das doenças da cana-de-açúcar é o uso de cultivares resistentes. Porém, a adubação balanceada também deve ser preconizada, visto que plantas bem nutridas tendem a apresentar maior resistência e tolerância a doenças.

Os sintomas de deficiências de micronutrientes se confundem com a ocorrência de doenças, como são os casos de deficiência de Boro e Molibdênio que são similares aos sintomas de 'Pokkah boeng', causado por *Fusarium moniliforme* (ORLANDO FILHO; ROSSETTO; CASAGRANDE, 2001).

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do sistema de colheita da cana-de-açúcar, cana crua (C) e cana queimada (Q), e a sua alternância ao longo dos ciclos, aplicado por 32

anos. Na incidência de doenças, produtividade da cultura, nos parâmetros tecnológicos de caldo e colmo, nos teores de micronutrientes e do carbono orgânico do solo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Descrição da Área Experimental

O experimento foi instalado na fazenda Duas Lagoas, área 8, quadra 21, em área cedida pela Linhares Agropecuária S.A. no município de Linhares - Estado do Espírito Santo, situado entre os paralelos 19° 06' e 19° 18' de Latitude Sul e os meridianos 39° 45' e 40° 19' de Longitude Oeste. A altitude local é de 28,0 m. O clima da região na classificação de Köppen ao tipo AW, ou seja, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, precipitação pluvial média anual de 1.250 mm e temperatura média máxima e mínima de 29,3 e 20,6 °C, respectivamente (INCAPER, 2022). O período mais quente do ano são os meses de dezembro-janeiro-fevereiro-março. A estação mais fria estende-se de julho a agosto. Geralmente, novembro se caracteriza por ser o mês mais chuvoso e agosto o mais seco (Figura 6). Na safra avaliada houve uma precipitação acumulada de 944 mm e a precipitação mensal e a temperatura média estão disponíveis na Figura 7. Os meses mais chuvosos foram outubro de 2020, fevereiro e março de 2021 que tiveram uma precipitação mensal de 168,5, 170,5 e 180,5 mm, respectivamente.

A área localizava-se em solo de tabuleiro classificado como Argissolo amarelo textura arenosa/média (RAVELLI NETO; LIMA, 1987). A área do experimento era uma floresta secundária da vegetação regional e foi derrubada e inicialmente substituída por pastagem de braquiária em 1986.

De acordo com a divisão regional do Estado, o município está incluído na zona estratigráfica do Baixo Rio Doce (EMBRAPA/SNLCS, 1978). Esta região se caracteriza por grandes áreas ligeiramente onduladas onde uma série de platôs baixos constituem o que se denomina “relevo tabuliforme”. As inclinações raramente são superiores a 3%. A vegetação primária remanescente da região é representada pela Floresta Tropical Subperenifolia.

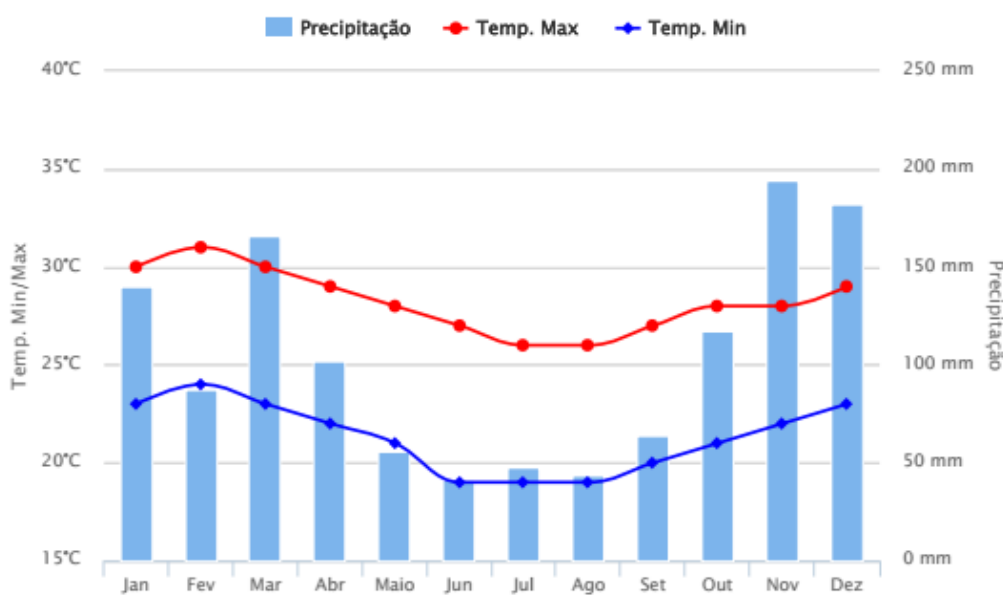


Figura 6. Médias climatológicas de precipitação e temperaturas mínimas e máximas calculadas a partir de uma série de dados de 30 anos observados em Linhares – ES. (CLIMATEMPO, 2022).

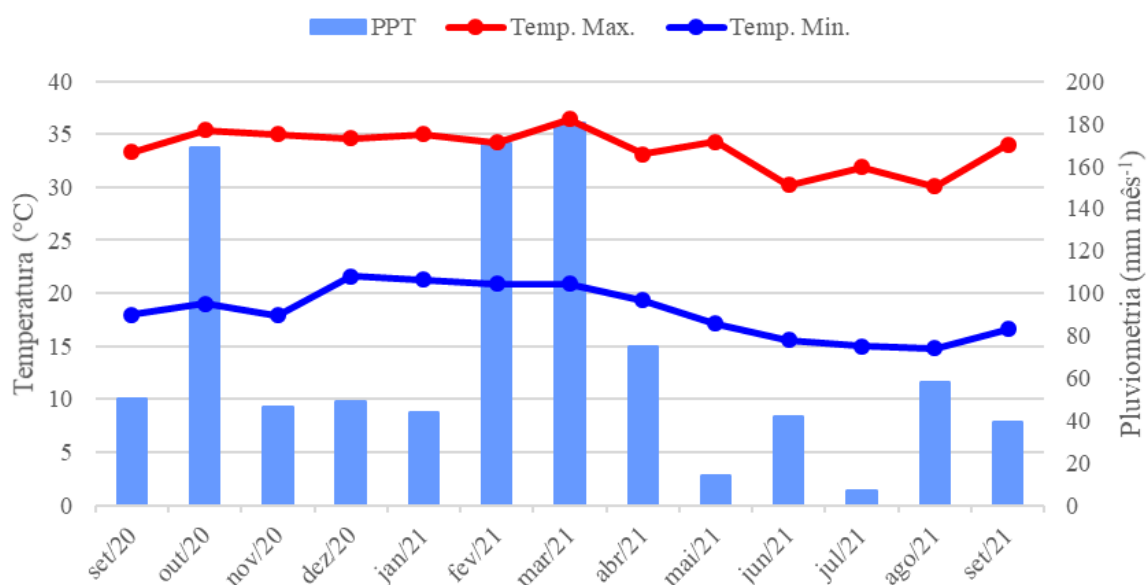


Figura 7. Média mensal das temperaturas máxima e mínima, e precipitação mensal durante os meses de setembro de 2020 a setembro de 2021, em Linhares - ES. Fonte: Posto Meteorológico da LASA (2024), Estação automática do INMET em Linhares-ES (INMET, 2024)

O material de origem do solo são sedimentos argilo-arenosos pré-construídos da Formação Terciária Barreiras. Em geral apresentam horizontes bem diferenciados com horizonte textural B onde predomina a argila caulinitica, e são distróficos e coesos (JACOMINE, 1974). Além da presença de horizontes coesos, os solos que predominam nos planaltos são, geralmente arenosos, com baixo teor de matéria orgânica, nutrientes e baixa capacidade de retenção de água (SOUZA; VIEIRA NETO, 2003). Eles são encontrados na zona costeira do Brasil, do Amazonas até Macaé, no estado do Rio de Janeiro. Para estes solos, a matéria orgânica representa 70% da capacidade de retenção de cátions e está associada à capacidade de retenção de água e propriedades físicas e biológicas (BENAZZI, 2011).

4.2. Tratamentos e Delineamento Experimental

O experimento foi implantado em 28/05/1989, constituindo um dos mais duradouros e ativo com a cultura da cana-de-açúcar no Brasil, tendo como tratamento T1: colheita sem queima ou cana crua (C) e T2: colheita com queima ou cana queimada (Q). Na primeira renovação, em 11/04/1997, substitui-se o plantio convencional (preparo do solo antes do plantio com uma aração e duas gradagens pesadas, a 30 cm de profundidade) pelo plantio direto. O plantio direto consistiu na destruição da soqueira com a utilização de herbicidas sem o revolvimento do solo para o próximo plantio.

As colheitas nas parcelas do tratamento com queima (Q) foram realizadas após a colheita das parcelas sem queima (C). Ainda, nas parcelas sem queima, a palhada foi devidamente saturada com água antes da aplicação da queimada controlada nas parcelas do tratamento colheita com queima.

A partir do segundo ciclo foram adicionados aos tratamentos anteriores dois novos tratamentos: alternância entre os métodos de colheita ao longo dos ciclos. Desta forma, os tratamentos ficaram assim constituídos: T1: colheita sem queima (cana crua) onde durante todos os ciclos foi feita a colheita da cana crua (CCCC); T2: colheita com queima (cana queimada)

onde durante todos os ciclos foi feita a colheita da cana queimada (QQQQ); T3: colheita alternada iniciando com colheita sem queima, primeiro ciclo foi cana crua, o segundo cana queimada, o terceiro cana crua e o quarto cana queimada (CQCQ); e T4: colheita alternada iniciando com colheita com queima (cana queimada) onde o primeiro ciclo foi cana queimada, o segundo cana crua, o terceiro cana queimada e o quarto cana crua (QCQC). Abaixo é possível observar o histórico de uso da área experimental, os tratamentos de sistema de colheita e tempo de manejo na Tabela 6.

O segundo ciclo (1997-2004) teve como tratamentos cana crua (CC) e cana queimada (QQ) nos dois ciclos, somado a alternâncias cana crua seguida pela cana queimada (CQ) e cana queimada seguida pela cana crua (QC). Após a segunda renovação em 17/05/2005, durante o terceiro ciclo (2005-2014), os tratamentos foram cana crua (CCC) e cana queimada (QQQ) em todos os ciclos, com as alternâncias cana crua – cana queimada – cana crua (CQC) e cana queimada – cana crua – cana queimada (QCQ). Com a terceira renovação em 25/02/2015 os tratamentos foram cana crua (CCCC) e cana queimada (QQQQ) em todos os ciclos, e cana crua – cana queimada - cana crua – cana queimada (CQCQ) e cana queimada – cana crua – cana queimada – cana crua (QCQC) até a quinta soca do quarto ciclo em 2021.

Tabela 6. Tratamentos de sistemas de colheita quanto ao manejo de palhada ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, aplicados ao longo do tempo, em solo de tabuleiro costeiro, no município de Linhares-ES. C: cana crua, Q: cana queimada.

| Tempo de manejo | 1º ciclo 1989-1996 | | 2º ciclo 1997-2004 | | 3º ciclo 2005-2014 | 4º ciclo 2015-2021 |
|---|-----------------------|----|-----------------------|----|-----------------------|-----------------------|
| 32 anos C | T1 | C | T1 | CC | CCC | CCCC |
| 7 anos C-8 anos Q 10 anos C-7 anos Q | | | T3 | CQ | CQC | CQCQ |
| 32 anos Q | | | T2 | Q | T2 | QQ |
| 7 anos Q-8 anos C 10 anos Q-7 anos C | T4 | QC | | | QCQ | QCQC |
| | | | | | | |
| Preparo do Solo | Preparo Convencional | | Plantio Direto | | Plantio Direto | Plantio Direto |
| Cultivar | RB739735 | | RB739735 | | SP79-1011 | RB965917 |
| Espaçamento | 1,2 m | | 1,2 m | | 1,3 m | 1,5 m |
| Adubação de plantio | 125P/85K | | 20N/80P/80K | | 25N/100P/100K | 20N/140P/100K |
| Adubação de cobertura | 100N/80K | | 80N/80K | | 100N/150K | 100N/150K |

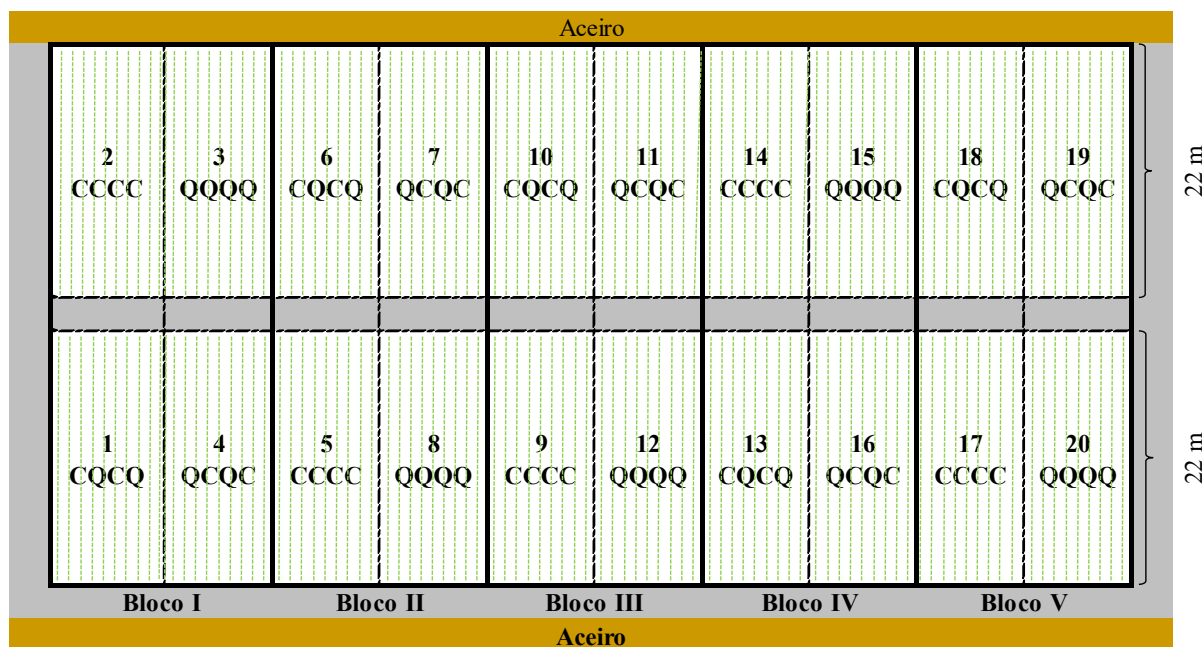


Figura 8. Croqui do experimento com diferentes combinações de método de colheita da cana-de-açúcar ao longo de quatro ciclos da cultura (1989-1996, de 1997-2004, de 2005-2014 e de 2015-2021), em Linhares (ES), no ano de 2021 – 5ª soca da cultivar RB965917.

O experimento teve delineamento de blocos casualizados, com 5 repetições, com parcelas de 9 linhas de 22 m de comprimento em espaçamento de 1,50 m entre si, com área de 297 m², constituindo uma área total de 5.940 m² (Figura 8).

4.3. Cultivares de Cana-de-açúcar

Foram utilizadas as seguintes cultivares: RB739735 no 1º e 2º Ciclo, a SP79-1011 no 3º Ciclo e a RB965917 no 4º Ciclo. As características gerais das respectivas cultivares encontram-se na Tabela 7 abaixo.

Tabela 7. Características agronômicas da cultivar de cana-de-açúcar RB739735, SP79-1011 e RB965917 (OLIVEIRA; BARBOSA; DAROS, 2021; COPERSUCAR, 1991)

| Características | RB739735 | SP79-1011 | RB965917 |
|---------------------------|---------------|---------------|----------------|
| Produtividade agrícola | Alta | Alta | Alta |
| Colheita | Maio/Set. | Jun/Nov | Jul./Set. |
| Perfilhamento Cana planta | Alto | Bom | Ótimo |
| Perfilhamento Cana soca | Alto | Bom | Ótimo |
| Brotação da soca Queimada | Muito boa | Boa | Ótima |
| Brotação da soca Crua | Boa | Ótima | Ótima |
| Fechamento de entrelinhas | Bom | Bom | Excelente |
| Velocidade de crescimento | Rápida | Rápida | Média |
| Porte | Médio | Alto | Alto |
| Hábito de crescimento | Ereto | Ereto | Ereto |
| Tombamento | Raro | Raro | Raro |
| Florescimento | Raro | Raro | Difícil |
| Chochamento | Ausente | Ausente | Pouco |
| Maturação | Média/Tardia | Tardia | Média |
| Despalha | Fácil | Fácil | Fácil |
| PUI | Longo | Longo | Médio |
| Exigência em ambientes | Sem restrição | Exigentes | Alta restrição |
| Teor de sacarose | Alto | Alto | Alto |
| Teor de fibra | Médio | Médio | Médio |
| Carvão | Tolerante | Sensível | Intermediária |
| Ferrugem marrom | Tolerante | Intermediária | Resistente |
| Escaldadura | Tolerante | Resistente | Resistente |
| Mosaico | Tolerante | Resistente | Resistente |

Na avaliação realizada em 2021, foi colhida a cultivar RB965917 que tem como aspectos gerais as touceiras com hábito de crescimento ereto, alta intensidade de perfilhamento, colmos de cor verde-amarelada sob a palha e amarelo-esverdeada quando expostos ao sol, de fácil despalha, palmito curto, de cor verde e pouca cera. Se destaca pela alta produtividade e elevado teor de sacarose no meio da safra, sendo recomendada para plantio em ambientes com alto potencial produtivo e colheita de junho a setembro (OLIVEIRA; BARBOSA; DAROS, 2021).

4.4. Ciclos da Cultura ao Longo dos 32 Anos

As avaliações foram feitas após 32 anos da montagem do experimento e conduzido por quatro ciclos de cana-de-açúcar, de 1989-1996, de 1997-2004, de 2005-2014 e de 2015-2021, identificados como 1º Ciclo, 2º Ciclo, 3º Ciclo e 4º Ciclo, respectivamente, sendo realizado 7, 7, 9 e 6 colheitas nos ciclos respectivamente. O resumo se encontra no Anexo 1.

4.4.1. 1º ciclo - 1989 a 1996

A cultivar plantada durante este ciclo foi a RB739735, oriunda do viveiro de mudas da usina com aproximadamente 10 meses de idade.

O plantio foi realizado com os colmos das mudas picados em toletes no sulco de plantio de 0,30 m de profundidade em espaçamento de 1,20 m feito por sulcador após aração profunda e gradagem em maio de 1989.

A adubação basal no início do experimento foi de 500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 85 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples, aplicado no sulco no momento do plantio. Nos anos de 1990 a 1994, após a colheita, fez-se a adubação das soqueiras com 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 85 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio.

Os tratos culturais de rotina da usina foram aplicados uniformemente em toda área. Nos tratamentos com queima da cana foram realizadas capinas manuais aos 60 dias após a brotação para controle de infestação de plantas daninhas neste tratamento, já que no tratamento de cana sem queima a palhada exerce este controle.

A primeira colheita (cana planta) foi feita em setembro 1990 e a partir desta colheram seis sucessivas socas. As colheitas seguintes foram feitas nos meses de setembro de 1991, 1992, 1993, outubro de 1994, 1995 e 1996; totalizando 7 colheitas. Todas as colheitas foram feitas manualmente com entrada de quase nenhum maquinário na área experimental.

4.4.2. 2º ciclo – 1997 a 2004

A primeira renovação foi realizada abril de 1997, após a aplicação de herbicida a base de glifosato, em dose recomendada pelo fabricante do produto comercial (5L de produto comercial por hectare) para a eliminação da soqueira após 60 dias da brotação da soqueira, realizada em janeiro de 1997.

O plantio foi realizado em sulco sem o prévio preparo do solo (Plantio Direto), sendo realizado a sulcação com profundidade de 0,30 m espaçados a 1,20 m, nas entre linhas do plantio anterior. Não foi necessário realizar a calagem segundo análise de solo da área.

Replantou-se a cultivar RB739735 que tinha sido cultivada no primeiro ciclo, obtendo-se mudas do viveiro da usina com idade aproximada de 10 meses.

A adubação de plantio aplicada foi de 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples em 11/04/1997. As soqueiras foram adubadas em cobertura, nos anos subsequentes, com 80 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio, nos meses de outubro/novembro.

Os tratos culturais de rotina da usina foram aplicados de forma uniforme em toda a área. Nos tratamentos com queima da cana, foram realizadas capinas manuais 60 dias após a brotação para controle de plantas daninhas, uma vez que no tratamento sem queima a palhada desempenha esse papel de controle.

As colheitas foram realizadas manualmente sem tráfego de máquinas no experimento. A cana planta foi colhida em setembro de 1998 e 6 socarias foram colhidas sequentemente em setembro de 1999, 2000 e 2001; e em outubro de 2002, 2003 e 2004.

4.4.3. 3º ciclo - 2005 a 2014

O terceiro ciclo iniciou-se com a eliminação da soqueira, em fevereiro de 2005, com o uso de herbicida como descrito no 2º ciclo.

Não se realizou o preparo do solo prévio ao plantio que ocorreu em sulcos de 0,30 m de profundidade sendo aplicado um espaçamento de 1,30 m entre sulcos.

A cultivar utilizada foi a SP79-1011, vindas de viveiro de mudas da usina com idade aproximada de 10 meses.

A adubação utilizada de plantio foi uniforme, aplicando 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de

superfosfato simples em maio de 2005, e na rebrota no mês de setembro dos anos 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, ocorreram a aplicação da adubação de soqueira com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 150kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio.

Como nos dois ciclos anteriores, foi realizada capina manual nas parcelas com queima da cana aos 60 dias após a brotação das soqueiras para controle similar das plantas daninhas como o ocorrido nas parcelas sem queima que a palhada sobre o solo. Outros tratos se observado necessário pela equipe da usina foram realizados de forma uniforme em todas as parcelas.

Neste ciclo a cana planta foi colhida em agosto de 2006 e as soqueiras em setembro de 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013; e a oitava e última soca em outubro de 2014. A colheita como nos outros ciclos foram manuais sem tráfego de máquinas.

4.4.4. 4º ciclo - 2015 a 2021

A terceira renovação do experimento ocorreu após aguardar aproximadamente 60 dias a rebrota da 9ª soqueira do 3º ciclo quando se realizou a dessecação química utilizando-se herbicida como descrito no 2º ciclo.

Em fevereiro de 2015 realizou-se o plantio direto sem o preparo prévio do solo. A cultivar utilizada neste ciclo foi a RB965977. O plantio de mudas oriundas de viveiro de mudas da usina ocorreu com os colmos sendo colocados no sulco e picado em toletes com 3 gemas cada. Os sulcos de 0,30 m de profundidade foram realizados com sulcador duplo com espaçamento simples de 1,50 m sobre a entrelinha do plantio anterior.

Foi realizada a adubação de plantio com aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples em fevereiro de 2015 no fundo do sulco. Na rebrota no mês de outubro dos anos 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 e no mês de novembro de 2017 ocorreram a aplicação da adubação de soqueira com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 150kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio em cobertura.

Este experimento foi avaliado até 2021 na sua 5ª soqueira. A colheita da cana planta realizada em agosto de 2016 e das soqueiras realizadas em setembro de 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021 foram realizadas manualmente sem a entrada de máquinas pesadas no experimento.

4.5. Avaliação Fitopatológica

Para avaliar o efeito do manejo adotado nas colheitas da cana-de-açúcar na sanidade da cultura, foram realizados levantamentos para determinação de incidência e severidade de doenças nas respectivas parcelas. Esta avaliação foi realizada em 20 de setembro de 2021 na 5ª soca do 4º ciclo.

Esta avaliação foi feita com base no diagnóstico seguido de quantificação das seguintes doenças: ferrugem marrom (*P. melanocephala*) e alaranjada (*P. kuehni*); mancha parda (*Septoria glycines*) e; mancha anelar (*Leptosphaeria sacchari*), na folhagem; e de podridão vermelha (*C. falcatum*) no colmo.

As avaliações foram feitas na folha +3, conforme nomenclatura Kuijper, descrita por Dillewijn (1952). Para a determinação da severidade da ferrugem marrom e alaranjada foi utilizada a escala de notas proposta por Amorim et al. (1987) e para mancha parda e anelar a escala de notas proposta por Zambon e Daros (2005).

A avaliação da incidência e severidade de doenças de colmo (podridão vermelha - *C. falcatum*) foi realizada em amostras de colmos coletadas em 4 metros lineares no centro da parcela, foi realizada a contagem dos colmos totais da amostra e a contagem dos colmos com sintoma. Os colmos com sintomas foram cortados ao meio para avaliação da severidade através da contagem do número de entrenós com os sintomas em relação ao número total de entrenós.

4.6. Colheita de Cana-de-açúcar

A colheita de cana crua consistiu no corte rente ao solo da planta, seguida da despalha e o corte do ponteiro (palmito e folhas verdes) com o podão, sem a prévia queima da cana. As folhas secas e o ponteiro, após a colheita, foram espalhados uniformemente na área. Na colheita de cana queimada, o fogo foi ateado previamente em todo o perímetro das parcelas, de tal forma que o seu término se processe na parte central dela. Após este procedimento foi realizado o corte rente ao solo da planta seguida do corte do ponteiro com o podão.

As colheitas das cana-plantas foram realizadas aproximadamente aos 18 meses após o plantio e as soqueiras colhidas em intervalos de 12 meses. As parcelas de cana crua foram colhidas primeiro, incluindo a bordadura das parcelas (duas linhas de cada lado). Para proteção da palhada do tratamento cana crua contra o fogo das parcelas de cana queimada, foi realizada a saturação com água, utilizando um caminhão-pipa, e as parcelas restantes foram queimadas para colheita no dia seguinte.

4.7. Produtividade e Parâmetros Tecnológicos

A produtividade e os parâmetros tecnológicos foram avaliados na 5ª soqueira do 4º ciclo em setembro de 2021. Nas parcelas, em duas linhas aleatórias e representativas, das cinco linhas centrais, foram realizadas amostragens de 2 metros lineares em pontos aleatórios e representativos das linhas, com corte rente ao solo da planta inteira, para avaliação da produtividade; e após esta avaliação foram separados três colmos de cada uma das amostras para realizar a análise dos parâmetros tecnológicos.

As plantas colhidas na amostragem, foram separados os colmos, os ponteiros (palmito e folhas verdes) e as folhas secas (palha da cana), foram pesadas. Determinou-se a produtividade de massa fresca (Mg ha^{-1}) destas partes, considerando o peso obtido de cada amostra, a metragem amostrada de 2 metros lineares e o espaçamento entre linhas de 1,5 m.

Foram determinados os parâmetros tecnológicos do caldo e da cana-de-açúcar obtido nos diferentes tratamentos. Estas análises agroindustriais foram realizadas no Laboratório da Destilaria Linhares Agropecuária S/A conforme os procedimentos descritos em Melo (2018). Para análise do caldo, foram consideradas subamostras formadas por três colmos onde foram determinados: percentagem de sólidos solúveis totais do caldo ($^{\circ}\text{Brix}$); percentagem de fibras da cana-de-açúcar (%); Pol do caldo (%); pureza do caldo (%); açúcares redutores - AR (%) e açúcares totais recuperáveis - ATR (kg t^{-1}).

4.8. Amostragem

A amostragem de solo foi realizada em cada parcela do experimento em setembro de 2021. As amostragens realizadas foram nas profundidades de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m. As amostras foram coletadas antes da colheita das parcelas, após amostragem para avaliação da produtividade e parâmetros tecnológicos. As amostras compostas foram formadas pela união e homogeneização de 3 amostras simples tiradas aleatoriamente, por caminhar em zigue-zaque na parte central das parcelas, nas entrelinhas do canavial, constituindo cinco amostras por parcelas (20 por bloco).

As amostras identificadas foram levadas para o laboratório onde foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram utilizadas para a determinação de B, Cu, Fe, Mn, Zn e carbono orgânico.

4.9. Determinação de Micronutrientes e do Carbono Orgânico do Solo

No laboratório de Análises de Solos, Plantas e Resíduos – LABFER, do Departamento de Solos /UFRRJ, foram realizadas as análises de determinação dos micronutrientes cobre (Cu),

ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e carbono orgânico (CO) seguindo o descrito no Manual de Métodos de Análises de Solos (TEIXEIRA et al, 2017).

Para determinação dos micronutrientes, 10 g de TFSA foram colocadas em Erlenmeyer de 125 mL, adicionado 50 mL de solução extratora de Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol.L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$) e agitadas por 5 minutos em agitador mecânico horizontal, teve sua suspensão filtrada. A determinação dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn foi feita no filtrado por espectrofotometria de absorção atômica.

A determinação de CO se deu pelo princípio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 0,2 \text{ mol.L}^{-1}$), em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}_2\text{SO}_4 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ - sal de Mohr). O procedimento de análise foi pesar 0,5g de TFSA peneirada em peneira de 80 mesh, colocar em um Erlenmeyer de 250 mL, adicionar 10,0 mL de solução de dicromato de potássio, colocar um condensador no Erlenmeyer e aquecer em chapa aquecedora (150°C) até fervura branda, deixar esfriar e juntar 80,0 mL de água destilada, adicionar 2,0 mL de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador difenilamina e titular com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ até que a cor azul desapareça, cedendo lugar a verde, anotar os mL gastos e realizar os cálculos ($\text{C(g/kg)} = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6$).

No laboratório Centro de Análises do Campus Campos dos Goytacazes da UFRRJ foi realizada a análise do micronutriente boro (B) por extração com água quente e determinação por espectrofotometria.

A determinação dos teores de B foi executada conforme descrita por Berger e Truog (1939) com modificações. Para tanto, 10,0 mL de solo foram adicionados em um Erlenmeyer de 135 mL seguido de acréscimo de 20,0 mL de H_2O deionizada. As misturas solo mais água foram aquecidas em chapa aquecedora até fervura por 2 minutos. Às amostras frias, em temperatura ambiente, foram adicionados 2,0 mL de $\text{CaCl}_2 0,1\text{M}$ seguido de repouso por 12 horas. Em seguida, coletaram-se alíquotas de 1,0 mL que foram transferidas para copinhos de plástico onde foram adicionados 4,0 mL de solução de curcumina. Os frascos foram levados para banho-maria, a $65^\circ\pm 2^\circ\text{C}$ de modo que os mesmos fiquem uniformemente mergulhados, para secar e após seco foram colocados no banho-maria por mais 15 minutos cronometrados. Após resfriamento, adicionaram-se 25,0 mL de álcool etílico 95% seguido de filtragem em papel de faixa preta. O filtrado obtido foi analisado por meio de leituras da absorbância em espectrofotômetro a 540 nanômetros.

4.10. Análise Estatística

Os dados foram submetidos a teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett) das variâncias. Sendo os dados transformados, quando necessário, com a aplicação do logaritmo natural, na tentativa de tornar essa distribuição homocedástica e normal. E os resultados foram analisados quanto à variância pelo teste F (Tabela 8), e os valores médios comparados por teste de média de Duncan a 5%. Foi utilizado o software R para realização dos cálculos e análises estatísticas.

O modelo estatístico utilizado foi:

$$y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$$

Onde:

μ é a média geral;

t_i é o efeito do fator tratamento, com os níveis $i = 1, 2, \dots, I$;

b_j é o efeito de blocos, com $j = 1, 2, \dots, j$;

e_{ij} é o erro.

Tabela 8. Tabela de análise de variância de delineamento em blocos casualizados utilizado na análise do experimento.

| FV | GL | SQ | QM | Fc |
|-------------|------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| Tratamentos | $I - 1$ | $SQ_{Tratamentos}$ | $QM_{Tratamentos}$ | $F_{Calculado\ trat.}$ |
| Blocos | $J - 1$ | SQ_{Bloco} | QM_{Bloco} | $F_{Calculado\ bloco}$ |
| Resíduo | $I(J - 1)$ | $SQ_{Resíduo}$ | $QM_{Resíduo}$ | |
| Total | $IJ - 1$ | SQ_{Total} | | |

FV: Fator de variação; *GL*: graus de liberdade; *SQ*: soma dos quadrados; *QM*: quadrados médios; *Fc*: valor F(Fisher) calculado; *P*: parcela; *S*: sub-parcela; *I*: número de parcelas; *J*: número de blocos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Efeito dos Tratamento na Sanidade da Cana-de-açúcar

As plantas de cana-de-açúcar de todos os tratamentos apresentaram, de forma geral, um bom padrão fitossanitário. Não foram observados sintomas de doenças foliares nem de ‘coração morto’, nem plantas sem ponteiro. Também não foram observados sintomas de doenças do colmo. Este resultado, apesar de não ter permitido a avaliação do efeito dos tratamentos sobre a incidência e severidade das doenças ferrugem marrom (*P. melanocephala*) e alaranjada (*P. kuehnii*); mancha parda (*Septoria glycines*) e; mancha anelar (*L. sacchari*), na folhagem; e de podridão vermelha (*C. falcatum*) no colmo, confirmou a resistência genética do cultivar RB965917 às respectivas doenças. A resistência pode foi confirmado pela presença de outros talhões de cana-de-açúcar no entorno do experimento com sintomas de doenças foliares como pústulas de cor alaranjada, predominantemente na parte inferior da folha e com diferentes graus de severidade. Por exemplo, um talhão com plantas da cultivar RB988082 apresentou aspecto ferruginoso, e severidade da ferrugem alaranjada (*P. kuehnii*) igual a 10 a 25 (Figura 9). Em outro talhão com plantas da cultivar CTC-2, foi constatado bom padrão sanitário, mas com a presença de plantas com sintomas discretos de ferrugem apresentava aspecto regular de sanidade com leve incidência de ferrugem alaranjada (*P. kuehnii*) e de mancha anelar (*L. sacchari*)

Há uma grande carência de estudos sobre o impacto da camada de palhada produzida pela colheita crua na incidência e severidade das doenças da cana-de-açúcar (ROOT et al. 2000).

Nechet et al (2021) investigando a incidência e severidades de doenças na cultivar de cana-de-açúcar IACSP95-5000, no estado de São Paulo, em solo classificado como Latossolo Vermelho Acidíferico, não observou interferência da manutenção da palhada em diferentes profundidades da camada de palhada sobre a severidade de doenças foliares. Em estudos, os autores observaram apenas sintomas de mancha anelar causada pelo fungo *L. sacchari*, e de podridão vermelha foliar, causada por *C. falcatum*. Estes fungos segundo estudos realizados no período de 1950 a 1980, não sobrevive no solo por mais de 5 a 6 meses (SHARMA; TAMTA, 2015). Novos estudos examinando o efeito de fatores que influenciam a sobrevivência desses patógenos na palhada, como temperatura, retenção de água, microrganismos e período de decomposição, são necessários para entender como essas doenças interagem com o sistema de cultivo sem queima no Brasil.

Roese e Silva (2021), no Mato Grosso do Sul, avaliaram a incidência de mancha anelar, podridão-vermelha e “pokkah boeng” em diferentes camadas de palhada sobre o solo, nas cultivares RB966928 e CV 6654. Observaram que a palhada sobre o solo favoreceu o aumento da severidade de mancha anelar. Este resultado deve-se, provavelmente, a características do *L. sacchari* ser necrotrófico, ou seja, capaz de colonizar e sobreviver na palhada e assim manter o inóculo do patógeno e facilitar a infecção de novas plantas. Vale ressaltar que *L. sacchari* não é um fungo habitante do solo, porém a presença de esporos, associados a remanescentes de palhada são fontes de inóculo que permitem infecções em touceiras novas (ROESE; SILVA, 2021).

Quanto à incidência de podridão-vermelha, causada por *C. falcatum* praticamente não foi observada influência da palhada sobre o solo. Sendo que esta doença tem associação com a ocorrência de ataque da broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*) e/ou presença de rachaduras e/ou presença de ferimentos nos colmos, que possibilitam a entrada do fungo (ROESE; SILVA, 2021).

E por fim, em seus estudos Roese e Silva (2021) observaram que o número de colmos com sintomas de “pokkah boeng”, causada por *F. moniliforme* foi mínimo onde a palhada foi preservada. Este comportamento pode ser atribuído ao fato deste fungo ser típico de solo e assim estar sujeito a interações com microrganismos do solo, favorecidos pelos benefícios da manutenção da palhada, como aporte de carbono, retenção de água, redução da temperatura etc., que promovem um controle biológico espontâneo pelos microrganismos presentes no solo.

Sabendo-se que a severidade de doenças foliares causadas por fungos, com as manchas foliares, pode ser favorecido pelo manejo de cana sem queima, se faz necessário a avaliação da incidência e severidade destas doenças, assim como a busca por cultivares resistentes ao maior número possível destas doenças pelos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar.



Figura 9. Aspecto dos canaviais do experimento (à direita) com bom aspecto de sanidade e do talhão com a cultivar RB988082 (à esquerda) com aspecto ferruginoso e elevado comprometimento da capacidade fotossintética.

5.2. Produtividade e Análise Tecnológica

Na Tabela 9 são apresentadas as médias da produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos colhidas ao final do quarto ciclo produtivo do experimento na safra 2020/2021 (5ª soqueira). Foi estudado neste experimento a influência do sistema de colheita ao longo de 32 anos de diferentes combinações, sem queima (cana crua - CCCC) e com queima (cana queimada - QQQQ) em todos ciclos e cortes, e ciclos alternados com colheita de cana crua-queimada-crua-queimada (CQCQ) e com colheita de cana queimada-crua-queimada-crua (QCQC)

Não foi observado diferença estatística significativa entre os tratamentos quanto à produção de folhas secas, ponteiros e colmos Tabela 9.

Lopes (2014), no final do terceiro ciclo deste experimento, observou tendência dos tratamentos que alternam o sistema de colheita, apresentarem maiores valores de rendimento de colmos, ponteiros e folhas secas, em relação aos tratamentos que tiveram apenas um tipo de manejo de colheita em todos os ciclos, atribuindo ao fato de se tratar do fim do ciclo do canavial. Já neste estudo, no fim do quarto ciclo, comportamento similar das médias de rendimento foi observado apenas nos ponteiros.

Tavares (2007) na primeira safra (cana planta) do terceiro ciclo não encontrou diferença estatística significativa no rendimento de colmos e folhas secas, porém encontrou valores absolutos das médias de rendimento de colmos na cana crua (CCC) 12,5 Mg ha⁻¹ maior que na cana queimada (QQQ). Quanto o valor absoluto das médias de rendimento dos ponteiros a cana crua (CCC) foi estatisticamente maior, com valor de 15,77 Mg ha⁻¹ ao tratamento cana queimada (QQQ) com valor de 12,88 Mg ha⁻¹.

Estes resultados demonstram que as diferenças entre os tratamentos foram maiores no início do ciclo (cana-planta) do que no fim do ciclo (6ª soca do 3 ciclo e 5ª soca do 4 ciclo), expressando a importância de experimentos de longa duração para uma avaliação considerando os diferentes ciclos e cortes do canavial quanto a sua produtividade.

Avaliando a colheita de cana crua e queimada em solos de tabuleiros costeiros em cana-planta do segundo ciclo de um experimento instalado em Conceição da Barra-ES, Schultz et al (2010) não observaram diferenças significativas na produtividade de colmos e palhada, destacando a característica de alta produtividade do cultivar RB867515 utilizada.

Em estudo de um experimento de 15 anos com dois ciclos (1983-1992 e 1992-1999) Resende et al. (2006b) obtiveram produtividade maior na cana crua em todos os cortes, com exceção de um único ano, sendo estatisticamente significativo ($p < 0,05$) em cinco das oito colheitas do primeiro ciclo e em todas soqueiras, do segundo ciclo, sendo 25% maior no total de 13 colheitas, sugerindo que a resposta da produtividade foi devido a reciclagem de nutrientes promovido de forma lenta, pela decomposição da palhada.

Na Tabela 10 são apresentados os valores dos parâmetros tecnológicos para os tratamentos aplicados. Os sistemas de colheita de cana crua ou queimada aplicados exclusivamente ou alternados ao longo dos ciclos da cultura não causaram diferenças significativas nos parâmetros tecnológicos avaliados. Esse resultado demonstra que a manutenção da palhada na realização da colheita crua não difere da prática da queima da cana-de-açúcar que cai em desuso, pelos diversos impactos que gera.

Lopes (2014) apenas observou efeito dos tratamentos para os teores de fibra, pureza e AR onde a colheita crua, com a manutenção da palhada, induziu ao aumento da fibra no colmo da cana, enquanto a colheita queimada ao longo dos ciclos foi capaz de aumentar os teores de AR.

Estudando o cultivo da cana-de-açúcar em Pernambuco por dois ciclos, Resende et al (2006a) não observou influência significativa nas características tecnológicas para o uso ou não da queima. Na produção de açúcar foi obtido efeito positivo da manutenção da palhada que favoreceu em 15% se excluída a colheita da cana-planta. A cana queimada apresentou maior produtividade nas cana-plantas e na primeira socaria do primeiro ciclo, demonstrando que este sistema perde progressivamente potencial produtivo ao longo dos anos.

Tabela 9. Produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos (em Mg ha⁻¹), da cultivar de cana-de-açúcar RB965917 em 5ª soca, sob diferentes sistemas de colheita ao longo de 32 anos, na safra 2020/2021, em Argisolo Amarelo.

| Tratamento | Folha Secas | Ponteiro | Colmo |
|-------------|---------------------|----------|-------|
| | Mg ha ⁻¹ | | |
| CCCC | 5,80 | 12,27 | 70,37 |
| CQCQ | 5,45 | 12,78 | 70,00 |
| QCQC | 6,73 | 13,20 | 67,22 |
| QQQQ | 6,55 | 11,68 | 67,46 |
| Média geral | 6,13 | 12,48 | 68,04 |
| C.V. | 23,33 | 18,91 | 23,29 |

CCCC: Todos os ciclos colhidos sem queima (cana crua); CQCQ: Ciclos alternados com colheita de cana crua-queimada-crua-queimada; QCQC: Ciclos alternados com colheita de cana queimada-crua-queimada-crua; QQQQ: Todos os ciclos colhidos com queima (cana queimada).

Tabela 10. Parâmetros tecnológicos do caldo e colmo avaliados da cultivar de cana-de-açúcar RB965917 em 5ª soca, sob diferentes sistemas de colheita ao longo de 32 anos, na safra 2020/2021, em Argisolo Amarelo.

| Tratamento | °Brix | FIB (%) | Pol | Pureza (%) | AR (%) | ATR (kg t ⁻¹) |
|------------|-------|---------|-------|------------|--------|---------------------------|
| CCCC | 22,15 | 14,50 | 18,48 | 83,38 | 0,78 | 154,19 |
| CQCQ | 22,85 | 14,77 | 19,21 | 84,08 | 0,76 | 159,51 |
| QCQC | 21,57 | 14,33 | 17,87 | 82,83 | 0,80 | 149,70 |
| QQQQ | 22,35 | 14,25 | 18,63 | 83,35 | 0,78 | 155,77 |
| Média | 22,23 | 14,46 | 18,55 | 83,41 | 0,78 | 154,79 |
| C.V.(%) | 3,82 | 3,80 | 4,66 | 0,89 | 3,57 | 4,12 |

CCCC: Todos os ciclos colhidos sem queima (cana crua); CQCQ: Ciclos alternados com colheita de cana crua-queimada-crua-queimada; QCQC: Ciclos alternados com colheita de cana queimada-crua-queimada-crua;

5.3. Micronutrientes e Carbono Orgânico do Solo

Os resultados das análises químicas dos micronutrientes e carbono orgânico do solo nas profundidades estudadas, de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m, sob os diferentes tratamentos de sistemas de colheita após 32 anos de experimentação são apresentados no Anexo 2.

Os tratamentos aplicados influenciaram significativamente as médias dos teores dos micronutrientes Cu, Fe e Mn, e o CO em pelo menos uma das profundidades amostradas. Os teores médios de B e Zn não diferiram de forma significativa em função dos tratamentos.

Os teores médios encontrados para os micronutrientes foram adequados para B e muito alto para Fe, enquanto que para Cu, Mn e Zn foram muito baixos (MALAVOLTA, 1990; PREZOTTI et al, 2007). Com base neste resultado, pode-se recomendar a adubação com Cu, Mn e Zn. A média dos teores de CO encontrados foi de 14,03 g kg⁻¹ e pode ser interpretada como média tendo como base as informações de FREIRE et al. (2013).

Embora os teores de B não tenham variado de forma significativa em função dos tratamentos, em nenhuma das profundidades, é possível observar na Figura 10A que os tratamentos com alternância entre os ciclos resultaram em maiores teores deste elemento no solo que os tratamentos sem alternância. Este comportamento pode ser explicado pela

disponibilização do B pela mineralização da matéria orgânica em solos arenosos, ácidos e com baixa matéria orgânica (SZULC; RUTKOWSKA, 2013).

Para o micronutriente Cu, foi observado que quando a colheita foi realizada exclusivamente sem ou com queima (CCCC ou QQQQ) (Figura 10B), obtiveram-se valores significativamente maiores nas profundidades 0 – 0,05, 0,05 – 0,1 e 0,3 – 0,4 m, sendo que nesta última profundidade o tratamento QCQC não se diferenciou dos tratamentos sem alternância ao longo dos ciclos (Anexo 2). Comportamento similar foi observado nos teores de CO (Figura 10F) para os tratamentos sem alternância nos ciclos (CCCC e QQQQ), corroborando para a hipótese deste elemento ser quelatinizado e complexado pela matéria orgânica, diminuindo sua mobilidade e aumentando sua disponibilidade no solo (MACIEL et al, 2019; SILVA et al, 2016).

Quanto ao teor de Fe no solo, o tratamento QQQQ diferiu dos tratamentos com alternância no sistema de colheita (CQCQ e QCQC) sendo considerado igual ao tratamento de colheita de cana crua em todos os ciclos (CCCC) na camada mais superficial (0 – 0,05 m) (Anexo 2). Esta foi a única profundidade em que se observou diferença significativa entre os tratamentos. Entretanto o tratamento CQCQ apresentou valores maiores em profundidade em relação aos outros (Figura 10C).

O tratamento QCQC apresentou maior teor de Mn, diferindo do tratamento CQCQ na profundidade 0,2 – 0,3 m e dos outros três tratamentos na profundidade 0,3 – 0,4 m, pelo teste de Duncan a 5% (Anexo 2). De forma geral, ao longo do perfil do solo este tratamento teve os maiores teores de Mn (Figura 10D).

Não foi observado diferença entre os tratamentos propostos quanto aos teores de Zn do solo ao longo do perfil, que pode ser visualizado na Figura 10E.

Os tratamentos resultaram em um maior número de micronutrientes com resposta significativa nas camadas superficiais (0 a 0,05 m) e mais profundas (0,3 a 0,4 m) analisadas. Na superfície, observou-se efeito para Cu e Fe, enquanto em maior profundidade, para Fe e Mn. (Figura 10B, Figura 10C, e Figura 10D).

O teor de CO foi superior no tratamento sem queima (CCCC) comparado aos tratamentos com ciclos alternados (CQCQ e QCQC) nas camadas 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,2-0,3 m, mas não diferiu no tratamento QQQQ nestas profundidades (Anexo 2). No entanto, houve uma tendência do tratamento com queima (QQQQ) apresentar maior teor de CO que os tratamentos com ciclos alternados em todas profundidades, exceto na 0,1 a 0,2 m. No tratamento CCCC foram observados os maiores valores de CO ao longo do perfil do solo (Figura 10F).

Canellas et al. (2003) observou um aumento nos níveis de CO e nos teores de Fe, Cu, Zn e Mn no solo em uma área com 55 anos de cultivo de cana-de-açúcar sem queima na colheita, até uma profundidade de 0,4 m. Além disso, foi constatado um impacto positivo da palhada na formação de matéria orgânica humificada. Os pesquisadores ressaltam que os resultados obtidos em áreas com maior tempo de preservação da palhada sugerem que ao longo do tempo pode ocorrer a condensação da fração alcalino-solúvel e o acúmulo de ácidos húmicos, o que influencia na qualidade da matéria orgânica do solo. O material vegetal depositado também foi apontado como um agente condicionador do solo e uma fonte de nutrientes, o que contribui para aumentar a capacidade produtiva do solo.

Souza et al. (2012), ao pesquisar as consequências da prática de colheita com queima em um solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico em Paraguaçu Paulista-SP, constatou um acréscimo no teor de carbono orgânico de 8,1 g kg⁻¹ nas áreas submetidas à queima para 12,5 g kg⁻¹ naquelas sem queima, na profundidade de 0 a 0,2 m.

No estado de Pernambuco, após um estudo de 16 anos em um solo do tipo Luvisolo, foi observado um aumento na quantidade de material orgânico no solo com o cultivo de cana-

de-açúcar sem queima, chegando a 0,2 m de profundidade (22 vs. 19 g kg⁻¹) (RESENDE et al, 2006b).

Com base na revisão dos estudos mencionados, sobretudo em regiões tropicais onde a composição mineralógica do solo e o intenso processo de intemperismo resultam em poucos nutrientes disponíveis, a manutenção da palhada na cultura da cana-de-açúcar auxilia na conservação da qualidade do solo e pode até mesmo melhorá-la, principalmente na liberação de micronutrientes devido à sua ligação direta com a matéria orgânica do solo.

Nesta mesma área experimental, Mendoza et al. (2000) encontraram os maiores valores dos teores da fração humina e ácidos fúlvicos na matéria orgânica do solo, sendo este o fator mais impactado pelos sistemas de colheita aplicados no estudo.

De acordo com Oliveira et al (2014), ao analisarem diversos estudos sobre os efeitos do manejo da colheita da cana-de-açúcar nos atributos químicos do solo, constataram que a maioria indica variações no solo em função do tipo de manejo da colheita.

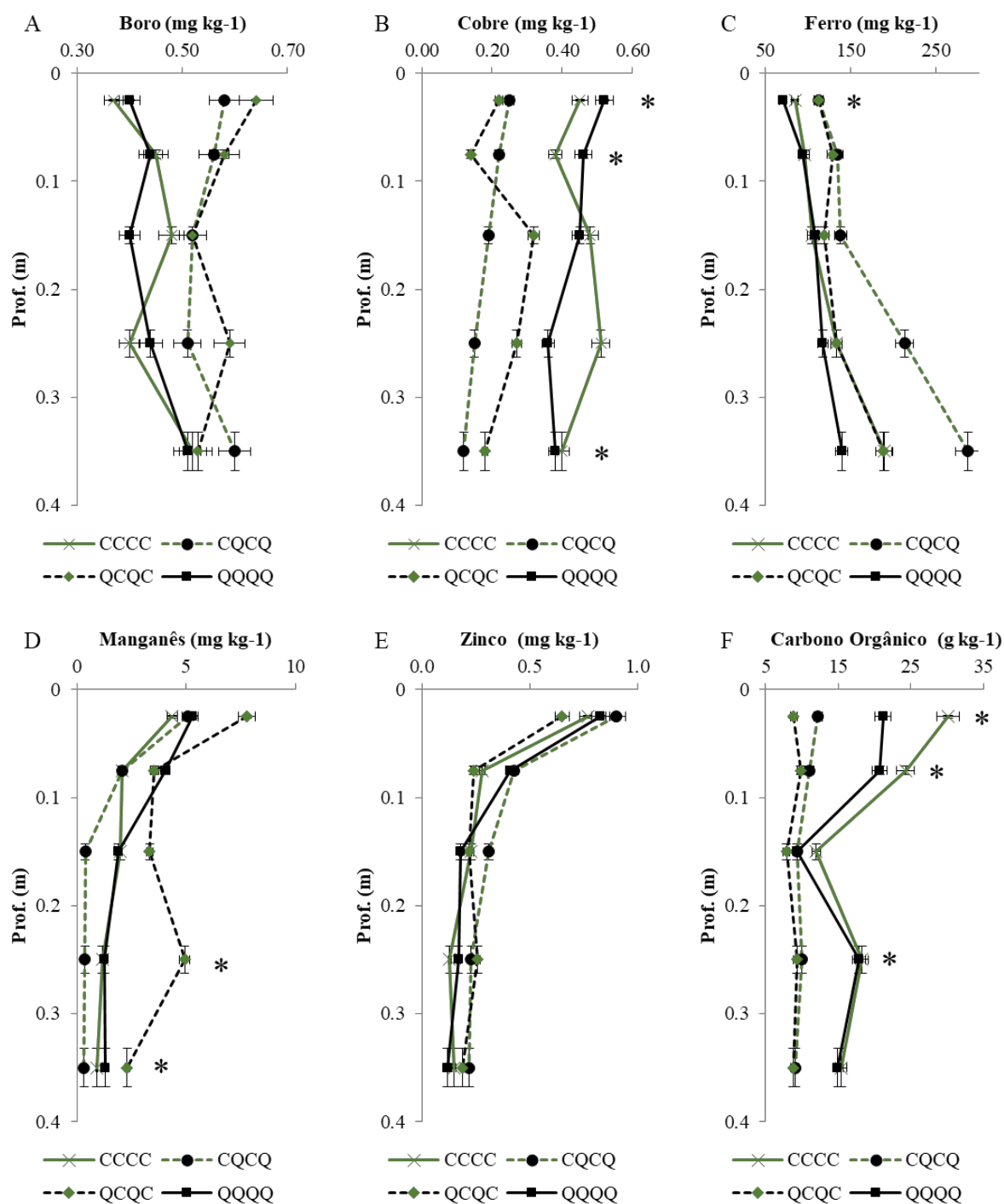


Figura 10. Teores médios de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D), zinco (E) e carbono orgânico (F) do solo, nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m, sob diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo, em Linhares-ES. *: Nestas profundidades os tratamentos apresentaram diferenças significativa pelo teste de média de Duncan a 5%.

6. CONCLUSÃO

O sistema de colheita da cana-de-açúcar não afeta o estado fitossanitário das plantas nas condições do trabalho, visto que não foram observados sintomas de doenças.

As produtividades de folhas secas, ponteiros e colmos não se alteram em função dos diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar aplicados.

Os sistemas de colheita de cana crua ou queimada, aplicados exclusivamente ou alternados ao longo dos ciclos da cultura, não causam diferenças significativas nos parâmetros tecnológicos avaliados.

Os tratamentos com alternância entre os sistemas de colheita têm tendência de apresentar maiores teores de B no solo.

Os teores de Cu no solo são influenciados pelos sistemas de colheita, apresentando maiores valores quando os sistemas de colheita são aplicados exclusivamente o mesmo, CCCC ou QQQQ.

O efeito do sistema de colheita com queima (QQQQ) nos teores de Fe do solo é negativo, apresentando os menores valores.

A alternância no sistema de colheita, QCQC promove maior teor de Mn no solo.

O teor de Zn do solo não é influenciado pelo sistema de colheita ao longo de quatro ciclos.

Os sistemas de colheita cana crua (CCCC) e cana queimada (QQQQ) quando aplicado exclusivamente promove maiores teores de CO no perfil do solo.

CAPÍTULO II

**SISTEMA DE PREPARO DO SOLO E DE MANEJO DE COLHEITA E
SEUS EFEITOS NA FITOSSANIDADE, PRODUTIVIDADE,
QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR E NOS TEORES DE
MICRONUTRIENTES E CARBONO ORGÂNICO DO SOLO**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência dos sistemas de preparo do solo, convencional (PC) e plantio direto (PD), e dos sistemas de colheita da cana-de-açúcar, cana crua (C) e cana queimada (Q), ao longo de 32 anos, sobre a incidência de doenças, produtividade, parâmetros tecnológicos de caldo e colmo, teores de micronutrientes (boro, cobre, ferro, manganês e zinco) e carbono orgânico (CO) do solo. O experimento foi realizado em um Argissolo amarelo em Linhares-ES, Brasil, durante quatro ciclos de cultivo (1989-1996, 1997-2004, 2005-2014 e 2015-2021) e passou por três renovações. A área experimental consistiu em duas faixas de seis blocos, com cada bloco composto por duas parcelas (sistema de preparo do solo) e duas sub-parcelas (sistema de colheita). Foram mantidos os mesmos manejos durante os 32 anos, variando apenas o preparo do solo e a colheita. As avaliações foram realizadas em 2021 na 5ª soqueira da cultivar RB965917, após 29 cortes, incluindo análises fitopatológicas para incidência e severidade de doenças. Amostras de planta foram coletadas para determinar a produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos, além de analisar os parâmetros tecnológicos do caldo e do colmo. As amostras de solo foram coletadas em diferentes profundidades (0-0,05; 0,05-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3; e 0,3-0,4 m) e analisadas quanto aos teores dos micronutrientes e de carbono orgânico. O estado fitossanitário não foi afetado pelos tratamentos, com a ocorrência de podridão vermelha (*Colletotrichum falcatum*) associada ao ataque de pragas. A interação entre os sistemas de preparo do solo e de colheita influenciou a produtividade de ponteiros, com maior produtividade no preparo convencional com cana crua. O sistema de colheita teve efeito significativo sobre a produtividade dos colmos, sendo a cana crua mais produtiva que a cana queimada, com um incremento de 16,64 Mg ha⁻¹. Para os parâmetros tecnológicos, a cana queimada apresentou maiores valores de fibra e pureza, enquanto a cana crua teve maior teor de açúcares redutores. Os teores de Cu, Fe, Zn e CO do solo foram influenciados pelos sistemas de preparo e colheita, com maiores níveis de Fe e Zn na camada superficial para cana queimada, e maiores teores de Cu e Fe para o preparo convencional nas profundidades de 0,05 a 0,1 m e 0,3 a 0,4 m, respectivamente. A cana crua resultou em maior teor de CO na camada superficial do solo, enquanto o plantio direto teve maior teor de CO a 0,3-0,4 m. Conclui-se que o preparo convencional com cana crua promove maior produtividade de ponteiros, e que a cana crua resulta em maior produtividade de colmos. Não houve interação entre os sistemas de preparo do solo e de colheita para os teores de micronutrientes, com os teores de Cu e Fe favorecidos pelo preparo convencional, enquanto a cana queimada promoveu maiores teores de Fe e Zn. O carbono orgânico é favorecido pela colheita crua na superfície do solo e, em profundidade, pelo plantio direto.

Palavras-chaves: Experimentação de longa duração, plantio direto, preparo convencional do solo, conservação do solo, interação.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of soil tillage systems, conventional tillage (CT) and no-tillage (NT), and sugarcane harvesting systems, raw cane (R) and burnt cane (B), over 32 years, on disease incidence, crop yield, technological parameters of juice and stalk, micronutrient levels (boron, copper, iron, manganese, and zinc), and soil organic carbon (SOC) content. The experiment was conducted on a sandy-textured Yellow Argisol in Linhares-ES, Brazil, over four cultivation cycles (1989-1996, 1997-2004, 2005-2014, and 2015-2021) with three field renovations. The experimental area consisted of two strips with six blocks each. Each block was divided into two plots (soil tillage system), and each plot contained two sub-plots (harvesting system). The same management practices were followed throughout the 32 years, varying only the soil tillage and harvesting methods. Evaluations were carried out in 2021 on the 5th ratoon of the RB965917 variety, after 29 harvests, including phytopathological assessments to determine disease incidence and severity. Plant samples were collected to assess the yield of dry leaves, stalk tips, and stalks, as well as the technological parameters of juice and stalk. Soil samples were collected at different depths (0-0.05, 0.05-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.3, and 0.3-0.4 m) and analyzed for micronutrient content and SOC levels. The phytosanitary status was not affected by the treatments, with red rot (*Colletotrichum falcatum*) being observed in association with pest attacks. There was a significant interaction between soil tillage and harvesting systems on stalk tip yield, with conventional tillage combined with raw cane yielding higher, and raw cane within conventional tillage showing the highest productivity. The harvesting system significantly affected stalk yield, with raw cane outperforming burnt cane by 16.64 Mg ha⁻¹. In terms of technological parameters, burnt cane showed higher fiber and purity values, while raw cane had higher levels of reducing sugars. The copper, iron, zinc, and SOC contents in the soil were influenced by the soil tillage and harvesting systems, with higher levels of iron and zinc in the surface layer under burnt cane, and higher copper and iron levels in the conventional tillage system at depths of 0.05-0.1 m and 0.3-0.4 m, respectively. Raw cane resulted in higher SOC levels in the surface layer, while no-tillage presented higher SOC at 0.3-0.4 m. It was concluded that conventional tillage with raw cane enhances stalk tip yield, and raw cane leads to higher stalk yield. There was no interaction between soil tillage and harvesting systems on micronutrient levels, with copper and iron levels favored by conventional tillage, while burnt cane promoted higher iron and zinc levels. SOC in the surface layer was increased by raw cane harvesting, and at depth by no-tillage.

Keywords: Long-term experimentation, no-till, conventional soil tillage, soil conservation, interaction.

7. INTRODUÇÃO

A demanda energética é cada vez maior, e a cultura da cana-de-açúcar que tem elevada capacidade de produção de produtos energéticos cresce continuamente. O setor requer intensa mecanização em todas as etapas de produção, com máquinas cada vez mais modernas e versáteis, com máxima eficiência e baixo custo objetivando sempre obter matéria prima de qualidade para a agroindústria sucroenergética (SOUZA et al., 2012).

O preparo do solo no cultivo da cana-de-açúcar é convencionalmente realizado pela utilização de arados, grades e subsoladores, contudo, temos outras duas formas de fazê-lo, com uso apenas de uma gradagem leve para remoção da soqueira seguida da sulcação e adubação que é denominada cultivo mínimo; e a denominada plantio direto com uso de herbicidas para evitar o desenvolvimento da soqueira, onde não é realizado o revolvimento do solo (BORDONAL et al., 2018b).

O preparo convencional, com sucessivas operações tem causado redução da qualidade do solo devido às alterações nos atributos físico do solo, como aumento da densidade e resistência a penetração no solo (SILVA JÚNIOR et al., 2013; MARASCA et al., 2015; SILVA e CASTRO, 2015).

Práticas mais conservacionistas minimizam a mobilização do solo, a manutenção de resíduos em superfície, conservação da estrutura e reduz o gasto energético, impactando positivamente a atividade.

Colheita sem queima é uma prática que contribui para conservação do solo, em aspectos físicos e químicos. A manutenção da palhada da cana-de-açúcar favorece a ciclagem de nutrientes favorecendo o aumento da produtividade agrícola (OLIVEIRA et al, 2014). Ainda, a queima está sendo eliminada por gerar problemas ambientais, sociais e agrônômicos, além de legais, já que seu uso foi proibido, autorizado apenas em situações específicas sob autorização de órgão competentes (TRIVELIN et al., 2013).

No estado do Espírito Santo, aproximadamente, 50,6 mil hectares estão com a cultura e 76,6% (38,8 mil ha) foram colhidos mecanicamente (CONAB, 2024).

A preocupação com a ocorrência de doenças na cana-de-açúcar muitas das vezes é negligenciada devido ao fato das cultivares liberadas para plantio comercial apresentarem resistência adequada às principais doenças da cultura. Porém não há imunidade completa, pois, a planta pode vir a ser infectada por doenças, sofrer injúria e apresentar perdas.

Sendo assim o monitoramento constante de incidência e severidade de doenças se faz necessário para que sejam tomadas as atitudes adequadas em tempo oportuno para não sofrer quedas na produtividade da cana-de-açúcar.

A promoção da adequada nutrição da cultura é uma questão crítica para alcançar rendimentos satisfatórios e receitas sustentáveis durante todos os ciclos das culturas, porém o conhecimento sobre a nutrição de micronutrientes é pouco estudado e a utilização da adubação com estes nutrientes encontra-se longe do ideal (SILVA et al., 2019; MARANGONI et al., 2019).

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência e a interação dos sistemas de preparo do solo, preparo convencional e plantio direto, e dos sistemas de colheita da cana-de-açúcar, cana crua e cana queimada, aplicado por 32 anos, na incidência de doenças, produtividade da cultura, nos parâmetros tecnológicos de caldo e colmo, nos teores dos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e no teor de carbono orgânico (CO) do solo.

8. MATERIAIS E MÉTODOS

8.1. Descrição da Área Experimental

O experimento foi instalado na fazenda Duas Lagoas, área 8, quadra 21, em área cedida pela Linhares Agropecuária S.A. no município de Linhares - Estado do Espírito Santo, situado entre os paralelos 19° 06' e 19° 18' de Latitude Sul e os meridianos 39° 45' e 40° 19' de Longitude Oeste. A altitude local é de 28,0 m. O clima da região na classificação de Köppen ao tipo AW, ou seja, clima tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, precipitação pluvial média anual de 1.250 mm e temperatura média máxima e mínima de 29,3 e 20,6 °C, respectivamente (INCAPER, 2022). O período mais quente do ano são os meses de dezembro-janeiro-fevereiro-março. A estação mais fria estende-se de julho a agosto. Geralmente, novembro se caracteriza por ser o mês mais chuvoso e agosto o mais seco (Figura 6). Na safra avaliada houve uma precipitação acumulada de 944 mm e a precipitação mensal e a temperatura média estão disponíveis na Figura 7. Os meses mais chuvosos foram outubro de 2020, fevereiro e março de 2021 que tiveram uma precipitação mensal de 168,5, 170,5 e 180,5 mm, respectivamente.

A área localizava-se em solo de tabuleiro classificado como Argissolo amarelo textura arenosa/média (RAVELLI NETO; LIMA, 1987). A área do experimento era uma floresta secundária da vegetação regional e foi derrubada e inicialmente substituída por pastagem de braquiária em 1986.

De acordo com a divisão regional do Estado, o município está incluído na zona estratigráfica do Baixo Rio Doce (EMBRAPA/SNLCS, 1978). Esta região se caracteriza por grandes áreas ligeiramente onduladas onde uma série de platôs baixos constituem o que se denomina “relevo tabuliforme”. As inclinações raramente são superiores a 3%. A vegetação primária remanescente da região é representada pela Floresta Tropical Subperenifolia.

O material de origem do solo são sedimentos argilo-arenosos pré-construídos da Formação Terciária Barreiras. Em geral apresentam horizontes bem diferenciados com horizonte textural B onde predomina a argila caulinitica, e são distróficos e coesos (JACOMINE, 1974). Além da presença de horizontes coesos, os solos que predominam nos planaltos são, geralmente arenosos, com baixo teor de matéria orgânica, nutrientes e baixa capacidade de retenção de água (SOUZA; VIEIRA NETO, 2003). Eles são encontrados na zona costeira do Brasil, do Amazonas até Macaé, no estado do Rio de Janeiro. Para estes solos, a matéria orgânica representa 70% da capacidade de retenção de cátions e está associada à capacidade de retenção de água e propriedades físicas e biológicas (BENAZZI, 2011).

8.2. Tratamentos e Delineamento Experimental

No 1º ciclo de 1989 a 1996 o preparo do solo em todo experimento foi o convencional, tendo como tratamentos os diferentes métodos de colheita, T1: colheita sem queima (cana crua - C) e T2: colheita com queima (cana queimada - Q). A partir do 2º ciclo em 1997, foi introduzido os tratamentos referentes aos preparos do solo na renovação que foram plantio direto (PD) - destruição da soqueira com a utilização de herbicidas sem o revolvimento do solo antes do plantio; e preparo convencional (PC) - preparo do solo antes do plantio com 1 aração e 2 gradagens pesadas, a 30 cm de profundidade.

Sendo assim, os tratamentos aplicados neste experimento foram os diferentes sistemas de preparo do solo, o preparo convencional (PC) e o plantio direto (PD), e como sub tratamentos os diferentes sistemas de colheita, cana crua (C) e cana queimada (Q) (Tabela 11). Sendo eles:

Tratamento 1: Área renovada com plantio direto (PD).
 Tratamento 1 A: com colheita sem queima (C);
 Tratamento 1 B: com colheita com queima (Q);
 Tratamento 2: Área renovada com plantio convencional (PC).
 Tratamento 2 A: com colheita sem queima (C);
 Tratamento 2 B: com colheita com queima (Q).

Tabela 11. Tratamentos de método de colheita e preparo do solo ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, aplicados ao longo de 4 ciclos, e as cultivares plantadas, no município de Linhares-ES. PD: plantio direto, PC: plantio convencional, C: cana crua, Q: cana queimada.

| 1º ciclo 1989-1996 | 2º ciclo 1997-2004 | 3º ciclo 2005-2014 | 4º ciclo 2015-2021 | Tempo de manejos |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| T1 - PC x C | | TI (T1 A) PD x C | | 32 anos de C e 24 PD |
| | | T2 (T1 B) PD x Q | | 24 anos de Q e PD |
| T2 - PC x Q | | T3 (T2 A) PC x C | | 24 anos de C e PC |
| | | T4 (T2 B) PC x Q | | 32 anos de Q e PC |
| | RB739735 | SP79-1011 | RB965917 | Cultivares |
| | 1,2 m | 1,3 m | 1,5 m | Espaçamento |
| | 125P/85K | 20N/80P/80K | 25N/100P/100K | Adubo de plantio |
| | 100N/80K | 80N/80K | 100N/150K | Adubo de cobertura |

As avaliações foram feitas na cultivar RB965917 com colheita manual no 4º ciclo com 32 anos de cultivo, na última renovação do canavial em fevereiro de 2015.

O experimento teve delineamento de blocos casualizados com seis repetições em esquema de parcelas subdivididas, sendo cada bloco composto de duas parcelas (sistema de preparo do solo), com área de 580,8 m² cada parcela. A parcela continha 18 linhas com 22,0 m de comprimento e espaçadas de 1,5 m. Foram consideradas como bordadura duas linhas de cada lado da parcela. Cada parcela era composta de duas sub-parcelas (sistema de colheita). A sub-parcela continha 9 linhas de 22,0 m de comprimento (290,4 m²). O experimento possui uma área total de 6.969,6 m² (Figura 11)

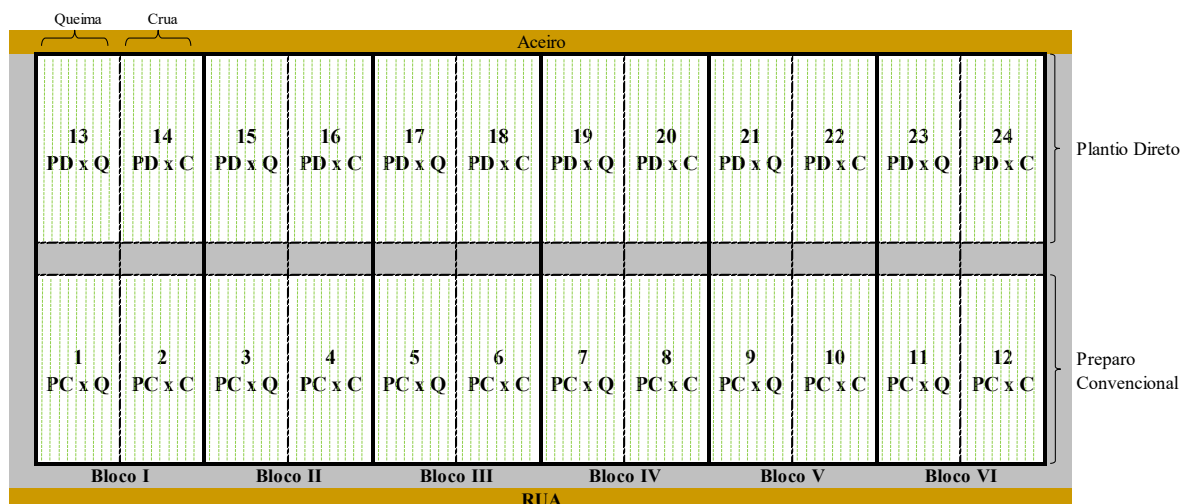


Figura 11. Croqui do experimento tendo como parcelas diferentes sistemas de preparo do solo, plantio direto (PD) e preparo convencional (PC), e como sub-parcelas diferentes método de colheita, com queima (Q) e sem queima (C) prévia da cana-de-açúcar, em Linhares – ES (Usina Linhares Agropecuária S.A – 2021), avaliados no ano de 2021, na 5ª soca da cultivar RB965917.

8.3. Cultivares de Cana-de-açúcar

Foram utilizadas as seguintes cultivares: RB739735 no 1º e 2º Ciclo, a SP79-1011 no 3º Ciclo e a RB965917 no 4º Ciclo. As características gerais das respectivas cultivares encontram-se na Tabela 7 abaixo.

Na avaliação realizada em 2021 foi colhida a cultivar RB965917 que tem como aspectos gerais as touceiras com hábito de crescimento ereto, alta intensidade de perfilhamento, colmos de cor verde-amarelada sob a palha e amarelo-esverdeada quando expostos ao sol, de fácil despilha, palmito curto, de cor verde e pouca cera. Se destaca pela alta produtividade e elevado teor de sacarose no meio da safra, sendo recomendada para plantio em ambientes com alto potencial produtivo e colheita de junho a setembro (OLIVEIRA; BARBOSA; DAROS, 2021).

8.4. Ciclos da Cultura ao Longo dos 32 Anos

As avaliações foram feitas após 32 anos da montagem do experimento e conduzido por quatro ciclos de cana-de-açúcar, de 1989-1996, de 1997-2004, de 2005-2014 e de 2015-2021, identificados como 1º Ciclo, 2º Ciclo, 3º Ciclo e 4º Ciclo, respectivamente, sendo realizado 7, 7, 9 e 6 colheitas nos ciclos respectivamente. O resumo se encontra no Anexo 1.

8.4.1. 1º ciclo - 1989 a 1996

A cultivar plantada durante este ciclo foi a RB739735, oriunda do viveiro de mudas da usina com aproximadamente 10 meses de idade.

O plantio foi realizado com os colmos das mudas picados em toletes no sulco de plantio de 0,30 m de profundidade em espaçamento de 1,20 m feito por sulcador após aração profunda e gradagem em maio de 1989.

A adubação basal no início do experimento foi de 500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 85 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 125 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples, aplicado no sulco no momento do plantio. Nos anos de 1990 a 1994, após a colheitas, fez-se a adubação das soqueiras com 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 85 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio.

Os tratos culturais de rotina da usina foram aplicados uniformemente em toda área. Nos tratamentos com queima da cana foram realizadas capinas manuais aos 60 dias após a brotação para controle de infestação de plantas daninhas neste tratamento, já que no tratamento de cana sem queima a palhada exerce este controle.

A primeira colheita (cana planta) foi feita em setembro 1990 e a partir desta colheram seis sucessivas socas. As colheitas seguintes foram feitas nos meses de setembro de 1991, 1992, 1993, outubro de 1994, 1995 e 1996; totalizando 7 colheitas. Todas as colheitas foram feitas manualmente com entrada de quase nenhum maquinário na área experimental.

8.4.2. 2º ciclo – 1997 a 2004

A primeira renovação foi realizada abril de 1997, após a aplicação de herbicida a base de glifosato, em dose recomendada pelo fabricante do produto comercial (5L de produto comercial por hectare) para a eliminação da soqueira após 60 dias da brotação da soqueira, realizada em janeiro de 1997.

O plantio foi realizado em sulco sem o prévio preparo do solo (Plantio Direto), sendo realizado a sulcação com profundidade de 0,30 m espaçados a 1,20 m, nas entre linhas do plantio anterior. Não foi necessário realizar a calagem segundo análise de solo da área.

Replantou-se a cultivar RB739735 que tinha sido cultivada no primeiro ciclo, obtendo-se mudas do viveiro da usina com idade aproximada de 10 meses.

A adubação de plantio aplicada foi de 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples em 11/04/1997. As soqueiras foram adubadas em cobertura, nos anos subsequentes, com 80 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 80 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio, nos meses de outubro/novembro.

Os tratos culturais de rotina da usina foram aplicados de forma uniforme em toda a área. Nos tratamentos com queima da cana, foram realizadas capinas manuais 60 dias após a brotação para controle de plantas daninhas, uma vez que no tratamento sem queima a palhada desempenha esse papel de controle.

As colheitas foram realizadas manualmente sem tráfego de máquinas no experimento. A cana planta foi colhida em setembro de 1998 e 6 socarias foram colhidas sequentemente em setembro de 1999, 2000 e 2001; e em outubro de 2002, 2003 e 2004.

8.4.3. 3º ciclo - 2005 a 2014

O terceiro ciclo iniciou-se com a eliminação da soqueira, em fevereiro de 2005, com o uso de herbicida como descrito no 2º ciclo.

Não se realizou o preparo do solo prévio ao plantio que ocorreu em sulcos de 0,30 m de profundidade sendo aplicado um espaçamento de 1,30 m entre sulcos.

A cultivar utilizada foi a SP79-1011, vindas de viveiro de mudas da usina com idade aproximada de 10 meses.

A adubação utilizada de plantio foi uniforme, aplicando 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples em maio de 2005, e na rebrota no mês de setembro dos anos 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, ocorreram a aplicação da adubação de soqueira com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 150kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio.

Como nos dois ciclos anteriores, foi realizada capina manual nas parcelas com queima da cana aos 60 dias após a brotação das soqueiras para controle similar das plantas daninhas como o ocorrido nas parcelas sem queima que a palhada sobre o solo. Outros tratos se observado necessário pela equipe da usina foram realizados de forma uniforme em todas as parcelas.

Neste ciclo a cana planta foi colhida em agosto de 2006 e as soqueiras em setembro de 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013; e a oitava e última soca em outubro de 2014. A colheita como nos outros ciclos foram manuais sem tráfego de máquinas.

8.4.4. 4º ciclo - 2015 a 2021

A terceira renovação do experimento ocorreu após aguardar aproximadamente 60 dias a rebrota da 9ª soqueira do 3º ciclo quando se realizou a dessecação química utilizando-se herbicida como descrito no 2º ciclo.

Em fevereiro de 2015 realizou-se o plantio direto sem o preparo prévio do solo. A cultivar utilizada neste ciclo foi a RB965977. O plantio de mudas oriundas de viveiro de mudas da usina ocorreu com os colmos sendo colocados no sulco e picado em toletes com 3 gemas cada. Os sulcos de 0,30 m de profundidade foram realizados com sulcador duplo com espaçamento simples de 1,50 m sobre a entrelinha do plantio anterior.

Foi realizada a adubação de plantio com aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia, 100 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio e 140 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples em fevereiro de 2015 no fundo do sulco. Na rebrota no mês de outubro dos anos 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 e no mês de novembro de 2017 ocorreram a aplicação da adubação de soqueira com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e 150 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio em cobertura.

Este experimento foi avaliado até 2021 na sua 5ª soqueira. A colheita da cana planta realizada em agosto de 2016 e das soqueiras realizadas em setembro de 2017, 2018, 2019, 2020 e 2021 foram realizadas manualmente sem a entrada de máquinas pesadas no experimento.

8.5. Avaliação Fitopatológica

Para avaliar o efeito do manejo adotado nas colheitas da cana-de-açúcar na sanidade da cultura, foram realizados levantamentos para determinação de incidência e severidade de doenças nas respectivas parcelas. Esta avaliação foi realizada em 20 de setembro de 2021 na 5ª soca do 4º ciclo.

Esta avaliação foi feita com base no diagnóstico seguido de quantificação das seguintes doenças: ferrugem marrom (*P. melanocephala*) e alaranjada (*P. kuehnii*); mancha parda (*Septoria glycines*) e; mancha anelar (*Leptosphaeria sacchari*), na folhagem; e de podridão vermelha (*C. falcatum*) no colmo.

As avaliações foram feitas na folha +3, conforme nomenclatura Kuijper, descrita por Dillewijn (1952). Para a determinação da severidade da ferrugem marrom e alaranjada foi utilizada a escala de notas proposta por Amorim et al. (1987) e para mancha parda e anelar a escala de notas proposta por Zambon e Daros (2005).

A avaliação da incidência e severidade de doenças de colmo (podridão vermelha - *C. falcatum*) foi realizada em amostras de colmos coletadas em 4 metros lineares no centro da parcela, foi realizada a contagem dos colmos totais da amostra e a contagem dos colmos com sintoma. Os colmos com sintomas foram cortados ao meio para avaliação da severidade através da contagem do número de entrenós com os sintomas em relação ao número total de entrenós.

8.6. Colheita de Cana-de-açúcar

A colheita de cana crua consistiu no corte rente ao solo da planta, seguida da despalha e o corte do ponteiro (palmito e folhas verdes) com o podão, sem a prévia queima da cana. As folhas secas e o ponteiro, após a colheita, foram espalhados uniformemente na área. Na colheita de cana queimada, o fogo foi ateado previamente em todo o perímetro das parcelas, de tal forma

que o seu término se processe na parte central dela. Após este procedimento foi realizado o corte rente ao solo da planta seguida do corte do ponteiro com o podão.

As colheitas das cana-plantas foram realizadas aproximadamente aos 18 meses após o plantio e as soqueiras colhidas em intervalos de 12 meses. As parcelas de cana crua foram colhidas primeiro, incluindo a bordadura das parcelas (duas linhas de cada lado). Para proteção da palhada do tratamento cana crua contra o fogo das parcelas de cana queimada, foi realizada a saturação com água, utilizando um caminhão-pipa, e as parcelas restantes foram queimadas para colheita no dia seguinte.

8.7. Produtividade e Parâmetros Tecnológicos

A produtividade e os parâmetros tecnológicos foram avaliados na 5ª soqueira do 4º ciclo em setembro de 2021. Nas parcelas, em duas linhas aleatórias e representativas, das cinco linhas centrais, foram realizadas amostragens de 2 metros lineares em pontos aleatórios e representativos das linhas, com corte rente ao solo da planta inteira, para avaliação da produtividade; e após esta avaliação foram separados três colmos de cada uma das amostras para realizar a análise dos parâmetros tecnológicos.

As plantas colhidas na amostragem, foram separados os colmos, os ponteiros (palmito e folhas verdes) e as folhas secas (palha da cana), foram pesadas. Determinou-se a produtividade de massa fresca (Mg ha^{-1}) destas partes, considerando o peso obtido de cada amostra, a metragem amostrada de 2 metros lineares e o espaçamento entre linhas de 1,5 m.

Foram determinados os parâmetros tecnológicos do caldo e da cana-de-açúcar obtido nos diferentes tratamentos. Estas análises agroindustriais foram realizadas no Laboratório da Destilaria Linhares Agropecuária S/A conforme os procedimentos descritos em Melo (2018). Para análise do caldo, foram consideradas subamostras formadas por três colmos onde foram determinados: percentagem de sólidos solúveis totais do caldo ($^{\circ}\text{Brix}$); percentagem de fibras da cana-de-açúcar (%); Pol do caldo (%); pureza do caldo (%); açúcares redutores - AR (%) e açúcares totais recuperáveis - ATR (kg t^{-1}).

8.8. Amostragem

A amostragem de solo foi realizada em cada parcela do experimento em setembro de 2021. As amostragens realizadas foram nas profundidades de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m. As amostras foram coletadas antes da colheita das parcelas, após amostragem para avaliação da produtividade e parâmetros tecnológicos. As amostras compostas foram formadas pela união e homogeneização de 3 amostras simples tiradas aleatoriamente, por caminhamento em zigue-zaque na parte central das parcelas, nas entrelinhas do canavial, constituindo cinco amostras por parcelas (20 por bloco).

As amostras identificadas foram levadas para o laboratório onde foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de 2,0 mm para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras foram utilizadas para a determinação de B, Cu, Fe, Mn, Zn e carbono orgânico.

8.9. Determinação de Micronutrientes e do Carbono Orgânico do Solo

No laboratório de Análises de Solos, Plantas e Resíduos – LABFER, do Departamento de Solos /UFRRJ, foram realizadas as análises de determinação dos micronutrientes cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e carbono orgânico (CO) seguindo o descrito no Manual de Métodos de Análises de Solos (TEIXEIRA et al, 2017).

Para determinação dos micronutrientes, 10 g de TFSA foram colocadas em Erlenmeyer de 125 mL, adicionado 50 mL de solução extratora de Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol.L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) e agitadas por 5 minutos em agitador mecânico horizontal, teve sua suspensão

filtrada. A determinação dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn foi feita no filtrado por espectrofotometria de absorção atômica.

A determinação de CO se deu pelo princípio da oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$ $0,2 \text{ mol L}^{-1}$), em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor desprendido do ácido sulfúrico e aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal $(NH_4)_2Fe_2SO_4$ $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ - sal de Mohr). O procedimento de análise foi pesar 0,5g de TFSA peneirada em peneira de 80 mesh, colocar em um Erlenmeyer de 250 mL, adicionar 10,0 mL de solução de dicromato de potássio, colocar um condensador no Erlenmeyer e aquecer em chapa aquecedora (150°C) até fervura branda, deixar esfriar e juntar 80,0 mL de água destilada, adicionar 2,0 mL de ácido ortofosfórico e três gotas do indicador difenilamina e titular com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ até que a cor azul desapareça, cedendo lugar a verde, anotar os mL gastos e realizar os cálculos ($C(\text{g/kg}) = (40 - \text{volume gasto}) \times f \times 0,6$).

No laboratório Centro de Análises do Campus Campos dos Goytacazes da UFRRJ foi realizada a análise do micronutriente boro (B) por extração com água quente e determinação por espectrofotometria.

A determinação dos teores de B foi executada conforme descrita por Berger e Truog (1939) com modificações. Para tanto, 10,0 mL de solo foram adicionados em um Erlenmeyer de 135 mL seguido de acréscimo de 20,0 mL de H_2O deionizada. As misturas solo mais água foram aquecidas em chapa aquecedora até fervura por 2 minutos. Às amostras frias, em temperatura ambiente, foram adicionados 2,0 mL de $CaCl_2$ $0,1M$ seguido de repouso por 12 horas. Em seguida, coletaram-se alíquotas de 1,0 mL que foram transferidas para copinhos de plástico onde foram adicionados 4,0 mL de solução de curcumina. Os frascos foram levados para banho-maria, a $65^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ de modo que os mesmos fiquem uniformemente mergulhados, para secar e após seco foram colocados no banho-maria por mais 15 minutos cronometrados. Após resfriamento, adicionaram-se 25,0 mL de álcool etílico 95% seguido de filtragem em papel de faixa preta. O filtrado obtido foi analisado por meio de leituras da absorbância em espectrofotômetro a 540 nanômetros.

8.10. Análise Estatística

Os dados foram submetidos a teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Han) das variâncias. Sendo os dados transformados, quando necessário, com a aplicação da raiz quadrada, para tornar a distribuição homocedástica e normal. E os resultados foram analisados quanto à variância pelo teste F (Tabela 12), e os valores médios comparados por teste de média de Duncan a 5%. Foi utilizado o software R para realização dos cálculos e análises estatísticas.

O modelo estatístico utilizado foi:

$$\gamma_{ijk} = \mu + p_i + b_j + e_{ij} + s_k + ps_{ik} + e_{ijk}$$

Onde:

μ é a média geral;

p_i é o efeito do fator parcela, com os níveis $i = 1, 2, \dots, I$;

b_j é o efeito de blocos, com $j = 1, 2, \dots, j$;

e_{ij} é o erro em nível de parcela (int. parcela x bloco);

s_k é o efeito do fator sub-parcela, com os níveis $k = 1, 2, \dots, k$;

ps_{ik} é o efeito da interação de tratamentos p x s ;

e_{ijk} é o erro em nível de sub-parcelas (int. parcela x sub-parcela x bloco).

Tabela 12. Tabela de análise de variância de delineamento em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas utilizado na análise do experimento.

| FV | GL | SQ | QM | Fc |
|------------|--------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|
| Parcela | $I - 1$ | $SQ_{Parcela}$ | $QM_{Parcela}$ | $F_{Calculado\ parcela.}$ |
| Erro a | $(J-1)(I-1)$ | $SQ_{Erro\ a}$ | $QM_{Erro\ a}$ | |
| Blocos | $J - 1$ | SQ_{Bloco} | QM_{Bloco} | $F_{Calculado\ bloco}$ |
| Subparcela | $K-1$ | $SQ_{Subparcela}$ | $QM_{Subparcela}$ | $F_{Calculado\ subparcela}$ |
| P x S | $(I-1)(K-1)$ | $SQ_{P \times S}$ | $QM_{P \times S}$ | $F_{Calculado\ P \times S}$ |
| Erro b | $I(J - 1)$ | $SQ_{Residuo}$ | $QM_{Residuo}$ | |
| Total | $IJK - 1$ | SQ_{Total} | | |

FV: Fator de variação; *GL*: graus de liberdade; *SQ*: soma dos quadrados; *QM*: quadrados médios; *Fc*: valor F(Fisher) calculado; *P*: parcela; *S*: sub-parcela; *I*: número de parcelas; *J*: número de blocos; *K*: número de sub-parcelas.

9. RESULTADOS E DISCUSSÕES

9.1. Efeito dos Tratamento na Sanidade da Cana-de-açúcar

Na avaliação de incidência e severidade das doenças no experimento, todos os tratamentos apresentaram um bom padrão fitossanitário de forma geral, em especial quando comparado aos talhões no entorno, onde a cultivar CTC-2 e a cultivar RB988082 apresentavam moderada incidência de plantas com ferrugem alaranjada (*P. kuehnii*), ferrugem marrom (*P. melanocephala*) e mancha anelar (*L. sacchari*).

Foi observado ocorrência de podridão vermelha (*C. falcatum*) em cinco parcelas, correspondendo a aproximadamente 0,94% dos colmos avaliados na amostragem (Figura 13). Dentre as parcelas que continham plantas infectadas, duas eram do tratamento preparo convencional e cana crua, duas com tratamento plantio direto e cana queimada e uma com tratamento preparo convencional e cana queimada. Nas plantas infectadas, cerca de 42% dos entrenós apresentaram sintoma de podridão (Figura 15). Ressalta-se que a ocorrência de podridão estava associada com o ataque de cupim, com rachadura natural do entrenó (Figura 12) e ataque de broca-da-cana (Figura 14).

As práticas conservacionistas, como o plantio direto e colheita da cana crua com manutenção da palhada, tem potencial de favorecer uma maior atividade microbiológica que atua no controle biológico espontâneo de pragas e doenças (DINARDO-MIRANDA; FRACASSO, 2013; ROESE; SILVA, 2021).

A avaliação realizada neste estudo de diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar por longo período obtiveram resultados que demonstram que tais práticas não influenciam na incidência e severidade de doenças na cana-de-açúcar. São escassos, porém, os trabalhos que avaliam o impacto da camada de preparo do solo na incidência e severidade das doenças da cana-de-açúcar.

Nechet; Ramos; Halfeld-Vieira (2021) avaliaram a incidência e a severidade de doenças foliares da cana de açúcar em uma área com histórico de 20 anos de cultivo com cana-de-açúcar, com colheita 100% mecanizada e não queimada nos últimos 8 anos, três tratamentos de preparo do solo (preparo convencional, reduzido e plantio direto) e duas épocas de plantio (cana de ano e meio e cana de ano. No primeiro período experimental, três meses após o plantio, não foram observadas podridões radiculares ou doenças foliares. Nas avaliações da ocorrência de doenças, restringiu-se à mancha anelar, causada pelo fungo *L. sacchari*, e à podridão vermelha, causada pelo fungo *C. falcatum*. Os sintomas da podridão vermelha, caracterizados por lesões vermelhas com margens mais escuras, foram restritos às nervuras centrais.

NECHET et al, 2021 relatam que não houve diferenças significativas entre os tratamentos de preparo do solo na estação seca quanto à severidade da mancha anelar e a podridão vermelha, independentemente do período de avaliação. Os primeiros sintomas de doenças foliares foram observados seis meses após o plantio, no período chuvoso. Não observaram também, diferenças significativas entre os tratamentos de preparo do solo em ambas as épocas de avaliação, seca e chuvosa. Os primeiros sintomas de ambas as doenças quais foram observados concomitantemente sete meses após o plantio.

Os resultados obtidos no presente trabalho como no de outros autores demonstraram que geralmente não há influência das práticas de preparo do solo na incidência de doenças foliares da cana-de-açúcar. As doenças avaliadas restringiram-se à mancha anelar e à podridão vermelha (sintomas foliares). A incidência da mancha anelar foi muito comum na cana-de-açúcar e, além de não ser considerada uma doença importante no Brasil, tem sido considerada um parâmetro

de seleção em programas de melhoramento para eliminação de genótipos suscetíveis (NECHET et al, 2021).

No Brasil, a podridão vermelha costuma estar associada a lesões causadas pela broca da cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*) (PANNUTI et al. 2013). A colonização dos colmos pelo patógeno leva ao apodrecimento, que é a forma mais grave da doença.

Na Austrália, Crof e Saunders (1996) relatam a diminuição da densidade de esporos de *P. chaunorhiza*, causador da síndrome da raiz podre, pelo plantio direto na entrelinha, indicando a técnica para o manejo de controle da doença. A densidade de esporos de *P. chaunorhizana* na linha foi dez vezes maior do que na entrelinha neste local.

Em outro estudo para avaliar o efeito do preparo do solo sobre *P. chaunorhiza* e efeito de longo prazo, Braunack et al (2012) não observou diferença significativa entre os preparos do solo na densidade de esporos do agente causal da síndrome da raiz podre.



Figura 12. Colmo com sintomas de 'Podridão vermelha' (*Colletotrichum falcatum*) no colmo associada a rachadura do entrenó.



Figura 14. Sintomas de 'Podridão vermelha' (*Colletotrichum falcatum*) associada ao ataque de broca-da-cana em colmos amostrados no experimento.



Figura 13. Sintomas de 'Podridão vermelha' (*Colletotrichum falcatum*) em colmos amostrados no experimento associado ao ataque de cupins.



Figura 15. Sintoma severo de 'podridões' decorrente do ataque de cupins.

9.2. Produtividade e Análise Tecnológica

Na Tabela 13, são apresentados os valores de produtividade de folhas secas, ponteiros e colmos por sistema de preparo do solo no momento da renovação do canavial, preparo convencional e plantio direto, e sistema de colheita da cana-de-açúcar sem e com queima prévia.

Observou-se efeito significativo da interação entre tipos de preparo do solo e sistemas de colheita sobre a produtividade de ponteiros. O preparo convencional do solo resultou em maior produtividade quando associado à colheita de cana crua; no sistema de plantio direto não houve diferenças entre os sistemas de colheita de cana crua e de cana queimada quanto à produtividade. A biomassa de ponteiros nos tratamentos com colheita de cana crua foram significativamente maiores quando associada ao preparo convencional do solo; já na colheita com cana queimada, a biomassa de ponteiros foi estatisticamente igual nos dois sistemas de preparo do solo.

Na produtividade de colmos, foi observado que o sistema de colheita cana crua resultou em maior rendimento ($81,46 \text{ Mg ha}^{-1}$), o que equivale a $16,64 \text{ Mg ha}^{-1}$ a mais do que o rendimento observado no tratamento cana queimada, evidenciando melhor aproveitamento dos nutrientes da palhada quando preservada sobre o solo.

Arcoverde et al (2023) realizando colheita mecanizada, assim como este estudo, não observou diferenças entre os tipos de preparo do solo quanto à produtividade de colmos, concluindo que a manutenção de 100% da palhada proporcionou aumento na produtividade de colmo e açúcar.

Estudando o efeito do preparo convencional e o plantio direto em cana-de-açúcar em dois solos distintos (franco-arenoso e argiloso), Barbosa et al (2019) não encontraram diferenças significativas quanto à produtividade de colmos de cana-de-açúcar durante a colheita da cana planta até a 3ª soca. A similaridade de produtividade entre os sistemas de preparo do solo é um forte argumento para sensibilizar os agricultores para a adoção do sistema de plantio direto nos canaviais brasileiros.

Na Tabela 14, são apresentados os valores dos parâmetros tecnológicos avaliados no experimento, onde não há interação significativa entre os sistemas de preparo do solo e colheita. Foram observadas diferenças significativas apenas para os efeitos principais entre os diferentes sistemas de colheitas para fibra, pureza e açúcares redutores. A cana queimada obteve maiores valores de fibra da cana-de-açúcar e pureza do caldo enquanto a cana crua obteve maior média para açúcares totais recuperáveis.

Em avaliação anterior na mesma área de estudo, Lopes (2014) no final do terceiro ciclo (6ª soca do 3º ciclo – 23 anos), não encontrou diferença estatísticas, diferente dos resultados obtidos neste estudo no final do quarto ciclo (5ª soca do 4º ciclo – 32 anos).

Silva Júnior et al (2013), em um estudo realizado com cinco técnicas de preparação do solo (três convencionais - PCI, PCII e PCIII; cultivo mínimo - CM; e plantio direto - SD), em um solo Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa, em Rio Brilhante - MS, a intensidade de revolvimento do solo influenciou os níveis de Pol, açúcar total recuperável, produção de açúcares por hectare e teor de fibra do colmo. Durante a primeira safra (cana planta), de maneira geral, os tratamentos que realizaram maior revolvimento do solo (PCI, PCII e PCIII) tiveram maiores médias nas variáveis de qualidade do caldo em comparação com aqueles que apenas abriram sulcos (SD). Já na segunda safra (1 soca), os pesquisadores observaram diferenças apenas nos teores de produção de açúcar e na produção de colmos por hectare, onde o SD apresentou médias menores em comparação com os demais tratamentos.

Tabela 13. Produtividade de folhas secas, ponteiros e colmo em resposta aos sistemas de preparo do solo e de colheita para a safra 2020/2021 (5ª soqueira).

| Tratamentos | C | | Q | | Média |
|-------------|---------------------------|----|---------------------------|----|-------|
| | Mg.ha ⁻¹ | | | | |
| | Folhas Secas | | | | |
| PD | 6,08 | | 6,40 | | 6,24 |
| PC | 5,99 | | 6,50 | | 6,24 |
| Média | 6,03 | | 6,45 | | |
| | CV ₁ % =19,12 | | CV ₂ % =18,59 | | |
| Ponteiros | | | | | |
| PD | 13,44 | Ab | 13,60 | Aa | 13,52 |
| PC | 16,61 | Aa | 12,08 | Ba | 14,35 |
| Média | 15,03 | | 12,84 | | |
| | CV ₁ % =10,37 | | CV ₂ % =18,93 | | |
| Colmo | | | | | |
| PD | 76,64 | | 66,14 | | 71,39 |
| PC | 86,28 | | 63,50 | | 74,89 |
| Média | 81,46 | A | 64,82 | B | |
| | CV ₁ % = 15,92 | | CV ₂ % = 16,11 | | |

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas, e minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Duncan (prob<0,05). PD: plantio direto, PC: preparo convencional; C: cana crua; e Q: cana queimada. CV%: Coeficiente de variação 1 e 2.

Tabela 14. Parâmetros tecnológicos avaliados em resposta aos sistemas de preparo do solo e de colheita para a safra 2020/2021 (5ª soqueira).

| | °Brix | | | FIB (%) | | |
|-------|--------------------------|---------|--------------------------|---------------------------|---------|--------------------------|
| | C | Q | Média | C | Q | Média |
| PD | 22,38 | 22,72 | 22,55 | 14,91 | 15,75 | 15,33 |
| PC | 21,74 | 22,77 | 22,25 | 14,45 | 15,52 | 14,99 |
| Média | 22,06 | 22,75 | | 14,68 | b 15,63 | a |
| | CV ₁ % = 2,89 | | CV ₂ % = 4,07 | CV ₁ % = 6,59 | | CV ₂ % = 3,82 |
| | Pol | | | Pureza (%) | | |
| | C | Q | Média | C | Q | Média |
| PD | 18,65 | 19,0 | 18,84 | 83,35 | 83,69 | 83,52 |
| PC | 18,0 | 19,0 | 18,54 | 82,92 | 83,61 | 83,26 |
| Média | 18,34 | 19,0 | | 83,14 | b 83,65 | a |
| | CV ₁ % = 3,46 | | CV ₂ % = 4,76 | CV ₁ % = 0,59 | | CV ₂ % = 0,72 |
| | AR (%) | | | ATR (kg t ⁻¹) | | |
| | C | Q | Média | C | Q | Média |
| PD | 0,78 | 0,77 | 0,776 | 155 | 156,6 | 155,8 |
| PC | 0,80 | 0,773 | 0,785 | 150,8 | 157,2 | 154 |
| Média | 0,79 | a 0,771 | b | 152,9 | 156,9 | |
| | CV ₁ % = 2,13 | | CV ₂ % = 2,93 | CV ₁ % = 3,00 | | CV ₂ % = 4,18 |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si estatisticamente, minúsculas na horizontal e maiúsculas na vertical, pelo teste de Duncan (prob<0,05). PD: plantio direto, PC: preparo convencional; C: cana crua; e Q: cana queimada. CV%: Coeficiente de variação 1 e 2.

9.3. Micronutrientes e Carbono Orgânico do Solo

Os teores dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn assim como o de CO do solo nas diferentes profundidades nos diferentes sistemas de preparo do solo e colheita da cana-de-açúcar são apresentados no Anexo 3 e Anexo 4.

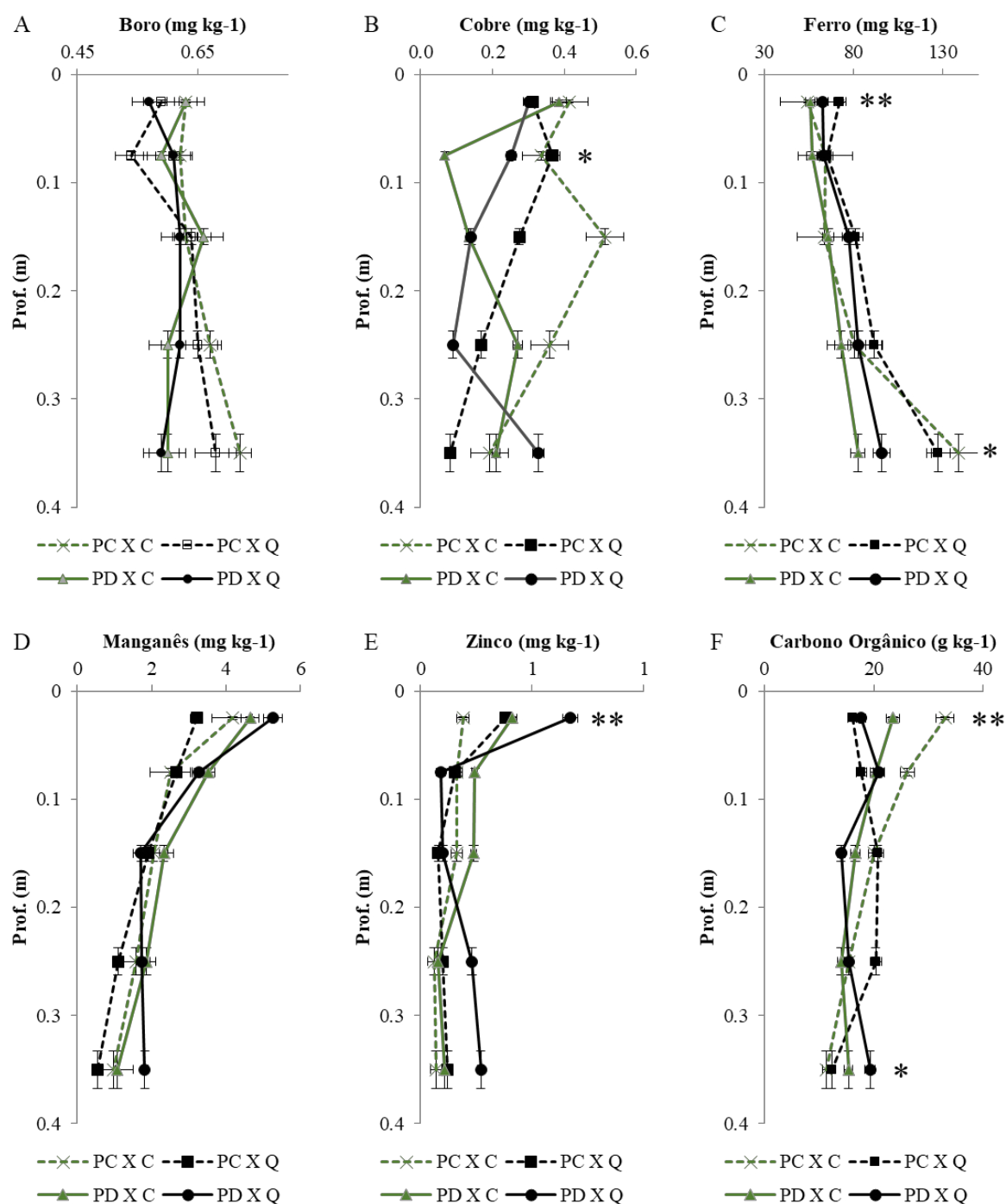


Figura 16. Teores médios de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D), zinco (E) e carbono orgânico (F) do solo, nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m, sob diferentes sistemas de preparo do solo e colheita da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo, em Linhares-ES. * efeito principal significativo para os sistemas de preparo do solo; ** efeito principal significativo par os sistemas de colheita de cana-de-açúcar.

Os valores obtidos demonstram que os teores de B e Fe podiam ser considerados adequados enquanto que os teores de Cu, Mn e Zn estavam muito baixos, recomendando a adubação com estes micronutrientes (MALAVOLTA, 1990; PREZOTTI et al, 2007). Os teores

de CO apresentam média de 18,52 g kg⁻¹ que o classifica como teor médio segundo Freire et al. (2013).

Nas análises realizadas não foi observada efeito significativo de interação entre os dois sistemas de preparo do solo e os dois sistemas de colheita. Efeitos principais significativos foram observados para: para preparo do solo sobre os teores de Cu, Fe, Zn e CO; para sistema de colheita sobre teores de Fe, Zn e CO.

Os tratamentos propostos não apresentaram efeito significativo sobre os teores de B no solo, contudo é possível observar na Figura 16A que em profundidade (camadas 0,2 a 0,3 e 0,3 a 0,4 m) o preparo convencional do solo resultou em maiores teores deste micronutriente.

Os teores de Mn não diferiram em função dos tratamentos propostos, sendo possível verificar o comportamento similar dos diferentes tratamentos na Figura 16D.

O tipo de preparo do solo influenciou nos teores de Cu na camada de 0,05 a 0,1 m e de Fe na camada de 0,3 a 0,4 m, onde o preparo convencional apresentou maiores valores (Anexo 3). Os teores de Zn e CO obtiveram os maiores valores médios para o plantio direto, nas camadas de 0 a 0,05 m e 0,3 a 0,4 m, respectivamente.

Em estudo de longo prazo, Cury et al. (2014), analisando o efeito do preparo convencional e o plantio direto com a aplicação e não de calcário, não observaram diferenças significativas nas propriedades químicas do solo assim como no desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. Em 12 anos, no quarto ciclo do experimento, o plantio direto e o uso de calcário apresentaram valores mais elevados de atributos de fertilidade, como V% e teores de cálcio, apenas na camada superficial.

Campos et al. (2022) avaliaram a influência dos sistemas de preparo e aplicação de calcário no desempenho da cana-de-açúcar e nos atributos químicos do solo. Os tratamentos foram três sistemas de preparo do solo com e sem calcário: sistema convencional de preparo do solo, sistema de cultivo em faixas profundas e sistema de plantio direto modificado. Os parâmetros químicos do solo relacionados à acidez do solo foram afetados pela aplicação de calcário e pelo sistema de preparo do solo.

Cerri et al. (2011) concluíram que as menores taxas de acúmulo de carbono foram observadas nas lavouras onde o revolvimento do solo e o replantio da cana-de-açúcar foram mais recentes (menos de 2 anos), indicando que parte do carbono acumulado ao longo do ciclo da cultura foi perdida durante esse processo. O preparo do solo exibiu os agregados do solo e expôs a matéria orgânica à atividade microbiana e, conseqüentemente, à destruição da matéria orgânica do solo (LA SCALA JR. et al. 2008).

Em um estudo de 7 anos, Segnini et al. (2013) isolaram os efeitos da manutenção da palhada na superfície do solo versus operações de preparo do solo durante a renovação da cana-de-açúcar. A adoção de cana verde e preparo convencional resultou em taxas de retenção de carbono de 0,67 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto a adoção de cana verde e plantio direto acumulou 1,63 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de C. Manter a palhada da cana-de-açúcar no solo sob plantio direto é, portanto, uma opção de manejo sustentável a ser considerada no período de replantio da cana-de-açúcar.

La Scala Jr. et al. (2006) observaram que a adoção do plantio direto reduziu as emissões de CO₂ em 8,4 Mg ha⁻¹ em comparação com as práticas de preparo convencional. O plantio direto aumentou os teores de carbono orgânico na superfície do solo e favoreceu o crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar, uma vez que adquiriu maior produção de biomassa seca de raiz, maior área radicular e produtividade.

Os sistemas de colheita afetaram significativamente os teores dos micronutrientes Fe e Zn na camada superficial do solo, onde o tratamento de colheita com queima teve os maiores teores (Anexo 3, Anexo 4). Na Figura 16C é possível observar que o teor de Fe, ao longo do perfil do solo, para cana queimada apresentou maiores valores, exceto na camada de 0,3 a 0,4 m onde o tratamento com preparo convencional e cana crua apresentou o maior teor de Fe. Já

para o teor de Zn, o sistema de colheita queimada foi o que apresentou os maiores valores nas camadas 0 a 0,05, 0,2 a 0,3 e 0,3 a 0,4 m, e menores valores nas outras duas camadas intermediárias (Figura 16E).

A colheita de cana crua teve o maior valor de CO na camada de 0 a 0,05 m, onde o tratamento com plantio convencional e colheita de cana crua teve superior valor absoluto em relação aos outros tratamentos (Figura 16F).

Estudando macronutrientes, Resende et al. (2006b) não observaram, em Luvisolo em Timbaúba-PE, aumento no teor de nutrientes nas áreas com colheita da cana sem queima; conforme esses autores, o maior rendimento de colmos na cana crua levou à maior quantidade de nutrientes exportados.

Mudanças mais expressivas foram relatadas por Souza et al. (2012) em Latossolo Vermelho do estado de São Paulo com maiores valores para pH, P, K, Ca, Mg, soma de bases (S) e V% e menores valores de acidez potencial ($H + Al$), Al^{3+} e saturação por alumínio (m%) em áreas sob cultivo sem queima da cana-de-açúcar em comparação com a cana queimada. Referidos pesquisadores atribuem os maiores níveis de P, K, Ca e Mg em cana sem queima ao maior aporte de nutrientes da palhada deixada sobre o solo.

Em tabuleiro costeiro no Município Boca da Mata, AL, Sant'Anna et al. (2009) não encontraram alterações no teor de carbono orgânico para as duas formas de colheita (8 e 10 g C kg⁻¹, cana sem e com queima respectivamente) na camada de 0 a 0,1 m e com três anos de cultivo. Os autores atribuem o fato à maior atividade microbiana diante de condições de elevadas temperaturas e umidade, resultando em maiores taxas de decomposição de resíduos e dificuldade em aumentar os teores de carbono orgânico total em curto prazo.

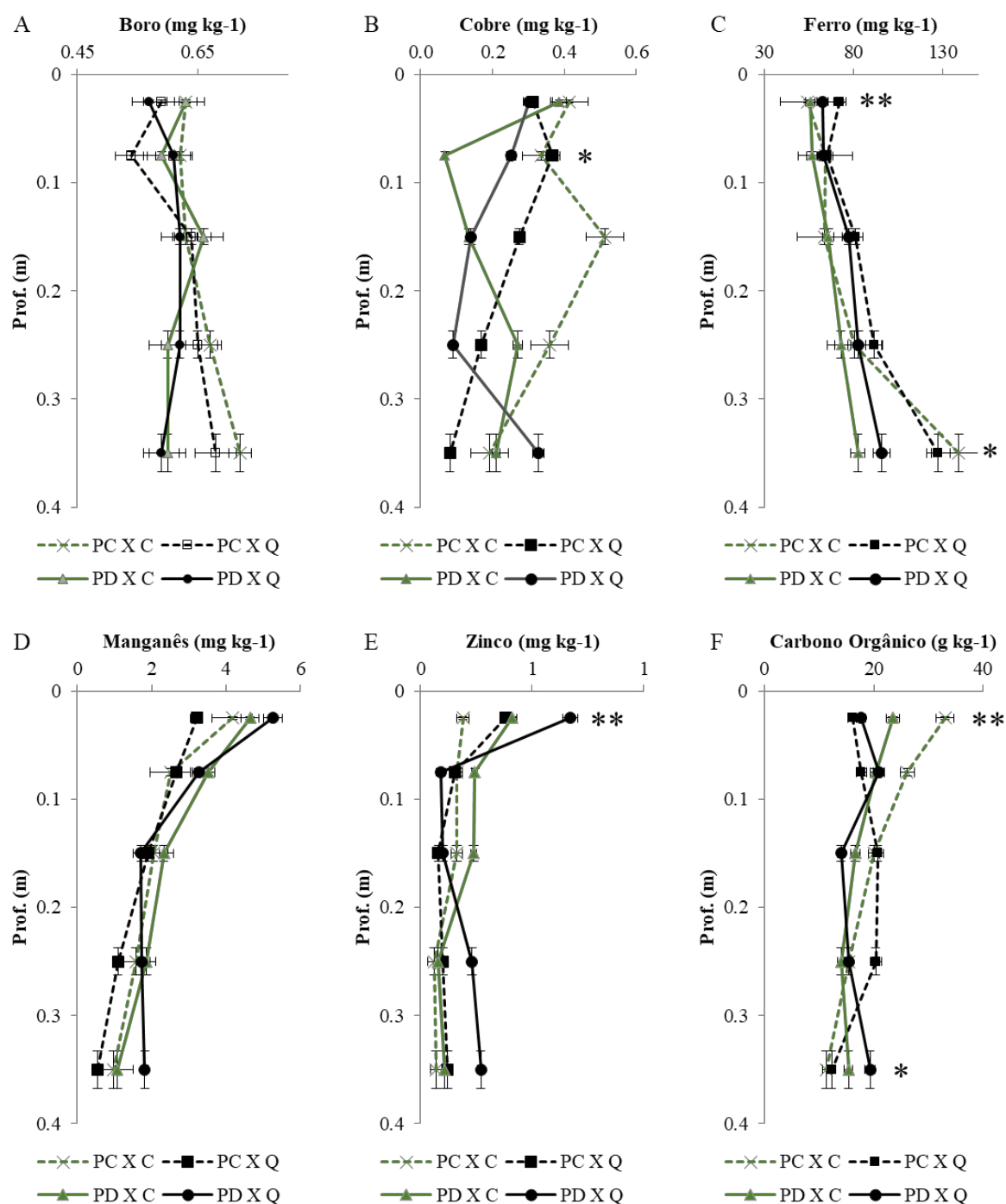


Figura 16. Teores médios de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D), zinco (E) e carbono orgânico (F) do solo, nas camadas de 0 – 0,05; 0,05 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4 m, sob diferentes sistemas de preparo do solo e colheita da cana-de-açúcar, em Argissolo Amarelo, em Linhares-ES. * efeito principal significativo para os sistemas de preparo do solo; ** efeito principal significativo par os sistemas de colheita de cana-de-açúcar.

10.CONCLUSÃO

Os diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar ao longo de um período prolongado não influenciam significativamente a incidência e severidade de doenças, nas condições do trabalho.

Há interação significativa entre sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar sobre a produtividade de ponteiros e, efeito principal de sistema de colheita sobre a produtividade de colmos, com maior produtividade em colheita de cana crua que em cana queimada.

A cana queimada influencia positivamente os parâmetros tecnológicos de fibra e pureza da cana-de-açúcar. A cana crua favorece açúcares redutores do caldo.

O Brix e o Pol do caldo, e os açúcares totais recuperáveis (ATR) não sofrem efeito dos diferentes preparos do solo e sistemas de colheita.

Não há interação entre os sistemas de preparo do solo e de colheita ao longo de 32 anos de cultivo nos teores de micronutrientes e carbono orgânico do solo, nas condições deste estudo.

Os tratamentos propostos não influenciam nos teores de B e Mn do solo após quatro ciclos.

O plantio convencional tem efeito principal positivo para Cu e Fe, enquanto que o plantio direto tem para Zn.

A colheita de cana queimada promove maiores teores de Fe e Zn na camada superficial do solo.

A colheita de cana sem queima causa maior teor de CO na camada superficial do solo.

O plantio direto influencia positivamente no teor de CO em profundidade após longo período de cultivo da cana-de-açúcar.

11. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com base nos resultados obtidos, ficou evidente que os diferentes sistemas de colheita e preparo do solo têm um impacto significativo em vários aspectos da produção de cana-de-açúcar e dinâmica dos nutrientes do solo.

Os tratamentos propostos não têm influência na condição fitossanitária, principalmente por conta da resistência genética e o controle eficaz de pragas que são fatores chave para a ausência de doenças. No entanto, a escassez de estudos sobre o impacto da cana crua na incidência e severidade das doenças ressalta a necessidade de pesquisas adicionais nessa área.

Os sistemas de colheita da cana-de-açúcar desempenham papel importante na dinâmica dos nutrientes do solo, afetando os teores de cobre, manganês, zinco e carbono orgânico.

Sobre os sistemas de plantio, esses resultados fortalecem a implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficazes, bem como para o melhoramento contínuo da produtividade e da qualidade da cana-de-açúcar no contexto do setor sucroenergético.

12.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C.D.; MARCHETTI, L.L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. **Álcool & Açúcar**, v. 67, p. 23–25, 1993.
- ADORNA, J, C, **Adubação com micronutrientes no plantio da cultura da cana-de-açúcar**, 2011, 68 f, Dissertação (Mestrado em Agronomia - Agricultura), UNESP – Campus Botucatu, Botucatu, 2011.
- ADORNA, J. C.; CRUSCIOL, C. A. C.; ROSSATO, O. B. Fertilization with filter cake and micronutrients in plant cane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 649–657, maio 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300011>.
- ALVAREZ, R.; WUTKE, A, C, P, Adubação de cana-de-açúcar, IX, Experimentos preliminares com micronutrientes, **Revista Bragantia**, Campinas, v, 22, p, 647-650, 1963, <https://doi.org/10.1590/S0006-87051963000100059>
- AMORIM, L.; BERGAMIN-FILHO, A.; SANGUINO, A.; CARDOSO, C.; MORAES, V.A.; FERNANDES, C.R. Metodologia de avaliação da ferrugem da cana-de-açúcar (*Puccinia melanocephala*). **Boletim Técnico Copersucar**. São Paulo: Copersucar, v.39, n.1, p. 13-16, 1987.
- ANAYA, C. A.; HUBER-SANNWALD, E. Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics after conversion of tropical forest to traditional sugarcane agriculture in East Mexico. **Soil & Tillage Research**, v. 147, pag. 20-29, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.11.003>
- ANDA - Associação Nacional para a difusão de Adubos, Indicadores de Mercado Anda 2023, Macro Indicadores, São Paulo, Disponível em: https://anda.org.br/wp-content/uploads/2024/03/Principais_Indicadores_2023.pdf, Acesso em: 28 de março de 2024,
- ANDRADE, L. A. DE B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). **Produção de aguardente de cana**. 2ed, Lavras: Editora UFLA, 2006.
- ANDRADE, N.S.F.; MARTINS FILHO, M.V.; TORRES, J.L.R.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JÚNIOR, J. Impacto técnico e econômico das perdas de solo e nutrientes por erosão no cultivo da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 539-550, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000300014>
- ANDRASKI, B.J.; MUELLER, D.H.; DANIEL, T.C. Effects of tillage and rainfall simulation date on water and soil losses. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 1512-1517, 1985. <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900060036x>
- ANDREOTTI M, SORIA J.E.; COSTA, N.R; GAMEIRO, R.D.A.; REBONATTI, M.D. Acúmulo de nutrientes e decomposição do palhço de cana em função de doses de vinhaça. **Bioscience Journal**, v. 02, p. 563–576, 2015. <https://doi.org/10.14393/BJ-v31n2a2015-22426>
- ARCOVERDE, S. N. S.; KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A.; TOMAZI, M.; PIRES, A. M. M.; SILVA, C. J. Soil fertility, nutritional status, and sugarcane yield under two systems of soil management, levels of remaining straw and chiseling of ratoons. **Rev. Bras. Cienc. Solo**. 2023. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220138>
- ARCOVERDE, S., SOUZA, C., ORLANDO, R., SILVA, M., & NASCIMENTO, J. Crescimento inicial de cultivares de cana-de-açúcar em plantio de inverno sob preparos

conservacionistas do solo. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v: 27(2), p: 142-156, 2019. <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i2.803>

ARTSCHWAGER, E. & BRANDES, E. W. **Sugarcane (*S. officinarum* L.). Origin, classification, characteristics and descriptions of representative clones**. Washington. US Departamet of Agriculture Handbook n° 122, 1958.

AZEREDO, D. F.; BOLSANELLO, J. Efeito de micronutrientes na produção e qualidade da cana-de-açúcar no Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais (Zona da Mata): estudo preliminar, **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v, 93, n, 9, p, 9-17, 1981.

BALL-COELHO, B.; TIESSEN, H.; STEWART, J.W.B.; SALCEDO, I.H.; SAMPAIO, E.V.S.B. Residue management effects on sugarcane yield and soil properties in northeastern Brazil. **Agronomy Journal**. v. 85, p. 1004-1008. 1993. <https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500050009x>

BARBOSA, L. C.; MAGALHÃES, P. S. G.; BORDONAL, R. O.; CHERUBIN, M. R.; CASTIONI, G. A. F.; TENELLI, S.; FRANCO, H. C. J.; CARVALHO, J. L. N. Soil physical quality associated with tillage practices during sugarcane planting in south-central Brazil. **Soil Tillage Res**, v. 195, Article 104383, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104383>

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Melhoramento genético e recomendação de cultivares. In.: SANTOS, F; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar. Bioenergia, açúcar e etanol. Tecnologia e perspectivas**. Londrina, Mecenas, p 211 – 224. 2018

BARBOSA, V. F. A. M. Plantio. In.: SANTOS, F; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar. Bioenergia, açúcar e etanol. Tecnologia e perspectivas**. Londrina, Mecenas, p 43 – 58. 2018.

BARROS, R. P. de; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L. da; SOUZA, R. M. de; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. de V.; MELO, A. S. de. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341–346, 2010. <https://doi.org/10.5216/pat.v40i3.6422>

BASANTA, M.V.; DOURADO NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; OLIVIERA, J.C.M.; TRIVELIN, P.C.O.; TIMM, L.C.; TOMINAGA, T.T.; CORRECHEL, T.; CÁSSARO, F.A.M; PIRES, L.F.; MACEDO, J.R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**. V. 116, p. 235-248, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00103-4)

BAYMA, C. **Tecnologia do açúcar: da matéria-prima à evaporação**. Rio de Janeiro: Instituto do Açúcar e do Alcool, 1974. 292 p. (Coleção Canavieira, 13).

BENAZZI, E. S. **Produtividade, fertilidade e fauna do solo em um argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita**. 2011. 125p. Dissertação. (Mestrado em Agronomia – Ciência do solo) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011

BERNARDES, M.S. & CÂMARA, G.M.S. **Cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, Cultura da cana-de-açúcar, 2001. 20 p.

BNDES e CGEE. Banco Nacional para o Desenvolvimento Social e Económico; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: BNDES; CGEE, 2008. 316 p.

BOLONHEZI, D. Plantio direto e calagem na reforma de cana crua. **A Granja**. v: 769, p. 75–77. 2013.

- BORDONAL, R. O.; MENANDRO, L.M.S.; BARBOSA, L.C.; LAL, R.; MILORI, D.M.B.P.; KOLLN, O.T.; FRANCO, H.C.J.; CARVALHO, J.L.N. Sugarcane yield and soil carbon response to straw removal in south-central Brazil. **Geoderma**. v. 328, p. 79–90, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.003>
- BORDONAL, R.D.O.; CARVALHO, J.L.N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E. B.; OLIVEIRA, B. G.; LA SCALA JR, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agron. Sustent.** v. 38, p. 13, 2018b. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0490-x>
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 7. Ed. ver. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2017. 543 p.
- BRAGA, N., SEVERIANO, E., SANTOS, L., NETO, A., RODRIGUES, T.; LIMA, J. Production of sugarcane seedlings pre-sprouted in commercial and alternative substrates with by-products of the sugarcane industry. **Semina Ciências Agrárias**, v. 40(1), p. 33. 2019. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p33>
- BRANDÃO, A. **Cana-de-açúcar, álcool e açúcar na história e no desenvolvimento social do Brasil: séc. 16-20**. Brasília: Ed. Horizonte INL, 1984. 269 p.
- BRANDES, E. W. & SARTORIS, G.B. **Sugarcane: Its Origin and Improvement**. Yearbook of agriculture. p 561 – 623. 1936.
- BRASIL, **Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050)**, Brasília: Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos – SAE, 2021, 195 p, Disponível: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>, Acesso em 31 de março de 2023.
- BRAUNACK, M.V.; GARSIDE, A.L.; MAGAREY, R.C. Reduced tillage planting and the long-term effect on soil-borne disease and yield of sugarcane (*Saccharum inter-specific hybrid*) in Queensland, Australia. **Soil Till. Res.**, v 120, p. 85-91, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.002>
- CALHEIROS, A, S.; OLIVEIRA, M, W.; FERREIRA, V, M.; BARBOSA, G, V, S.; SANTIAGO, A, D.; ARISTIDES, E,V,S, Produção de biomassa, de açúcar e de proteína em função de variedades de cana e de adubação fosfatada, **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 2, p. 809-818, 2012, <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n2p809>
- CAMPOS, D. C. **Potencialidades do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono**. 2003. 105p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.
- CAMPOS, M.; PENN, C. J.; GONZALEZ, J. M., CRUSCIOL, C. A. C. Effectiveness of deep lime placement and tillage systems on aluminum fractions and soil chemical attributes in sugarcane cultivation, **Geoderma**, v. 407, n. 115545 2022, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115545>.
- CANELLAS, L. P., VELLOSO, A. C. X., MARCIANO, C. R., RAMALHO, J. F. G. P., RUMJANEK, V. M., REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 935–944, set. 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR. D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. V. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2022.

- CARVALHO, J.L.N.; OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O. Input of sugarcane post-harvest residues into the soil. **Scientia Agricola**, v. 70, p. 336–344. 2013.
- CASTIONE, G.A.; CHERUBIN, M.R.; MENANDRO, L.M.S. Soil physical quality response to sugarcane straw removal in Brazil: a multi-approach assessment. **Soil Tillage Res.** v. 184, p. 301–309, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.007>
- CERRI, C. C., GALDOS, M. V., MAIA, S. M. F., BERNOUX, M., FEIGL, B. J., POWLSON, D.; CERRI, C. E. P. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. **European Journal of Soil Science**, v. 62(1), p. 23-28. 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01315.x>
- CERRI, C. E. P.; GALDOS, M. V.; CARVALHO, J. L. N.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.. Quantifying soil carbon stocks and greenhouse gas fluxes in the sugarcane agrosystem: point of view. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 361–368, set. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500011>
- CHAPMAN, L.S., LARSEN, P.L., JACKSON, J. Trash conservation increases cane yield in the Mackay district. **Proc S Afr Sug Technol**. v. 23, p. 176-184, 2001.
- CLIMATEMPO. **Climatologia e histórico de previsão do tempo em Linhares, ES**. Disponível em: https://www.climatepo.com.br/climatologia/75/linhares-es#google_vignette Acessado em: 08 de nov. 2022.
- CONAB. **Boletim da Safra de Cana-de-açúcar. Safra 2024/25** – Primeiro levantamento, Brasília. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar/item/download/52866_debcad81732c056406e505847b2c45de , Acessado em 25/04/2024.
- COPERSUCAR. **Boletim técnico COPERSUCAR – Edição Especial – Maio de 1991** Terceira geração de variedades de cana Copersucar. São Paulo. COPERSUCAR, 1991,
- CORRÊA, S.T.R.; BARBOSA, L.C.; MENANDRO, L.M.S.; SCARPARE, F.V.; REICHARDT, K.; MORAES, L.O.; HERNANDES, T.A.D.; FRANCO, H.C.J.; CARVALHO, J.L.N. Straw Removal Effects on Soil Water Dynamics, Soil Temperature, and Sugarcane Yield in South-Central Brazil. **BioEnergy Research**. v. 12, p. 749–763. 2019. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-09981-w>
- CURY, T. N.; DE MARIA, I. C.; BOLONHEZI, D. Biomassa radicular da cultura de cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1929–1938, nov. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600027>
- DANIELS, J.; ROACH, B.T. Taxonomy and evolution in sugarcane. In: Heinz, D.J. (Ed.). **Sugarcane Improvement through Breeding**, Amsterdam: Elsevier Press, 1987. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42769-4.50007-2>
- DEAN, W. **A ferro e fogo, a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. <https://doi.org/10.1590/S0104-59701996000300014>
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In. FERNADES, M.S. ed. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, MG. p. 328-354. 2006
- DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A.J.; DUIKER, S.W.; REICOSKY, D.C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W. G.; SÁ, J. C. M.; WEISS, K. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil Till Res.** 137:16–22. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.10.002>

- DILLEWIJW, C. V. Botany of sugarcane. **The Chronica Botanica**: Waltham. 1952. 371 p. <https://doi.org/10.1126/science.116.3013.333.a>
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Sugarcane straw and the populations of pests and nematodes. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 305–310, set. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500012>
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Editores) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. 2008
- DIOLA, V.; SANTOS, F.; MACHADO, G.; EICHLER, P. Fisiologia In.: SANTOS, F; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar. Bioenergia, açúcar e etanol. Tecnologia e perspectivas**. Londrina, Mecenas, p 47 – 76. 2018.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo. **Boletim técnico**, Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA/SNLCS, n.45, 1978, 461 p.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production, **Advances in Agronomy**, New York, v, 77, p, 185-268, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(02\)77015-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6)
- FARHATE, C.V.V.; SOUZA, Z.M.D.; CHERUBIN, M.R.; LOVERA, L.H.; OLIVEIRA, I.N.D.; CARNEIRO, M.P.; LA SCALA JR., N. Abiotic Soil Health Indicators that Respond to Sustainable Management Practices in Sugarcane Cultivation. **Sustainability**. v. 12, 9407. 2020. <https://doi.org/10.3390/su12229407>
- FIGUEIREDO, E. B.; PANOSSO, A.R.; REICOSKY, D.C.; LA SCALA, N. Shortterm CO₂-C emissions from soil prior to sugarcane (*Saccharum* spp.) replanting in southern Brazil. **Glob Change Biol Bioenergy**. v. 7, p. 316–327, 2015. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12151>
- FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo State, Brazil. **Biomass & Bioenergy**. v.42, p. 189-198. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.03.011>
- FORTES, C.; VITTI, A.C.; OTTO, R.; FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O. Contribution of nitrogen from sugarcane harvest residues and urea for crop nutrition. **Scientia Agricola**. v. 70, p. 305-312, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500005>
- FRANCO, H.C.J.; PIMENTA, M.T.B.; CARVALHO, J.L.N.; MAGALHÃES, P.S.G.; ROSSELL, C.E.V.; BRAUNBECK, O. A.; VITTI, A. C.; KOLLN, O.T.; ROSSI NETO, J. Assessment of sugarcane trash for agronomic and energy purposes in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 70, p. 305–312. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500004>
- FREIRE, L. R.; CAMPOS, D. V.B.; ANJOS, L. H. C.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G.; BLOISE, R. M.; MOREIRA, G. N. C.; EIRA, P. A. Análise química de amostra de terra. In.: FREIRE, L. R. (Coord). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. Brasília, DF. : Embrapa; Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013, 430p, Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177352/1/Manual-de-calagem-e-adubacao-RJ-2013.pdf>. Acesso em:15 de outubro de 2023.
- GALDOS, M.V.; CERRI, C.C.; CERRI, C.E.P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, v. 153, p. 347–352, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.08.025>
- GALEANO, E. **As veias abertas da América Latina**. São Paulo: Paz e Terra, 1976.

- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Recovery of nitrogen (¹⁵N) from urea and cane trash by sugar cane ratoon (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, p. 621-630, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400006>
- GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Urea and sugarcane trash nitrogen balance in a soil-sugarcane crop system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 689– 695, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000700010>
- GLASZMANN, J. C.; DUFOUR, P.; GRIVET, L.; D'HONT, A.; DEU, M.; PAULET, F.; HAMON, P. Comparative genome analysis between several tropical grasses. **Euphytica**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 13-21, 1997. <https://doi.org/10.1023/A:1002987620250>
- GLOBALFERT, Outlook **GlobalFert 2024**. Disponível em: <https://globalfert.com.br/outlook-globalfert/> . Acesso em 31 de março de 2024.
- GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J. Organic matter status and the size, activity and metabolic diversity of the soil microbial community in the row and inter-row of sugarcane under burning and trash retention. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 38, pag. 21–31, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.04.011>
- GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 34, pag. 93-102, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00160-2)
- GRAHAM, R.L.; NELSON, R.; SHEEHAN, J.; PERLACK, R.D.; WRIGHT, LL. Current and potential U.S. corn stover supplies. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 1-11, 2007. <http://dx.doi.org/10.2134/argonj2005.0222>
- GUIMARÃES JUNIOR, W. S.; DE MARIA, I. C.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; DISERENS, E.; SEVERIANO, E. C.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. Conservation systems change soil resistance to compaction caused by mechanised harvesting. **Industrial Crops and Products**, v. 177, 2022 <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114532>.
- HAMES, B.R.; THOMAS, S.R.; SLUITER, A.D.; ROTH, C.J.; TEMPLETON, D.W. Rapid biomass analysis. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 105, p. 5–16. 2003. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0057-4>
- HARLAN, J.R. & WET, J.M.J. Toward a rational classification of cultivated plants. **Taxon**, 20: 509-517, 1971. <https://doi.org/10.2307/1218252>
- HASSUANI, S.J.; LEAL, M.R.L.V.; MACEDO, I.C. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. CTC/PNUD, Piracicaba, SP, Brazil. 2005. 270 p.
- HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 772p.
- HOLANDA, S.B. de. **Raízes do Brasil**. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.
- HUMBERT, R.P. The Growing of sugarcane. Amsterdam. **Elsevier**, 1968. 779p.
- IAA/PLANALSUCAR. **Solos e adubação**. Relatório Anual. Piracicaba: PLANALSUCAR, 1984. p. 34-44.
- INCAPER – INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Clima: precipitação**. Vitória, 2022. Disponível em: <https://meteorologia.incaper.es.gov.br/clima-dos-municipios> . Acesso em: 08 nov. 2022.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática - LINHARES A614**. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A614>. Acesso em: 24 de julho de 2024.

IRVINE, J. *Saccharum* species as horticultural classes. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 98, n. 2, p. 186-194, 1999. <https://doi.org/10.1007/s001220051057>

IZIDORIO, R.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Perdas de nutrientes por erosão e sua distribuição espacial em área sob cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 660-670, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000300011>

JACOMINE, P.K.T. **Fragipans em solos de “tabuleiros”; características, gênese e implicações no uso agrícola**. Recife, PE. 1974. 83p. Tese (Livre Docência) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1974.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D.; PEREIRA, G.T. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 91, p. 244-248, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.11.012>.

LA SCALA, N.; LOPES, A.; SPOKAS, K.; BOLONHEZI, D.; ARCHER, D.W.; REICOSKY, D.C. Short-term temporal changes of soil carbon losses after tillage described by a first-order decay model, **Soil and Tillage Research**, v. 99, p. 108-118, 2008, <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.01.006>.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. **Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas**. Campinas: Instituto Agrônomo, Documento IAC, nº 109. 16 p. 2012 Disponível em: <https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacdoc109.pdf> Acessado em: 04 de março de 2021.

LANDELL, M.G.A.; CAMPANA, M.P.; FIGUEIREDO, P.; SILVA, M.A. Programa de melhoramento genético: estratégias para o desenvolvimento de novas variedades de cana-de-açúcar. In: LANDELL M.G.A.; VASCONCELOS, A.C.M.; DINARDO-MIRANDA, L.L. (Coords.). **Workshop, 2, Programa Cana IAC**: Instituto Agrônomo de Campinas, p. 7-10, 2003.

LEAL M. R. L. V., GALDOS, M. V., SCARPARE, F. V., SEABRA, J. E. A., WALTER, A., OLIVEIRA, C. O. F. Sugarcane straw availability, quality, recovery and energy use: A literature review. **Biomass & Bioenergy**. 53: 11-19, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.03.007>

LIU, Y.; LI, S.; CHEN, F.; YANG, S.; CHEN, X. Soil water dynamics and water use efficiency in spring maize (*Zea mays* L.) fields subjected to different water management practices on the Loess Plateau, China. **Agric Water Manag.** v. 97, p. 769–775, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.010>

LOPES, I. M. **Efeito do manejo da colheita e do sistema de cultivo sobre atributos edáficos de argissolo amarelo e produtividade de cana soca em Linhares (ES)**. 2014. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

- LOVERA, L.H.; SOUZA, Z.M.; ESTEBAN, D.A.A.; OLIVEIRA, I.N.; FARHATE, C.V.V.; LIMA, E. S.; PANOSSO, A.R. Sugarcane root system: variation over three cycles under different soil tillage systems and cover crops. **Soil Tillage Res**, v. 208, n. 104866, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104866>
- MACEDO, I.C. A energia da cana-de-açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. 1ª ed. São Paulo: **Berlendis & Vertecchia**, UNICA. 2005.
- MACIEL, A. M., SILVA, J. B. G., NASCIMENTO, A. D. M., PAULA, V. R. D., & OTÊNIO, M. H. Aplicação de biofertilizante de bovinocultura leiteira em um planossolo. **Revista Em Agronegócio E Meio Ambiente**, v: 12(1), p: 151. 2019. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n1p151-171>
- MALAVOLTA, E, Micronutrientes na adubação da cana-de-açúcar, **Anais [...]** In: SEMINÁRIO SOBRE MICRONUTRIENTES, Cali: CIAT, 1990,
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P. Nutrição e adubação, In: MALAVOLTA, E.; SEGALA, A. L, GOMES, F.P. et al, **Cultivo e adubação da cana-de-açúcar**, Campinas: Instituto Brasileiro de Potassa, p, 237-278, 1964.
- MARANGONI, F.F.; OTTO, R.; ALMEIDA, R.F.; CASARIN, V.; VITTI, G.C.; TIRITAN, C. Fontes solúveis de zinco e boro na produtividade da cana-de-açúcar no Sudeste do Brasil. **Tecnologia de Açúcar**, v. 21, p. 917-924, 2019. <https://doi.org/10.5747/ca.2013.v09.nesp.000117>
- MARASCA, I.; LEMOS, S. V.; SILVA, R. B.; GUERRA, S. P. S.; LANÇAS, K. P. Soil Compaction Curve of an Oxisol under Sugarcane Planted after In-Row Deep Tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p.1490-1497, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140559>
- MARIA, I,C, DE; DECHEN, S.C.F. **Perdas por erosão em cana-de-açúcar**. Sociedade dos Técnicos Açucareiros Alcooleiros do Brasil. 17: 20-21, 1998.
- MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C. Efeito do cobre e do zinco na produção de cana-de-açúcar em solos de tabuleiros de Alagoas, **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v, 98, p, 41-50, 1981.
- MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, p. 225-274. 2005.
- MATSUOKA, S.; MACCHERONI, W. Manejo de doenças. In.: SANTOS, F; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar. Bioenergia, açúcar e etanol**. Tecnologia e perspectivas. Londrina, Mecnas, p 123 – 136. 2018.
- MEIER, E.A.; THORBURN, P.J.; WEGENER, M.K.; BASFORD, K.E. A conceptual analysis of nitrogen from trash blankets in the wet tropics. *Sugar Cane Int.* p. 8–11, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/43443053_A_Conceptual_Analysis_of_Nitrogen_From_Trash_in_the_Wet_Tropics Acesso em:6/11/2023.
- MEIER, E.A.; THORBURN, P.J.; WEGENER, M.K.; BASFORD, K.E. The availability of nitrogen from sugarcane trash on contrasting soils in the wet tropics of North Queensland. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 75. p 101-114. 2006. <https://doi.org/10.1007/s10705-006-9015-0>

- MELLIS, E. V.; GUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H. Micronutrientes. In.: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Editores) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico. 2008. p.331 – 335.
- MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A. Uso de Micronutrientes em Cana-de-Açúcar, IPNI - International Plant Nutrition Institute – **Informações agronômicas**, n, 149, Piracicaba, 2015.
- MELLIS, E. V.; QUAGGIO, J. A.; BECARI, G. R. G.; TEIXEIRA, L. A. J.; CANTARELLA, H. Micronutrientes em cana-de-açúcar: novidade lucrativa? **Anais... CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, Fortaleza, 2009, Fortaleza: SBCS, 2009,
- MELO, F. A. D. Sistema de remuneração da cana. In.: SANTOS, F; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar. Bioenergia, açúcar e etanol. Tecnologia e perspectivas**. Londrina, Mecnas, p 407 – 420. 2018
- MENDES, L.; CARVALHO, M.; MACEDO, W.; CASTRO, P. In vitro development of sugarcane seedlings using ethephon or gibberellin. **Comunicata Scientiae**, v. 8(2), p. 389-395. 2018. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i2.1828>
- MENDONÇA, M.G. de, PIRES M.C. **Formação econômica do Brasil**. São Paulo: Pioneira Thonson Learning, 2002.
- MENDONZA, H.N.S. **Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solo de tabuleiro no Espírito Santo**. (1996) 112p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) Seropédica: Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1996.
- MEURER, E.J. Potássio. IN.: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. SBCS, Viçosa, p. 282-298, 2006.
- MICHELAZZO, M.B.; BRAUNBECK, A.O. Análise de seis sistemas de recolhimento do palhço na colheita mecânica da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 546–552. 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000500017>
- MISHRA, A, K.; SHUKLA, S, K.; YADAV, D, V.; AWASTHI, S, K, Iron, manganese and sulphur uptake and nutrients availability in sugarcane based system in subtropical India, **Sugar Tech**, Nova Delhi, v, 16, p, 300-310, 2014, <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0269-y>
- MKHONZA, N.P., MUCHAONYERWA, P. Organic carbon and microbial activity in Umbric Rhodic Ferralsol soils under green cane relative to pre-harvest burning of sugarcane. **J Soils Sediments**. v: 23, p. 804–816. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11368-022-03358-x>
- MORAES, M.A.F.D. As profundas mudanças institucionais ao longo da história da agroindústria canavieira e os desafios atuais. **Econ. Aplic**, v. 11, n. 4, p. 555-557, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1413-80502007000400005>
- NECHET, K.L., RAMOS, N.P.; HALFELD-VIEIRA, B.A. Impact of conservation practices on the severity of sugarcane foliar diseases. **Australasian Plant Pathol**. v. 50, p. 487–494, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13313-021-00801-4>
- OLIVEIRA, A. P. P. DE.; LIMA, E.; ANJOS, L. H. C. DOS.; ZONTA, E.; PEREIRA, M. G. Sistemas de colheita da cana-de-açúcar: conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 9, p. 939–947, set. 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p939-9477>
- OLIVEIRA, E,C,A.; FREIRE, F,J.; OLIVEIRA, R,I.; FREIRE, M, B, G, S.; SIMÕES NETO, D, E.; SILVA, S, A, M, Extração e exportação de nutrientes por variedades de cana-de-açúcar

cultivadas sob irrigação plena, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 1343-1352, 2010, <https://doi.org/10.1590/S0100-0683201000040003>

OLIVEIRA, E.C.A.; FREIRE, F.J.; OLIVEIRA, R.I.; OLIVEIRA, A.C.; FREIRE, M.B.G.S, Acúmulo e alocação de nutrientes em cana-de-açúcar, **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 579-588, 2011, <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000300002>

OLIVEIRA, H., MELO, R., BALDOTTO, M., ANDRADE, M.; BALDOTTO, L. Performance of pre-sprouted sugarcane seedlings in response to the application of humic acid and plant growth-promoting bacteria. **Semina Ciências Agrárias**, v. 39(3), p. 1365. 2018. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n3p1365>

OLIVEIRA, I. N.; SOUZA, Z. M.; BOLONHEZI, D.; TOTTI, M. C. V.; MORAES, M. T.; DE LOVERA, L.H.; LIMA, E. S.; ESTEBAN, D. A. A.S.; OLIVEIRA, C.F. Tillage systems impact on soil physical attributes, sugarcane yield and root system propagated by pre-sprouted seedlings. **Soil Till Res.**, v. 223, n. 105460, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105460>

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Field decomposition and release of sugar cane trash nutrients. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 34: p. 2359-2362. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200024>

OLIVEIRA, R. A.; BARBOSA, G. V. S.; DAROS, E. (Orgs.). **50 anos de variedades RB de cana-de-açúcar: 30 anos de RIDESA**. Curitiba: UFPR. RIDESA, 2021. 199 p.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G. M. S.; OLIVEIRA, E. A. M. (Orgs.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: FEALQ-USP, 1993.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. 369p. (Planalsucar, 2).

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; CASAGRANDE, A. A. Cana-de-açúcar. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; RAIJ, B. V.; ABREU, C. A. (Editores). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, p. 355-369, 2001. p. 133-146.

PANNUTI, L. E. DA R.; BALDIN, E. L. L.; GAVA, G. J. DE C.; KÖLLN, O. T.; CRUZ, J. C. S. Danos do complexo broca-podridão à produtividade e à qualidade da cana-de-açúcar fertirrigada com doses de nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 381–387, abr. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400005>

PAREDES JUNIOR, F. P.; PORTILHO, I. I. R.; MERCANTE, F. M. Atributos microbiológicos de um latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima da palhada. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 151–164, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n1p151>.

PARTHASARATHY, N. Origin of noble sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). **Nature**. 161: 608, 1948. <https://doi.org/10.1038/161608a0>

PERES, J.G.; SOUZA, C.F.; LAVORENTI, N.A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palhada de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Eng Agríc.** v. 30(5), p. 875-886, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500010>

PETERNELLI, L. A.; RESEDE, M. D. V.; MENDES, T. O. Experimentação e análise estatística em cana-de-açúcar. In: SANTOS, F; BORÉM, A. e CALDAS, C. (Org.). **Cana-de-açúcar: Bionergia, açúcar e etanol – Tecnologias e Perspectivas**. 3. ed, ver. Londrina: Mecenaz, 2018. p. 225-239.

- PICKERSGILL, B. Domestication of Plants in the Americas: Insights from Medelian and Molecular Genetics. **Annals of Botany**, Volume 100, p. 925–940, October 2007. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm193>
- PIMENTEL, G. V.; ANDRADE, L. A. B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. G. **Produção de aguardente de cana**. Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG. 2020. p. 26 – 63.
- PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant and Soil**, v.333, p.71-80, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0320-7>
- PLANALSUCAR, **Nutrição e fertilidade**. Piracicaba: Planalsucar, 1975, 80p, (Relatório annual)
- PRADO JUNIOR, C. **História econômica do Brasil**. Ed. Brasiliense. 2006. 364p.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação**. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- QUAGGIO, J. A., CANTARELLA, H.; RAIJ, B. V.; OTTO, R.; PENATTI, C. P.; ROSSETTO, R.; VITTI, G. C.; KORNDORFER, G. H.; TRIVELIN, P. C. O.; MELLIS, E. V.; FRANCO, H. C. J.; GAVA, G. J. C.; VITTI, A. C.; DIAS, F. L. Cana-de-açúcar. In: CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR. D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. V. **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2022. p. 177 – 186,
- RAGHAVAN, T.S.; GOVINDASAMY, S. Phylogeny of *Saccharum* and related genera. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists 9**: 695-708, 1956.
- RAVELLI NETO, A.; LIMA, E. Caracterização de uma topossequência de solos sobre sedimentos do terciário e quaternário em Linhares-ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. **Programas e resumos...** Campinas: SBCS, 1987. p. 166
- RESENDE, A. S.; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 30, p. 937-941, 2006a. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000600003>
- RESENDE, A. S.; XAVIER, R. P.; OLIVEIRA, O. C.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Long-term effects of pre-harvest burning and nitrogen and vinasse applications on yield of sugar cane and soil carbon and nitrogen stocks on a plantation in Pernambuco, N.E Brazil. **Plant and Soil** v. 281, p. 3339-351, 2006b. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-4640-y>
- ROBERTSON, F.A.; THORBURN, P.J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**. v. 45, p. 13-23, 2007. <http://dx.doi.org/10.1071/SR06080>
- ROCHA, G.; SPAROVEK, G. Scientific and technical knowledge of sugarcane cover-management usle/rusle factor. **Scientia Agricola**, v. 78, p. e20200234, 2021 <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2020-0234>

RODRIGUES, J. A. R. Do engenho à biorrefinaria: a usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos biocombustíveis. **Quim. Nova**, v. 34, n. 7, p. 1242-1254, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000700024>

ROESE, A. D.; SILVA, C. J. **Áreas preferenciais para recolhimento do palhiço da cana-de-açúcar visando à redução de doenças**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2021. 10 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 264). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/227647/1/COT-264-2021.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2024.

ROOT, P., BAILEY, R. A., COMSTOCK, J. C., CROFT, B. J., SAUMTALLY, A. S. A guide to sugarcane diseases. CIRAD, **Elsevier Science**. French, 2000. 339 p.

ROQUE, A. A. DE O.; SOUZA, Z. M. DE .; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. DE .. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 7, p. 744–750, jul. 2010. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2010000700016>.

ROSSET, J., SCHIAVO, J., & ATANÁZIO, R.. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações umificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina Ciências Agrárias**, v: 35(5), p. 2351. 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n5p2351>

SANGUINO, A.; CARDOSO, C.O.M.; CAMPOS, J.D.P.; AMORIM, L.; SILVA, M.M. Constatação da ferrugem da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 13, n. 1/2, p. 44, 1987.

SANT'ANNA, S. A. C.; FERNANDES, M. F.; IVO, W. M.P. M.; COSTA, J. L. S. Evaluation of soil quality indicators in sugarcane management in sandy loam soil. *Pedosphere*, v.19, p.312-322, 2009. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(09\)60122-3](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(09)60122-3)

SANTANA, R, S, **Marcha de absorção de macronutrientes e produção de variedades de cana-de-açúcar**. 2019, 77f, Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

SANTOS, A.S. **Doenças causadas por fungos e bactérias em cana-de-açúcar**. Comunicado Técnico. Campinas: EMBRAPA, 2004. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/santos1_000fx33mr802wyiv80soht9hf2c25l.pdf. Acesso em: 18 de jan. 2024.

SANTOS, F., FANTINEL, R., WEILER, E., & CRUZ, J. (2021). Fatores que afetam a disponibilidade de micronutrientes no solo. **Tecno-Lógica**, v: 25(2), p: 272-278. <https://doi.org/10.17058/tecnolog.v25i2.15552>

SANTOS, F.A.; QUEIROZ, J.D.; COLODETTE, J.L.; MANFREDI, M.; QUEIROZ, M.E.L.R.; CALDAS, C.S.; SOARES, F.E. Otimização do pre-tratamento hidrotérmico da palhada de cana-de-açúcar visando a produção de etanol celulósico. **Química Nova**, v. 37, p. 56–62. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422014000100011>

SANTOS, F; BORÉM, A.; CALDAS, C. **Cana-de-açúcar. Bioenergia, açúcar e etanol**. Tecnologia e perspectivas. Londrina, Mecenias, 448p. 2018

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, 811-820 p. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300023>

- SEGNINI, A.; CARVALHO, J. L. N.; BOLONHEZI, D.; MILORI, D. M. B. P.; SILVA, W. T. L.; SIMÕES, M. L.; CANTARELLA, H.; MARIA, I. C.; MARTIN-NETO, L. Carbon stock and humification index of organic matter affected by sugarcane straw and soil management. **Scientia Agricola**, v. 70, n. 5, p. 321–326, set. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500006N>
- SEVERIANO, E. DA C.; OLIVEIRA, G. C. DE.; DIAS JÚNIOR, M. DE S.; CASTRO, M. B. DE.; OLIVEIRA, L. F. C. DE.; COSTA, K. A. DE P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: II -quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 414–423, jun. 2010. <https://doi.org/10.1590/s0100-69162010000300006>
- SHARMA, R., TAMTA, S. A Review on Red Rot: The “Cancer” of Sugarcane. **J Plant Pathol & Microbiol**. S1:003. 2015. Doi: <https://doi.org/10.4172/2157-7471.S1-003>
- SHEEHAN, J.; ADEN, A.; PAUSTIAN, K.; KILLIAN, K.; BRENNER, J. WALSH M.; NELSON, R. Energy and environmental aspects of using corn stover for fuel ethanol. **Journal of Industrial Ecology**, v. 7, n. 3–4, p. 117-146, 2004. <https://doi.org/10.1162/108819803323059433>
- SHRIVASTAVA, ASHOK K.; SHRIVASTAVA, ARUN K.; SOLOMON, S. Sustaining sugarcane productivity under depleting water resources. **Curr Sci**. v. 101(6), p. 748-754, 2011. Disponível: <https://www.jstor.org/stable/24078662> Acessado em: 15/04/2024
- SIGNOR, D., ZANI, C., PALADINI, A., DEON, M., & CERRI, C. Estoques de carbono e qualidade da matéria orgânica do solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, v: 38(5), p: 1402-1410, 2014. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832014000500005>
- SIGNOR, D.; CZYCZA, R. V.; MILORI, D. M. B. P.; CUNHA, T. J. F.; CERRI C. E. P. Atributos químicos e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita de cana-de-açúcar com e sem queima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, pag. 1738-1448, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X20160009000422>
- SILVA JUNIOR, CA da, CARVALHO, LA de, CENTURION, JF e OLIVEIRA, ECA de, Comportamento da cana-de-açúcar em duas safras e atributos físicos do solo sob diferentes tipos de preparo. **Revista de Biociências** [online], vol. 29, pp. 2013. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/15202> Acessado em 16 de junho de 2023.
- SILVA, A. A.; CASTRO, S. S. Indicadores macro e micromorfológicos da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar. **Mercator**, Fortaleza, v. 4, n. 3, p.169-185, 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1403.0010>
- SILVA, J. B. G., MARTINEZ, M. A., MATOS, A. T. D., OLIVEIRA, A. P. D. S., & SILVA, L. B. D. D. Concentração de metais em um solo adubado com água residuária da bovinocultura de leite. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v: 24(4), p: 357-367. 2016. <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i4.698>
- SILVA, P. V.; MONQUERO, P. A.; SILVA, F. B.; BEVILAQUA, N. C.; MALARDO, M. R.. Influence of sugarcane straw and sowing depth on the emergence of weed species. **Planta Daninha**, v. 33, n. 3, p. 405–412, jul. 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582015000300003>

SILVA, R. C. F.; SILVA, F. B. V.; BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; OLIVEIRA, E. C. A. Assessing the content of micronutrients in soils and sugarcane in diferente pedogeological contexts of northeastern Brazil. **Rev Bras Cienc Solo**. v. 43, n. e0180228. 2019. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20180228>.

SILVA, R., SILVA, R., SOUZA, J., SOUZA, J., & GEDIJESK, T. Um estudo de caso da remoção da palhada de cana-de-açúcar do solo: quais são as implicações no conteúdo de matéria orgânica do solo? **Research Society and Development**, V: 10(14), 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21717>

SIMON, E. D. T.; VERÍSSIMO, M. A. A.; HARTER, A.; UENO, B. Doenças da cana-de-açúcar. In.: SILVA, D. A. S.; MONTERO, C. R. S.; SANTOS, R. C.; NAVA, D. E.; GOMES, C. B.; ALMEIDA, I. R. **Sistema de Produção da Cana-de-açúcar para o Rio Grande do Sul**. Pelotas. Embrapa. p 104-112. 2016.

SNYMAN, S., MEYER, G., KOCH, A.; BANASIAK, M.; WATT, M. Applications of in vitro culture systems for commercial sugarcane production and improvement. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v. 47(2), p. 234-249. 2011. <https://doi.org/10.1007/s11627-011-9354-7v>

SOUZA, G. S.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; ARAÚJO, F. S.; BARBOSA, R. S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p.603-612, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400017>

SOUZA, L. S.; VIEIRA NETO, R. D. **Cultivo da banana para o ecossistema dos tabuleiros costeiros**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de Produção, 4. Versão eletrônica, ago/2016. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1068805/1/Cultivo-da-Banana-para-o-Ecossistema-dos-Tabuleiros-Costeiros.pdf> ; Acesso em: 08 de nov. 2022.

SZMRECSÁNYI, T., MOREIRA, E.P. O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. **Estudos Avançados**, v. 1, n. 5, 1991. <https://doi.org/10.1590/S0103-40141991000100006>

SZULC, W. E RUTKOWSKA, B. Diagnóstico de deficiência de boro para plantas em referência à concentração de boro na solução do solo. **Plant, Soil and Environment**, v.: 59(8), p: 372-377. 2013. <https://doi.org/10.17221/306/2013-pse>

TAVARES, O. C. H. **Crescimento da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes sistemas de plantio e colheita**. 2007. 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

TAVARES, O. C. H.; LIMA, E.; ZONTA, E. Crescimento e produtividade da cana planta cultivada em diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 61–68, jan. 2010. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.2051>

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 574p.

THORBURN, P.J.; MEIER, E.A.; COLLINS, K.; ROBERTSON, F.A. Changes in soil carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil & Tillage Research**, v. 120, p.99–111, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.11.009>

THORBURN, P.J.; VAN ANTWERPEN, R.; MEYER, J.H.; BEZUIDENHOUT, C.N. The impact of trash management on soil carbon and nitrogen: I modelling long-term experimental results in the South African sugar industry. **Proc S Afr Sug Technol.** 76.:260-268, 2002.

TIMM, L.C.; OLIVEIRA, J.C.M.; TOMINAGA, T.T.; CASSARO, F.A.M.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. Water balance of a sugarcane crop: quantitative and qualitative aspects of its measurement. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**; v. 6, p. 57-62, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100011>

TOKESHI, H., RAGO, A. Doenças da cana-de-açúcar. In: AMORIM L, REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A. (eds) **Manual de Fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. Editora Ceres, Ouro Fino, p 219–231, 2016.

TRIVELIN, P. C. O.; FRANCO, H. C. J.; OTTO, R.; FERREIRA, D. A.; VITTI, A. C.; FORTES, C.; FARONI, C. E.; OLIVEIRA, E. C. A.; CANTARELLA, H. Impact of sugarcane trash on fertilizer requirements for São Paulo, **Brazil. Sci. Agric.** v.70, n.5, p.345-352, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000500009>

TRIVELIN, P. C. O.; RODRIGUES, J. C. S.; VICTORIA, R. L. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-15N e uréia-15N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 31, n.2, p. 89-99, 1996.

ÚNICA. Bioeletricidade. Painel de geração de bioeletricidade e das demais fontes da matriz elétrica. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/listagem.php?idMn=145> Acesso em: 25/4/2024.

URASHIMA, A. S.; GRACHET, N. G. Métodos de detecção de Leifsonia xyli subsp. xyli e efeito da termoterapia na brotação das gemas de diferentes variedades de cana-de-açúcar. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 1, p. 57–64, jan. 2012. <https://doi.org/10.1590/S1982-56762012000100007>

URASHIMA, A.S.; SILVA, M.F.; CORAINI, N.F.; GAZAFFI, R. Temporal incidence of Leifsonia xyli subsp. xyli in sugarcane propagating materials of Brazilian cultivars. **Crop Protect**, n. 104976, v.128, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104976>

URQUIAGA, S.; RESENDE, A. S.; QUESADA, D. M.; SALES, L.; GONDIN, A.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Efeito das aplicações de vinhaça, adubo nitrogenado e da queima no rendimento de cana-de-açúcar. **Anais... do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 26, Rio de Janeiro, 1997.

VALLIS, I.; PARTON, W.J.; KEATING, B.A.; WOOD, A.W. Simulation of the effects of trash and N fertilizer management on soil organic matter levels and yields of sugarcane. **Soil & Tillage Research**. v. 38: p. 115-132, 1996. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01014-8](https://doi.org/10.1016/0167-1987(96)01014-8)

VASCONCELOS, R. F. B. DE .; SOUZA, E. R. DE .; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S.. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 4, p. 381–386, abr. 2014. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662014000400004>

VITTI, A.C.; FERREIRA, D.A.; FRANCO, H.C.J.; FORTES, C.; OTTO, R.; FARONI, C.E.; TRIVELIN, P.C.O. Utilisation of nitrogen from trash by sugarcane ratoons. 2010, **Anais.. Veracruz: ISSCT**, 2010. Disponível em: <http://www.issct.org/pdf/proceedings/2010/2010%20Vitti,%20UTILISATION%20OF%20NI>

[TROGEN%20FROM%20TRASH%20BY%20SUGARCANE%20RATOONS.pdf](#). Acesso em: 26 abr. 2023.

VITTI, A.C.; FRANCO, H.C.J.; TRIVELIN, P.C.O.; FERREIRA, D.A.; OTTO, R.; FORTES, C.; FARONI, C.E. Nitrogênio proveniente da adubação nitrogenada e de resíduos culturais na nutrição da cana-planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 46, p. 287-293, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000300009>

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; CANTARELLA, H.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; OTTO, R.; TRIVELIN, M.O.; TOVAJAR, J.G. Mineralização da palhada e crescimento de raízes de cana-de-açúcar relacionados com a adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2757–2762. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000700020>

WILHELM, W.W.; JOHNSON, J.M.F.; HATFIELD, J.L.; VOORHEES, W.B.; LINDEN, D.R. Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 1-17, 2004. <https://doi.org/10.2134/agronj2004.1000a>

ZAMBON, J. L. C.; DAROS, E. **Manual de experimentação para a condução de experimentos**. Curitiba: UFPR, 49 p., 2005.

ZHAO, D.; LI, Y. Climate change and sugarcane production: potential impact and mitigation strategies. **International Journal of Agronomy**, 2015, p. 1-10. <https://doi.org/10.1155/2015/547386>

ZRIBI, W.; ARAGÜÉS, R.; MEDINA, E.; FACI, J.M.M. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. **Soil Tillage Res.** v. 148, p. 40–45, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.003>

13.ANEXOS

Anexo 1. Tratamentos de sistemas de colheita quanto ao manejo de palhada ao longo dos ciclos de cultivo da cana-de-açúcar, aplicados ao longo do tempo, em solo de tabuleiro costeiro, no município de Linhares-ES. C: cana crua, Q: cana queimada.

| Datas plantio/colheita | Ciclo da Cultura | Data de Adubação | Corretivos e fertilizantes | Quantidade (kg ha ⁻¹) |
|---|------------------------------|------------------|---|--|
| 28/05/1989 | Preparação da área e plantio | 05/1989 | Calcário dolomítico; Superfosfato Triplo; Cloreto de potássio | 500 125 (P ₂ O ₅) 85 (K ₂ O) |
| Cultivar RB73 9735 – Espaçamento 1,2 – Preparo convencional do solo | | | | |
| 17/09/1990 | Cana Planta | 10/10/1990 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/ 80 (K ₂ O) |
| 09/09/1991 | 1ª Soca | 19/09/1991 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/ 80 (K ₂ O) |
| 30/09/1992 | 2ª Soca | 06/10/1992 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/ 80 (K ₂ O) |
| 13/09/1993 | 3ª Soca | 29/10/1993 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/ 80 (K ₂ O) |
| 15/10/1994 | 4ª Soca | 20/11/1994 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/ 80 (K ₂ O) |
| 03/10/1995 | 5ª Soca | 03/12/1995 | Ureia/Cloreto de Potássio Superfosfato Simples | 100N/ 80 (K ₂ O) 63 (P ₂ O ₅) |
| 14/10/1996 | 6ª Soca | - | - | - |
| 1997 - Eliminação da soqueira com herbicida | | | | |
| 11/04/1997 | Preparação da área e plantio | 04/1997 | Ureia/Cloreto de Potássio Superfosfato Simples | 20 N/ 80 (K ₂ O) 80 (P ₂ O ₅) |
| Cultivar RB73 9735 – Espaçamento 1,2 – Plantio direto | | | | |
| 29/09/1998 | Cana Planta | 26/10/1998 | Ureia/Cloreto de Potássio | 80 N/ 80 (K ₂ O) |
| 14/09/1999 | 1ª Soca | 18/10/1999 | Ureia/Cloreto de Potássio | 80 N/ 80 (K ₂ O) |
| 18/09/2000 | 2ª Soca | 24/10/2000 | Ureia/Cloreto de Potássio | 80 N/ 80 (K ₂ O) |
| 24/09/2001 | 3ª Soca | 29/10/2001 | Ureia/Cloreto de Potássio | 80 N/ 80 (K ₂ O) |
| 16/10/2002 | 4ª Soca | 20/11/2002 | Ureia/Cloreto de Potássio | 80 N/ 80 (K ₂ O) |
| 14/10/2003 | 5ª Soca | 19/11/2003 | Ureia/Cloreto de Potássio | 80 N/ 80 (K ₂ O) |
| 19/10/2004 | 6ª Soca | - | - | - |

CONTINUAÇÃO....

| Datas plantio/ colheita | Ciclo da Cultura | Data de Adubação | Corretivos e fertilizantes | Quantidade (kg ha ⁻¹) |
|---|------------------------------------|---------------------|---|---|
| 2005 - Eliminação da soqueira com herbicida | | | | |
| 17/05/2005 | Preparação da área e plantio | 05/2005 | Ureia/Cloreto de Potássio Superfosfato Simples | 25 N/100 (K ₂ O) 100 (P ₂ O ₅) |
| Cultivar SP79 1011 – Espaçamento 1,3 – Plantio direto | | | | |
| 14/08/2006 | Cana Planta | 29/09/2006 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 17/09/2007 | 1ª Soca | 23/10/2007 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 08/09/2008 | 2ª Soca | 15/10/2008 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 09/09/2009 | 3ª Soca | 20/10/2009 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 17/09/2010 | 4ª Soca | 28/10/2010 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 11/09/2011 | 5ª Soca | 08/10/2011 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 17/09/2012 | 6ª Soca | 18/10/2012 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 09/09/2013 | 7ª Soca | 10/10/2013 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 22/10/2014 | 8ª Soca | | | |
| 2015 - Eliminação da Soqueira com herbicida | | | | |
| 25/02/2015 | Preparação da área e plantio | 02/2015 | Ureia/Cloreto de Potássio Superfosfato Simples | 20 N/100 (K ₂ O) 140 (P ₂ O ₅) |
| Cultivar RB965917 - Espaçamento 1,5 - Plantio direto | | | | |
| 24/08/2016 | Cana Planta | 8/10/2016 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 18/09/2017 | 1ª Soca | 6/11/2017 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 17/09/2018 | 2ª Soca | 11/10/2018 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 09/09/2019 | 3ª Soca | 21/10/2019 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 20/09/2020 | 4ª Soca | 6/10/2020 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |
| 20/09/2021 | 5ª Soca | 14/10/2021 | Ureia/Cloreto de Potássio | 100N/150(K ₂ O) |

Anexo 2. Teores de boro, cobre, ferro, manganês, zinco e carbono orgânico de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-0,05; 0,05-0,1; 0,1-0,2; 0,2-0,3 e 0,3 a 0,4 m.

| Trat | B | Cu | Fe | Mn | Zn | C. Org |
|------|---------------------|---------|----------|---------|-------|--------------------|
| | mg kg ⁻¹ | | | | | g kg ⁻¹ |
| | 0 a 0,05 m | | | | | |
| CCCC | 0,37 | 0,45 a | 84,40 ab | 4,37 | 0,77 | 30,12 a |
| CQCQ | 0,58 | 0,25 b | 112,16 a | 5,08 | 0,90 | 12,23 bc |
| QCQC | 0,64 | 0,22 b | 112,39 a | 7,78 | 0,65 | 8,86 c |
| QQQQ | 0,40 | 0,52 a | 70,26 b | 5,29 | 0,83 | 21,17 ab |
| CV% | 32,33 | 34,18 | 21,81 | 45,23 | 36,26 | 45,08 |
| | 0,05 a 0,1 m | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| CCCC | 0,45 | 0,38 a | 96,18 | 2,08 | 0,28 | 24,28 a |
| CQCQ | 0,56 | 0,22 b | 133,87 | 2,06 | 0,43 | 11,08 b |
| QCQC | 0,58 | 0,14 b | 129,14 | 3,55 | 0,24 | 9,85 b |
| QQQQ | 0,44 | 0,46 a | 93,90 | 4,05 | 0,41 | 20,69 a |
| CV% | 22,30 | 37,14 | 28,18 | 52,99 | 34,77 | 39,22 |
| | 0,1 a 0,2 m | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| CCCC | 0,48 | 0,48 | 104,40 | 1,99 | 0,23 | 11,99 |
| CQCQ | 0,52 | 0,19 | 138,14 | 0,39 | 0,31 | 9,41 |
| QCQC | 0,52 | 0,32 | 118,52 | 3,34 | 0,22 | 7,87 |
| QQQQ | 0,40 | 0,45 | 108,42 | 1,90 | 0,18 | 9,37 |
| CV% | 29,69 | 91,36 | 51,20 | 93,50 | 58,14 | 23,30 |
| | 0,2 a 0,3 m | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| CCCC | 0,40 | 0,51 | 133,66 | 1,17 ab | 0,13 | 18,30 a |
| CQCQ | 0,51 | 0,15 | 213,13 | 0,37 b | 0,23 | 9,99 b |
| QCQC | 0,59 | 0,27 | 132,86 | 4,94 a | 0,26 | 9,31 b |
| QQQQ | 0,44 | 1,19 | 117,13 | 1,26 ab | 0,17 | 17,84 a |
| CV% | 21,26 | 190,44 | 78,27 | 115,32 | 40,02 | 34,02 |
| | 0,3 a 0,4 m | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| CCCC | 0,52 | 0,40 a | 189,35 | 0,91 b | 0,15 | 15,41 |
| CQCQ | 0,60 | 0,12 b | 287,32 | 0,33 b | 0,22 | 9,12 |
| QCQC | 0,53 | 0,18 ab | 188,68 | 2,30 a | 0,19 | 8,85 |
| QQQQ | 0,51 | 0,38 a | 139,39 | 1,32 b | 0,12 | 14,94 |
| CV% | 15,86 | 60,72 | 40,09 | 56,59 | 45,96 | 36,14 |

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Duncan (prob<0,5).

Anexo 3. Teores de boro, cobre e ferro de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3 a 0,4m.

| Trat | Bo | | | Cu | | | Fe | | |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|----------|
| | C | Q | Média | C | Q | Média | C | Q | Média |
| mg kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
| 0 a 0,05m | | | | | | | | | |
| PD | 0,63 | 0,57 | 0,60 | 0,39 | 0,30 | 0,33 | 55,70 | 62,58 | 59 |
| PC | 0,63 | 0,59 | 0,61 | 0,41 | 3,12 | 0,3625 | 54,46 | 72,32 | 63 |
| Média | 0,63 | 0,58 | | 0,39 | 0,31 | | 55,08 | 67,45 | |
| | CV ₁ % = 30,43 | CV ₂ % = 18,36 | | CV ₁ % = 58,76 | CV ₂ % = 50,39 | | CV ₁ % = 14,59 | CV ₂ % = 14,29 | |
| 0,05 a 0,1m | | | | | | | | | |
| PD | 0,59 | 0,61 | 0,60 | 0,07 | 0,25 | 0,16 b | 56,67 | 63,24 | 59,95 |
| PC | 0,62 | 0,54 | 0,58 | 0,34 | 0,37 | 0,35 a | 64,01 | 65,02 | 64,51 |
| Média | 0,61 | 0,57 | | 0,20 | 0,31 | | 60,34 | 64,13 | |
| | CV ₁ % = 23,60 | CV ₂ % = 26,37 | | CV ₁ % = 88,44 | CV ₂ % = 35,19 | | CV ₁ % = 24,27 | CV ₂ % = 17,85 | |
| 0,1 a 0,2 m | | | | | | | | | |
| PD | 0,66 | 0,62 | 0,64 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 65,89 | 77,44 | 71,66 |
| PC | 0,63 | 0,64 | 0,63 | 0,51 | 0,28 | 0,39 | 63,52 | 81,30 | 72,41 |
| Média | 0,65 | 0,26 | | 0,32 | 0,21 | | 64,70 | 79,37 | |
| | CV ₁ % = 31,36 | CV ₂ % = 16,22 | | CV ₁ % = 87,34 | CV ₂ % = 71,38 | | CV ₁ % = 30,80 | CV ₂ % = 19,26 | |
| 0,2 a 0,3 m | | | | | | | | | |
| PD | 0,60 | 0,62 | 0,61 | 0,27 | 0,09 | 0,18 | 73,01 | 82,84 | 77,92 |
| PC | 0,67 | 0,65 | 0,66 | 0,36 | 0,17 | 0,57 | 80,59 | 91,69 | 86,14 |
| Média | 0,63 | 0,63 | | 0,62 | 0,13 | | 76,80 | 78,26 | |
| | CV ₁ % = 30,80 | CV ₂ % = 20,78 | | CV ₁ % = 223,05 | CV ₂ % = 220,72 | | CV ₁ % = 32,00 | CV ₂ % = 20,91 | |
| 0,3 a 0,4 m | | | | | | | | | |
| PD | 0,60 | 0,59 | 0,60 | 0,21 | 0,33 | 0,27 | 82,43 | 96,00 | 89,22 b |
| PC | 0,72 | 0,68 | 0,70 | 0,19 | 0,08 | 0,13 | 139,22 | 127,70 | 133,46 a |
| Média | 0,66 | 0,64 | | 0,20 | 0,20 | | 110,82 | 111,85 | |
| | CV ₁ % = 34,90 | CV ₂ % = 21,48 | | CV ₁ % = 91,78 | CV ₂ % = 74,63 | | CV ₁ % = 24,76 | CV ₂ % = 24,72 | |

Médias seguidas das mesmas letras maiúscula nas linhas e de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Valores entre parênteses são os valores originais das variáveis transformadas por logaritmo.

Anexo 4. Teores de manganês, zinco e carbono orgânico de um Argissolo Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo e de colheita da cana-de-açúcar, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,1, 0,1-0,2, 0,2-0,3 e 0,3 a 0,4m.

| Trat | Mn | | | Zn | | | Carbono Orgânico | | |
|-------|---------------------|---------------|-------|---------------|---------------|--------|--------------------|--------------|---------|
| | C | Q | Média | C | Q | Média | C | Q | Média |
| | mg kg ⁻¹ | | | | | | g kg ⁻¹ | | |
| | 0 a 0,05 m | | | | | | | | |
| PD | 4,64 | 5,26 | 4,95 | 0,41 | 0,67 | 0,54 a | 23,55 | 17,62 | 20,58 |
| PC | 4,17 | 3,21 | 3,69 | 0,19 | 0,38 | 0,28 b | 33,07 | 16,05 | 24,56 |
| Média | 4,41 | 4,23 | | 0,30 B | 0,53 A | | 28,31 A | 16,83 B | |
| | CV1% = 29,60 | CV2% = 44,07 | | CV1% = 68,38 | CV2% = 59,36 | | CV1% = 63,43 | CV2% = 49,88 | |
| | 0,05 a 0,1 m | | | | | | | | |
| PD | 3,52 | 3,26 | 3,39 | 0,24 | 0,09 | 0,17 | 20,38 | 20,95 | 20,67 |
| PC | 2,50 | 2,66 | 2,58 | 0,16 | 0,15 | 0,16 | 26,13 | 17,75 | 21,94 |
| Média | 3,01 | 2,96 | | 0,20 | 0,12 | | 23,26 | 19,35 | |
| | CV1% = 45,87 | CV2% = 51,80 | | CV1% = 77,07 | CV2% = 74,11 | | CV1% = 77,82 | CV2% = 41,39 | |
| | 0,1 a 0,2 m | | | | | | | | |
| PD | 2,32 | 1,71 | 20,18 | 0,24 | 0,10 | 0,17 | 16,63 | 14,03 | 15,33 |
| PC | 2,05 | 1,91 | 1,98 | 0,16 | 0,08 | 0,12 | 20,03 | 20,72 | 20,38 |
| Média | 2,19 | 2,02 | | 0,20 | 0,09 | | 18,33 | 17,38 | |
| | CV1% = 77,33 | CV2% = 82,37 | | CV1% = 83,63 | CV2% = 99,50 | | CV1% = 56,64 | CV2% = 52,13 | |
| | 0,2 a 0,3 m | | | | | | | | |
| PD | 1,87 | 1,74 | 1,80 | 0,38 | 0,08 | 0,23 | 14,03 | 15,4 | 14,72 |
| PC | 1,57 | 1,09 | 1,33 | 0,13 | 0,06 | 0,1 | 15,4 | 20,38 | 17,86 |
| Média | 1,72 | 1,41 | | 0,25 | 0,07 | | 14,68 | 17,89 | |
| | CV1% = 85,93 | CV2% = 100,41 | | CV1% = 211,94 | CV2% = 208,22 | | CV1% = 47,31 | CV2% = 63,91 | |
| | 0,3 a 0,4 m | | | | | | | | |
| PD | 1,07 | 1,81 | 1,44 | 0,44 | 0,11 | 0,27 | 15,38 | 19,33 | 17,36 a |
| PC | 0,97 | 0,55 | 0,76 | 0,16 | 0,07 | 0,12 | 11,25 | 12,32 | 11,78 b |
| Média | 1,02 | 1,18 | | 0,3 | 0,09 | | 13,32 | 15,83 | |
| | CV1% = 90,76 | CV2% = 98,68 | | CV1% = 202,96 | CV2% = 216,89 | | CV1% = 12,67 | CV2% = 36,05 | |

Médias seguidas das mesmas letras maiúscula nas linhas e de mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan a 5%. Valores entre parênteses são os valores originais das variáveis transformadas por logaritmo.