UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

CONSÓRCIO DE FEIJOEIROS E LEGUMINOSAS ADUBOS VERDES EM SOQUEIRA DE CANA CRUA

Fábio Fiori Ruiz
Engenheiro Agrônomo

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

CONSÓRCIO DE FEIJOEIROS E LEGUMINOSAS ADUBOS VERDES EM SOQUEIRA DE CANA CRUA

Fábio Fiori Ruiz

Orientador: Prof. Dr. Leandro Borges Lemos

Coorientador: Pesq. Dr. Denizart Bolonhezi

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

2025

R934c

Ruiz, Fábio Fiori
Consórcio de feijoeiros e leguminosas adubos verdes em soqueira de cana crua / Fábio Fiori Ruiz. -- Jaboticabal, 2025
65 p. : il., tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Leandro Borges Lemos
Coorientador: Denizart Bolonhezi

1. Plantas de cobertura. 2. Cultivo intercalar. 3. Phaseolus vulgaris L.. 4. Produtividade. 5. Saccharum spp.. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONSÓRCIO DE FEIJOEIROS E LEGUMINOSAS ADUBOS VERDES EM SOQUEIRA DE CANA CRUA

AUTOR: FÁBIO FIORI RUIZ
ORIENTADOR: LEANDRO BORGES LEMOS
COORIENTADOR: DENIZART BOLONHEZI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS (Participaçao Presencial)
Departamento de Producao Vegetal / FCAV UNESP Jaboticabal

Pesquisador Dr. SÉRGIO GUSTAVO QUASSI DE CASTRO (Participaçao Presencial)
AgroQuatro-S Experimentação Agronômica Aplicada / Orlândia/SP

Prof. Dr. ANDERSON PRATES COELHO (Participaçao Presencial)
Departamento de Engenharia / FCAV UNESP Jaboticabal

Jaboticabal, 16 de maio de 2025

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

FÁBIO FIORI RUIZ – Nascido em 20 de agosto de 1997, em Ribeirão Preto - SP, iniciou a graduação em Engenharia Agronômica no Centro Universitário Moura Lacerda (CUML), campus de Ribeirão Preto, em 2018. Durante a graduação, atuou como bolsista de Iniciação Científica (IC) pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), vinculado ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), no Centro de Cana, por dois períodos consecutivos, sob a orientação do Pesq. Dr. Denizart Bolonhezi. O primeiro, realizado em 01 de outubro de 2020 a 31 de agosto de 2021, abordou o projeto intitulado “Produtividade de colmos e sistema radicular de soqueira de cana em transplantio direto de MPB sobre diferentes doses de calcário e gesso”. O segundo, desenvolvido em 01 de setembro de 2021 a 31 de agosto de 2022, abordou o projeto “Resistência mecânica à penetração, biomassa de raiz e produtividade de colmos de soqueira de cana em diferentes manejos de solo”. Em 2022, obteve o título de Engenheiro Agrônomo e foi agraciado com o Prêmio CREA–SP de Formação Profissional – Formandos 2022, por ter se destacado no curso. Em março de 2023, ingressou no Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), campus de Jaboticabal, pela orientação do Prof. Dr. Leandro Borges Lemos. Atualmente, é colaborador de projetos científicos de autoria do Pesq. Dr. Denizart Bolonhezi (Centro de Cana/IAC), relacionados às culturas de cana-de-açúcar, soja, amendoim, feijão e adubos verdes, em sistemas e manejos conservacionistas e membro externo do Grupo de Pesquisa em Sustentabilidade em Sistemas Agrícolas (SAGRIS), criado e coordenado pelo Prof. Dr. Leandro Borges Lemos.

“Que homem é um homem que não torna o mundo melhor?”

Autor desconhecido

“A ignorância absoluta não é o maior mal, nem o mais temível. Pior que a ignorância absoluta é o acúmulo de conhecimentos mal assimilados.”

Platão

Aos meus pais, Sílvia Teresa Fiori Ruiz e Paulo César Ruiz (*in memoriam*), que sempre me incentivaram a perseguir meus sonhos. Sem seus ensinamentos e companheirismo, eu jamais teria chegado até aqui!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por sempre guiar e iluminar meu caminho;

À minha família, especialmente aos meus pais, Sílvia Tereza Fiori Ruiz e Paulo César Ruiz (*in memoriam*), pelo amor, apoio, companheirismo e ensinamentos ao longo da minha vida;

À Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Jaboticabal-SP, pela oportunidade de realizar este mestrado;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Leandro Borges Lemos, pela orientação, confiança, amizade, ensinamentos e apoio durante a execução deste trabalho;

Ao meu coorientador, pesquisador Dr. Denizart Bolonhezi, do Instituto Agronômico de Campinas, pela orientação, confiança, amizade, ensinamentos e apoio, além de ter me proporcionado a oportunidade de ser bolsista CNPq pelo IAC, o que me incentivou pessoalmente e profissionalmente;

Aos membros da Comissão Examinadora do Exame Geral de Qualificação, Prof. Dr. Vinícius Augusto Filla, Profa. Dra. Lívia Cordaro Galdiano Chicone e Dr. Fábio Tiraboschi Leal, pelas sugestões que contribuíram para a melhoria da dissertação;

Aos membros da Comissão Examinadora da Defesa da Dissertação, Prof. Dr. Leandro Borges Lemos, Prof. Dr. Anderson Prates Coelho e Pesq. Dr. Sérgio Gustavo Quassi de Castro, pelo apoio e pelas sugestões que contribuíram para a melhoria dessa dissertação;

À empresa AgroQuatro-S®, em especial ao engenheiro agrônomo Sérgio Donizeti de Castro, ao Pesq. Dr. Sérgio Gustavo Quassi de Castro e ao gerente agrícola Vanderlei Correa, pelos ensinamentos, amizade, respeito e disponibilização das áreas, equipamentos e colaboradores;

A todos os colaboradores da empresa AgroQuatro-S® que me auxiliaram durante o experimento, especialmente ao Val, Marlene, Paloma, Fátima, Maria das Dores, Dilda, Wanda, Etelvino, Suel, Maria das Graças, Maria Santina, Baguinho, Zezé, Sirlei, João, Biro-Biro, Miguel, Zé Mineiro, Cuti, Marquinhos, Rafael, Felipe, Pirulito, Nenê, Faca e Joel, pela ajuda e amizade;

Ao Pesq. Dr. Alisson Fernando Chiorato, do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), pelo fornecimento das sementes dos feijoeiros;

À empresa AG Croppers®, pelo fornecimento das sementes de adubos verdes;

À empresa Tatu Marchesan®, pela instalação dos discos limpa trilho e das caixas de sementes graúdas e miúdas na semeadora modelo COP CA® utilizada durante a execução dos experimentos;

À Fundação Agrisus (PA 2237/17), pelo financiamento da pesquisa coordenada pelo Pesq. Dr. Denizart Bolonhezi;

Ao engenheiro agrônomo Gabriel Pereira Nogueira, pelo fornecimento do inoculante para as sementes de feijão;

À Pesqª. Dra. Sally Ferreira Blat, pela confiança, amizade, ensinamentos, apoio e carinho, sempre me incentivando a ser uma pessoa e um profissional melhor, expresso minha sincera gratidão e admiração;

A todos do Centro de Cana/IAC, especialmente ao Pesq. Dr. Eduardo Suguino, Pesqª. Dra. Erika Auxiliadora Giacheto Scaloppi, Pesq. Dr. Roberto Botelho Ferraz Branco, Pesq. Dr. Sandro Roberto Brancalião e Pesq. Dr. José Roberto Scarpellini, que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional;

Aos meus amigos do IAC, Olavo Betiol, Letícia Pelicioni Palviqueres, Élcio Rios Perez Leal, Keyciane Barbosa, Larissa Santos, Talyta Silva Ornelas, Lucas Massarollo, Diogo Massarollo, João Vitor Silvério, Daniel da Costa Cursino, Igor Henrique Freitas Jaquinto, Renato Melo Martins, Henrique Sibille, Pedro Guilherme Almeida Luz, João Lucas Coli de Souza Monteneri Nacinben, Chandler Edwin Gruener, Pedro Henrique Benke Moreno, Gustavo Trovó Farah e João Barbetti, pela amizade, apoio e memórias inesquecíveis ao longo da minha jornada no IAC;

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, em especial ao Prof. Dr. Pedro Luís da Costa Aguiar Alves, Prof. Dr. Anderson Prates Coelho, Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso, Prof. Dr. Carlos Alberto Azania, Prof. Dr. David Ferreira Santos, Prof. Dr. Fábio Luiz Checchio Mingotte e Profa. Ma. Juliana Sakoda Telles Chinalia, pelos valiosos ensinamentos;

A Seção Técnica de Pós-Graduação (STPG), em especial a Eliana Cristina de Oliveira Lucas, Iuri Souza Spineli, Vinicius Eduardo Belchior e Cláudio Roselli Batista de Andrade, pelo apoio prestado durante o mestrado;

Aos amigos da Pós-Graduação, em especial a Mara Silvia Torres Luna, Jaymes Alves Pereira, Andrea Onelia Rodriguez Roa, Rafael Fausto de Lima, Milton Garcia

Costa, Gabriel Gomes Mendes, Mariana Dias Meneses, Lucas Natan Camacho da Silva, Letícia de Paula Leite, Eduarda Gonçalves Reis, Maria Thalia Lacerda Siqueira, Aline Dell Passo Reis, Samuel Henrique Fumis, Ana Flavia Garcia Moraes Bueno e João Paulo Morais da Silva, pela amizade, ensinamentos e apoio;

Ao Centro Universitário Moura Lacerda, especialmente a Profa. Dra. Silvelena Vanzolini Segato, Profa. Dra. Marta Maria Rossi, Profa. Dra. Eliana Mayra Torrecillas Scaloppi, Profa. Dra. Amália Estela Mozambani, Profa. Dra. Melina Cais de Oliveira, Profa. Dra. Selma de Fátima Grossi, Profa. Dra. Paola Pedroso Vantini, Profa. Dra. Kelly Magalhães Marques, Prof. Dr. Alexandre de Sene Pinto e Prof. Me. José Carlos Martins de Nóbrega, pelos valiosos ensinamentos;

A todos os amigos da graduação, em especial a Thales Tormena, Vinícius Koba, Thiago Pontoglio, Whallace Muniz, Gabriel Pedrucci, Gabriel Blanco, Vanderlucio de Oliveira, Marília Andrade, Keyciane Barbosa, Larissa Santos, Talyta Ornelas, Camila Silva, Jaqueline Nuno, Yasmin Alcazar, Tullio Amorozo, Marcelo Bidinelli, Gabriela Medina, Mayara Miyazaki, Júlia Bavaresco, Kaimmy Zenun, Guilherme Thomaz, Guilherme Yuri, Pedro Romano, Rafael Tostes, Leonardo Preti, Thiago Abonante, Victor Granzoto, Vitor Souza, David Riul, Rangel Romão, Arthur Riul, César Zarzur, Giovanna Lovato, José Ricardo, Victor Batista, Mateus Dipe, Arthur Belesini e Bruno Bighi, pela amizade, apoio e memórias inesquecíveis ao longo da jornada acadêmica;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho e para minha formação pessoal e profissional, minha eterna gratidão.

SUMÁRIO

Página

RESUMO....ii
ABSTRACT....iii
LISTA DE TABELAS....iv
LISTA DE FIGURAS....vi
1. INTRODUÇÃO....1
2. REVISÃO DE LITERATURA....3
2.1 O contexto da cana-de-açúcar no Brasil....3
2.2 Consórcio de culturas....4
2.3 Consórcio entre a cana-de-açúcar e leguminosas adubos verdes....7
2.4 Consórcio entre a cana-de-açúcar e feijoeiros....8
3. MATERIAL E MÉTODOS....11
3.1 Características das áreas experimentais....11
3.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos....13
3.3 Implantação e condução dos experimentos....15
3.4 Avaliações....19
3.5 Análise estatística....23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO....24
4.1 Atributos agronômicos dos feijoeiros....24
4.2 Atributos qualitativos dos feijoeiros....27
4.3 Teor e acúmulo de nutrientes das leguminosas adubos verdes....30
4.4 Atributos agronômicos da cana-de-açúcar....36
4.5 Atributos qualitativos da cana-de-açúcar....39
4.6 Uso Eficiente da Terra (UET)....40
5. CONCLUSÕES....42
6. REFERÊNCIAS....43
APÊNCIDES....49

CONSÓRCIO DE FEIJOEIROS E LEGUMINOSAS ADUBOS VERDES EM SOQUEIRA DE CANA CRUA

RESUMO – O consórcio de culturas, especialmente na soqueira de cana, surge como uma prática viável para aumentar sua produtividade. Como a cana exige altas quantidades de nitrogênio, o cultivo consorciado com leguminosas, como feijoeiros e adubos verdes, mostra-se promissor. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos do consórcio sobre as características das culturas envolvidas. Dois experimentos foram conduzidos em Sales de Oliveira-SP, sendo o primeiro (Talhão 1) em um Latossolo Vermelho eutrófico com a cultivar de cana IACSP95-5094 (4º corte), e o segundo (Talhão 2) em um Latossolo Vermelho distrófico com a cultivar RB965902 (3º corte). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 4 repetições. O talhão 1 contou com 10 tratamentos, sendo eles: Controle (C); Cana-de-açúcar + doses de nitrogênio (CN); IAC Veloz consorciado com cana (FV); IAC 1849 Polaco consorciado com cana (FP); IAC 2156 “Dark Red Kidney” consorciado com cana (FDR); guandu forrageiro cv. IAPAR 43 Aratã consorciado com cana (G); AG Mix consorciado com cana (MIX); IAC Veloz com cana rebaixada (FV CR); IAC 1849 Polaco com cana rebaixada (FP CR) e IAC 2156 “Dark Red Kidney” com cana rebaixada (FDR CR). Adicionou-se mais 4 tratamentos no talhão 2, sendo eles *Crotalaria spectabilis* consorciada com cana (CS); *Crotalaria ochroleuca* consorciada com cana (CO); IAC VR211 consorciado com cana (FM) e IAC VR211 com cana rebaixada (FM CR). Foram avaliados os atributos agronômicos (plantas por hectare, teor de nitrogênio foliar, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos) e qualitativos (rendimento de peneira, tempo de cozimento e relação de hidratação dos grãos) dos feijoeiros; atributos agronômicos (nº de colmos por hectare, nº de internódios, diâmetro e comprimento de colmos e TCH) e análise tecnológica da cana; biomassa fresca e seca, teores e acúmulo de nutrientes dos adubos verdes; análise nematológica e Uso Eficiente da Terra (UET). Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F e suas médias comparadas teste de Tukey a 5%. Adotou-se a análise de correlação simples. De modo geral, as produtividades dos feijoeiros foram melhores para os tratamentos com a cana rebaixada. No talhão 1, o MIX destacou-se em produção de matéria fresca, seca e acúmulo de N, Ca, Mg, B, Mn e Zn, superando o G. No talhão 2, as crotalárias apresentaram os maiores acúmulos de macronutrientes e o MIX para os micronutrientes. Os consórcios com FDR , FV, G e FP promoveram aumentos na produtividade da cana IACSP95-5094 de 50, 45, 41 e 36 Mg ha^{-1}, respectivamente, em comparação ao MIX, que obteve uma TCH de 103 Mg ha^{-1}. Os consórcios com FP e FDR promoveram aumentos na produtividade da cana RB965902, diferindo dos tratamentos G e MIX, nas proporções de 42 e 40 Mg ha^{-1} e 40 e 38 Mg ha^{-1}. Os consórcios não afetaram os atributos tecnológicos da cana. Os nematoides não influenciaram na produtividade da cana. Os consórcios com feijoeiros apresentaram UET superiores a 1, indicando efeito positivo na produtividade desses sistemas.

Palavras-chaves: plantas de cobertura, cultivo intercalar, *Phaseolus vulgaris* L., produtividade, *Saccharum* spp.

COMMON BEANS AND COVER CROPS INTERCROPPED WITH GREEN HARVEST SUGARCANE RATOON

ABSTRACT – Intercropping, especially in ratoon cane, has emerged as a viable practice to increase sugarcane yield. Since sugarcane requires high amounts of nitrogen, intercropping with legumes such as common beans and green manures proves promising. Thus, the aim of this study was to evaluate the effects of intercropping on the characteristics of the involved crops. Two experiments were conducted in Sales de Oliveira-SP. The first (Plot 1) was carried out in an eutrophic Oxisol with the IACSP95-5094 sugarcane cultivar (4th ratoon), and the second (Plot 2) in a dystrophic Oxisol with the RB965902 cultivar (3rd ratoon). A randomized block design (RBD) with four replications was used. Plot 1 included 10 treatments: Control (C); Sugarcane + nitrogen doses (CN); IAC Veloz intercropped with sugarcane (FV); IAC 1849 Polaco with sugarcane (FP); IAC 2156 "Dark Red Kidney" with sugarcane (FDR); forage pigeon pea cv. IAPAR 43 Aratã with sugarcane (G); AG Mix with sugarcane (MIX); IAC Veloz with cut-back sugarcane (FV CR); IAC 1849 Polaco with cut-back sugarcane (FP CR); and IAC 2156 "Dark Red Kidney" with cut-back sugarcane (FDR CR). Four additional treatments were included in Plot 2: *Crotalaria spectabilis* with sugarcane (CS); *Crotalaria ochroleuca* with sugarcane (CO); IAC VR211 (mung bean) with sugarcane (FM); and IAC VR211 with cut-back sugarcane (FM CR). The following were evaluated: agronomic traits of the beans (plants per hectare, leaf nitrogen content, pods per plant, grains per pod, hundred-grain weight and grain yield); qualitative traits (sieve yield, cooking time and grain hydration ratio); agronomic traits of sugarcane (stalks per hectare, number of internodes, stalk diameter and length, and TCH); technological analysis of sugarcane; fresh and dry biomass, nutrient content and accumulation in cover crops; nematode analysis; and Land Equivalent Ratio (LER=UET). Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) by F-test, and means were compared using Tukey's test at 5% significance. Simple correlation analyses were also performed. In general, the yield of the bean plants was higher in the treatments with cut-back sugarcane. In Plot 1, the MIX treatment stood out in fresh and dry biomass production and in accumulation of N, Ca, Mg, B, Mn, and Zn, outperforming G. In Plot 2, *Crotalaria* species showed the highest macronutrient accumulation, while MIX stood out for micronutrients. Intercropping with FDR, FV, G, and FP increased the yield of sugarcane cultivar IACSP95-5094 by 50, 45, 41, and 36 Mg ha^{-1}, respectively, compared to MIX, which had a TCH of 103 Mg ha^{-1}. Intercropping with FP and FDR also increased yield of RB965902 sugarcane, outperforming G and MIX, with yields of 42 and 40 Mg ha^{-1}, versus 40 and 38 Mg ha^{-1}, respectively. Intercropping did not affect the technological attributes of sugarcane. Nematode populations had no impact on sugarcane yield. Intercropping with common beans showed LER values greater than 1, indicating a positive effect on the yield of these systems.

Keywords: green manure, intercropping, *Phaseolus vulgaris* L., yield, *Saccharum* spp.

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Características químicas do solo das áreas experimentais do talhão 1 (cv. IACSP95-5094) e 2 (cv. RB965902) nas camadas 0-20 e 20-40 cm. Sales de Oliveira-SP, 2023.....12
Tabela 2. Características físicas do solo das áreas experimentais do talhão 1 (cv. IACSP95-5094) e 2 (cv. RB965902) nas camadas 0-20 e 20-40 cm. Sales de Oliveira-SP, 2023.....12
Tabela 3. População de nematoides (nº) das áreas experimentais do talhão 1 (cv. IACSP95-5094) e 2 (cv. RB965902). Total (nº) = Solo (nº) + Raíz (nº). Sales de Oliveira-SP, 2013.....12
Tabela 4. Descrição dos tratamentos dos talhões 1 e 2. Sales de Oliveira-SP, 2023...13
Tabela 5. Atributos agronômicos das cultivares de feijoeiros em consórcio com cana-de-açúcar, com ou sem rebaixamento. Sales de Oliveira-SP, 2024.....26
Tabela 6. Porcentual de grãos retidos nas peneiras de crivos oblongos ≥11 (RP≥P11), 12 (RP12), 13 (RP13), 14 (RP14) e 15 (RP15) das cultivares de feijoeiros em consórcio com cana-de-açúcar, com ou sem rebaixamento. Sales de Oliveira-SP, 2024.....28
Tabela 7. Tempo de cozimento e relação de hidratação para os feijoeiros com e sem a cana rebaixada. Sales de Oliveira-SP, 2024.....29
Tabela 8. Teores de nutrientes da parte aérea das leguminosas adubos verdes cultivadas em consórcio com a cana-de-açúcar. Sales de Oliveira-SP, 2024.....32
Tabela 9. Matéria Fresca (M.F), matéria seca (M.S) e acúmulo de nutrientes da parte aérea das leguminosas adubos verdes cultivadas em consórcio com a cana-de-açúcar. Sales de Oliveira-SP, 2024.....34
Tabela 10. Acúmulo de nitrogênio (N), pentóxido de fósforo convertido (P_2O_5) e óxido de potássio convertido (K_2O) fornecidos pela parte aérea das leguminosas adubos verdes cultivadas em consórcio com cana. Sales de Oliveira-SP, 2024.....36
Tabela 11. Número de colmos, internódios, comprimento, diâmetro e toneladas de colmos por hectare (TCH) das soqueiras de cana-de-açúcar dos talhões 1 e 2 em função de leguminosas consorciadas. Sales de Oliveira-SP, 2024.....38

Tabela 12. Coeficientes de correlação entre as populações de nematoides e a produtividade da cana cv. IACSP95-5094 no talhão 1. Sales de Oliveira-SP, 2024....39
Tabela 13. Coeficientes de correlação entre as populações de nematoides e a produtividade da cana cv. RB965902 para o talhão 2. Sales de Oliveira-SP, 2024.....39
Tabela 14. Atributos tecnológicos das soqueiras de cana-de-açúcar dos talhões 1 e 2 em função das leguminosas consorciadas. Sales de Oliveira-SP, 2024.....40
Tabela 15. Uso Eficiente da Terra (UET) e seus componentes (UET_{cana}, $UET_{feijão}$ e CRC) relativos aos consórcios entre feijoeiros e cana-de-açúcar. Sales de Oliveira-SP, 2024.....42
Apêndice 1. Populações de *Pratylenchus zeae* (Pz), *Meloidogyne javanica* (Mj), *Helicotylenchus dihystera* (Hd), Ovos (Ov) e Nematoides de vida livre (Vl) nas cultivares de cana-de-açúcar para os talhões 1 e 2.....49

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Imagens aéreas do talhão 1 (cv. de cana IACSP95-5094) (A) e do talhão 2 (cv. de cana RB965902) (B) em Sales de Oliveira-SP, 2024.....11
Figura 2. Distribuição das linhas nas parcelas experimentais. Sales de Oliveira-SP, 2024.....14
Figura 3. (1) Parcela útil dos tratamentos envolvendo os adubos verdes (G, MIX, CO e CS); (2) parcela útil dos monocultivos (C e CN); (3) parcela útil dos feijoeiros com a cana rebaixada (FV CR, FP CR, FDR CR e FM CR); e (4) parcela útil dos feijoeiros sem rebaixamento (FV, FP, FDR e FM). Sales de Oliveira-SP, 2024.....15
Figura 4. Semeadura dos feijoeiros e adubos verdes em consórcio com a cana-de-açúcar do talhão 1(cv. de cana IACSP95-5094), em Sales de Oliveira-SP, 2023.....16
Figura 5. Adubação de cobertura por filete contínuo nos feijoeiros (A) e rebaixamento da cana-de-açúcar para estimar o UET (B). Sales de Oliveira-SP, 2023.....17
Figura 6. Precipitação pluvial acumulada e temperatura média durante a condução de ambos os experimentos em Sales de Oliveira-SP, 2023 e 2024.....17
Figura 7. Déficit e excesso hídrico durante a condução de ambos os experimentos em Sales de Oliveira-SP, 2023 e 2024.....18
Figura 8. Estádio fenológico R9 (maturação) dos feijoeiros e feixes expostos ao sol pleno, respectivamente. Sales de Oliveira-SP, 2024.....18
Figura 9. Rendimento de peneira dos grãos do feijoeiro cv. IAC 1849 Polaco, do tratamento com cana normal (A) e com a cana rebaixada (B).....20
Figura 10. Determinação da capacidade de hidratação dos grãos de feijoeiros.....20
Figura 11. Determinação do tempo para cozimento dos grãos dos feijoeiros.....21
Figura 12. Colheita da cana-de-açúcar do talhão 1. Sales de Oliveira-SP, 2024.....22
Figura 13. Análise dos colmos de cana-de-açúcar de ambas cultivares. Ribeirão Preto-SP, 2024.....23

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ocupa uma posição de destaque no agronegócio brasileiro devido à sua relevância econômica e seu elevado potencial para a produção de etanol, açúcar e diversos subprodutos. Atualmente, sua área de cultivo é estimada em 8,34 milhões de hectares, dos quais aproximadamente 4,09 milhões (49%) estão concentrados no estado de São Paulo (Conab, 2024a), onde a colheita é predominantemente mecanizada e realizada sem o uso de fogo.

A adoção da colheita mecanizada proporciona uma série de vantagens agronômicas e ambientais, como a redução da erosão hídrica e da lixiviação de nutrientes (Garbiete, 2011), o aumento da ciclagem de nutrientes proporcionado pela palhada e a menor dependência no uso de herbicidas em decorrência da cobertura vegetal residual (Ferreira et al., 2010). Além disso, o setor sucroenergético se beneficia pelo desenvolvimento contínuo de novas cultivares, resultantes de programas de melhoramento genético, com foco em incrementos na produtividade e adaptação às diferentes condições edafoclimáticas.

Contudo, o setor canavieiro brasileiro enfrenta uma situação semelhante à vivenciada na Austrália entre 1970 e 1990, conhecida como “yield decline” (Pankhurst et al., 2005), período caracterizado pela estagnação da produtividade da cultura em função dos efeitos adversos causados pelo monocultivo. Em decorrência desse fato, foi instituído na Austrália o grupo de pesquisa denominado “Sugar Yield Decline Joint Venture”, cuja missão era propor soluções para resolver tal problema. Dentre elas, a adoção da rotação de culturas e manejos conservacionistas na reforma dos canaviais proporcionou resultados mais eficientes (Garside et al., 2005).

No Brasil, o sistema de sucessão de culturas na reforma dos canaviais ainda predomina em relação à rotação de culturas (Bolonhezi et al., 2014). No entanto, outros sistemas de manejo podem ser adotados independentemente da renovação do canavial, como o consórcio de culturas, sistema no qual duas ou mais espécies são cultivadas simultaneamente em uma mesma área. Essa prática se caracteriza por ser uma alternativa viável, impulsionando melhorias nas condições físicas, químicas e biológicas do solo (Santos et al., 2012), podendo ser realizada anualmente, principalmente na soqueira da cana-de-açúcar (Ramouthar et al., 2013).

Como essa cultura demanda grandes quantidades de nitrogênio (N) para atingir níveis elevados de produtividade (Wiedenfeld, 2000), o consórcio com leguminosas pode ser uma alternativa viável , uma vez que essas fixam biologicamente o nitrogênio (FBN) através da simbiose entre suas raízes e certos gêneros de bactérias (Ranaivoson et al., 2022), contribuindo com isso, para uma possível redução da necessidade de adubação nitrogenada oriunda de fontes fósseis. Além disso, algumas espécies de leguminosas auxiliam na diminuição da população de nematoides fitopatogênicos, como os dos gêneros *Meloidogyne* e *Pratylenchus* (Berry et al., 2009), ao mesmo tempo que aumentam a população de nematoides de vida livre, os quais são importantes para a biodiversidade do solo.

Além das leguminosas adubos verdes, leguminosas comestíveis, como o feijoeiro, também podem ser integradas ao consórcio com a cana-de-açúcar devido aos seus elevados valores nutricionais, servindo como um alimento de cesta básica. No Brasil, as primeiras pesquisas envolvendo esse tipo de sistema datam de 1968, quando Krutman (1968) pesquisou qual era a melhor posição de linha de plantio do feijão para o cultivo consorciado com a cana. Outros estudos demostraram boas produtividades tanto para os feijoeiros quanto para a cana-de-açúcar (Souza Filho e Andrade, 1985), além de rendimentos elevados para certas cultivares de feijoeiros, mas não para a cana-de-açúcar (Sander et al., 2001). Contudo, são escassos os estudos envolvendo o consórcio entre essas culturas, principalmente com cultivares mais modernas de feijão.

Portanto, torna-se fundamental a realização de mais pesquisas sobre esse tema, visando transferir informações e tecnologias que aumentem a sustentabilidade do setor sucroenergético e a produção de alimentos. Diante disso, as seguintes hipóteses foram formuladas: (i) O consórcio com os feijoeiros e leguminosas adubos verdes proporcionará aumento na produtividade e qualidade de colmos da soqueira de cana; (ii) O consórcio não reduzirá significativamente a produtividade dos feijoeiros, bem como a eficiência de uso do solo; (iii) Há viabilidade de uso de mix de plantas de cobertura em cultivo consorciado com soqueira de cana crua; (iv) O uso de feijoeiros e leguminosas adubos verdes na entrelinha da soqueira de cana proporcionará a redução da população de fitonematoides e o aumento de nematóides de vida livre.

Assim, o objetivo do trabalho foi estudar os efeitos do consórcio sobre as culturas utilizadas, com ênfase em avaliar as características agronômicas e qualitativas das soqueiras de cana-de-açúcar crua e feijoeiros, quantificar o acúmulo nutricional da parte aérea das leguminosas adubos verdes e quantificar a população de fitonematoides e nematoides de vida livre na soqueira de cana crua.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O contexto da cana-de-açúcar no Brasil

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), cultura semi-perene pertencente à família Poaceae, é amplamente cultivada nas regiões tropicais devido ao seu alto potencial para a produção de açúcar, biocombustível e subprodutos. Com a adoção da tecnologia “flex-fuel” (2003), sistema que permite que o motor funcione tanto com etanol quanto com gasolina, a produção de etanol no Brasil passou a ser, novamente, um fator decisivo para a ampliação e estabilização do setor sucroalcooleiro (Andrade, 2009), o qual era anteriormente impulsionado pelo programa Proálcool (desativado desde 1990).

Conforme a Lei Estadual nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, a colheita da cana-de-açúcar, anteriormente realizada de forma manual e precedida pela queima do canavial, passou a ser predominantemente mecanizada e sem o uso de fogo no estado de São Paulo (Ronquim, 2010), responsável por aproximadamente 49% da área cultivada de cana no Brasil (Conab, 2024a). As exceções se aplicam apenas a casos de incêndios acidentais ou criminosos. A colheita mecanizada trouxe diversos benefícios, sendo eles: diminuição da emergência de plantas infestantes (Monquero et al., 2009); redução do uso de herbicidas; redução da emissão de gases do efeito estufa (Figueiredo, 2012); e aumento da ciclagem de nutrientes promovido pela palhada residual.

Apesar desses benefícios, observa-se um declínio da produtividade da cana-de-açúcar em razão de diversos fatores como: aumento da compactação do solo causada pelo tráfego intenso de máquinas pesadas (Esteban et al., 2020; Barbosa et al., 2021); inviabilidade de soqueiras devido ao pisoteio de colhedoras (Junior, 2016);

baixa taxa de reforma dos canaviais (Informativo Produtor, 2016); irregularidades climáticas; e degradação do solo causada por preparos intensivos e monocultivo (Garside et al., 2005).

Diante do declínio da produtividade da cana-de-açúcar, práticas agrícolas sustentáveis vêm sendo incentivadas como forma de mitigar esses problemas, como é o caso da rotação de culturas, definida como um sistema de cultivo alternado de diferentes espécies vegetais em uma mesma área, que obedece a uma sequência temporal e, geralmente, inclui o uso da adubação verde (Mascarenhas e Tanaka, 1993). No entanto, no contexto da renovação dos canaviais do Brasil, a sucessão de culturas é o sistema mais utilizado (Bolonhezi et al., 2014), empregando adubos verdes ou leguminosas comerciais, como a soja ou o amendoim. Devido aos preços favoráveis, o cultivo dessas duas leguminosas comerciais em reforma representam mais de 40% da área total renovada, o que pode impactar na utilização dos adubos verdes (Bolonhezi, 2023).

Dessa forma, outros sistemas de manejo podem ser adotados independentemente da renovação do canavial, como o consórcio de culturas, prática na qual duas ou mais espécies são cultivadas simultaneamente em uma mesma área. Esse sistema pode ser implementado anualmente nas soqueiras de cana-de-açúcar, utilizando tanto adubos verdes quanto espécies comerciais (Ramouthar et al., 2013), contribuindo para a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, além de auxiliar na mitigação dos problemas de compactação nos canaviais.

2.2 Consórcio de culturas

A consorciação entre culturas, também conhecida como cultivo intercalar ou policultivo, consiste no cultivo simultâneo de duas ou mais espécies vegetais na mesma área agrícola. Existe uma grande diversidade de sistemas consorciados, os quais, segundo Vandermeer (1989), são divididos em quatro subcategorias, sendo elas: consórcio misto, onde não há arranjo em linhas; consórcio em fileiras, onde as culturas são cultivadas em fileiras; consórcio em faixas, onde as espécies são cultivadas em faixas que permitem o cultivo independente, mas com interações agronômicas; e consórcio em revezamento, onde as culturas se sobrepõem entre si

em uma determinada parte do tempo. Vandermeer (1989) ainda menciona que, no cultivo intercalar, podem existir diversos arranjos espaciais, que vão desde os mais simples, como uma combinação de fileiras alternadas, até os mais complexos, como arranjos com dúzias de espécies.

O cultivo intercalar é amplamente adotado em diversos países da América Central, América do Sul, Ásia e África, especialmente em regiões de clima tropical. Essa prática é mais comum de ser realizada em pequenas propriedades agrícolas, sendo amplamente utilizada na agricultura familiar e em modelos de produção orgânica (Maitra et al., 2021). De acordo com Vandermeer (1989), os agricultores que adotam o consórcio de culturas têm como foco principal a espécie de maior interesse econômico, utilizando as demais como suporte estratégico. As culturas secundárias contribuem para a mitigação de riscos agrícolas, além de promover a economia de recursos, auxiliar no controle da erosão do solo e intensificar a ciclagem de nutrientes no sistema.

A consorciação, que aumenta a biodiversidade e a biomassa produzida em determinada área, é de fundamental importância para manter a fertilidade do solo (Khatounian, 2001). Benefícios importantes a serem mencionados sobre o cultivo intercalar são: promoção de uma maior otimização de recursos naturais, além de diminuir as taxas de lixiviação de nitratos (Hauggaard-Nielsen et al., 2001); possível aumento na produtividade de determinada área pelo melhor aproveitamento da terra e melhoria nas condições sócio-econômicas (Vandermeer, 1989); aumento na quantidade de microrganismos presentes no solo, além das micorrizas, polinizadores e inimigos naturais (Callaway, 1995); melhor controle de insetos-pragas, doenças e plantas infestantes (Liebman e Dyck, 1993); e o melhor aproveitamento da ciclagem de nutrientes (Borkert et al., 2003).

As culturas consorciadas interagem entre si. De acordo com Vandermeer (1989), as interações são divididas entre facilitativas, onde uma cultura promove benefícios para a outra, e competitivas, onde as culturas competem pelos mesmos recursos. Para Willey (1990), as interações entre as culturas consorciadas podem resultar em uma inibição mútua, quando o rendimento de ambas as espécies for inferior; a cooperação mútua , quando o rendimento de ambas as culturas for superior

e a compensação, quando uma espécie de rendimento superior compensa uma com rendimento inferior.

As vantagens de um consórcio são evidenciadas quando as culturas envolvidas apresentarem diferenças nas exigências de recursos (Vandermeer, 1989). Curtright e Tieman (2021), por meio de uma meta-análise sobre sistemas consorciados, observaram que, em geral, esse tipo de sistema promove um aumento médio de 40% na das produtividade das culturas em comparação ao monocultivo. Esse resultado pode ser atribuído à interação positiva entre as espécies cultivadas, especialmente pela liberação de exsudatos radiculares, que favorecem o desenvolvimento mútuo. Além disso, foi registrado um aumento médio de 13% na atividade de enzimas do solo, indicando melhorias nos processos biológicos e na saúde do solo.

Apesar dos benefícios associados ao consórcio de culturas, podem ocorrer interações negativas entre as espécies envolvidas, resultando em competição por recursos e comprometendo o rendimento da cultura principal. Singh et al. (1999), por exemplo, observaram uma redução de 11,3% na produtividade da cana-de-açúcar quando consorciada com lentilhas. De forma semelhante, Hu et al. (2022), ao avaliarem a produtividade da cana-de-açúcar cv. “Gui Sugar 42” consorciada com *Mucuna pruriens* + fertilizante; soja cv. “Gui Spring 3” + *M. pruriens* + fertilizante; e melancia cv. “Black Beauty” + *M. pruriens* + fertilizante, constataram uma redução de aproximadamente 10 Mg ha^{-1} em comparação ao cultivo exclusivo da cana (monocultivo + fertilizante).

Essas interferências negativas referem-se à competição por recursos naturais, como água, luz e gás carbônico, que acontecem quando uma cultura utiliza mais recursos do que os fornecidos pelo meio, ou por meio dos compostos alelopáticos exsudados pelas plantas, que podem prejudicar ou inibir o desenvolvimento da outra (Vandermeer, 1989). Ndarubu et al. (2000), ao estudarem o controle de plantas infestantes no consórcio de cana-de-açúcar com soja, verificaram uma diminuição de 14% e 32% na produção de colmos. Por conseguinte, é fundamental a escolha criteriosa das culturas que irão compor o consórcio, assim como a época de instalação, para maximizar as vantagens do consórcio e minimizar a competição por recursos (Trenbath, 1976).

2.3 Consórcio entre a cana-de-açúcar e leguminosas adubos verdes

A adubação verde, prática agrícola utilizada na recuperação de solos degradados, é utilizada desde antes à Era Cristã. A partir da Revolução Verde (1960), essa técnica perdeu sua importância devido ao surgimento das máquinas agrícolas, insumos modernos e equipamentos. Entretanto, a partir de 1980, a adubação verde retornou ao patamar da importância, visto que essa prática se tornou fundamental para os sistemas de rotação de culturas e também para o sistema de plantio direto (SPD) (Wildner, 2014), melhorando a qualidade nutricional do solo, além de auxiliar no controle de nematoides fitopatogênicos, como é o caso de certas leguminosas (Dinardo-Miranda e Fracasso, 2009).

Em diversos países produtores de cana-de-açúcar, o consórcio com leguminosas adubos verdes é utilizado para otimizar o uso da terra, aumentar a produtividade da cultura primária e diminuir os custos de produção. Em trabalhos realizados na Índia refentes a esse sistema de cultivo, constatou-se aumento na produtividade de colmos na ordem de 10% com o uso da *Sesbania aculeata*, 16% com o uso da *Crotalaria juncea* (Yadav e Yaduvanshi, 2001; Ramesh et al., 2003; Singh et al., 2005) e 28% como o uso de “pulse crops” em sistemas mecanizados (Khippal et al., 2016).

No Brasil, os estudos envolvendo o cultivo intercalar de leguminosas adubos verdes e cana-de-açúcar focaram nas melhorias do solo, na produtividade da cana-de-açúcar e na ciclagem de nutrientes. Resende (2000) verificou aumentos de 16% na produção de colmos quando a cana-de-açúcar foi consorciada com a *Crotalaria spectabilis*. Em um experimento envolvendo o consórcio entre cana-de-açúcar e quatro espécies de leguminosas adubos verdes (*Canavalia ensiformis*, *C. juncea*, *Mucuna deeringiana* e *C. spectabilis*) em um planossolo arenoso, Resende et al. (2003) observaram resultados favoráveis em termos de produtividade de colmos quando consorciada com *C. spectabilis*.

Bolonhezi et al. (2008), ao estudarem o consórcio entre as leguminosas adubos verdes feijão-de-porco (*C. ensiformis*) e guandu (*Cajanus cajan)* com a segunda, terceira e quarta soqueira de cana queimada, com e sem haste subsoladora, sob diferentes densidades populacionais das leguminosas, verificaram que a associação

entre o cultivo intercalar e a utilização de hastes não auxiliaram na redução da compactação do solo e, somente na terceira soqueira houve redução da produtividade de colmos na ordem de 24 Mg ha^{-1} em comparação com o cultivo solteiro.

Andrioli et al. (2010), ao estudarem o desempenho do consórcio entre leguminosas adubos verdes (*C. juncea*, guandu-anão e feijão-de-porco) e a primeira soqueira de cana sob diferentes doses de N (0, 45, 90 e 135 kg ha^{-1}), verificaram valores baixos na produtividade da cana-de-açúcar quando em consórcio com *C. juncea* e com o feijão-de-porco. Os mesmos não verificaram diferenças estatísticas para as propriedades tecnológicas da cana-de-açúcar, tanto para a testemunha quanto para o cultivo intercalar.

Ambrosano et al. (2013), ao estudarem o desempenho de diferentes adubos verdes consorciados com a primeira soca da cv. de cana-de-açúcar RB72454, constataram uma diminuição na produtividade de colmos na ordem de 30 Mg ha^{-1} em consórcio com a *C. juncea* em comparação com a testemunha (monocultivo). Porém, de acordo com os autores, é recomendando o consórcio de adubos verdes por os mesmos poderem proporcionar benefícios a médio e longo prazo no solo, servindo como fonte de nutrientes para as próximas soqueiras. Durante seus experimentos, na primeira soqueira, verificaram que os tratamentos envolvendo as leguminosas adubos verdes feijão-de-porco, guandu-anão e *C. ochroleuca* se destacaram por apresentarem maiores teores de nutrientes na parte aérea, além da mucuna-anã, que proporcionou maiores teores de micronutrientes também pela parte aérea.

2.4 Consórcio entre a cana-de-açúcar e feijoeiros

Além das leguminosas adubos verdes, as leguminosas comestíveis, como é o caso dos feijoeiros, também podem ser utilizadas no consórcio com a cana-de-açúcar. O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), cultura anual pertencente à família Fabaceae, é considerado um alimento de cesta básica no Brasil devido ao seu alto valor nutritivo. Esse alimento, quando combinado com o arroz em proporções corretas, oferece todos os aminoácidos essenciais ao corpo humano, além de ser uma excelente fonte de proteínas, lipídios, nutrientes e fibras, diminuindo assim o risco de doenças como câncer, diabetes e problemas cardiovasculares (Barroso et al., 2022).

O Brasil, país líder na produção e consumo do feijoeiro-comum (Conab, 2024 b), tem como principais regiões produtoras os estados do Centro Sul. Um dos fatores para uma boa produção desse grão são as safras do feijoeiro, que são divididas em três, sendo elas: safra das “águas”, que ocorre entre agosto e dezembro; safra da “seca”, que ocorre entre janeiro e abril; e a safra “outono-inverno”, que acontece entre maio e julho, utilizando-se irrigação (Silva, 2015). De acordo com a Conab (2024 b), a área total cultivada com feijoeiro-comum no Brasil durante as três safras foi de aproximadamente 0,47, 0,7 e 0,41 milhões de hectares, com produtividades respectivas de 0,76, 1,04 e 0,76 toneladas por hectare, respectivamente, levando-se em consideração o feijão de cor e o preto.

Além do feijoeiro-comum, o feijão-mungo (*Vigna radiata* L. R. Wilczek), cultura anual pertencente à família Fabaceae, é cultivado no Brasil. Muito utilizado nos países asiáticos e Índia em decorrência dos seus altos valores nutricionais, o feijão-mungo é consumido como vagem bruta em saladas, farinha e broto após germinação (“Moyashi”) (Sehrawat et al., 2020). A Índia, maior produtor e consumidor desse grão, produz cerca de 2 milhões de toneladas anuais. Contudo, mesmo com uma alta produção, o país não consegue suprir toda a sua demanda interna, dependendo de importações de outros países, como do Brasil, que produz cerca de 40 mil toneladas anuais desse grão e exporta 95% de sua produção (Epamig, 2020). Embora a produção de feijão-mungo no Brasil ainda seja baixa devido à falta de cultivares para o mercado brasileiro e poucos estudos relacionados à sua produtividade, o feijão-mungo vem, ao longo dos tempos, crescendo no país em decorrência dos seus altos valores nutricionais (Vieira et al., 2001), impulsionando o crescimento do consumo e, consequentemente, sua produção (Nunes, 2013).

De acordo com Portes (1996), o consórcio entre a cana-de-açúcar e os feijoeiros já era praticado por agricultores, porém em uma menor escala. No entanto, com a expansão da produção do etanol, a cana-de-açúcar passou a ocupar grandes áreas onde anteriormente era realizada o cultivo do feijoeiro. Por conta disso, pesquisadores passaram a estudar métodos para consorciar essas duas culturas, com o objetivo de melhorar o rendimento de ambas. No Brasil, as primeiras pesquisas envolvendo o cultivo consorciado de feijoeiros com cana-de-açúcar foram realizadas por Krutman (1968). A autora, ao estudar os rendimentos dos feijoeiros Macássar

quarenta dias (*V. unguiculata* (L.) Walp), Vagem roxa, Sacavém e Costa Rica (*P. vulgaris* L.) sob diferentes posições relativas de plantio com a cana-de-açúcar cv. CB47-15, no estado de Pernambuco, observou que, apesar dos elevados rendimentos de grãos e colmos quando as leguminosas eram cultivadas na linha da cana ou a 20 cm dela, não foi verificada diferença estatística.

Souza Filho e Andrade (1985), a partir do cultivo consorciado das cvs. de feijoeiros Venezuela 350, 60 dias e Moruna com as cvs. de cana-de-açúcar CB45-3 e NA56-79 em diferentes épocas de semeadura e métodos de cultivo no Rio de Janeiro, verificaram que o consórcio entre essas culturas é tecnicamente viável, reduzindo em 35% os custos da implantação do canavial. Já Sander et al. (2001) verificaram que, para o consórcio entre as cultivares de feijoeiro Iraí, Pampa e Macanudo com a cultivar de cana-de-açúcar CB41-76, no Rio Grande do Sul, os feijoeiros não apresentaram redução no rendimento, mas prejudicaram a produtividade da cana-de-açúcar no processo.

Bolonhezi et al. (2010), ao consorciar diferentes leguminosas adubos verdes e o feijoeiro-comum cv. IAC Alvorada na entrelinha da terceira soqueira de cana-de-açúcar cv. RB865536, verificaram um bom rendimento de grãos (37 sc ha^{-1}), mas com uma diminuição de 40% nos perfilhos da cana-de-açúcar. He et al. (2017), ao estudarem o consórcio entre o feijão-mungo e a cana-de-açúcar em diferentes dosagens de fertilizante e resíduos anteriores de feijão-mungo, concluíram que houve um aumento na produtividade de colmos quando a cana-de-açúcar foi consorciada com o feijão-mungo em uma área com resíduos do feijão da safra anterior, somado da aplicação total de fertilizante na dose de 300-225-375 kg ha^{-1} de NPK.

Apesar da escassez de trabalhos envolvendo o consórcio entre os feijoeiros e a cana-de-açúcar, além da disparidade de resultados, é conveniente ressaltar que a maioria desses estudos foram realizados há mais de 20 anos, o que implica em cultivares de feijoeiros mais antigas, com produtividades menores e ciclos mais longos. Em decorrência disso, programas de melhoramento genético de feijoeiros, como do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), visam desenvolver cultivares que promovam uma maior produtividade e a qualidade do grão, além de melhorar a resistência das plantas a doenças.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características das áreas experimentais

Dois experimentos foram conduzidos em talhões de cana-de-açúcar na Fazenda Aliada, localizada no município de Sales de Oliveira, SP. Seguiram-se critérios específicos para a escolha dos talhões, os quais foram: cana-de-açúcar de 3º ou 4º corte, colheita prévia mecanizada sem a incidência de fogo e ausência do uso de herbicidas de amplo espectro residual.

O primeiro experimento, realizado no talhão 1, com a cultivar de cana-de-açúcar IACSP95-5094 de 4º corte (colheita anterior realizada em 17/09/2023), situava-se próximo as coordenadas geográficas 20° 51’ 15” S e 47° 57’ 36” W, a uma altitude média de 590 metros, em um Latossolo Vermelho eutrófico de textura muito argilosa (Figura 1 A). O segundo experimento, realizado no talhão 2, com a cultivar de cana-de-açúcar RB965902 de 3º corte (colheita anterior realizada em 17/10/2023), situava-se próximo as coordenadas geográficas 20° 50’ 16” S e 47° 57’ 21” W, a uma altitude média de 599 metros, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura muito argilosa que, por meio de práticas de manejo adequadas, teve seu V% aumentado (Figura 1 B). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido (Cwa), caracterizado por inverno seco e verão quente (Alvares et al., 2013).

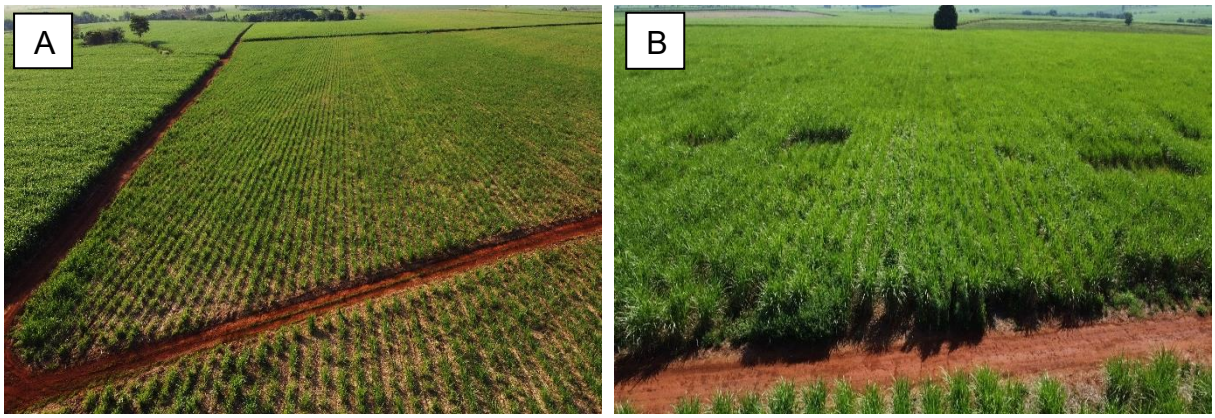

Figura 1. Imagens aéreas do talhão 1 (cv. de cana IACSP95-5094) (A) e do talhão 2 (cv. de cana RB965902) (B) em Sales de Oliveira-SP, 2024.

Antes da instalação dos ensaios e adubação da cana-soca, realizou-se a amostragem de solo para determinação dos atributos químicos (Tabela 1) e físicos

(Tabela 2) nas camadas 0-20 e 20-40 cm, conforme as metodologias de Raij et al. (2021). Coletaram-se também, nas linhas de cana-de-açúcar, amostras de solo e raízes que foram destinadas ao Instituto Biológico para a quantificação de nematoides fitopatogênicos e de vida livre (Tabela 3), de acordo com as metodologias de Jenkis (1964) e Coolen e D'Herde (1972), as quais demonstraram uma baixa população de nematoides fitopatogênicos. Além disso, realizou-se a quantificação da palhada, retirando-se 5 amostras de 0,25 m^2 de cada talhão, e as mesmas foram secadas em estufa (±70 ºC) e pesadas, resultando em valores médios de matéria seca estimados em 16,6 e 11,8 Mg ha^{-1} nos talhões 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Características químicas do solo das áreas experimentais do talhão 1 (cv. IACSP95-5094) e 2 (cv. RB965902) nas camadas 0-20 e 20-40 cm. Sales de Oliveira-SP, 2023.

Talhões	Camada	pH	M.O.	P resina	Ca	Mg	K	H+Al	S-SO^4	SB	CTC	V
	cm	$CaCl^2$	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	----------mmol$_c$ dm^{-3}----------							%
1	0-20	5,7	39	13	54	22	1,6	29	9	77,6	106	70
	20-40	5,1	34	8	29	7	0,6	45	11	36,6	82	45
2	0-20	5,5	33	13	34	13	1,1	28	5,7	47,4	75	62
	20-40	5,4	27	9	20	5	0,3	29	6	25,2	54	47

Tabela 2. Características físicas do solo das áreas experimentais do talhão 1 (cv. IACSP95-5094) e 2 (cv. RB965902) nas camadas 0-20 e 20-40 cm. Sales de Oliveira-SP, 2023.

Talhões	Camada	Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina	Classe Textural
	Cm	----------g kg^{-1}----------					
1	0-20	650	224	126	48	78	Muito Argiloso
	20-40	652	217	131	48	83	Muito Argiloso
2	0-20	607	222	171	50	121	Muito Argiloso
	20-40	618	217	165	56	109	Muito Argiloso

Tabela 3. População de nematoides (nº) das áreas experimentais do talhão 1 (cv. IACSP95-5094) e 2 (cv. RB965902). Total (nº) = Solo (nº) + Raíz (nº). Sales de Oliveira-SP, 2023.

Nematóides	Talhão 1			Talhão 2		
	Solo (nº)	Raíz (nº)	Total (nº)	Solo (nº)	Raíz (nº)	Total (nº)
Pratylenchus brachyurus	60	10	70	0	0	0
Helicotylenchus dihystera	470	10	480	70	20	90
Meloidogyne javanica	0	0	0	30	0	30
Ovos	10	10	20	0	40	40
Vida Livre	640	760	1400	220	670	890

3.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos foi o de blocos casualizados com quatro repetições. O primeiro experimento, realizado no talhão 1 (cv. de cana IACSP95-5094), consistiu em 10 tratamentos, sendo 5 deles no cultivo consorciado com a cana normal, 3 no cultivo consorciado com a cana rebaixada e 2 no cultivo solteiro (somente a cana-de-açúcar), totalizando 40 parcelas experimentais. O segundo experimento, realizado no talhão 2 (cv. de cana RB965902), consistiu em 14 tratamentos, sendo 8 deles no cultivo consorciado com a cana normal, 4 no cultivo consorciado com a cana rebaixada e 2 no cultivo solteiro (somente a cana-de-açúcar), totalizando 56 parcelas experimentais. A descrição detalhada dos tratamentos pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4. Descrição dos tratamentos dos talhões 1 e 2. Sales de Oliveira-SP, 2023.

Tratamentos do talhão 1 e talhão 2	Siglas
Controle (somente cana)	C
Cana + Doses de nitrogênio	CN
Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana	FV
Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana	FP
Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana	FDR
Guandu Forrageiro cv. IAPAR 43 Aratã consorciado com cana	G
AG Mix (contendo *C. ochroleuca* (13%)*, C. spectabilis* (13%)*, C. juncea* (13%), Guandu Forrageiro cv. IAPAR 43-Aratã (7%), Trigo Mourisco cv. IPR 91 Baili (35%), Nabo Forrageiro cv. IPR 116 (5%), Crambe cv. FMS Brilhante (7%) e Girassol cv. NUSOL 4510 CLAO (7%)), consorciado com cana	MIX
Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana rebaixada	FV CR
Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana rebaixada	FP CR
Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana rebaixada	FDR CR
Tratamentos exclusivos para o talhão 2	**Siglas**
Crotalaria spectabilis consorciada com cana	CS
Crotalaria ochroleuca consorciada com cana	CO
Feijão Mungo Verde cv. VR211 consorciado com cana	FM
Feijão Mungo Verde cv. VR211 consorciado com cana rebaixada	FM CR

Densidade de sementes - feijoeiros IAC Veloz, IAC 1849 Polaco e IAC 2156 “Dark Red Kidney”, para modalidades com e sem cana rebaixada: 14 sementes por metro;
Guandu forrageiro, Ag Mix e feijão IAC VR211: 50 kg ha^{-1}; *C. spectabilis* e *C. ochroleuca*: 25 kg ha^{-1};
Doses de N no tratamento CN: 90 kg ha^{-1} no talhão 1 e 45 kg ha^{-1} no talhão 2.

As parcelas experimentais foram compostas por 3 linhas de cana-de-açúcar, com espaçamento entrelinhas de 1,5 metros, e 6 linhas de adubos verdes ou feijoeiros, com espaçamento entrelinhas de 0,5 metro (Figura 2). Cada linha, tanto de cana quanto de leguminosas, possuía 50 metros de comprimento, totalizando 225 m^2 por parcela.

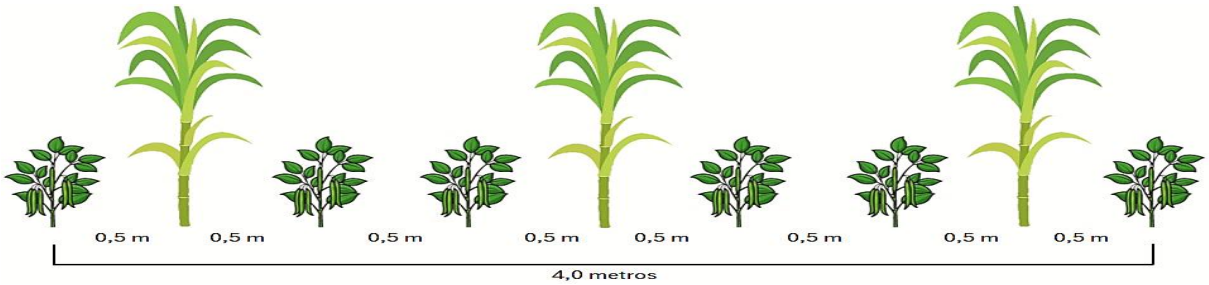

Figura 2. Distribuição das linhas nas parcelas experimentais. Sales de Oliveira-SP, 2024.

A parcela útil para os tratamentos G, MIX, CO e CS foi formada por uma linha de cana e 4 linhas de leguminosas, retirando-se os 10 primeiros e 10 últimos metros, totalizando 75 m^2. Para os tratamentos em monocultivo C e CN, a parcela útil foi composta pela linha central de cana, com remoção dos 10 primeiros e 10 últimos metros, totalizando 45 m^2. Nas três linhas de cana-de-açúcar de todos os tratamentos contendo feijoeiros realizou-se o rebaixamento constante de 15 metros lineares para a análise do Uso Eficiente da Terra (UET) adaptado, que compara a eficiência da consorciação com o monocultivo (nesse caso com a cana rebaixada, simulando um ambiente com a mínima competição por luz), através da fórmula adaptada:

$UET = UET_{CANA} + UET_{FEIJÃO}$, onde

$UET_{CANA} = Y_{CANACONSORCIADA} / Y_{CANAMONOCULTIVO}$ e

$UET_{FEIJÃO} = Y_{FEIJÃOCONSORCIADO} / Y_{FEIJÃOcanarebaixada}$, sendo

UET_{CANA} = rendimento parcial de colmos de cana-de-açúcar;

$Y_{CANACONSORCIADA}$ = rendimento de colmos em consórcio com os feijoeiros;

$Y_{CANAMONOCULTIVO}$ = rendimento de colmos em cultivo solteiro;

$UET_{FEIJÃO}$ = rendimento de grãos;

$Y_{FEIJÃOCONSORCIADO}$ = rendimento de grãos em consórcio com a cana-de-açúcar;

$Y_{FEIJÃOcanarebaixada}$ = rendimento de grãos em cultivo com a cana-de-açúcar rebaixada.

Em razão disso, a área útil dos tratamentos FV CR, FP CR, FDR CR e FM CR foi composta por 4 linhas de leguminosas, com a remoção dos 5 primeiros e 5 últimos metros, totalizando 12,5 m^2. Para os tratamentos FV, FP, FDR e FM, as parcelas úteis foram compostas pela linha central de cana e 4 linhas de leguminosas, retirando-se os 10 primeiros e 10 últimos metros, além dos 15 metros do rebaixamento, totalizando 37,5 m^2. As parcelas úteis de cada tratamento podem ser observadas na Figura 3.

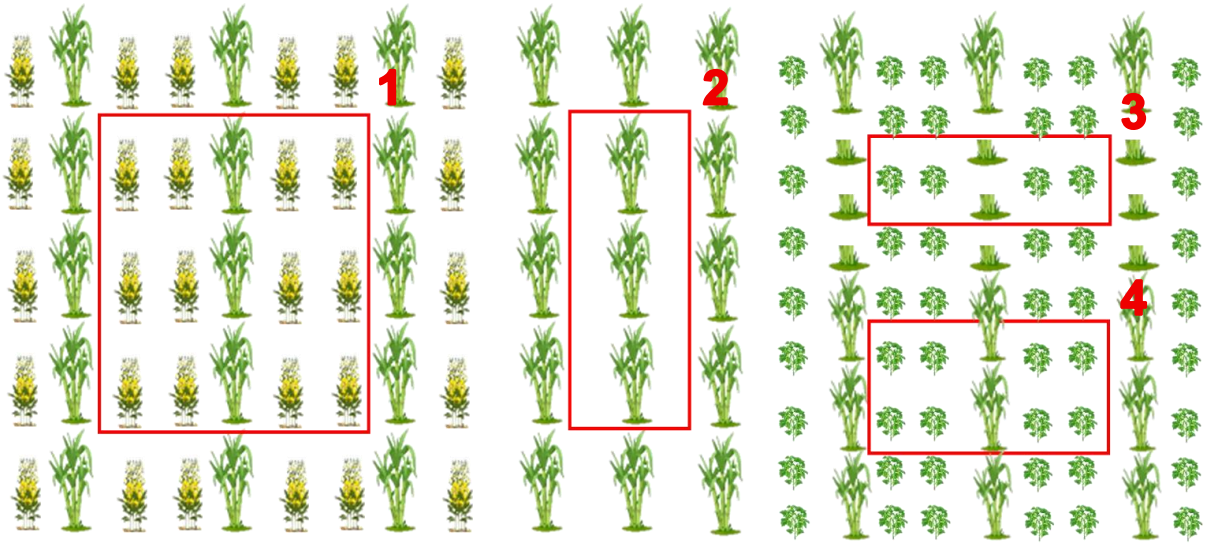

Figura 3. (1) Parcela útil dos tratamentos envolvendo os adubos verdes (G, MIX, CO e CS); (2) parcela útil dos monocultivos (C e CN); (3) parcela útil dos feijoeiros com a cana rebaixada (FV CR, FP CR, FDR CR e FM CR); e (4) parcela útil dos feijoeiros sem rebaixamento (FV, FP, FDR e FM). Sales de Oliveira-SP, 2024.

3.3 Implantação e condução dos experimentos

Efetuou-se, antes da semeadura das leguminosas, a adubação da cana-soca do talhão 1 e 2 que consistiu em 500 kg ha^{-1} da formulação 17-03-22 + 2,3% de S e 500 kg ha^{-1} da formulação 16-08-22, respectivamente. Em 01/11/2023 e 27/11/2023, realizou-se a semeadura mecânica dos adubos verdes e feijoeiros do talhão 1 e 2, respectivamente, utilizando-se a semeadora da marca Tatu Marchesan®, modelo COP CA Plantio Direto®, com nove linhas espaçadas a 0,5 metro, haste escarificadora e adaptada com caixas de distribuição de sementes miúdas (crotalárias) e graúdas (Guandu forrageiro, Ag Mix e feijoeiro VR211) de adubos verdes por fluxo contínuo

(Figura 4). A semeadora também contava com discos limpa trilhos (“row cleaner”), que afastavam parte da palhada acumulada da última colheita de cana-de-açúcar para auxiliar na germinação das sementes. Devido à distância das entrelinhas, três linhas da semeadora foram levantadas para evitar danos às já existentes da cana-de-açúcar.

Figura 4. Semeadura dos feijoeiros e adubos verdes em consórcio com a cana-de-açúcar do talhão 1(cv. de cana IACSP95-5094), em Sales de Oliveira-SP, 2023.

A quantidade de sementes distribuídas foi de 50 kg ha^{-1} para os adubos verdes Guandu forrageiro, Ag Mix e feijão cv. IAC VR 211, e de 25 kg ha^{-1} para a *C. spectabilis* e *C. ochroleuca*. Para os feijoeiros (com exceção da cv. IAC VR211), a distribuição foi de 14 sementes por metro. Somente as sementes dos feijoeiros IAC Veloz, IAC 1849 Polaco e IAC 2156 foram tratadas com carboxina + tiram (ambos 50 g do i.a. por 100 kg de sementes). Para todos os feijoeiros foi realizada a adubação de plantio, em 250 kg ha^{-1} da formulação 06-30-10, e a inoculação das sementes com o produto Biomax Premium® (*Rhizobium tropici* estirpe SEMIA 4077), na dosagem de 300 ml para 50 kg (dobro do recomendando pois os talhões não possuíam histórico de cultivo de feijão). Realizou-se, para os feijoeiros, adubações de cobertura em filete contínuo com uréia (45% N), na dosagem de 45 kg ha^{-1} cada, nos estádios fenológicos V3/V4 (primeira a terceira folha trifoliolada aberta) e R5 (pré-floração), sendo a última aplicação somente para o primeiro experimento em decorrência da falta de chuvas no talhão 2 (Figura 5 A). As parcelas de feijoeiros em consórcio com as linhas de cana rebaixadas, processo executado por meio de podas realizadas a cada 20 dias após a emergência das plântulas, podem ser observadas na Figura 5 B. Não foram realizadas aplicações para o controle de plantas infestantes, insetos-pragas e doenças para as leguminosas.

Figura 5. Adubação de cobertura por filete contínuo nos feijoeiros (A) e rebaixamento da cana-de-açúcar para estimar o UET (B). Sales de Oliveira-SP, 2023.

Os dados climáticos, referentes à pluviosidade e à temperatura, foram obtidos por meio de uma estação meteorológica automática instalada nas proximidades dos experimentos (Figura 6). Durante o período de cultivo dos feijoeiros no talhão 1, a temperatura média e a pluviosidade acumulada foi de 25,2 ºC e 554,5 mm para as cultivares IAC Veloz e IAC 1849 Polaco, e de 25,7 ºC e 665,2 mm para a cultivar IAC 2156, respectivamente. Para o período de cultivo dos feijoeiros no talhão 2, a temperatura média e a pluviosidade acumulada foi de 25,4 ºC e 537,7 mm para as cultivares IAC VR211, IAC Veloz e IAC 1849 Polaco, e de 25,4 ºC e 630,6 mm para a cultivar IAC 2156, respectivamente. A temperatura média e a pluviosidade durante o período da cana-de-açúcar (colheita inicial e final da soqueira) de ambos os experimentos foram de 24,1 ºC e 971,2 mm. Com os dados obtidos foi calculado também o balanço hídrico (Figura 7).

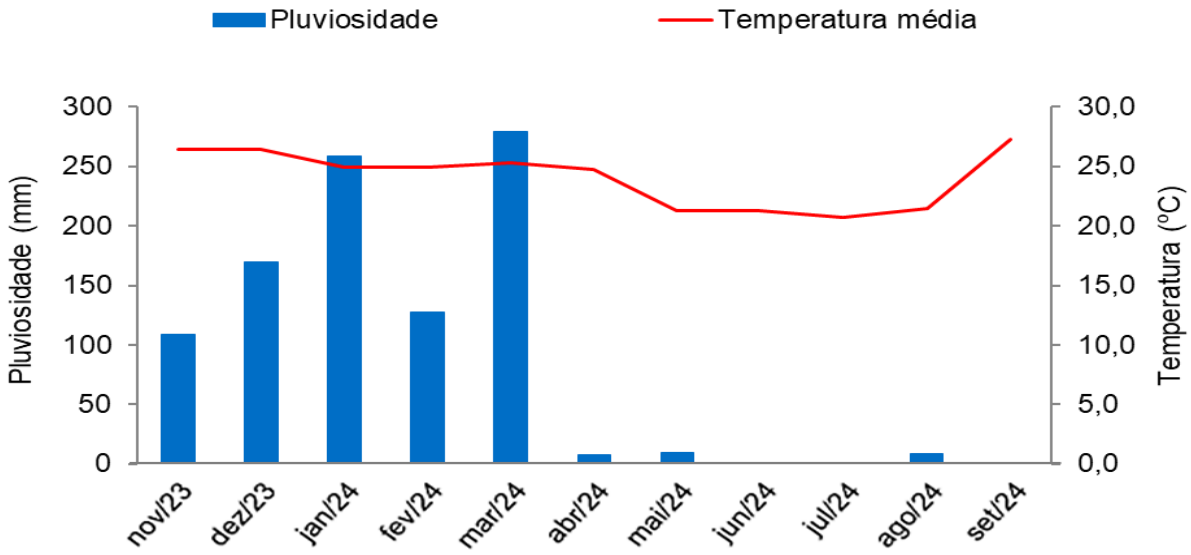

Figura 6. Precipitação pluvial acumulada e temperatura média durante a condução de ambos os experimentos em Sales de Oliveira-SP, 2023 e 2024.

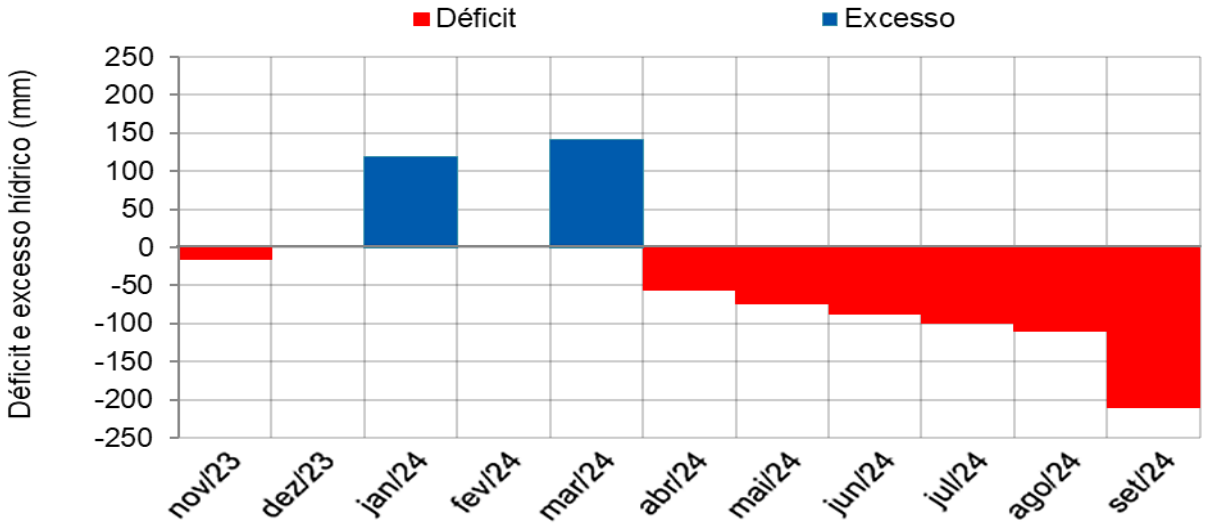

Figura 7. Déficit e excesso hídrico durante a condução de ambos os experimentos em Sales de Oliveira-SP, 2023 e 2024.

Durante o estádio fenológico R9 (maturação), realizou-se o arranquio manual dos feijoeiros em alguns pontos das parcelas úteis, os quais foram expostos ao sol pleno por três dias, seguidos da debulha manual (Figura 8). No talhão 1, colheram-se os feijoeiros IAC Veloz e IAC 1849 Polaco aos 96 dias após a emergência (DAE) e o IAC 2156 aos 117 DAE. Para o talhão 2, arrancou-se o feijoeiro IAC VR 211 aos 82 DAE, os IAC Veloz e IAC 1849 Polaco aos 92 DAE e o IAC 2156 aos 105 DAE. Os adubos verdes foram cortados e deixados nas entrelinhas da cana-de-açúcar em 02/02/2024 para ambos os experimentos.

Figura 8. Estádio fenológico R9 (maturação) dos feijoeiros e feixes expostos ao sol pleno, respectivamente. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Após o arranquio manual dos feijoeiros e manejo dos adubos verdes aplicou-se, na cana-de-açúcar, os produtos flubendiamida (48 g i.a. ha^{-1}) para o controle de insetos-pragas e ácido 2,4-diclorofenoxiacético (967 g i.a ha^{-1}) para o de plantas

infestantes. A colheita dos pontos das parcelas úteis de cana-de-açúcar no talhão 1 e 2 ocorreu, respectivamente, em 23/08/2024 e 11/09/2024.

3.4 Avaliações

Para os tratamentos contendo feijoeiros (FV, FP, FDR, FV CR, FP CR, FDR CR, FM e FM CR) de ambos os experimentos, foram realizadas as seguintes amostragens em cada área útil das parcelas experimentais:

Análise foliar dos trifólios (g kg^{-1}) – durante o estádio fenológico R6 (floração) coletou-se a terceira e a quarta folha trifoliolada com pecíolo de 18 plantas (12 nos feijoeiros consorciados com a cana normal e 6 nos feijoeiros com a cana rebaixada), seguindo Quaggio et al. (2022). As folhas, após a lavagem e secagem a ±70 ºC por 72 horas, foram moídas e enviadas ao Laboratório Solo e Folha da Fundação Coopercitrus Credicitrus, sendo analisadas conforme a metodologia de Malavolta (1997);

Componentes de produtividade – a partir da coleta de 5 plantas de cada feixe retirado das linhas centrais de cada parcela experimental, determinou-se o **número de vagens por planta (nº)**; o **número de grãos por vagem (nº)**; e a **massa de 100 grãos (g)** – corrigida para 13% de umidade;

Produtividade de grãos (kg ha^{-1}) – no estádio fenológico R9 (maturação), realizou-se o arranquio de feixes dos feijoeiros em 4 pontos de 10 metros em cada parcela experimental (2 pontos provenientes da cana-de-açúcar rebaixada e 2 em consórcio normal). Os feixes foram secados a sol pleno e, em seguida, submetidos à debulha manual. Os dados obtidos foram corrigidos para 13% de umidade. Em cada feixe foram contabilizadas a quantidade de plantas que, após conversões, resultou em **nº de mil plantas ha^{-1}**;

As amostras de grãos de cada parcela foram armazenadas em sacos de papel por 60 dias para análise dos atributos qualitativos dos feijoeiros, sendo estes:

Rendimento em peneiras (%) – as amostras de grãos de cada parcela foram peneiradas com o uso de peneiras de crivos oblongos 11/64” x 3/4 (4,37 x 19,05 mm), 12/64” x 3/4 (4,76 x 19,05 mm), 13/64” x 3/4 (5,16 x 19,05 mm), 14/64” x 3/4 (5,56 x

19,05 mm) e 15/64” x 3/4 (5,96 x 19,05 mm), passando por um processo de agitação por 1 minuto. Ao fim de cada agitação, calculou-se o percentual de rendimento por meio da relação entre o peso dos grãos retidos em cada peneira e o peso total da amostra de cada parcela (Figura 9 A e B);

Figura 9. Rendimento de peneira dos grãos do feijoeiro cv. IAC 1849 Polaco, do tratamento com cana normal (A) e com a cana rebaixada (B).

Relação de hidratação – para determiná-la, 50 gramas de grãos de cada parcela, retidos na peneira de crivos oblongos 12/64 x 3/4”(4,76 x 19,05mm), foram acondicionados em copos plásticos. Em cada copo, adicionaram-se 200 ml de água, mantendo-se a temperatura constante de 25 ºC durante todo o período de avaliação, que durou 18 horas. Após esse período, o excesso de água foi drenado e os grãos foram pesados. A relação de hidratação foi calculada pela razão entre a massa final e a massa inicial dos grãos (Figura 10).

Figura 10. Determinação da capacidade de hidratação dos grãos de feijoeiros.

Tempo de cozimento (minutos:segundos) – uma amostra de 50 grãos classificados na peneira de crivos oblongos 12/64 x 3/4”(4,76 x 19,05mm) de cada parcela foram hidratados em água durante um período de 12 horas. Dessa quantidade, 25 grãos foram submetidos ao cozedor de Mattson, que consiste em um instrumento que possuí 25 estiletes verticais, cada um com peso de 90 gramas, terminados em ponta de 1mm de diâmetro, que ficam parte imersos em água a 96ºC. A ponta de cada estilete, que fica apoiada no grão durante o cozimento, penetra-o, e quando o mesmo se encontra cozido, o estilete se desloca para baixo. O tempo final para cozimento da amostra foi obtido quando 13 estiletes (50% + 1) se deslocaram para baixo. Adotou-se, para a verificação do nível de resistência ao cozimento, a escala de Proctor e Watts (1987), que consiste em: muito suscetível (< 16 minutos); susceptibilidade média (16 a 20 minutos); resistência normal (21 a 28 minutos); resistência média (29 a 32 minutos); resistente (33 a 36 minutos) e muito resistente (> 36 minutos) (Figura 11).

Figura 11. Determinação do tempo para cozimento dos grãos dos feijoeiros.

Para os tratamentos com adubos verdes de ambos os talhões (G, MIX, CS e CO) foram realizadas as seguintes amostragens em cada área útil das parcelas experimentais:

Massa fresca e seca final da parte aérea (Mg ha^{-1}) – no período de florescimento, coletaram-se 3 pontos de 1 metro cada dos adubos verdes, os quais foram contabilizados e pesados. Do conjunto dos pontos de cada parcela experimental, retiraram-se alíquotas (folhas + caule + flores), que foram pesadas no campo, lavadas com uma solução de água e detergente (100 ml de água para 1 ml de

detergente), secas em estufa com circulação forçada de ar quente a ±70 ºC por 72 horas e, após, pesadas novamente para a obtenção da massa seca;

Teor de nutrientes (g kg^{-1} e mg kg^{-1}) – as alíquotas (junção de folhas, caule e flores) coletadas para a avaliação da massa seca final da parte aérea, após lavagem e secagem a ±70 ºC por 72 horas, foram trituradas em um picador/triturador forrageiro para torná-las homogêneas e enviadas ao Laboratório Solo e Folha da Fundação Coopercitrus Credicitrus para análise de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), conforme a metodologia de Malavolta (1997);

Acúmulo de nutrientes (kg ha^{-1} e g ha^{-1}) – obtido através do produto da massa seca final da parte vegetativa e o teor de nutrientes.

Para os tratamentos com a cana-de-açúcar sem rebaixamento (C, CN, FV, FP, FDR, G, MIX, CS, CO e FM) de ambos os experimentos foram realizadas as seguintes amostragens em cada área útil das parcelas experimentais:

Toneladas de colmos por hectare (TCH) – dois feixes de 0,5 metro foram colhidos da linha central em cada parcela experimental. Após a retirada das folhas e ponteiro, contabilizou-se os colmos de cada feixe, o peso dos mesmos e a quantidade de colmos de 5 metros da linha central para se estimar a TCH (Figura 12). Os colmos contabilizados foram convertidos para se obter a quantidade de mil colmos ha^{-1}.

Figura 12. Colheita da cana-de-açúcar do talhão 1. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Análise biométrica – a partir da coleta de 5 colmos da linha central de cada parcela experimental, determinou-se o **comprimento (cm)** – medido com o auxílio de

uma trena; o **número de internódios (nº)** – contabilizado os internódios de cada colmo; e o **diâmetro (mm)** – medido no terço médio do colmo com o auxílio de um paquímetro digital;

Nematoides na cana (nº) – coletaram-se, nas linhas úteis da cana-de-açúcar, uma amostra composta de solo e raízes por parcela durante a colheita da cana-de-açúcar. As amostras foram enviadas ao Instituto Biológico e analisadas de acordo com as metodologias de Jenkis (1964) e Coolen e D'Herde (1972)**.** A contagem foi realizada em lâmina de Peters (1ml), igual a um décimo da suspensão. Os valores finais apresentados equivalem a contagem de nematoides multiplicados por dez. Análise de correlação foi realizada entre a quantidade de nematoides e a produtividade da cana para verificar se uma variável influencia na outra.

Análise tecnológica – coletaram-se 8 colmos da linha central de cada parcela experimental, os quais foram enviados ao Laboratório de Tecnologia do Centro de Cana/IAC para moagem e análise (Figura 13), conforme o método Consecana (2006).

Figura 13. Análise dos colmos de cana-de-açúcar de ambas cultivares. Ribeirão Preto-SP, 2024.

Uso Eficiente da Terra (UET) (%) – em decorrência do rendimento de colmos de cana-de-açúcar e dos grãos de feijão, estimou-se a contribuição relativa das culturas (CRC) e o Uso Eficiente da Terra (UET), comparando a eficiência da consorciação com as parcelas com a cana rebaixada através da fórmula adaptada.

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F, e as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para isso, utilizou-se o programa estatístico AgroEstat®.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos agronômicos dos feijoeiros

Com base nos resultados apresentados na Tabela 5, observa-se que, no talhão 1, os maiores números de plantas (mil plantas ha^{-1}) foram constatados nos tratamentos FV CR (153 mil plantas ha^{-1}), FP CR (141 mil plantas ha^{-1}) e FV (136,8 mil plantas ha^{-1}), que diferiram significativamente dos demais tratamentos. Os tratamentos não diferiram para o teor de N foliar, mas todos os valores foram abaixo do nível ideal de nitrogênio para a cultura, que é de 30 g kg^{-1} (Quaggio et al., 2022). Acredita-se que o baixo teor de N nas folhas seja consequência da volatilização de parte da ureia aplicada em cobertura, ou ainda da sua imobilização na palhada da cana-de-açúcar. Para a quantidade de vagens por planta, o tratamento FV CR foi superior aos demais, apresentando 23,8 vagens por planta. A maior quantidade de grãos por vagem foi constatada no tratamento FDR, que apresentou 3,2 grãos por vagem, não diferindo dos tratamentos FDR e FV CR, ambos com 3,0 grãos por vagem. Para a massa de 100 grãos (g), o tratamento FDR CR foi significativamente maior, apresentando valor de 36,1 g. Embora com valor inferior ao tratamento FDR CR, o tratamento FDR alcançou 32,0 g, diferindo estatisticamente do restante dos tratamentos. Ambos os tratamentos se referem à cultivar do tipo comercial “Dark Red Kidney”, caracterizada por grãos graúdos e tubulares, o que justifica a maior massa de grãos observada (IAC, 2024).

Para a produtividade de grãos, o tratamento FV CR foi superior, com rendimento de 1.324 kg ha^{-1}, não diferindo estatisticamente FP CR, com 1.186 kg ha^{-1}. Os tratamentos em que a cana não foi rebaixada (FV, FP e FDR) obteram resultados significativamente inferiores em comparação com os tratamentos com a cana rebaixada (FV CR, FP CR e FDR CR), sendo essas diferenças de 786 kg ha^{-1} (59,4% menor) do tratamento FV para o FV CR; 696 kg ha^{-1} (58,7% menor) do tratamento FP para o FP CR; e 853 kg ha^{-1} (86,1% menor) do tratamento FDR para o FDR CR. Essas perdas se assemelham aos resultados obtidos por Souza Filho e Andrade (1985), que constataram uma redução de 63,1% na produtividade de grãos do feijoeiro cv “60 Dias” em comparação ao monocultivo, e destoam de Sander et al. (2001), que

verificaram ganhos de até 14,3% na produtividade de grãos quando o feijoeiro foi consorciado com cana, demonstrando que as produtividade podem variar conforme a cultivar, época de plantio e manejos utilizados.

No Talhão 2, os maiores números de plantas foram observados nos tratamentos FM e FM CR, com 360 e 344 mil plantas ha^{-1}, diferindo significativamente dos demais, fato esse ocasionado pela população recomendada da cultivar, de 400 a 500 mil plantas ha^{-1}, destoando das outras cultivares, de 200 a 220 mil plantas ha^{-1} (IAC, 2024). Os tratamentos FP CR, FV e FP foram significativamente maiores para o teor de N foliar, apresentando 29,9, 29,8 e 29,4 g kg^{-1}(abaixo do nível ideal), porém diferindo apenas do tratamento FM, com 22,3 g kg^{-1}. Com relação a quantidade de vagens por planta, o tratamento FV CR obteve maior valor, com 22,9 vagens por planta, não diferindo dos tratamentos FP CR e FDR CR, com 17,2 e 16,0, respectivamente, mas diferindo do tratamento FM, com 6,5 vagens por planta. Os tratamentos FM e FM CR obtiveram as maiores quantidades de grãos por vagem, com 6,9 e 5,9 grãos por vagem, diferindo estatisticamente dos demais, fato esse decorrente das características da cultivar, que produz vagens longas e grãos miúdos (IAC, 2024). O tratamento FDR obteve a maior massa de 100 grãos (g), com 25,9 g, não diferindo dos tratamentos FDR CR e do FP, com 24,4 e 24,1 g, respectivamente, mas sim para os tratamentos FM e FM CR, ambos com 8,1 g.

Para a produtividade de grãos, os tratamentos; FM CR (1.291 kg ha^{-1}), seguido de FV CR (1.248 kg ha^{-1}), apesar de não diferirem significativamente de FP CR (1.068 kg ha^{-1}) e FV (896 kg ha^{-1}) e só diferindo do FDR (246 kg ha^{-1}); foram os que obtiveram as maiores produtividades. Comparando as mesmas cultivares dos tratamentos, tanto com e sem cana rebaixada, somente o FM e FM CR diferiram entre si, diferença essa de 702 kg ha^{-1} (54,4% menor) do FM para o FM CR. De maneira geral, as produtividades de grãos dos feijoeiros foram melhores para os tratamentos com a cana rebaixada.

Tabela 5. Atributos agronômicos das cultivares de feijoeiros em consórcio com cana-de-açúcar, com ou sem rebaixamento. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Tratamentos	Número de plantas mil plantas ha^{-1}	Teor de N foliar g kg^{-1}	Vagens por planta nº	Grãos por vagem nº	Massa de 100 grãos g	Produtividade de grãos kg ha^{-1}
Talhão 1 – cv. IACSP95-5094						
FV	136,8 a	25,6 a	13,3 b	2,9 b	18,3 c	538 c
FP	103,3 b	24,5 a	12,9 b	2,6 bc	19,5 c	490 c
FDR	78,8 c	24,9 a	3,9 c	3,0 ab	32,0 b	138 d
FV CR	153,0 a	25,3 a	23,8 a	3,0 ab	20,2 c	1.324 a
FP CR	141,0 a	23,6 a	22,9 b	2,5 c	20,9 c	1.186 ab
FDR CR	93,3 bc	24,6 a	13,9 b	3,2 a	36,1 a	991 b
F trat.	31,44**	0,55^{NS}	37,39**	7,55**	73,01**	45,88**
F blocos	4,59*	10,55**	5,94**	5,51**	0,85^{NS}	11,10**
C.V. (%)	9,05	7,34	15,94	6,30	7,25	24,71
Talhão 2 – cv. RB965902						
FV	120,1 b	29,8 a	12,2 bcd	3,1 b	22,6 bc	896 ab
FP	87,3 b	29,4 a	12,5 bcd	3,0 b	24,1 ab	596 bc
FDR	71,0 b	26,6 ab	8,6 cd	3,1 b	25,9 a	246 c
FM	360,0 a	22,3 b	6,5 d	6,9 a	8,1 d	589 bc
FV CR	131,5 b	26,8 ab	22,9 a	3,0 b	21,3 c	1.248 a
FP CR	106,5 b	29,9 a	17,2 ab	3,1 b	22,7 bc	1.068 ab
FDR CR	76,6 b	28,3 ab	16,0 abc	3,4 b	24,4 ab	532 bc
FM CR	344,0 a	24,1 ab	9,4 cd	5,9 a	8,1 d	1.291 a
F trat.	86,92**	3,63*	10,67**	26,31**	293,00**	9,22**
F blocos	1,98^{NS}	0,27^{NS}	2,64^{NS}	0,55^{NS}	6,44**	1,02^{NS}
C.V. (%)	15,75	10,74	24,83	15,45	4,33	30,58

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5; ** = significativo a 1%; NS = não significativo pelo teste F;

FV = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana; FP = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana; FDR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana; FV CR = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana rebaixada; FP CR = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana rebaixada; FDR CR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana rebaixada; FM = Feijão cv. VR211 consorciado com cana; FM CR= Feijão cv. VR211 consorciado com cana rebaixada.

4.2 Atributos qualitativos dos feijoeiros

Para o rendimento de peneiras (Tabela 6), no talhão 1, o tratamento FDR CR diferiu estatisticamente dos demais, apresentando porcentagens de retenção maiores nas peneiras 15 (RP15), com 5,30%; 14 (RP14), com 15,33%; e 13 (RP13), com 29,22%. Para a peneira 12 (RP12), o tratamento FP CR diferiu significativamente dos demais, apresentando 38,89%. Para a peneira igual ou maior que 11 (RP≥11), onde foram somadas as porcentagens de grãos retidos nas peneira 15, 14, 13, 12 e 11, os tratamentos FP CR e FDR CR obtiveram os maiores valores, de 87,59% e 86,93%, respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais.

No talhão 2, o tratamento FP CR obteve a maior porcentagem de grãos retidos na peneira 15 (RP15), de 0,53%, mas não diferindo dos tratamentos FP, FV e FDR, com 0,28%, 0,21% e 0,20%. Para as peneiras 14 (RP14) e 13 (RP13), o tratamento FP apresentou as maiores porcentagens, de 5,80% e 35,94%, respectivamente, porém não diferindo do tratamento FP CR, com 4,75% e 23,92%, respectivamente. Na peneira 12 (RP12), os tratamentos FP CR, FP e FV obtiveram os maiores resultados, de 43,62%, 42,44% e 42,10%, respectivamente, mas não diferindo de FV CR, com 37,73%. Para o rendimento de peneira igual ou maior que 11 (RP≥11), não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos. Os tratamentos FM e FM CR, ambos possuindo a cv. de feijão IAC VR211 “Mungo Verde” (*Vigna radiata* L. R. Wilczek), que apresenta grãos em formato diferente do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris*), não foram avaliados em decorrência da falta de peneiras específicas para essa cultivar.

Todos os tratamentos obtiveram rendimentos inferiores a 90% na peneira igual ou maior que 11 (RP≥11), implicando em uma menor lucratividade. Isso se deve ao fato de que as empacotadoras pagam mais por lotes de grãos com valores de rendimento acima de 90% em peneira maior ou igual 12 (RP≥12).

Tabela 6. Porcentual de grãos retidos nas peneiras de crivos oblongos ≥11 (RP≥P11), 12 (RP12), 13 (RP13), 14 (RP14) e 15 (RP15) das cultivares de feijoeiros em consórcio com cana-de-açúcar, com ou sem rebaixamento. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Tratamentos	RP15	RP14	RP13	RP12	RP≥11
	----------%----------				
Talhão 1 – cv. IACSP95-5094					
FV	0,01 c	0,46 c	4,01 c	14,94 c	44,86 c
FP	0,30 c	1,63 c	10,10 c	21,15 bc	71,28 b
FDR	2,69 b	8,19 b	19,84 b	23,09 bc	68,76 b
FV CR	0,07 c	1,12 c	6,36 c	28,42 b	65,39 b
FP CR	0,47 c	3,57 c	20,69 b	38,89 a	87,59 a
FDR CR	5,30 a	15,33 a	29,22 a	25,62 b	86,93 a
F tratamentos	29,77**	42,10**	44,68**	17,29**	31,24**
F blocos	$1,12^{NS}$	$0,32^{NS}$	$0,69^{NS}$	8,05**	3,58*
C.V. (%)	52,92	35,16	19,45	15,27	7,99
Talhão 2 – cv. RB965902					
FV	0,21 ab	2,30 bc	16,82 bc	42,10 a	69,00 a
FP	0,28 ab	5,80 a	35,94 a	42,44 a	75,47 a
FDR	0,03 b	0,88 c	8,80 c	29,26 b	71,74 a
FV CR	0,20 ab	1,68 c	13,29 bc	37,73 ab	76,63 a
FP CR	0,53 a	4,75 ab	23,92 ab	43,62 a	82,33 a
FDR CR	0,09 b	0,77 c	7,52 c	29,61 b	79,12 a
F tratamentos	5,43**	10,77**	16,21**	7,07**	$0,41^{NS}$
F blocos	4,14*	4,13*	5,78**	$0,79^{NS}$	$1,57^{NS}$
C.V. (%)	67,76	47,54	30,05	13,11	19,91

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5; ** = significativo a 1%; NS = não significativo pelo teste F;
FV = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana; FP = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana; FDR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana; FV CR = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana rebaixada; FP CR = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana rebaixada; FDR CR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana rebaixada; FM = Feijão cv. VR211 consorciado com cana; FM CR= Feijão cv. VR211 consorciado com cana rebaixada.

Sobre o tempo de cozimento (minutos:segundos) e relação de hidratação (Tabela 7), no talhão 1, o tratamento FV CR apresentou o maior tempo de cozimento (32:34), diferindo apenas do tratamento FDR (24:40), com menor tempo de cocção. Os tratamentos FV, FP, FDR e FDR CR apresentaram tempo de cozimento entre 21 e 28 minutos (resistência normal a cocção), e os tratamentos FV CR e FP CR apresentaram tempo de cozimento entre 29 a 32 minutos (resistência média a cocção) (Proctor e Watts, 1987). Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos quanto à relação de hidratação. No entanto, todos os valores foram próximos de 2,0, indicando boa capacidade dos grãos em reter água, concordando com Oliveira (2021), que observou a capacidade dos grãos de feijão de absorver uma quantidade de água aproximadamente equivalente à sua massa inicial.

No talhão 2, os tratamentos FV CR e FV apresentaram os maiores tempos de cozimento, de 32:02 e 30:13, diferindo dos demais tratamentos. Os tratamentos FDR, FP, FDR CR e FP CR apresentaram tempo de cozimento entre 21 e 28 minutos (resistência normal a cocção), e os tratamentos FV CR e FV apresentaram tempo de cozimento entre 29 a 32 minutos (resistência média a cocção) (Proctor e Watts, 1987). Para a relação de hidratação, o tratamento FDR CR apresentou o maior índice, de 2,01, não diferindo do FDR, com 2,08, mas sim diferindo do FP, FP CR e FV, que apresentaram os menores valores. Mesmo assim, todos os tratamentos foram obtidos índices próximos de 2,0.

Tabela 7. Tempo de cozimento e relação de hidratação para os feijoeiros com e sem a cana rebaixada. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Talhão 1 – cv. IACSP95-5094		
Tratamentos	Tempo de cozimento (min:s)	Relação de hidratação
FV	27:12 ab	2,06 a
FP	26:44 ab	2,03 a
FDR	24:40 b	2,07 a
FV CR	32:34 a	2,06 a
FP CR	30:23 ab	2,06 a
FDR CR	26:20 ab	2,05 a
F tratamentos	3,98*	$1,38^{NS}$
F blocos	$1,00^{NS}$	3,70*
C.V. (%)	10,46	1,14
Talhão 2 – cv. RB965902		
FV	30:13 a	2,01 c
FP	23:26 bc	1,98 c
FDR	21:24 c	2,08 ab
FV CR	32:02 a	2,02 bc
FP CR	25:47 b	1,98 c
FDR CR	23:59 bc	2,10 a
F tratamentos	28,23**	13,62**
F blocos	3,50*	$0,97^{NS}$
C.V. (%)	5,97	1,34

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5; ** = significativo a 1%; NS = não significativo pelo teste F;
FV = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana; FP = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana; FDR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana; FV CR = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana rebaixada; FP CR = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana rebaixada; FDR CR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana rebaixada; FM = Feijão cv. VR211 consorciado com cana; FM CR= Feijão cv. VR211 consorciado com cana rebaixada.

4.3 Teor e acúmulo de nutrientes das leguminosas adubos verdes

Os resultados referentes aos teores de nutrientes da parte aérea das leguminosas adubos verdes consorciadas com as cultivares de cana-de-açúcar podem ser observados na Tabela 8. No talhão 1, apenas os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, a 5% e a 1% de probabilidade, respectivamente. O Ag Mix (MIX) apresentou os maiores teores de cálcio, com 10,3 g kg^{-1}, e magnésio, com 2,2 g kg^{-1}, em comparação ao guandu forrageiro (G) com 7,8 e 1,5 g kg^{-1}, respectivamente. Esses resultados podem sugerir uma maior capacidade de acúmulo de Ca e Mg pela mistura de espécies, possivelmente refletindo em uma maior diversidade na absorção e ciclagem de nutrientes.

No talhão 2, diferenças significativas entre os tratamentos foram observadas nos teores de potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), Boro (B), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). Com relação aos macronutrientes, o tratamento com *C. ochroleuca* (CO), seguido pelo tratamento com *C. spectabilis* (CS), apresentaram os maiores teores de potássio, com 15,7 g kg^{-1} e 14,6 g kg^{-1}, respectivamente, enquanto o guandu forrageiro (G) apresentou o menor valor extraído, com 10,7 g kg^{-1}. Para o cálcio, os maiores teores foram encontrados no guandu forrageiro e *C. spectabilis*, ambos com 17,3 g kg^{-1}, enquanto a *C. ochroleuca* apresentou o menor teor, com 7,2 g kg^{-1}. Para o magnésio, os maiores teores foram encontrados na *C. ochroleuca*, Ag Mix e C. *spectabilis*, com 3,0, 2,9 e 2,5 g kg^{-1}, respectivamente, enquanto o guandu forrageiro apresentou o menor teor, com 1,3 g kg^{-1}. Assim como na explicação do talhão 1, esses dados indicam diferenças na capacidade de absorção e acúmulo de nutrientes entre as espécies, o que pode influenciar diretamente no seu potencial como adubo verde para melhorar a fertilidade e a ciclagem do solo. O F para tratamentos do enxofre (S) acusou diferença à 5% de probabilidade. Mesmo assim, o agrupamento de médias por letras não evidenciou diferenças significativas contrastantes entre os tratamentos. Esse resultado indica que, embora tenha havido diferença estatística entre os tratamentos, as comparações entre os pares de médias não foram suficientes para separá-los em grupos distintos.

Em relação aos micronutrientes, a *C. spectabilis* (CS) apresentou o maior teor de Boro, 29,8 mg kg^{-1}, porém diferindo apenas do guandu forrageiro (G) que apresentou o menor teor, 18,0 mg kg^{-1}. O maior teor de manganês (Mn) foi observado no Ag Mix, com 48,5 mg kg^{-1}, diferindo estatisticamente da *C. spectabilis* (CS) e guandu forrageiro (G), que apresentaram os menores teores com 26,0 e 27,0 mg kg^{-1}, respectivamente. Para o zinco (Zn), o maior teor foi observado na *C. spectabilis* (CS), com 35,8 mg kg^{-1}, seguido do Mix com 33,5 mg kg^{-1}, diferindo da *C. ochroleuca* (CO), que apresentou o menor teor, com 22,0 mg kg^{-1}.

De maneira geral, os resultados evidenciam que as diferentes leguminosas apresentam distintas capacidades de acúmulo de nutrientes, que variam de acordo com o genótipo da cultura, práticas de manejo, épocas de semeadura, cultivo, condições edafoclimáticas e população de plantas (Ambrosano et al., 2013). Nas condições destes experimentos, em geral, para o talhão 1, o MIX foi o que mais se destacou e, para o talhão 2, considerando os macronutrientes, as crotalárias se destacaram e, para os micronutrientes, mais uma vez o MIX se destacou.

Tabela 8. Teores de nutrientes da parte aérea das leguminosas adubos verdes cultivadas em consórcio com a cana-de-açúcar. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	---------- g kg^{-1}----------					---------- mg kg^{-1}----------					
Talhão 1 – cv. IACSP95-5094											
G	18,0 a	1,4 a	10,6 a	7,8 b	1,5 b	0,3 a	18,5 a	6,8 a	267,8 a	28,5 a	19,0 a
MIX	17,6 a	1,2 a	9,4 a	10,3 a	2,2 a	0,4 a	18,5 a	6,8 a	404,0 a	41,0 a	20,8 a
F tratamentos	0,05^{NS}	4,20^{NS}	0,18^{NS}	10,94*	42,0**	2,59^{NS}	-	-	1,84^{NS}	4,97^{NS}	0,59^{NS}
F blocos	0,27^{NS}	1,00^{NS}	0,04^{NS}	0,31^{NS}	3,29^{NS}	1,69^{NS}	2,20^{NS}	0,15^{NS}	1,61^{NS}	1,67^{NS}	0,17^{NS}
C.V. (%)	16,11	10,85	40,10	12,08	8,48	19,54	12,08	27,04	42,34	22,81	16,27
Talhão 2 – cv. RB965902											
G	17,3 a	1,7 a	10,7 c	17,3 a	1,3 b	0,3 a	18,0 b	7,5 a	221,5 a	26,0 b	24,5 bc
MIX	23,3 a	1,6 a	11,9 bc	11,9 b	2,9 a	0,4 a	23,8 ab	8,8 a	243,5 a	48,5 a	33,5 ab
CS	19,1 a	1,8 a	14,6 ab	17,3 a	2,5 a	0,6 a	29,8 a	9,8 a	225,8 a	27,0 b	35,8 a
CO	21,2 a	1,4 a	15,7 a	7,2 c	3,0 a	0,5 a	21,5 ab	6,8 a	262,8 a	37,8 ab	22,0 c
F tratamentos	1,90^{NS}	1,94^{NS}	9,94**	387,86**	25,01**	4,38*	5,25*	2,27^{NS}	0,27^{NS}	6,06**	9,26**
F blocos	0,23^{NS}	1,58^{NS}	1,56^{NS}	4,24*	0,95^{NS}	2,28^{NS}	1,28^{NS}	0,34^{NS}	0,26^{NS}	0,47^{NS}	0,58^{NS}
C.V. (%)	18,69	14,28	11,17	4,53	12,65	26,01	18,52	21,57	30,83	24,66	15,24

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5; ** = significativo a 1%; NS = não significativo pelo teste F;

G = guandu forrageiro cv. IAPAR 43 Aratã consorciado com cana; MIX = Ag Mix consorciado com cana; CS = *C. spectabilis* consorciada com cana; CO = *C. ochroleuca* consorciada com cana.

Os resultados referentes a matéria fresca (M.F) e seca (M.S), além do acúmulo de nutrientes da parte aérea das leguminosas adubos verdes consorciadas com as cultivares de cana-de-açúcar podem ser observados na Tabela 9. No talhão 1, o MIX destacou-se significativamente na produção de biomassa, com 33,3 Mg ha^{-1} de M.F e 12,3 Mg ha^{-1} de M.S, valores superiores aos observados no G, que apresentou 19,8 Mg ha^{-1} e 7,7 Mg ha^{-1}, respectivamente. Consequentemente, MIX também apresentou os maiores acúmulos de nutrientes, destacando-se e sendo diferente estatisticamente nos teores de nitrogênio, cálcio e magnésio, na ordem de 217, 125 e 26 kg ha^{-1}, respectivamente, além do boro, ferro, manganês e zinco, na ordem de 229, 5.459, 495 e 254 g ha^{-1}. Esses resultados refletem o maior potencial do MIX para a formação de biomassa fresca e seca, possivelmente devido à maior diversidade de espécies. O guandu forrageiro, por sua vez, apresentou valores menores para todos desses nutrientes em decorrência da sua menor produção de biomassa fresca e seca.

No Talhão 2, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a produção de matéria fresca e seca, indicando comportamento semelhantes entre as leguminosas adubos verdes sob essas condições de cultivo. No entanto, diferenças estatísticas foram verificadas para os tratamentos em relação ao acúmulo de cálcio (Ca) e manganês (Mn). O tratamento CS acumulou a maior quantidade de cálcio, de 120 kg ha^{-1}, não diferindo do MIX, de 70 kg ha^{-1}, e do G, de 54 kg ha^{-1}, mas diferindo da CO, que demonstrou a menor quantidade, de 47 kg ha^{-1}. Os resultados se invertem para o acúmulo manganês, onde o MIX acumulou a maior quantidade, de 283 kg ha^{-1}, não diferindo da CO e do G, de 245 e 200 kg ha^{-1}, respectivamente, mas diferindo da CS, que acumulou o menor valor, 172 kg ha^{-1}.

Tabela 9. Matéria Fresca (M.F), matéria seca (M.S) e acúmulo de nutrientes da parte aérea das leguminosas adubos verdes cultivadas em consórcio com a cana-de-açúcar. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Trat.	M.F	M.S	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	------Mg ha^{-1}-----		----------kg ha^{-1}----------						----------g ha^{-1}----------				
Talhão 1 – cv. IACSP95-5094													
G	19,8 b	7,7 b	143 b	11,03 a	67 a	60 b	11 b	2 a	142 b	51 a	1.959 a	237 b	146 b
MIX	33,3 a	12,3 a	217 a	14,87 a	134 a	125 a	26 a	5 a	229 a	86 a	5.459 a	495 a	254 a
F trat.	10,80*	56,39**	10,87*	5,15^{NS}	3,64^{NS}	390,75**	226,67**	6,82^{NS}	58,01**	7,30^{NS}	4,98^{NS}	31,17*	14,09*
F blocos	6,67^{NS}	46,24**	10,65*	8,69^{NS}	1,54^{NS}	129,17**	72,81**	1,45^{NS}	60,37**	7,04^{NS}	3,30^{NS}	16,12**	8,00^{NS}
C.V. (%)	22,01	8,55	17,49	18,14	49,05	5,02	7,09	38,69	8,72	26,12	59,79	17,86	20,31
Talhão 2 – cv. RB965902													
G	17,6 a	7,7 a	133 a	13 a	82 a	54 ab	10 a	2 a	138 a	58 a	1.701 a	200 ab	188 a
MIX	18,5 a	5,8 a	135 a	9 a	69 a	70 ab	17 a	2 a	137 a	50 a	1.405 a	283 a	193 a
CS	28,3 a	6,9 a	131 a	12 a	100 a	120 a	17 a	4 a	216 a	65 a	1.546 a	172 b	231 a
CO	22,4 a	6,5 a	137 a	9 a	103 a	47 b	19 a	4 a	139 a	44 a	1.712 a	245 ab	144 a
F trat.	1,77^{NS}	0,74^{NS}	0,02^{NS}	2,17^{NS}	1,39^{NS}	4,73*	3,41^{NS}	2,07^{NS}	1,29^{NS}	1,35^{NS}	0,22^{NS}	4,13*	2,01^{NS}
F blocos	1,27^{NS}	1,29^{NS}	2,09^{NS}	4,18*	1,36^{NS}	1,71^{NS}	2,73^{NS}	3,03^{NS}	1,39^{NS}	2,10^{NS}	0,63^{NS}	4,26*	1,05^{NS}
C.V. (%)	33,79	26,89	26,73	24,58	30,49	41,94	27,48	34,11	43,51	28,19	39,06	21,35	11,89

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5; ** = significativo a 1%; NS = não significativo pelo teste F;

G = guandu forrageiro cv. IAPAR 43 Aratã consorciado com cana; MIX = Ag Mix consorciado com cana; CS = *C. spectabilis* consorciada com cana; CO = *C. ochroleuca* consorciada com cana.

Apesar de algumas variáveis apresentarem diferenças significativas e outras não, uma conversão importante a ser feita e discutida, em função dos resultados de N, P e K absorvidos pelos adubos verdes, é sob o quanto de nitrogênio (N); fósforo, na forma de pentóxido de fósforo (P_2O_5) e potássio, como óxido de potássio (K_2O) são disponibilizados para a cana-de-açúcar (Tabela 10). No talhão 1, o consórcio com o MIX apresentou o maior acúmulo de nutrientes fornecidos para o solo , na ordem de 217, 34,1 e 160,8 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente, enquanto o consórcio com guandu forrageiro (G) apresentou os menores acúmulos de nutrientes fornecidos para o solo, na ordem de 143, 25,3 e 80,4 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente. Com isso pode-se concluir que, para o talhão 1, o consórcio com o MIX trará mais benefícios em quantidades de nutrientes disponíveis para a próxima soqueira, representando 52% a mais em N, 35% a mais em P_2O_5 e 100% a mais em K_2O.

No Talhão 2, o guandu forrageiro (G) acumulou 133, 29,8 e 98,4 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, enquanto a *C. spectabilis* (CS) e a *C. ochroleuca* (CO) também apresentaram contribuições expressivas, acumulando até 131, 27,5 e 120 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O e 137, 20,6 e 123,6 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente. Mesmo o MIX, que teve valores relativamente menores para fósforo e potássio neste talhão, acumulou 135, 20,6 e 82,8 kg ha^{-1} de N, P_2O_5 e K_2O, respectivamente. De modo geral, pode-se informar que o consórcio com a *C. ochroleuca* (CO) tende a ser mais vantajoso, acumulando mais nutrientes para a próxima soqueira.

Esses resultados reforçam que, independentemente das variações estatísticas, todas as leguminosas avaliadas atuam como importantes fontes de nutrientes para o solo. Embora parte desses nutrientes possam ser retidos em formas não disponíveis para a cana-de-açúcar, e considerando o processo lento de ciclagem promovido por resíduos vegetais não incorporados ao solo, os elevados acúmulos observados indicam que os tratamentos utilizados conferem um potencial para a redução do uso de fertilizantes minerais, promovendo a sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar.

Tabela 10. Acúmulo de nitrogênio (N), pentóxido de fósforo convertido (P_2O_5) e óxido de potássio convertido (K_2O) fornecidos pela parte aérea das leguminosas adubos verdes cultivadas em consórcio com cana. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Trat.	N	P_2O_5	K_2O
	----------kg ha^{-1}----------		
Talhão 1 – cv. IACSP95-5094			
G	143,0	25,3	80,4
MIX	217,0	34,1	160,8
Talhão 2 – cv. RB965902			
G	133,0	29,8	98,4
MIX	135,0	20,6	82,8
CS	131,0	27,5	120,0
CO	137,0	20,6	123,6

G = guandu forrageiro cv. IAPAR 43 Aratã consorciado com cana; MIX = Ag Mix consorciado com cana; CS = *C. spectabilis* consorciada com cana; CO = *C. ochroleuca* consorciada com cana.

4.4 Atributos agronômicos da cana-de-açúcar

Observa-se que, no talhão 1 (Tabela 11), os tratamentos não diferiram entre si para o número de colmos por hectare, o número de internódios e o diâmetro de colmos, com exceção dos tratamentos para o comprimento dos colmos e da TCH. O maior comprimento médio foi constatado no tratamento FV, com 215,1 cm, porém diferindo somente do tratamento MIX com o menor comprimento, 187,4 cm. Para a TCH, os tratamentos FDR (153 Mg ha^{-1}), seguido de FV (148 Mg ha^{-1}), G (144 Mg ha^{-1}) e FP (139 Mg ha^{-1}) diferiram significativamente do MIX (103 Mg ha^{-1}) em termos de produtividade. Essas diferenças de produtividades, na prática, podem representar uma maior lucratividade financeira para o produtor na hora da venda, uma vez que são toneladas a mais por hectare. Além do lucro financeiro, ocorre um lucro secundário ao longo do tempo, uma vez que os adubos verdes enriquecerão o solo em nutrientes quando começarem sua decomposição e incorporação ao solo, além da possível redução da utilização e dos custos de herbicidas (Viaud et al., 2023).

No Talhão 2, somente os tratamentos para as variáveis número de colmos por hectare e a TCH diferiram significativamente. O maior número de colmos foi constatado nos tratamentos FP e TN, com 172,5 e 168,3 mil colmos ha^{-1}, porém estes não diferiram estatisticamente dos outros tratamentos, com exceção do tratamento em consórcio com o MIX, que apresentou a menor quantidade, com 120,8 mil colmos ha^{-1}. Para a TCH, os tratamentos com maiores valores de produtividades foram o FP,

com 139 Mg ha^{-1}; seguido de FDR, com 137 Mg ha^{-1}. Apesar de maiores valores de toneladas por hectare, os mesmos não diferiram estatisticamente de CN, com 133 Mg ha^{-1}; CS com 131 Mg ha^{-1}; FV com 125 Mg ha^{-1}; FM com 120 Mg ha^{-1}; C com 118 Mg ha^{-1} e CO com 109 Mg ha^{-1}, e somente diferiram dos tratamentos G, com 99 Mg ha^{-1} e MIX, com 97 Mg ha^{-1}.

Nota-se que em ambos os talhões, o tratamento MIX apresentou os menores valores de produtividade, sugerindo um efeito negativo desse consórcio sobre a soqueira da cana-de-açúcar. Uma possível explicação deste fato foi dada por Ambrosano et al. (2013); que estudando o desempenho de diferentes adubos verdes consorciados com a primeira soqueira de cana-de-açúcar; constatou que o tratamento em consórcio com C. *juncea* foi o de menor produtividade em relação a testemunha, com diminuição de 30 Mg ha^{-1}. De acordo com o autor, a *C. juncea* possuí um elevado potencial de crescimento, o qual pode causar competição por recursos com a cana-de-açúcar, principalmente por luz e nutrientes. Sabe-se que o tratamento MIX presente nesse presente trabalho, possui em sua composição 13% de *C. juncea;* e observou-se em campo que a mesma teve um crescimento de mais de 3,5 m; sendo assim, a mesma competição pode ter ocorrido no presente trabalho. Resultados similares foram constatados por Andrioli et al. (2010).

Um fato interessante também a ser observado, foi que no geral, os tratamentos com consórcios com feijões foram os que proporcionaram os maiores valores de produtividade (TCH) em ambos os talhões. Em virtude dessas elevadas produtividades, buscou-se investigar possíveis fatores relacionados a esse desempenho superior. A partir da análise visual das raízes de algumas plantas de feijão utilizadas nos consórcios, observou-se a presença de nematóides, o que poderia sugerir que essas leguminosas estariam atuando como culturas isca, atraindo os fitonematoides e, consequentemente, reduzindo sua presença e danos na cana-de-açúcar. Visando validar essa hipótese, procedeu-se à coleta de amostras de solo + raízes e essas foram levadas para análise em laboratório e verificação de número nematoides presentes no solo e nas raízes (como já descrito no item material e métodos) (Apêndice 1).

Para verificar se a quantidade de nematoides no solo + raízes influenciava a produtividade da cana-de-açúcar, realizou-se uma análise de correlação entre essas

variáveis para os talhões 1 (Tabela 12) e 2 (Tabela 13). Os resultados das correlações de ambos os talhões não foram significativos, sugerindo que, para as condições avaliadas, a presença desses nematoides não exerceu influência direta sobre o rendimento da cultura.

Tabela 11. Número de colmos, internódios, comprimento, diâmetro e toneladas de colmos por hectare (TCH) das soqueiras de cana-de-açúcar dos talhões 1 e 2 em função de leguminosas consorciadas. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Talhão 1 – cv. IACSP95-5094					
Tratamentos	Número de colmos mil colmos ha^{-1}	Internódios nº	Comprimento cm	Diâmetro mm	TCH Mg ha^{-1}
C	126,6 a	18,6 a	205,6 ab	27,4 a	127 ab
CN	130,0 a	17,1 a	203,9 ab	27,6 a	122 ab
FV	138,3 a	20,3 a	215,1 a	28,7 a	148 a
FP	140,8 a	19,5 a	201,2 ab	28,6 a	139 a
FDR	150,8 a	19,9 a	208,0 ab	28,1 a	153 a
G	138,3 a	18,9 a	209,4 ab	27,9 a	144 a
MIX	120,8 a	17,3 a	187,4 b	26,7 a	103 b
F tratamentos	1,99^{NS}	2,50^{NS}	2,60*	0,86^{NS}	5,59**
F blocos	3,54*	0,99^{NS}	0,24^{NS}	0,55^{NS}	5,01**
C.V. (%)	14,84	7,11	4,57	4,67	15,67
Talhão 2 – cv. RB965902					
C	148,3 ab	16,3 a	185,8 a	25,2 a	118 ab
CN	168,3 a	19,5 a	218,5 a	27,7 a	133 ab
FV	155,0 ab	17,5 a	202,0 a	25,7 a	125 ab
FP	172,5 a	18,0 a	200,5 a	25,5 a	139 a
FDR	161,6 ab	17,0 a	202,3 a	25,1 a	137 a
G	135,0 ab	18,5 a	212,8 a	25,3 a	99 b
MIX	120,8 b	17,3 a	192,0 a	23,9 a	97 b
CS	147,5 ab	17,3 a	185,3 a	25,5 a	131 ab
CO	142,5 ab	17,3 a	189,5 a	24,4 a	109 ab
FM	139,1 ab	17,0 a	196,0 a	25,0 a	120 ab
F tratamentos	2,44*	0,56^{NS}	1,18^{NS}	1,11^{NS}	3,60**
F blocos	3,35*	2,89^{NS}	2,12^{NS}	1,15^{NS}	1,17^{NS}
C.V. (%)	19,20	13,89	10,27	7,57	26,39

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5; ** = significativo a 1%; NS = não significativo pelo teste F;
C = Controle; CN = Cana + doses de nitrogênio; FV = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana; FP = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana; FDR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana; G = guandu forrageiro cv. IAPAR 43 Aratã consorciado com cana; MIX = Ag Mix consorciado com cana; CS = *C. spectabilis* consorciada com cana; CO = *C. ochroleuca* consorciada com cana; FM = Feijão cv. VR211 consorciado com cana

Tabela 12. Coeficientes de correlação entre as populações de nematoides e a produtividade da cana cv. IACSP95-5094 no talhão 1. Sales de Oliveira-SP, 2024.

	Pz	Hd	Vl
Hd	0,294^{NS}	-	-
Vl	0,648^{NS}	0,222^{NS}	-
TCH	0,458^{NS}	0,057^{NS}	-0,200^{NS}

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.
Pz = *Pratylenchus zeae*; Hd = *Helicotylenchus dihystera*; Vl = Vida livre; TCH = toneladas de colmos por hectare.

Tabela 13. Coeficientes de correlação entre as populações de nematoides e a produtividade da cana cv. RB965902 para o talhão 2. Sales de Oliveira-SP, 2024.

	Pz	Mj	Hd	Ov	TCH
Mj	0,462^{NS}	-	-	-	-
Hd	-0,212^{NS}	-0,127^{NS}	-	-	-
Ov	0,704*	0,181^{NS}	-0,057^{NS}	-	-
Vl	-0,110^{NS}	-0,305^{NS}	0,223^{NS}	-0,245^{NS}	-
TCH	-0,166^{NS}	0,373^{NS}	-0,084^{NS}	-0,397^{NS}	-0,584^{NS}

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.
Pz = *Pratylenchus zeae*; Mj = *Meloidogyne javanica*; Hd = *Helicotylenchus dihystera*; Ov = ovos; Vl = Vida livre; TCH = toneladas de colmos por hectare.

4.5 Atributos qualitativos da cana-de-açúcar

Em relação aos atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos para nenhuma das variáveis estudadas, tanto no talhão 1 quanto no talhão 2 (Tabela 14). No entanto, observa-se que todos os valores obtidos estão acima dos níveis recomendados, indicando que a qualidade da cana-de-açúcar é satisfatória em todos os tratamentos (Ripoli e Ripoli, 2004). Somente para a variável ºBrix (% caldo) do talhão 1, o F para tratamentos acusou diferença à 5% de probabilidade, mas, mesmo assim, o agrupamento de médias por letras não evidenciou diferenças significativas contrastantes entre os tratamentos indicando, possivelmente, que as comparações entre os pares de médias não foram suficientes para separá-los em grupos distintos. Tal fato pode estar relacionado à pequena magnitude das diferenças entre os tratamentos

Resultados semelhantes aos atributos tecnológicos foram encontrados por Pinazza et al. (2008), em condições de cana-de-açúcar consorciada com milho, bem como por Andrioli et al., (2010), ao avaliaram a primeira soqueira da cv. RB867515

consorciada com guandu-anão, *C. juncea* e feijão-de-porco, utilizando diferentes dosagens de adubação nitrogenada.

Tabela 14. Atributos tecnológicos das soqueiras de cana-de-açúcar dos talhões 1 e 2 em função das leguminosas consorciadas. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Tratamentos	ºBrix	Pol	Fibra	Pureza	Pol	AR	ATR
	-------% caldo-------		----------% cana----------				kg/t cana
Talhão 1 – cv. IACSP95-5094							
C	22,51 a	20,74 a	12,18 a	92,14 a	17,51 a	0,41 a	170,71 a
CN	22,49 a	20,84 a	12,31 a	92,62 a	17,55 a	0,39 a	170,44 a
FV	22,80 a	21,17 a	12,42 a	92,84 a	17,79 a	0,38 a	172,97 a
FP	22,98 a	21,52 a	12,61 a	92,50 a	17,81 a	0,39 a	173,24 a
FDR	22,98 a	21,26 a	12,40 a	93,63 a	18,09 a	0,36 a	175,62 a
G	23,32 a	21,60 a	12,59 a	92,98 a	18,18 a	0,38 a	176,59 a
MIX	22,94 a	21,19 a	12,35 a	92,38 a	17,84 a	0,40 a	173,50 a
F tratamentos	2,67*	$1,87^{NS}$	$0,44^{NS}$	$1,02^{NS}$	$1,97^{NS}$	$0,98^{NS}$	$2,03^{NS}$
F blocos	$2,41^{NS}$	$3,11^{NS}$	$0,15^{NS}$	5,26**	3,76*	4,50*	3,55*
C.V. (%)	1,57	2,33	3,64	1,04	1,99	7,60	1,85
Talhão 2 – cv. RB965902							
C	24,39 a	22,46 a	11,93 a	92,09 a	19,04 a	0,41 a	185,10 a
CN	23,87 a	22,08 a	11,87 a	92,49 a	18,74 a	0,40 a	182,18 a
FV	23,69 a	21,93 a	11,90 a	92,55 a	18,60 a	0,40 a	180,79 a
FP	23,32 a	21,68 a	12,40 a	92,93 a	18,23 a	0,38 a	177,10 a
FDR	23,76 a	21,91 a	11,74 a	92,20 a	18,64 a	0,41 a	181,21 a
G	23,70 a	21,53 a	12,46 a	90,73 a	18,08 a	0,44 a	176,27 a
MIX	23,84 a	22,34 a	11,83 a	93,72 a	18,97 a	0,36 a	184,01 a
CS	24,20 a	22,38 a	12,09 a	92,46 a	18,93 a	0,40 a	183,88 a
CO	24,02 a	22,53 a	12,25 a	93,80 a	18,99 a	0,36 a	184,18 a
FM	23,03 a	21,10 a	12,27 a	91,63 a	17,79 a	0,42 a	173,28 a
F tratamentos	$1,78^{NS}$	$1,24^{NS}$	$1,86^{NS}$	$1,35^{NS}$	$1,60^{NS}$	$1,32^{NS}$	$1,67^{NS}$
F blocos	$2,80^{NS}$	3,81*	$2,18^{NS}$	3,59*	3,93*	3,56*	3,86*
C.V. (%)	2,49	3,75	3,10	1,70	3,67	11,41	3,41

Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. * = significativo a 5; ** = significativo a 1%; NS = não significativo pelo teste F.
C = Controle; CN = Cana + doses de nitrogênio; FV = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana; FP = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana; FDR = Feijão "Dark Red Kidney" cv. IAC 2156 consorciado com cana; G = guandu forrageiro cv. IAPAR 43 Aratã consorciado com cana; MIX = Ag Mix consorciado com cana; CS = *C. spectabilis* consorciada com cana; CO = *C. ochroleuca* consorciada com cana; FM = Feijão cv. VR211 consorciado com cana.

4.6 Uso Eficiente da Terra (UET)

Os resultados referentes ao índice de Uso Eficiente da Terra (UET) podem ser observados na Tabela 15. Para as condições do talhão 1, que continha a cultivar de

cana-de-açúcar IACSP95-5094, observou-se o maior valor de UET no consórcio com o tratamento FV (1,62), seguido de FP (1,55) e FDR (1,39). O desempenho mais elevado no sistema FV indica um melhor equilíbrio entre a produtividade da cana (UETcana = 1,21) e do feijão (UETfeijão = 0,41), com uma contribuição relativa da cana (CRC) de 74,7% e do feijão de 25,3%. No caso do tratamento FDR, apesar de a cana ter apresentado a maior contribuição individual (UETcana = 1,25; CRC = 89,9%), a baixa produtividade relativa do feijão (UETfeijão = 0,14; CRC = 10,1%) reduziu o valor total de UET.

Para as condições do talhão 2, que continha a cultivar de cana-de-açúcar RB965902, o consórcio com o tratamento FV também apresentou o maior UET (1,65), seguido pelos tratamentos FP (1,61), FDR (1,49) e FM (1,36). O consórcio com FM obteve o menor valor de UET (1,36), o que pode estar associado ao menor desempenho relativo da cana (UETcana = 0,90), combinado ao UET do feijão intermediário (0,46). De maneira geral, os consórcios com a cultivar RB965902 apresentaram melhor equilíbrio entre as contribuições relativas da cana e do feijão, com destaque para o tratamento FV, onde o feijoeiro teve a maior participação relativa (CRC = 43,1%).

Em todos os consórcios com feijoeiros, os valores de UET foram superiores a 1, indicando efeito positivo na produtividade desses sistemas e demonstrando que a produção por área é maior nesses sistemas. Resultados semelhantes foram observados na pesquisa de Sander et al. (2001) que, ao compararem o consórcio entre as cvs. de feijoeiro Iraí, Pampa e Macanudo com a cv. de cana-de-açúcar CB41-76, no Rio Grande do Sul, verificam valores de UET superiores a 1,0, sendo o maior UET obtido no sistema cana-de-açúcar x Iraí (1,87), além do trabalho de Kumar et al., (2015) que, ao compararem o consórcio entre a cana-de-açúcar com o feijão francês (*P. vulgaris*) sob diferentes dosagens de fertilizantes, com e sem irrigação, verificam valores de UET superiores a 1,0, sendo o maior obtido no sistema cana-de-açúcar x feijão francês com 100% do fertilizante recomendado (1,62 de UET) .

Tabela 15. Uso Eficiente da Terra (UET) e seus componentes (UET_{cana}, $UET_{feijão}$ e CRC) relativos aos consórcios entre feijoeiros e cana-de-açúcar. Sales de Oliveira-SP, 2024.

Talhão 1 – cv. IACSP95-5094					
Sistema de cultivo	Cana-de-açúcar		Feijoeiros		UET
	UET_{cana}	CRC (%)	$UET_{feijão}$	CRC (%)	
FV	1,21	74,7	0,41	25,3	1,62
FP	1,14	73,5	0,41	26,5	1,55
FDR	1,25	89,9	0,14	10,1	1,39
Talhão 2 – cv. RB965902					
FV	0,94	56,9	0,71	43,1	1,65
FP	1,05	65,2	0,56	34,8	1,61
FDR	1,03	69,1	0,46	30,9	1,49
FM	0,90	66,2	0,46	33,8	1,36

UETcana e UETfeijão = índices relativos à cana-de-açúcar e feijoeiros, respectivamente; CRC = Contribuição Relativa das Culturas.
FV = Feijão Preto cv. IAC Veloz consorciado com cana; FP = Feijão Carioca cv. IAC 1849 Polaco consorciado com cana; FDR = Feijão “Dark Red Kidney” cv. IAC 2156 consorciado com cana; FM = Feijão cv. VR211 consorciado com cana.

5. CONCLUSÕES

De modo geral, a produtividade de grãos foi melhor para os tratamentos com a cana rebaixada, com incrementos de 44,2% em relação a cana sem rebaixamento.

Para produtividade da cana-de-açúcar (TCH), de modo geral, os tratamentos com consórcios com feijões foram os que proporcionaram os maiores valores em ambos os talhões. Verificou-se para o talhão 1 que, os consórcios com feijão cv. IAC 2156 “Dark Red Kidney”, feijão cv. IAC Veloz, guandu forrageiro e feijão cv. IAC 1849 Polaco, promoveram aumentos na produtividade da cana-de-açúcar cv. IACSP95-5094 de 50, 45, 41 e 36 Mg ha^{-1}, respectivamente, em comparação com o consórcio com Ag Mix. Para o talhão 2, os consórcios com feijão cv. IAC 1849 Polaco e feijão cv. IAC2156 “Dark Red Kidney” promoveram aumentos na produtividade da cana-de-açúcar cv. RB965902 de 42 e 40 Mg ha^{-1} e 40 e 38 Mg ha^{-1} , respectivamente, em comparação com os consórcios com guandu forrageiro e Ag Mix.

Todos os consórcios com feijoeiros apresentaram valores do Uso Eficiente da Terra (UET) superiores a 1, indicando efeito positivo na produtividade desses sistemas.

6. REFERÊNCIAS

Alvares CA, Stape JL, Sentelhar PC, Gonçalves JL de M, Sparovek G (2013) Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22:711-728.

Ambrosano EJ, Cantarella H, Rossi F, Schammass EA, Silva EC, Ambrosano GMB, Dias FLF, Trivelin PCO, Muraoka T (2013) Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia** 8:80-90.

Andrade NSF (2009) **Valoração econômica das perdas de nutrientes por erosão em cana-de-açúcar**. 95 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Andrioli I, Andrioli FF, Prado RM, Zeitoum V, Martins ALS, Centurion JF, Camilotti F (2010) Uso de leguminosas no consórcio com soqueira de cana-de-açúcar e nitrogênio na produção e qualidade de colmos. **Cultura Agronômica** 19:39-45.

Barbosa LC, Magalhães PSG, Bordonal RO, Cherubin MR, Castioni GA, Rossi Neto J, Franco HCJ, Carvalho JLN (2021) Untrafficked furrowed seed bed sustains soil physical quality in sugarcane mechanized fields. **European Journal of Soil Science** 72:2150-2164.

Barroso AAM, Soraluz JLT, Lemos LB, Parreira MC, Oliveira PMJ, Alves PLCA (Eds.) (2022) Biologia e manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro comum. Jaboticabal: Funep, 202p.

Berry SD, Dana P, Spaull VW, Cadet P (2009) Effect of intercropping on nematodes in two small-scale sugarcane farming systems in South Africa. **Nematropica** 39:11-33.

Bolonhezi D (2023) **Consórcio de leguminosas e mix de plantas de cobertura em soqueira de cana**. Piracicaba: STAB p. 1-2.

Bolonhezi AC, Torrezan MA, Válerio Filho WV (2008) Intercultivo de adubos verdes na entrelinha de socas tardias de cana-de-açúcar. **Cultura Agronômica** 17:87-95.

Bolonhezi D, Bolonhezi AC, Carlos JAD (2014) Adubação verde e rotação de culturas para cana-de-açúcar. In.: Filho OFL, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil – fundamentos e prática**. Brasília: EMBRAPA, p. 127-158.

Bolonhezi D, Branco RBF, Perdoná MJ, Carbonell SAM, Chiorato AF (2010) Intercropping of sugarcane with common bean in no-tillage and different nitrogen rates. In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. **Anais eletrônicos...** Brisbane, 2010. Disponível em: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20113349054

Borkert CM, Gaudêncio CA, Pereira JE, Pereira LR, Oliveira Junior A (2003) Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 38:143-153.

Callaway RM (1995) Positive interactions among plants. **The Botanical Review** 61:306-349.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar – safra 2023/24 – quarto levantamento. Brasília, 2024a. p. 53.

CONAB. Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira – grãos - safra 2023/2024 - sétimo levantamento. Brasília, 2024b. p. 120.

CONSECANA (2006) Conselho dos produtores de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do estado de São Paulo. **Manual de Instruções**. Piracicaba, 112p. (Série Manuais).

Coolen WA, D'herde CJ (Eds.) (1972) A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue. Ghent: State Nematology and Entomology Research Station, 77p.

Curtright AJ, Tiemann LK (2021) Intercropping increases soil extracelular enzymes activity: a meta-analysis. **Agriculture, Ecosytems and Environment** 319:107489

Dinardo-Miranda LL, Fracasso JV (2009) Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. **Scientia Agricola** 66:188-194.

Esteban DAA, Souza ZM, Silva RB, Lima ES, Lovera LH, Oliveira IN (2020) Impact of permanent traffic lanes on the soil physical and mechanical properties in mechanized sugarcane fields with the use of automatic steering. **Geoderma** 362:97-114.

EPAMIG (2020) - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Epamig lança cultivares de feijão mungo-verde que agradam mercado externo. 2020. Disponível em: https://www.mg.gov.br/agricultura/noticias/epamig-lanca-cultivares-de-feijao-mungo-verdequeagradammercadoexterno#:~:text=Epamig%20lan%C3%A7a%20cultivares%20de%20feij%C3%A3o%20mungo%2Dverde%20que%20agradam%20mercado%20externo,Submitted%20by%20An%C3%B4nimo&text=De%20origem%20indiana%20e%20muito,prote%C3%ADnas%2C%20vitamina%20B%20e%20ferro

Ferreira EA, Procópio SO, Galon L, Franca AC, Concenço G, Silva AA, Aspiazu I, Silva AF, Tironi SP, Rocha PRR (2010) Manejo de plantas daninhas em cana-crua. **Planta Daninha** 28:915-925.

Figueiredo EB (2012) **Balanço de gases de efeito estufa e emissões de CO_2 do solo nos sistemas de colheita da cana-de-açúcar manual queimada e mecanizada crua**. 108f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Garbiate MV, Vitorino ACT, Tomasini BA, Bergamin AC, Panachuki E (2011) Erosão em entre sulcos em área cultivada com cana crua e queimada sob colheita manual e mecanizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:2145-2155.

Garside AL, Bell MJ, Robotham BG, Magarey RC, Stirling GR (2005) Managing yield decline in sugarcane cropping systems. **International Sugar Journal** 107:16-26.

Hauggaard-Nielsen H, Ambus P, Jensen ES (2001) Interspecific competition, N use and interference with weeds in pea-barley intercropping. **Field Crops Research** 70:101-109.

He TG, Su LR, Li YR, Su TM, Qin F, Li Q (2017) Nutrient decomposition rate and sugarcane yield as influenced by mung bean intercropping and crop residue recycling. **Sugar Tech** 20:154-162.

Hu L, Huang R, Deng H, Li K, Peng J, Zhou L, Ou H (2022) Effects of different intercropping methods on soil organic carbon and aggregate stability in sugarcane field. **Polish Journal of Environmental Studies** 31:3587-3596.

IAC (2024) Instituto Agronômico de Campinas. **Cultivares**. Disponível em: https://bluein.IAC.sp.gov.br/portfolio-IAC/cultivares/graos-2/.

INFORMATIVO PRODUTOR 2016: envelhecimento do canavial: qual a melhor forma de manejo? Coplana: Cooperativa Agroindustrial, 2016. p. 1-8.

Jenkins WR (1964) A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter** 48:692.

Junior EAC (2016) **Efeito do arranjo de plantio convencional e com mudas pré-brotadas (MPB) em cana-de-açúcar**. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Chapadão do Sul.

Khatounian CA (Ed.) (2001) A reconstrução ecológica da agricultura. Botucatu: Agroecológica, 345 p.

Khippal A, Singh S, Chand M, Sheokand R, Singh J, Verma R, Kumar R (2016) Mechanized and profitable intercropping of legumes in autumn planted sugarcane. **Legume Research - Agricultural Research Communications Centre India** 39:411-418.

Krutman S (1968) Cultura consorciada cana x feijoeiro. Primeiros resultados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 3:127-134.

Kumar N, Kumari G, Paswan S (2015) Optimizing nutrient and irrigation requirement of sugarcane (*Saccharum* species hybrid complex) and French bean (*Phaseolus vulgaris*) intercropping system. **Indian Journal of Agronomy** 60:524-533.

Liebman M, Dyck E (1993) Crop rotation and intercropping strategies for weed management. **Ecological Applications** 3:92-122.

Maitra S, Hossain A, Brestic M, Skalicky M, Ondrisik P, Gitari H, Brahmachari K, Shankar T, Bhadra P, Palai JB, Jena J, Bhattacharya U, Duvvada SK, Lalichetti S, Sairam M (2021) Intercropping - a low input agricultural strategy for food and environmental security. **Agronomy** 11:1-28.

Malavolta E, Vitti GC, Oliveira SA (Eds.) (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 319p.

Mascarenhas HAA, Tanaka R (1993) Rotação de culturas. In: Wutke EB, Bulisani EA, Mascarenhas HAA (Ed.) **Curso sobre adubação verde no Instituto Agronômico.** Campinas: Instituto Agronômico, p. 71-86 (IAC. Documentos, 35).

Monquero PA, Amaral LR, Silva AC, Binha DP, Silva PV (2009) Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de *Ipomoea grandifolia*. **Bragantia** 68:367-372.

Ndarubu AA, Busari LD, Misari SM (2000) Weed management in sugarcane intercropped with arable crops in Nigeria. **Sugar Tech** 2:34-41.

Nunes JVD (2013) **Comparação de variedades de feijão utilizadas para produção de brotos comestíveis**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

Oliveira NHC (2021) **Resposta de cultivares de feijoeiro de ciclo precoce com grãos carioca, preto e rajado à adubação nitrogenada em cobertura**. 70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Pankhurst CE, Blair BL, Magarey RC, Stirling GR, Garside AL (2005) Effects of biocides and rotation breaks on soil organisms associated with the poor early growth of sugarcane in continuous monoculture. **Plant and Soil** 268:255-269.

Portes TA (1996) Produção de feijão nos sistemas consorciados. Goiânia: Embrapa: CNPAF, 50 p. (Embrapa-CNPAF. Documentos, 71).

Proctor JR, Watts BM (1987) Development of a modified Mattson Bean Cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal** 20:9-14.

Quaggio JA, Cantarella H, Zambrosi FCB (2022) Leguminosas e oleaginosas. In.: Cantarella H, Quaggio JA, Mattos D, Boaretto RM, Raij BV (Eds.) **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 239-242.

Raij B van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (Eds.) (2001) Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas: Instituto Agronômico, 285p.

Ramesh T, Chinnusamy C, Jayanthi C (2003) Green manuring in sugarcane – a review. **Agricultural Reviews - Agricultural Research Communications Centre India** 24:130-135.

Ramouthar PV, Rhodes R, Wettergreen T, Pillay U, Jones MR, Van Antwerpen R, Berry SD (2013) Intercropping in sugarcane: A pratice worth pursuing? **South African Sugar Technologists' Association** 86:55-66

Ranaivoson L, Falconnier GN, Affholder F, Leroux L, Autfray P, Muller B, Auzoux S, Ripoche A (2022) Can green manure contribute to sustainable intensification of rainfed rice production in Madagascar? **Field Crops Research** 289:1-14.

Resende AS (2000) **A fixação biológica de nitrogênio (FBN) como suporte da produtividade e fertilidade nitrogenada dos solos na cultura de cana-de-açúcar.** 124f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

Resende AS, Xavier RP, Quesada DM, Urquiaga S, Alves BJR, Boddey RM (2003) Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. **Biology and Fertility of Soils** 37:215–220.

Ripoli TCC, Ripoli MLC (Eds.) (2004) Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Barros & Marques Editoração Eletrônica, 302 p.

Ronquim CC (2010) **Queimada na colheita da cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 45 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 77).

Sander GR, Gandolfi VH, Jobim CI (2001) Efeito do cultivo consorciado sobre a cana-de-açúcar e cultivares de feijão com diferentes hábitos de crescimento. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha** 7:167-174.

Santos FA, Queiróz JH, Colodette JL, Fernandes SA, Guimarães VM, Rezende ST (2012) Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova** 35:1004-1010.

Sehrawat N, Yadav M, Kumar S, Upadhyay SK, Singh M, Sharma AK (2020) Review on health promoting biological activities of mungbean: a potent functional food of medicinal importance. **Plant Archives** 20:2969-2975.

Silva MG (2015) Implantação da cultura. In.: Arf O, Lemos LB, Soratto RP, Ferrari S (Eds.) **Aspectos gerais da cultura do feijão.** Botucatu: FEPAF, p. 163-180.

Singh AK, Menhi L, Srivastava TK (2005) Enhancing productivity and sustainability of sugarcane plant-ratoon system through planting geometry, dual-purpose legume intercropping and nitrogen nutrition. **Indian Journal of Agronomy** 50:285-288.

Singh SN, Shukla JP, Agrawal ML, Singh GP (1999) Spices intercropping with autumn-planted sugarcane (*Saccharum officinarum*). **Indian Journal of Agronomy** 44:64-67.

Souza Filho BF, Andrade MJB (1985) Sistemas de produção de feijão em consórcio com a cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 20:343-348.

Trenbath BR (1976) Plant interactions in mixed crops communities. In.: Papendick RI, Sanchez PA, Triplett GB (Eds.) **Multiple Cropping**. Madison: American Society of Agronomy, p.129-169.

Vandermeer JH (Ed.) (1989) The ecology of intercropping. Cambridge: Cambridge University Press, 237p.

Viaud P, Heuclin B, Letourmy P, Christina M, Versini A, Mansuy A, Chetty J, Naudin K (2023) Sugarcane yield response to legume intercropped: a meta-analysis. **Field Crops Research** 295:1-10.

Vieira RF, Vieira C, Vieira RF (Eds.) (2001) Leguminosas graníferas. Viçosa: Editora UFV, 206p.

Wiedenfeld RP (2000) Water stress during different sugarcane growth periods on yield and response to N fertilization. **Agricultural Water Management** 43:173-182.

Wildner LP (2014) Adubação verde: conceitos e modalidades de cultivo. In.: Filho OFL, Ambrosano EJ, Rossi F, Carlos JAD (Eds.) **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil – fundamentos e prática**. Brasília: EMBRAPA, p. 127-158.

Willey RW (1990) Resource use in intercropping systems. **Agricultural Water Management** 17:215-231.

Yadav DV, Yaduvanshi NPS (2001) Integration of green manure intercropping and fertilizer-N for yield and juice quality and better soil conditions in sugarcane grown after mustard and wheat in different plant arrangements. **The Journal of Agricultural Science** 136:199-205.

APÊNDICES

Apêndice 1. Populações de *Pratylenchus zeae* (Pz), *Meloidogyne javanica* (Mj), *Helicotylenchus dihystera* (Hd), Ovos (Ov) e Nematoides de vida livre (Vl) nas cultivares de cana-de-açúcar para os talhões 1 e 2.

Tratamento	Pz	Mj	Hd	Ov	Vl
	----------nº----------				
Talhão 1 – cv. IACSP95-5094					
T	310	0	540	0	890
TN	365	0	935	0	993
FV	275	0	695	0	720
FP	150	0	680	0	985
FDR	1053	0	765	0	1303
G	183	0	700	13	813
MIX	175	0	658	0	1158
Talhão 2 – cv. RB965902					
T	378	748	1070	108	793
TN	108	278	790	15	853
FV	70	1550	1580	60	970
FP	253	3115	520	23	965
FDR	118	713	883	0	940
G	230	780	390	90	1000
MIX	120	215	1328	0	1883
CS	85	215	875	10	1313
CO	228	425	770	70	1640
FM	468	2208	1008	83	1250