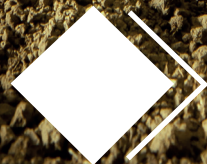


Cleberton Correia Santos
(Org.)

MANEJO FISIOLÓGICO E NUTRICIONAL DE PLANTAS

ABORDAGENS PRÁTICAS NA AGRICULTURA



científica digital

Cleberton Correia Santos
(Org.)

MANEJO FISIOLÓGICO E NUTRICIONAL DE PLANTAS

ABORDAGENS PRÁTICAS NA AGRICULTURA

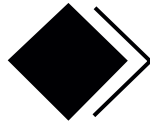


1ª EDIÇÃO



científica digital

2023 - GUARUJÁ - SP



científica digital

EDITORA CIENTÍFICA DIGITAL LTDA

Guarujá - São Paulo - Brasil

www.editoracientifica.com.br - contato@editoracientifica.com.br

Diagramação e arte

Equipe editorial

Imagens da capa

Adobe Stock - licensed by Editora Científica Digital - 2023

Revisão

Os Autores

2023 by Editora Científica Digital

Copyright da Edição © 2023 Editora Científica Digital

Copyright do Texto © 2023 Os Autores

Acesso Livre - Open Access

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Editora Científica Digital, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

O conteúdo dos capítulos e seus dados e sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

É permitido o download e compartilhamento desta obra desde que pela origem da publicação e no formato Acesso Livre (Open Access), com os créditos atribuídos aos autores, mas sem a possibilidade de alteração de nenhuma forma, catalogação em plataformas de acesso restrito e utilização para fins comerciais.

Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M274

Manejo fisiológico e nutricional de plantas: abordagens práticas na agricultura / Cleberton Correia Santos (Organizador). – Guarujá-SP: Científica Digital, 2023.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN XXX-XX-XXXX-XXX-X

DOI 10.37885/XXX-XX-XXXX-XXX-X

1. Fisiologia de plantas. I. Santos, Cleberton Correia (Organizador). II. Título.

CDD 571.2

Índice para catálogo sistemático: I. Fisiologia de plantas

Elaborado por Janaina Ramos – CRB-8/9166

E-BOOK
ACesso LIVRE ON-LINE - IMPRESSÃO PROIBIDA

2023

Direção Editorial

Reinaldo Cardoso

João Batista Quintela

Assistentes Editoriais

Erick Braga Freire

Bianca Moreira

Sandra Cardoso

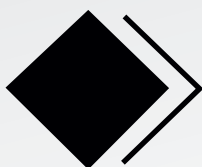
Bibliotecários

Maurício Amormino Júnior - CRB-6/2422

Janaina Ramos - CRB-8/9166

Jurídico

Dr. Alandelon Cardoso Lima - OAB/SP-307852



CONSELHO EDITORIAL

Mestres, Mestras, Doutores e Doutoradas

Prof. Dr. Carlos Alberto Martins Cordeiro
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Rogério de Melo Grillo
Universidade Estadual de Campinas

Prof^a. Ma. Eloisa Rosotti Navarro
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Ernane Rosa Martins
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Rossano Sartori Dal Molin
FSG Centro Universitário

Prof. Dr. Carlos Alexandre Oelke
Universidade Federal do Pampa

Prof. Esp. Domingos Bombo Damião
Universidade Agostinho Neto - Angola

Prof. Me. Reinaldo Eduardo da Silva Sales
Instituto Federal do Pará

Prof^a. Ma. Auristela Correa Castro
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Dra. Dalizia Amaral Cruz
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Ma. Susana Jorge Ferreira
Universidade de Evora, Portugal

Prof. Dr. Fabricio Gomes Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Me. Erival Gonçalves Prata
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Gevair Campos
Faculdade CNEC Unai

Prof. Me. Flávio Aparecido De Almeida
Faculdade Unida de Vitória

Prof. Me. Mauro Vinicius Dutra Girão
Centro Universitário Inta

Prof. Esp. Clóvis Luciano Giacomet
Universidade Federal do Amapá

Prof^a. Dra. Giovanna Faria de Moraes
Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Universidade Federal do Pará

Prof. Esp. Dennis Soares Leite
Universidade de São Paulo

Prof^a. Dra. Silvani Verruck
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Me. Osvaldo Contador Junior
Faculdade de Tecnologia de Jahu

Prof^a. Dra. Claudia Maria Rinhel-Silva
Universidade Paulista

Prof^a. Dra. Silvana Lima Vieira
Universidade do Estado da Bahia

Prof^a. Dra. Cristina Berger Fadel
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^a. Ma. Graciete Barros Silva
Universidade Estadual de Roraima

Prof. Dr. Carlos Roberto de Lima
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Wesley Viana Evangelista
Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Cristiano Marins
Universidade Federal Fluminense

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva
Escola Superior de Ciências da Santa Casa de Misericórdia de Vitória

Prof. Dr. Daniel Luciano Gevehr
Faculdades Integradas de Taquara

Prof. Me. Silvio Almeida Junior
Universidade de Franca

Prof^a. Ma. Juliana Campos Pinheiro
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Raimundo Nonato Ferreira Do Nascimento
Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Antônio Marcos Mota Miranda
Instituto Evandro Chagas

Prof^a. Dra. Maria Cristina Zago
Centro Universitário UNIFAAT

Prof^a. Dra. Samylla Maira Costa Siqueira
Universidade Federal da Bahia

Prof^a. Ma. Gloria Maria de Franca
Centro Universitário CESMAC

Prof^a. Dra. Carla da Silva Sousa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Prof. Me. Denny Ramon de Melo Fernandes Almeida
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Me. Mário Celso Neves De Andrade
Universidade de São Paulo

Prof. Me. Juliano Pizzano Ayoub
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof. Dr. Ricardo Pereira Sepini
Universidade Federal de São João Del-Rei

Prof^a. Dra. Maria do Carmo de Sousa
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Me. Flávio Campos de Moraes
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Me. Jonatas Brito de Alencar Neto
Universidade Federal do Ceará

Prof. Me. Reginaldo da Silva Sales
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Moisés de Souza Mendonça
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Patrício Francisco da Silva
Universidade de Taubaté

Prof^a. Esp. Bianca Anacleto Araújo de Sousa
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro Afonso Cortez
Universidade Metodista de São Paulo

Prof^a. Ma. Bianca Cerqueira Martins
Universidade Federal do Acre

Prof. Dr. Vitor Afonso Hoeflich
Universidade Federal do Paraná

Prof. Dr. Francisco de Sousa Lima
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Prof^a. Dra. Sayonara Cotrim Sabioni
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Prof^a. Dra. Thais Ranielle Souza de Oliveira
Centro Universitário Euroamericano

Prof^a. Dra. Rosemary Laís Galati
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof^a. Dra. Maria Fernanda Soares Queiroz
Universidade Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. Dioniso de Souza Sampaio
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Leonardo Augusto Couto Finelli
Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a. Ma. Danielly de Sousa Nóbrega
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre

Prof. Me. Mauro Luiz Costa Campello
Universidade Paulista

Prof^a. Ma. Livia Fernandes dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre

Prof^a. Dra. Sonia Aparecida Cabral
Secretaria da Educação do Estado de São Paulo

Prof^a. Dra. Camila de Moura Vogt
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. José Martins Juliano Eustaquio
Universidade de Uberaba

Prof. Me. Walmir Fernandes Pereira
Miami University of Science and Technology

Prof^a. Dra. Liege Coutinho Goulart Dornellas
Universidade Presidente Antônio Carlos

Prof. Me. Ticiano Azevedo Bastos
Secretaria de Estado da Educação de MG

Prof. Dr. Jónata Ferreira De Moura
Universidade Federal do Maranhão

Prof^a. Ma. Daniela Remião de Macedo
Faculdade de Belas Artes da Universidade de Lisboa

Prof. Dr. Francisco Carlos Alberto Fonteles Holanda
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Dra. Bruna Almeida da Silva
Universidade do Estado do Pará

Prof^a. Ma. Adriana Leite de Andrade
Universidade Católica de Petrópolis

Prof^a. Dra. Clecia Simone Gonçalves Rosa Pacheco
Instituto Federal do Sertão Pernambucano,

Prof. Dr. Claudimir da Silva Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas

Prof. Dr. Fabrício dos Santos Ritá
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, Brasil

Prof. Me. Ronei Aparecido Barbosa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas

Prof. Dr. Julio Onésio Ferreira Melo
Universidade Federal de São João Del Rei

Prof. Dr. Juliano José Corbi
Universidade de São Paulo

Prof^a. Dra. Alessandra de Souza Martins
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof. Dr. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho
Universidade Federal do Cariri

Prof. Dr. Thadeu Borges Souza Santos
Universidade do Estado da Bahia

Prof^a. Dra. Francine Náthalie Ferraresi Rodrigues Queluz
Universidade São Francisco

Prof^a. Dra. Maria Luzete Costa Cavalcante
Universidade Federal do Ceará

Prof^a. Dra. Luciane Martins de Oliveira Matos
Faculdade do Ensino Superior de Linhares

Prof^a. Dra. Rosenery Pimentel Nascimento
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof^a. Esp. Livia Silveira Duarte Aquino
Universidade Federal do Cariri

Prof^a. Dra. Irlane Maia de Oliveira
Universidade Federal do Amazonas

Prof^a. Dra. Xaene Maria Fernandes Mendonça
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Ma. Thais de Oliveira Carvalho Granado Santos
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Fábio Ferreira de Carvalho Junior
Fundação Getúlio Vargas

Prof. Me. Anderson Nunes Lopes
Universidade Luterana do Brasil

Prof.^a. Dra. Iara Margolis Ribeiro
Universidade do Minho

Prof. Dr. Carlos Alberto da Silva
Universidade Federal do Ceará

Prof.^a. Dra. Keila de Souza Silva
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Francisco das Chagas Alves do Nascimento
Universidade Federal do Pará

Prof.^a. Dra. Réia Sílvia Lemos da Costa e Silva Gomes
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Evaldo Martins da Silva
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. António Bernardo Mendes de Seça da Providência Santarém
Universidade do Minho, Portugal

Prof.^a. Dra. Miriam Aparecida Rosa
Instituto Federal do Sul de Minas

Prof. Dr. Biano Alves de Melo Neto
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano

Prof.^a. Dra. Priscyla Lima de Andrade
Centro Universitário UnifBV

Prof. Dr. Gabriel Jesus Alves de Melo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia

Prof. Esp. Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira
Universidade Estadual do Centro Oeste

Prof. Dr. Andre Muniz Afonso
Universidade Federal do Paraná

Prof.^a. Dr. Laís Conceição Tavares
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Rayme Tiago Rodrigues Costa
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme
Universidade Federal do Tocantins

Prof. Me. Valdemir Pereira de Sousa
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof.^a. Dra. Sheylla Susan Moreira da Silva de Almeida
Universidade Federal do Amapá

Prof. Dr. Arinaldo Pereira Silva
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof.^a. Dra. Ana Maria Aguiar Frias
Universidade de Evora, Portugal

Prof.^a. Dra. Deise Keller Cavalcante
Secretaria de Estado de Educação do Rio de Janeiro

Prof.^a. Esp. Larissa Carvalho de Sousa
Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal

Esp. Daniel dos Reis Pedrosa
Instituto Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Waslan Figueiredo Martins
Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Lênio José Guerreiro de Faria
Universidade Federal do Pará

Prof.^a. Dra. Tamara Rocha dos Santos
Universidade Federal de Goiás

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Gustavo Soares de Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo

Prof.^a. Dra. Adriana Cristina Bordignon
Universidade Federal do Maranhão

Prof.^a. Dra. Norma Suely Evangelista-Barreto
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Me. Larry Oscar Chaiñi Paucar
Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Peru

Prof. Dr. Pedro Andrés Chira Oliva
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Daniel Augusto da Silva
Fundação Educacional do Município de Assis

Prof.^a. Dra. Aleteia Hummes Thaines
Faculdades Integradas de Taquara

Prof.^a. Dra. Elisângela Lima Andrade
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Reinaldo Pacheco Santos
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Prof.^a. Ma. Cláudia Catarina Agostinho
Hospital Lusíadas Lisboa, Portugal

Prof.^a. Dra. Carla Cristina Bauermann Brasil
Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Humberto Costa
Universidade Federal do Paraná

Prof.^a. Ma. Ana Paula Felipe Ferreira da Silva
Universidade Potiguar

Prof. Dr. Ernane José Xavier Costa
Universidade de São Paulo

Prof.^a. Ma. Fabricia Zanelato Bertolde
Universidade Estadual de Santa Cruz

Prof. Me. Eliomar Viana Amorim
Universidade Estadual de Santa Cruz

Prof.^a. Esp. Nássarah Jabur Lot Rodrigues
Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. José Aderval Aragão
Universidade Federal de Sergipe

Prof.^a. Ma. Caroline Muñoz Cevada Jeronimo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Prof.^a. Dra. Aline Silva De Aguiar
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Renato Moreira Nunes
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Me. Júlio Nonato Silva Nascimento
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof.^a. Dra. Cybelle Pereira de Oliveira
Universidade Federal da Paraíba

Prof.^a. Ma. Cristianne Kalinne Santos Medeiros
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof.^a. Dra. Fernanda Rezende
Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa e Estudo em Educação Ambiental

Prof.^a. Dra. Clara Mockdece Neves
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof.^a. Ma. Danielle Galdino de Souza
Universidade de Brasília

Prof. Me. Thyago José Arruda Pacheco
Universidade de Brasília

Prof.^a. Dra. Flora Magdaline Benitez Romero
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia

Prof.^a. Dra. Carline Santos Borges
Governo do Estado do Espírito Santo, Secretaria de Estado de Direitos Humanos.

Prof.^a. Dra. Rosana Barbosa Castro
Universidade Federal de Amazonas

Prof. Dr. Wilson José Oliveira de Souza
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Eduardo Nardini Gomes
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. José de Souza Rodrigues
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Willian Carboni Viana
Universidade do Porto

Prof. Dr. Diogo da Silva Cardoso
Prefeitura Municipal de Santos

Prof. Me. Guilherme Fernando Ribeiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.^a. Dra. Jaisa Klaus
Associação Vitoriana de Ensino Superior

Prof. Dr. Jeferson Falcão do Amaral
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof.^a. Ma. Ana Carla Mendes Coelho
Universidade Federal do Vale do São Francisco

Prof. Dr. Octávio Barbosa Neto
Universidade Federal do Ceará

Prof.^a. Dra. Carolina de Moraes Da Trindade
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Prof. Me. Ronison Oliveira da Silva
Instituto Federal de Amazonas

Prof. Dr. Alex Guimarães Sanches
Universidade Estadual Paulista

Profa. Esp. Vanderlene Pinto Brandão
Faculdade de Ciências da Saúde de Unai

Profa. Ma. Maria Das Neves Martins
Faculdade de Ciências da Saúde de Unai

Prof. Dr. Joachin Melo Azevedo Neto
Universidade de Pernambuco

Prof. Dr. André Luis Assunção de Farias
Universidade Federal do Pará

Prof.^a. Dra. Danielle Mariam Araujo Santos
Universidade do Estado do Amazonas

Prof.^a. Dra. Raquel Marchesan
Universidade Federal do Tocantins

Prof.^a. Dra. Thays Zigante Furlan Ribeiro
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Norbert Fenzl
Universidade Federal do Pará

Prof. Me. Arleson Eduardo Monte Palma Lopes
Universidade Federal do Pará

Profa. Ma. Iná Camila Ramos Favacho de Miranda
Universidade Federal do Pará

Prof.^a. Ma. Ana Lise Costa de Oliveira Santos
Secretaria de Educação do Estado da Bahia

Prof. Me. Diego Vieira Ramos
Centro Universitário Inga

Prof. Dr. Janaildo Soares de Sousa
Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Mário Henrique Gomes
Centro de Estudos das Migrações e das Relações Interculturais, Portugal

Prof.^a. Dra. Maria da Luz Ferreira Barros
Universidade de Evora, Portugal

Prof^a. Ma. Eliaidina Wagner da Silva
Caixa de Assistência dos Advogados da OAB-ES

Prof^a. Ma. Maria José Coelho dos Santos
Prefeitura Municipal de Serra

Prof^a. Tais Muller
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Me. Eduardo Cesar Amancio
Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba

Prof^a. Dra. Janine Nicolosi Corrêa
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Dra. Tatiana Maria Cecy Gadda
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a. Gabriela da Costa Bonetti
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Me. Thales do Rosário De Oliveira
Universidade de Brasília

Prof^a. Dra. Maisa Sales Gama Tobias
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Pedro Igor Dias Lameira
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Dra. Geuciane Felipe Guerim Fernandes
Universidade Estadual do Norte do Paraná

Prof. Me. Teonis Batista da Silva
Universidade do Estado da Bahia

Prof^a. Ma. Aline Maria Gonzaga Ruas
Universidade Estadual de Montes Claros

Prof^a. Dra. Alessandra Knoll
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

Prof^a. Ma. Carla Cristina Sordi
Universidade Estadual do Ceará

Prof^a. Dra. Caroline Lourenço de Almeida
Fundação Educacional do Município de Assis

Prof^a. Dra. Rosângela Gonçalves da Silva
Fundação Educacional do Município de Assis

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Universidade Federal da Grande Dourados

Prof. Dr. Leonardo de Carvalho Vidal
Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof^a. Dra. Mônica Aparecida Bortolotti
Universidade Estadual do Centro Oeste do Paraná

Prof^a. Dra. Lucieny Almohalha
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Esp. Layane Caroline Silva Lima Braun
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Ma. Michelle Cristina Boaventura França
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Fernando da Silva Cardoso
Universidade de Pernambuco

Prof. Me. Hugo José Coelho Corrêa de Azevedo
Fundação Oswaldo Cruz

Prof^a. Ma. Leticia Keroly Bezerra Alexandrino
Universidade de Fortaleza

Prof. Dr. Luiz Gonzaga Lapa Junior
Universidade de Brasília

Prof^a. Ma. Martha Luiza Costa Vieira
Universidade Federal do Pará

Prof^a. Dra. Vânia Maria Arantes
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Prof. Me. Paulo Roberto Serpa
Universidade do Vale do Itajaí

Prof. Dr. Hercules de Oliveira Carmo
Faculdade de Educação de Guaratinguetá

Prof^a. Dra. Caroline Nóbrega de Almeida
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof^a. Ma. Camila Tâmires Alves Oliveira
Universidade Federal Rural do Semiárido

Prof. Me. Francisco Lidiano Guimarães Oliveira
Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Mauro José de Deus Moraes
Universidade Federal do Acre

Prof^a. Ma. Terezinha Maria Bogéa Gusmão
Instituto Histórico e Geográfico de Arari

Prof. Dr. Felipe Vitório Ribeiro
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

O conhecimento das respostas das plantas em função do manejo fisiológico e nutricional é fundamental para tomadas de decisões assertivas e eficientes com o intuito de um bom posicionamento agrícola e silvicultural. Assim, esta obra constituiu-se a partir de um processo colaborativo entre professores, estudantes e pesquisadores que se destacaram e qualificaram as discussões abordando trabalhos nas temáticas de fungos micorrízicos em plantas hortícolas, atividades e experiências do grupo de estudos em ecofisiologia de plantas, modelos empíricos de crescimento e produtividade de milho com doses de nitrogênio, análise do mercado de fertilizantes no Brasil, avanços no sistema produtivo da mangueira fora de época, cultivo de coentro em diferentes sistemas hidropônicos e abordagens práticas para o manejo fisiológico e nutricional de canaviais.

Essas informações poderão subsidiar adoção de práticas no campo baseando no manejo fisiológico e nutricional para implantação de pomares comerciais, recuperação de ambientes degradados, sistemas agroflorestais e sistemas agrícolas sustentáveis.

Agradecemos aos autores pelo empenho, disponibilidade e dedicação para o desenvolvimento e conclusão dessa obra. Esperamos também que esta obra sirva de instrumento didático-pedagógico para estudantes de graduação e pós-graduação, professores dos diversos níveis de ensino, pesquisadores, produtores rurais e instituições públicas e privadas de assistência técnica e extensão rural em seus trabalhos e demais interessados pela temática.

Boa leitura!!!

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

Capítulo 01

Análise do mercado de fertilizantes no Brasil no período de 2016 a 2020

Moacir José Teixeira

doi 10.37885/230212048.....11

Capítulo 02

Maximizando a produção de canaviais brasileiros: uma abordagem prática para implantação e manejo nutricional

Anderson dos Santos Dias; Cleberton Correia Santos

doi 10.37885/230312558.....29

Capítulo 03

Modelos empíricos de crescimento e produtividade de milho irrigado com doses de nitrogênio

Wemerson Saulo da Silva Barbosa; Guilherme Bastos Lyra; José Leonaldo de Souza; Iêdo Teodoro; Ricardo Araújo Ferreira Junior

doi 10.37885/230212192.....62

Capítulo 04

Alterações morfofisiológicas promovidas pela micorriza arbuscular em plantas hortícolas: uma revisão integrativa

Fabiola Stockmans de Nardi; José Luís Trevizan Chiomento; Rosiani Castoldi da Costa; Nicolas dos Santos Trentin; Thomas dos Santos Trentin; Giuseppina Pace Pereira Lima; Eunice Oliveira Calvete

doi 10.37885/230212152.....79

Capítulo 05

Avanços no sistema produtivo da mangueira em São Paulo objetivando a produção fora de época – estudo de caso

Gilberto José Nogueira e Silva; Ítalo Herbert Lucena Cavalcante; Raí Nascimento do Carmo; João Henrique Barbosa da Silva; Luis Carlos Giroto de Almeida; Paul Bergman

doi 10.37885/230312358.....96

Capítulo 06

Atividades e experiências do grupo de estudos em ecofisiologia de plantas da UFGD

Cleberton Correia Santos; Silvana de Paula Quintão Scalon; Juliana Milene Silverio; Jéssica Aline Linné; Diego Pereira; Rian Alex Lopes Janse; Victor Stein Proence; José Ricardo Palácio Caldeira Dias

doi 10.37885/230312559.....105

Capítulo 07**Relato de experiência: cultivo de coentro em diferentes sistemas hidroponicos**

Nayane Cristina Figueredo de Carvalho Souza; Luciana da Silva Borges; Rhaiana Oliveira de Aviz; Luana Keslley Nascimento Casais

doi 10.37885/230312324 120**SOBRE O ORGANIZADOR** 134**ÍNDICE REMISSIVO** 135

Análise do mercado de fertilizantes no Brasil no período de 2016 a 2020

| Moacir José Teixeira

RESUMO

Objetivo: Analisar o comportamento do mercado brasileiro de fertilizantes no período de 2016 a 2020, com relação aos volumes totais produzidos e consumidos internamente, importados e exportados, bem como as variações dos preços no mercado internacional e os seus impactos no preço final dos produtos agrícolas brasileiros. **Método:** Foi realizada uma pesquisa explicativa, bibliográfica e documental, utilizando-se de boletins técnicos e dados oficiais do comércio exterior brasileiro, elaborados pelo Comex Stat, sobre o tema em questão. **Resultados:** Cerca de 80% do fertilizante consumido no país é proveniente do exterior e, do total produzido no país, pouco mais de 5% é exportado para países vizinhos. No período, houve redução nos preços internacionais e, conseqüentemente, aumento das importações brasileiras, embora o consumo interno também tenha registrado queda superior a 10%. Porém, os impactos desta redução nos preços internacionais somente terão efeitos nos preços dos produtos agrícolas a partir das próximas safras. **Conclusão:** É preciso estimular a produção interna de fertilizantes por meio de incentivos à indústria nacional e à instalação de empresas estrangeiras no país, haja vista a importância deste insumo para o agronegócio brasileiro que, além de produzir alimentos para o mundo, gera empregos e renda para as pessoas, contribuindo diretamente para a economia local e fortalecendo a balança comercial do país.

Palavras-chave: Fertilizantes, Importação e Exportação, Produção e Consumo Interno, Preços Internacionais.

■ INTRODUÇÃO

Nos últimos 25 anos, o Brasil se tornou um dos maiores produtores e exportadores mundiais de *commodities* agrícolas, atrás apenas dos Estados Unidos e da União Europeia, com destaque para as culturas de soja, milho e algodão, além de açúcar, derivados de soja, suco de laranja e carnes bovina, suína e de aves (AVISITE, 2020).

A grande disponibilidade de terras agriculturáveis e de recursos hídricos para irrigação nas diversas regiões do país, aliada às novas tecnologias em máquinas, equipamentos e insumos tem proporcionado considerável redução de custos e aumento da produtividade agrícola brasileira, aumentando a competitividade dos nossos produtos e transformado o país num grande competidor mundial no segmento de alimentos.

O agronegócio, considerando todas as atividades envolvidas, é de grande importância para a economia brasileira. De acordo com o Instituto de Engenharia (2018), o setor contribui com, aproximadamente, 22% do Produto Interno Bruto - PIB do país, incluindo a produção agropecuária, a agroindústria (máquinas, equipamentos, insumos diversos e processamento de matérias-primas) e os agrosserviços (comercialização, logística, financiamentos e tecnologias).

Na tabela 1 são mostrados os principais produtos do agronegócio brasileiro, a posição do país na produção e na exportação, e sua respectiva participação no comércio internacional.

Tabela 1. Importância do agronegócio brasileiro em nível mundial.

Principais produtos	Produção	Exportação	Participação no comércio internacional (exportações)
Açúcar	1º	1º	48%
Café	1º	1º	27%
Suco de laranja	1º	1º	76%
Soja em grãos	2º	1º	43%
Carne de frango	2º	1º	42%
Carne bovina	2º	1º	20%
Milho	3º	2º	20%
Algodão	5º	4º	8%
Carne suína	4º	4º	11%

Fonte: Adaptado de Instituto de Engenharia (2018).

O agronegócio brasileiro tem uma importância em nível global, e coloca o país como o terceiro maior produtor mundial, com destaque para as exportações de *commodities* agrícolas e proteína animal. As projeções da ONU apontam para o Brasil como a grande reserva de fornecimento de alimentos para o planeta, principalmente tendo como horizonte 2050, quando a população mundial terá atingido cerca de 9,3 bilhões de pessoas (A GRANJA, 2016).

Neste cenário, os fertilizantes desempenham um importante papel na produção mundial de alimentos, pois, sem eles, o mundo produziria apenas a metade dos alimentos básicos, e mais áreas de florestas seriam convertidas em áreas para plantio (REETZ JR, 2017).

De acordo com Maciel e Tunes (2021), o protagonismo dos fertilizantes se deve pelo fato de as plantas necessitarem de vários tipos de nutrientes para crescerem de forma saudável e, nem sempre esses nutrientes estão presentes no solo em quantidade e/ou na concentração adequada. Deste modo, os fertilizantes, produzidos de forma balanceada supre essas deficiências nutricionais das plantas.

No entanto, esse insumo largamente utilizado e diretamente responsável pelos recordes de produtividade do agronegócio brasileiro, depende das importações, já que a produção interna não supre as necessidades. Desta forma, o alto volume importado, somado à valorização do Dólar frente ao Real, entre outros aspectos, impacta diretamente os custos internos de produção e reduz a competitividade dos produtos brasileiros no exterior. Durante a pandemia devido ao COVID 19 muitas empresas fecharam e os preços de fertilizantes minerais aumentaram de maneira geral.

Diante do exposto, o presente artigo tem por objetivo analisar o comportamento do mercado de fertilizantes no Brasil nos últimos cinco anos – de 2016 a 2020 –, comparando os respectivos volumes utilizados, produzidos internamente, importados e exportados, bem como a variação dos preços no período e o impacto no preço final dos produtos agrícolas brasileiros.

■ EMBASAMENTO TEÓRICO

Adubos e Fertilizantes

Adubo ou fertilizante é todo material orgânico ou organomineral que contenha um ou mais nutrientes que, aplicado no solo, proporciona o crescimento e desenvolvimento das plantas e contribui para o aumento das colheitas (SILVA; LOPES, 2012). Na legislação brasileira (Decreto nº 86.955/1.982), os fertilizantes estão definidos como substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, que fornecem um ou mais nutrientes às plantas e repõem ao solo os elementos retirados em cada colheita, visando manter ou ampliar o potencial produtivo e aumentar a produtividade agrícola (BRASIL, 1982; ANDRADE *et al.*, 1995; A GRANJA, 2016).

De acordo com Isherwood (2000), os fertilizantes, além de promover o aumento de produtividade agrícola, protegem e preservam as florestas e matas nativas, bem como a fauna e a flora. Desta forma, a utilização adequada de fertilizantes é indispensável na luta mundial de combate à fome e à subnutrição. Para Ogino *et al.* (2021), os fertilizantes

minerais estão entre os insumos de maior contribuição para o aumento da produtividade agrícola no Brasil. Porém, a dependência de recursos naturais escassos e o uso extensivo de energia para a sua síntese faz com que a agricultura seja sensível às variações de oferta e demanda deste insumo.

Para Dias e Fernandes (2006), os fertilizantes têm como fontes de matérias-primas, produtos oriundos da petroquímica e da mineração, destacando a importância dos fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, que constituem a mistura NPK. Os autores acrescentam que os fertilizantes podem ser de origem mineral, orgânica ou organomineral.

Os fertilizantes minerais são produtos de natureza natural ou sintética, obtidos por processo físico ou químico, e que fornecem um ou mais nutrientes às plantas (ISHERWOOD, 2000; DIAS; FERNANDES, 2006). Podem ser simples, quando formados por um ou mais nutrientes; mistos, quando houver mistura de dois ou mais fertilizantes simples (BRASIL, 1982); ou complexos, quando houver a reação química de seus componentes, e contendo dois ou mais nutrientes (SILVA; LOPES, 2012).

Os fertilizantes orgânicos são obtidos por processo físico, químico, ou bioquímico, natural ou controlado, com matérias-primas de origem industrial, vegetal ou animal, e que contenham ou não nutrientes minerais (BRASIL, 1982; DIAS; FERNANDES, 2006). Podem ser simples, quando formados por um ou mais nutrientes; mistos, quando houver mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, com um ou mais nutrientes; ou compostos, se enriquecidos de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente que melhore suas características físicas, químicas ou biológicas (BRASIL, 1982).

Já os fertilizantes organominerais são produtos compostos, resultantes da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (BRASIL, 1982; DIAS; FERNANDES, 2006). Os principais são os lodos de esgoto, obtidos pelo tratamento de esgotos sanitários; os vermicompostos, obtidos da digestão de esterco, restos vegetais e resíduos orgânicos pelas minhocas; e os compostos de lixo, obtidos pela separação e compostagem de resíduos sólidos domiciliares, resultando em produtos de utilização segura na agricultura (BRASIL, 1982). Vieira, Cunha e Souza (2021) acrescentam que, em razão da dependência da importação dos fertilizantes minerais, a utilização desses fertilizantes no país tem aumentado consideravelmente, em especial quando inoculados com bactérias, o que possibilita um melhor aproveitamento dos nutrientes contidos nos subprodutos, aumento do teor de matéria orgânica, maior crescimento radicular e melhores condições físicas, químicas e biológicas do solo. Além disso, a associação com as bactérias do gênero *Bacillus aryabhattai*, atenuam os efeitos do estresse hídrico, além de propiciar maior promoção do crescimento de espécies vegetais (EMBRAPA, 2017).

Andrade *et al.* (1995) citam os elementos indispensáveis ao bom desenvolvimento das plantas, e que devem estar presentes nos solos. Estes elementos são classificados em dois grupos: **i) Macronutrientes:** Carbono (C), Hidrogênio (H), Oxigênio (O), Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S); e **ii) Micronutrientes:** Boro (B), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Cloro (Cl), Molibdênio (Mo), Sódio (Na), Níquel (Ni), Silício (Si) e Cobalto (Co) (DIAS; FERNANDES, 2006; REETZ JR., 2017). Nitrogênio, Fósforo e Potássio são mais importantes, originando a classificação usual dos fertilizantes em: nitrogenados, fosfatados e potássicos (ANDRADE *et al.*, 1995).

Consumo de fertilizantes no Brasil

Conforme Oliveira, Malagolli e Cella (2019), a utilização de fertilizantes minerais na agricultura surgiu na Europa, no século XIX, se intensificou no início do século XX, nos países industrializados, e se consolidou após a II Guerra Mundial. Foi amplamente difundido nos países em desenvolvimento com a Revolução Verde, a partir de 1960, juntamente com a seleção de variedades de maior produtividade e das práticas de irrigação e drenagem do solo.

A demanda atual por fertilizantes no mundo é superior a 180 milhões de toneladas, sendo o Nitrogênio o nutriente mais consumido na agricultura, liderada pela China, Índia, Estados Unidos e Brasil. O Brasil, potência agrícola mundial, devido à disponibilidade de água e terras cultiváveis, é o segundo maior consumidor de Potássio, o terceiro de Fósforo e quarto de Nitrogênio (OLIVEIRA; MALAGOLLI; CELLA, 2019). O país é o quarto consumidor de fertilizantes, com 7%, atrás da China, dos Estados Unidos e da Índia (SAAB; PAULA, 2008), consumo concentrado nas culturas de soja, milho, cana-de-açúcar e café (FERTILIZANTES HERINGER, 2021). Apesar do alto consumo no Brasil, houve redução na produção interna de fertilizantes nos últimos dez anos e, por consequência, aumento nas importações no período (OLIVEIRA; MALAGOLLI; CELLA, 2019). Com o aumento da demanda interna, o país importou, nas últimas décadas, cerca de 70% do Nitrogênio, 50% do Fósforo e mais de 90% do Potássio consumido, tornando a agricultura brasileira dependente destes insumos e exposta às variações de preço e às condições de oferta do mercado externo (OGINO *et al.*, 2021).

Mais de 85% dos fertilizantes usados no Brasil são importados, e essa alta dependência das importações impacta diretamente a competitividade do agronegócio brasileiro, aumenta a vulnerabilidade do país às variações nos preços internacionais, taxa de câmbio, custo dos fretes e problemas logísticos internos. No entanto, mesmo com as altas do dólar frente ao real, o que encarece as importações, os preços estão mais competitivos, pois houve aumento na produção mundial de fertilizantes acima da demanda.

A demanda de fertilizantes no Brasil se concentra no segundo semestre (quadro 1), enquanto outros países concentram no primeiro semestre em razão do calendário agrícola, o que possibilita algum poder de barganha (FERTILIZANTES HERINGER, 2021).

Quadro 1. Concentração da utilização de fertilizantes no Brasil.

Culturas	40%						60%							
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
Algodão	1										1	1	1	1
							2	2	2	2	2			
Café	3	3	3	3	3	3								
							2	2	2	2	2	2	2	2
Cana de açúcar	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Milho	1	1	1	1	1	1								
		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Soja														
				2	2	2	2	2	2					

1 = Plantio 2 = Colheita 3 = Plantio/Cobertura

Fonte: Adaptado de Fertilizantes Heringer (2021).

Conforme mostrado no quadro, na agricultura brasileira, 60% dos fertilizantes são consumidos no segundo semestre, por ocasião das épocas específicas de plantio das principais culturas de valor comercial no país, entre elas, o algodão, a cana de açúcar, o milho e a soja. Segundo Câmara (2006), isto se deve ao ciclo natural de cada cultura, aliado à maior demanda de energia e aos estádios fenológicos, que compreendem as fases de crescimento e desenvolvimento das plantas: germinação, emergência, crescimento da parte aérea e das raízes, florescimento, frutificação e maturação.

O principal nutriente consumido no Brasil é o Potássio, com 38%, seguido por Fósforo, com 33%, e Nitrogênio, com 29% do consumo total de fertilizantes, sendo que soja, milho e cana-de-açúcar respondem por mais de 73% desse consumo no país (BRASIL, 2021).

Conforme Reetz Jr. (2017), existem formas de tornar os fertilizantes mais eficientes, dentre as quais: i) Redução da liberação dos nutrientes, inibindo a conversão para formas menos estáveis nos solos, ou aumentando a disponibilidade dos nutrientes para as plantas; ou ii) Desenvolvimento de uma combinação química capaz de aumentar a absorção do nutriente, através de inibidores da nitrificação e da urease, ou de outros produtos químicos usados para parar, ou diminuir as rotas que são reguladas por bactérias do solo.

O consumo nacional depende, principalmente, da renda obtida pelos agricultores, do preço relativo dos fertilizantes (relação de troca), política agrícola (crédito de custeio, preços mínimos etc.), expectativa de preços futuros no mercado internacional e evolução da tecnologia agrícola (BRASIL, 2020). Esses fatores têm impacto direto no consumo de fertilizantes,

já que o preço final do produto para o agricultor é fortemente afetado pelos tributos internos, em especial, ICMS, PIS e COFINS, das taxas e tributos incidentes na importação, AFRMM¹ e Imposto de Importação, além da indexação do preço à variação cambial do dólar americano. Essa alta dependência das importações contribui para que a produção agrícola brasileira fique dependente das oscilações dos preços dos fertilizantes no mercado internacional (OGINO; VIEIRA FILHO, 2022).

Isso ocorre pelo fato de os fertilizantes serem enquadrados como *commodities*², cujos preços são determinados pelo mercado internacional e dependem de outras variáveis, tais como, custo da matéria-prima, custo do transporte marítimo, custos portuários, tributos e custo do frete interno até os centros de produção (COSTA; OLIVEIRA E SILVA, 2012).

Processo produtivo

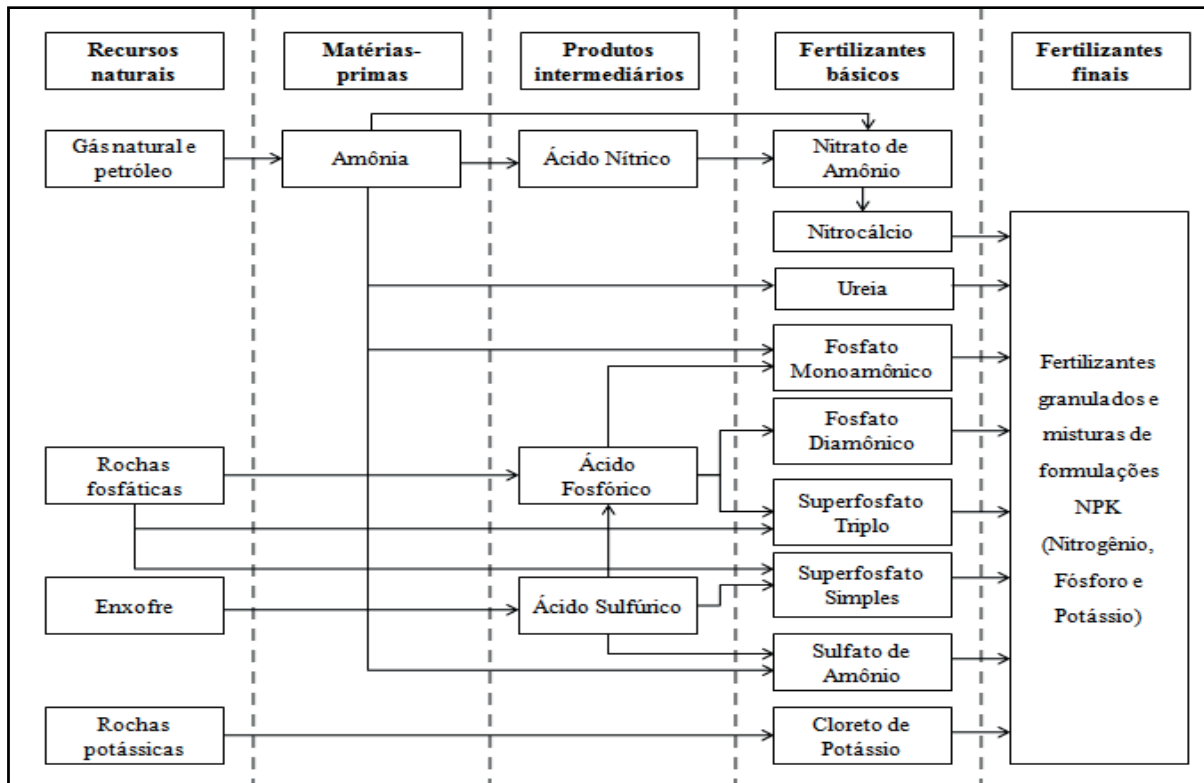
Os elementos mais comuns presentes nos fertilizantes são o Nitrogênio, o Fósforo e o Potássio, daí a fórmula básica dos fertilizantes, NPK, que indica os teores percentuais de Nitrogênio (N); de fósforo, na forma de Pentóxido de Fósforo (P_2O_5) e de potássio, na forma de Óxido de Potássio (K_2O) (DIAS; FERNANDES, 2006; SILVA; LOPES, 2012).

A maior parte dos fertilizantes é produzida a partir de matérias-primas naturais que contêm minerais explorados ou extraídos em várias localidades. Uma exceção é o Nitrogênio, produzido por meio da combinação do N_2 do ar com gás natural, carvão ou nafta, para formar a amônia anidra, que pode ser usada diretamente como fertilizante, ou convertida em outras formas de fertilizantes nitrogenados (REETZ JR., 2017). O processo produtivo consiste na mistura de macronutrientes, com ou sem micronutrientes ou aditivos, conforme a formulação indicada para a cultura ou necessidade do solo. A unidade misturadora é a última fase da cadeia produtiva, onde ocorre a mistura dos fertilizantes básicos com os micronutrientes, resultando na formulação NPK final do fertilizante (FERTILIZANTES HERINGER, 2021). Na figura 1, apresenta-se a complexa cadeia produtiva dos fertilizantes minerais, desde a extração da matéria-prima até a composição das formulações mais utilizadas na agricultura.

¹ Adicional ao Frete para a Renovação da Marinha Mercante.

² Mercadorias em estado bruto ou produto básico de grande importância no comércio internacional, cujo preço é controlado pelas bolsas internacionais, como café, petróleo, fertilizantes, soja, algodão etc.

Figura 1. Cadeia produtiva dos fertilizantes minerais.



Fonte: Adaptado de Andrade *et al.* (1995); Reetz Jr. (2017); Fertilizantes Heringer (2021).

A cadeia produtiva do fertilizante se inicia na exploração dos recursos naturais e segue até as misturas de fertilizantes prontos para a agricultura (ANDRADE *et al.*, 1995). Para Saab e Paula (2008), ela é composta de seis elos: i) o setor extrativo mineral; ii) o setor de matérias-primas intermediárias; iii) a indústria de fertilizantes simples; iv) a indústria de fertilizantes mistos e granulados; v) o setor de distribuição (atacado e varejo); e vi) o produtor rural. O setor extrativista fornece as matérias-primas básicas: gás natural, resíduos de petróleo, nafta, rochas fosfáticas e potássicas e enxofre, dos quais se obtêm matérias-primas intermediárias: ácido sulfúrico, ácido fosfórico, amônia anidra e fertilizantes simples. Destes, resultam os fertilizantes básicos: nitrocálcio, ureia, fosfatos monoamônico e diamônico, superfosfatos simples e triplo, sulfato de amônio e cloreto de potássio. Por fim, originam-se os fertilizantes granulados, bem como as misturas de formulação NPK (DIAS; FERNANDES, 2006).

Ao final do processo, os fertilizantes são apresentados para consumo em grãos, em pó, misturados ou não. A mistura consiste em reunir insumos na formulação NPK desejada. Para Dias e Fernandes (2006), os produtos resultam da mistura de produtos originários das rochas nitrogenada, fosfatada e potássica, e se apresentam em grânulos únicos da mistura dos nutrientes NPK ou misturas dos granulados individuais de N, P e K.

Custos de produção e transporte

De acordo com dados da GlobalFert (2021), os custos de produção dos fertilizantes no Brasil são fortemente impactados pela variação do Dólar, já que a maioria das matérias-primas é importada, e influenciada pela alta dos preços mundiais do petróleo, carvão, enxofre e gás natural. Além disso, restrições regulatórias e ambientais à atividade de mineração, preço do frete rodoviário, desperdícios no transporte e a alta carga tributária, entre outros fatores, contribuem para elevar os custos de produção no país (BRASIL, 2020), reduzindo os investimentos privados no setor, desestimulando a produção interna, e aumentando as desvantagens do produto nacional em relação aos importados.

O cenário logístico também contribui para elevar os custos, aumentando os preços do frete marítimo por conta da falta de containers, o que compromete o embarque de cargas e causa atrasos nos portos, além da alta do petróleo e da alta demanda de exportação pela China (GLOBALFERT, 2021). No Brasil, além do desperdício de cerca de 40% no uso de fertilizantes, outro fator que afeta diretamente o custo do produto é a logística interna. O Mato Grosso, por exemplo, estado que mais consome fertilizantes no país, não produz o insumo, e possui uma infraestrutura de transporte inadequada. Além disso, também há problemas de infraestrutura logística de distribuição do produto em outros estados, como Tocantins, Maranhão, Piauí e Pará, as novas fronteiras agrícolas do país (BRASIL, 2020).

Para Pereira, Oliveira e Leal Júnior (2016), o transporte é uma das mais importantes atividades no planejamento de uma rede logística, devido ao impacto das decisões sobre a lucratividade das empresas, pois representa cerca de 60% dos custos logísticos no Brasil. Os autores acrescentam que o transporte é um elo essencial que movimenta o produto entre as empresas fabricantes e o mercado, e tem papel crucial na logística de distribuição, já que os produtos raramente são fabricados e consumidos no mesmo local.

Da mesma forma, de acordo com informações do Valor Econômico (2022), os preços do frete marítimo têm apresentado alta nos últimos meses, com tendência de permanecer em alta, devido ao aumento dos preços do barril de petróleo, que tem impacto no preço do combustível, e pela redução das rotas e navios disponíveis, principalmente na região do Mar Negro.

■ MÉTODO

Gil (2008) define pesquisa como um processo formal e sistemático, cujo objetivo é descobrir respostas para problemas com o uso de procedimentos científicos. Toda pesquisa supõe uma conjunção de teoria e averiguação de fatos particulares (ALYRIO, 2009).

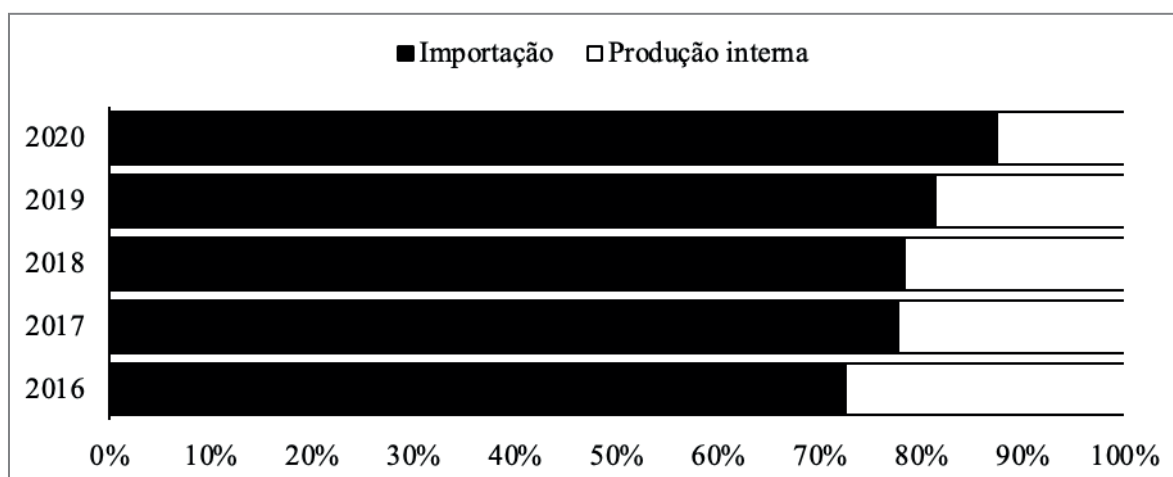
O presente trabalho trata-se de uma pesquisa básica, explicativa e qualitativa, que visa identificar os fatores que contribuem para a ocorrência de fenômenos (GIL, 2008). Neste caso, a análise do mercado brasileiro de adubos e fertilizantes nos últimos cinco anos, de 2016 a 2020, abrangendo, em especial, o volume produzido e utilizado internamente, bem como as importações, exportações e a variação dos preços neste período. Como procedimento técnico, utilizou-se as pesquisas bibliográfica e documental que, segundo Gil (2008) e Zanella (2011), são desenvolvidas a partir de materiais já divulgados: artigos e boletins da Associação Nacional para Difusão de Adubos – ANDA e dados secundários das estatísticas oficiais do comércio exterior brasileiro de 2016 a 2020, elaboradas pelo Comex Stat/MDIC. Esses dados apresentam os volumes (ton.) e valores (US\$ FOB) das importações e exportações brasileiras de fertilizantes, capítulo 31 da Nomenclatura Comum do Mercosul – NCM e as posições:

- I. 3101 (Fertilizantes orgânicos ou organominerais);
- II. 3012 (Fertilizantes minerais nitrogenados);
- III.3103 (Fertilizantes minerais fosfatados);
- IV.3104 (Fertilizantes minerais potássicos); e
- V. 3105 (Fertilizantes minerais com formulações NPK - Nitrogênio, Fósforo e Potássio).

■ RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo dados do Comex Stat (2021), os fertilizantes estão entre os dez principais produtos importados pelo Brasil nos últimos anos. Isso se deve, entre outros fatores, à baixa capacidade produtiva da indústria nacional, que tem reduzido consideravelmente a produção interna, conforme mostrado na figura 2.

Figura 2. Importação x Produção interna de fertilizantes no Brasil, em %.



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da ANDA (2021) e Comex Stat (2021).

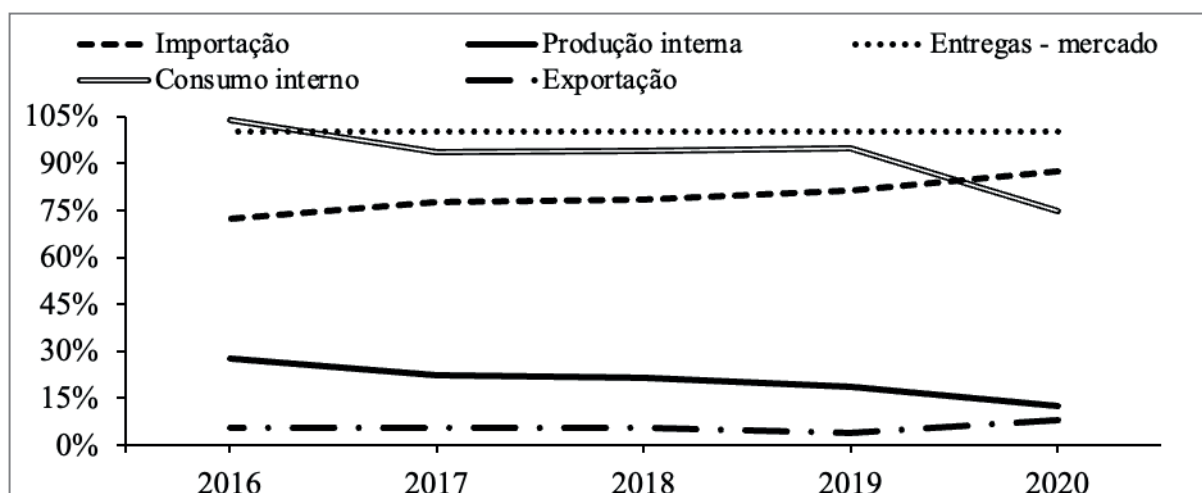
De acordo com informações da ANDA (2021), a indústria nacional de fertilizantes tem reduzido a produção interna nos últimos dez anos, incluindo os cinco anos do presente estudo, conforme se observa na figura acima; em 2016, a produção interna representava 27,5% e, em 2020, apenas 12,6%. Portanto, no período houve um decréscimo na produção nacional de 45,3%, enquanto nas importações houve um acréscimo de 43,8%, o que comprova a dependência do Brasil em relação aos fertilizantes importados.

Conforme já citado, isso se deve principalmente ao alto custo da produção interna, estimulado pela falta de incentivos e de investimentos públicos e privados no setor, na aquisição de novos equipamentos e tecnologias, e na exploração de matéria-prima em solo brasileiro, aumentando ainda mais a dependência dos insumos e produtos importados e reduzindo a competitividade do produto nacional com relação aos importados.

Além disso, a importação de insumos derivados do petróleo aliada à alta nos preços do barril no mercado internacional, à valorização do Dólar, ao aumento do preço do frete marítimo, à incidência de tributos e ineficiência logística interna contribuem diretamente para alavancar os custos de produção e desestimulam novos investimentos no setor. O escoamento interno do produto, concentrado no modal rodoviário, também impacta de forma direta no aumento dos custos logísticos no país e, conseqüentemente, no preço pago pelo produtor rural e no preço final dos produtos agrícolas. Nesse sentido, a expansão da malha ferroviária pode ser considerada uma alternativa viável para reduzir os custos logísticos totais com transporte, distribuição e produção interna.

Na figura 3 é mostrada uma comparação percentual entre os volumes (peso total) dos fertilizantes importados, produzidos internamente, entregues no mercado, consumidos e exportados.

Figura 3. Resumo do mercado de fertilizantes no Brasil, em participação percentual.



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da ANDA (2021) e Comex Stat (2021).

Conforme comentado anteriormente, é visível a queda acentuada na produção interna e o consequente aumento nas importações; percebe-se também, uma redução no consumo interno no período, de 13,8%. Em 2020, quando comparado a 2019, a redução foi de 19%. Por outro lado, as exportações brasileiras de fertilizantes, ainda pouco representativas na balança comercial do país, reduziram em volume e fecharam 2020 com 8% da produção interna. A redução no consumo interno se deve, principalmente, ao aumento dos preços do produto e, também, pela maior eficiência do uso, o que aumenta a assimilação dos nutrientes pelas plantas e reduz desperdícios.

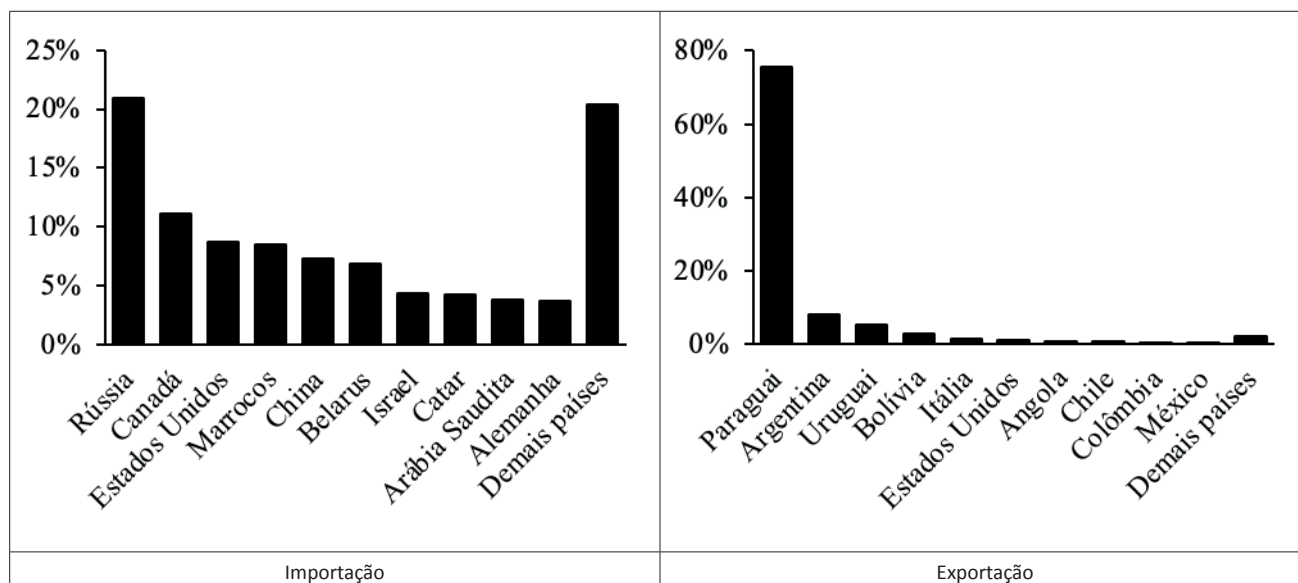
Com relação às exportações brasileiras, embora haja potencial de crescimento, em especial para países vizinhos, o baixo volume das operações se deve à baixa capacidade de produção interna, que já é insuficiente para atender a demanda do mercado doméstico.

Em 2020, o Brasil consumiu aproximadamente 40 milhões de toneladas de fertilizantes NPK, sendo 32% na região Centro-Oeste, 31% na região Sudeste, 25% na região Sul e 12% nas regiões Norte e Nordeste (BRASIL, 2021).

De acordo com o Plano Nacional de Fertilizantes 2050, a previsão é que, até 2030, a demanda interna total de fertilizantes seja atendida pela indústria nacional, considerando a capacidade de produção existente no país, além da possibilidade de instalação de até cinco novas fábricas de grande porte, o que contribuirá para reduzir as importações desses produtos (BRASIL, 2021). Para isso, a meta é aumentar a produção interna Nitrogênio, P_2O_5 , K_2O , fertilizantes orgânicos e organominerais, estimulando a exploração de rochas fosfáticas, aproveitamento dos resíduos da indústria de refino de óleo e gás, e dos resíduos sólidos e subprodutos com potencial de uso agrícola.

Na figura 4 são mostrados os principais países de origem dos fertilizantes importados e de destino dos fertilizantes exportados pelo Brasil, em percentuais do valor total.

Figura 4. Principais origens das importações e destinos das exportações brasileiras de fertilizantes em 2020, em % (US\$ FOB).

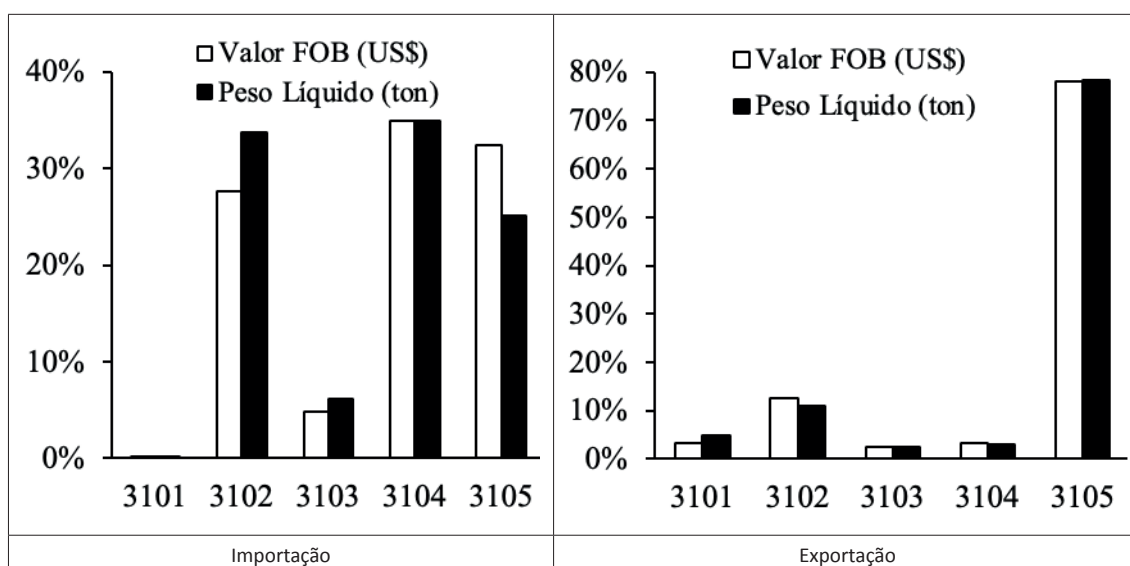


Fonte: Elaborado pelo autor, com dados do Comex Stat (2021).

No período de estudo, o Brasil importou fertilizantes de 85 países, com destaque para a Rússia, com quase 21% do valor total. No mesmo período, o país exportou o produto para 81 países, sendo que os países sul-americanos representaram mais de 93% do valor total, com destaque para o Paraguai, com 75,8% do valor total, devido, entre outros fatores, à proximidade geográfica e aos acordos comerciais existentes no âmbito do Mercosul.

Na figura 5 são mostrados os respectivos valores, em US\$ FOB, e volumes (peso), em toneladas, importados e exportados, dos cinco principais tipos de fertilizantes, no período analisado.

Figura 5. Valores e volumes importados e exportados dos diferentes tipos de fertilizantes.

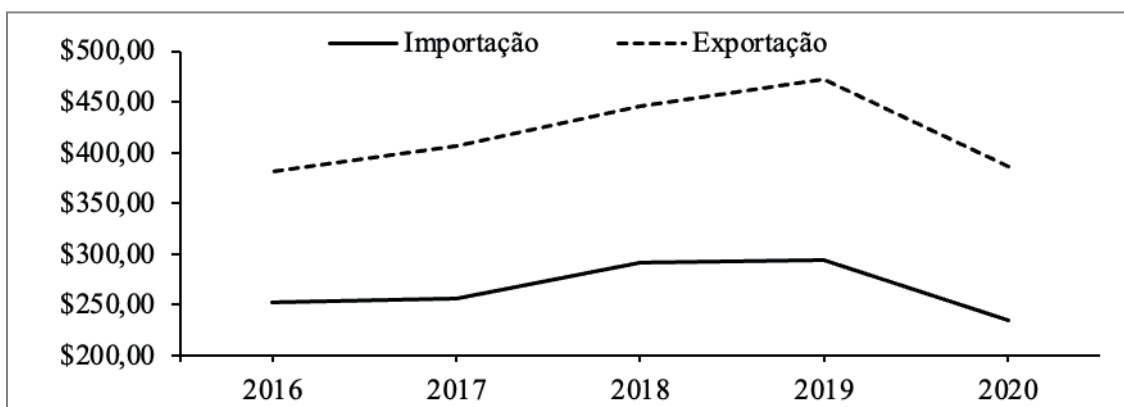


Fonte: Elaborado pelo autor, com dados do Comex Stat (2021).

No período analisado, os fertilizantes mais importados pelo Brasil, em termos de valor e peso, foram os potássicos (3104), as formulações NPK (3105) e os nitrogenados (3102), respectivamente, que, juntos, representaram 95% do valor total, em US\$ FOB e 93,9% do volume total, em toneladas. Nota-se, com isso, um grande potencial a ser explorado futuramente na exploração de matérias-primas e produção doméstica, conforme descrito no Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (BRASIL, 2021). Com relação às exportações brasileiras, destaque para as formulações NPK (3105), que representaram 78,2% da valor total e 78,5% do volume total, também com grande potencial de expansão futuro..

Por fim, na figura 6 são apresentadas as variações dos preços dos fertilizantes, em US\$ FOB, no período analisado.

Figura 6. Variação dos preços de importação e exportação dos fertilizantes, em US\$ FOB.



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados do Comex Stat (2021).

Os preços de importação e exportação dos fertilizantes apresentaram comportamentos parecidos no período, com quedas acentuadas em 2020 em relação a 2019 de, 20,2% e 18,1%, respectivamente, o que explica, em parte, o aumento das importações brasileiras em 2020 em cerca de 10%.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar o mercado de adubos e fertilizantes no Brasil nos últimos cinco anos (2016 a 2020) e comparar os volumes totais utilizados, produzidos internamente, importados e exportados, bem como a variação dos preços internacionais no período e o impacto no preço final dos produtos agrícolas.

Conforme mencionado ao longo do trabalho, e constatado nos resultados apresentados, a produção da indústria nacional reduziu significativamente no período analisado, fator que reforça a grande dependência do agronegócio brasileiro dos fertilizantes importados. Na média dos cinco anos, o país importou cerca de 80% de todo o fertilizante utilizado internamente, com destaque para os potássicos, as formulações NPK e os nitrogenados.

Isso ocorre, principalmente, por questões legais e ambientais que dificultam a exploração das reservas minerais existentes no país. Rússia, Canadá, Estados Unidos e Marrocos se destacam como os principais fornecedores, respondendo por, praticamente, metade do valor total importado.

Com relação às exportações de fertilizantes, na média do período, apenas 5,7% do volume produzido internamente (em toneladas) foi vendido para o exterior, em especial, para países vizinhos, e parceiros do Mercosul, como o Paraguai, o principal cliente. Outro ponto a ser considerado foi a redução dos preços internacionais em 2020, contrariando a tendência de aumento constatada nos anos anteriores. Com isso, nesse ano as importações brasileiras registraram um aumento de 10% no volume, em comparação ao ano anterior. No entanto, o consumo interno, praticamente estável até 2019, apresentou queda de quase 20% em 2020, em relação ao ano anterior. Uma explicação para isso se deve à maior utilização de tecnologias no campo e à utilização mais racional dos fertilizantes, com base em análises de solo, que proporcionam melhores recomendações de adubação e melhor assimilação pelas plantas.

Com isso, é possível obter maior produtividade por área cultivada, reduzir os custos de produção e manter a competitividade dos produtos do agronegócio brasileiro em nível global. Porém, o agronegócio é altamente dependente de fatores externos, que fogem do controle dos produtores, entre eles, as variações climáticas, essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de questões políticas, econômicas e tecnológicas, entre outros, que impactam, direta ou indiretamente, a produção e produtividade agrícola.

Por fim, constata-se a necessidade de estimular a produção interna de fertilizantes por meio de incentivos à indústria nacional e instalação de empresas estrangeiras no país, haja vista a importância deste setor para o agronegócio brasileiro, que produz alimentos para o mundo, gera emprego e renda para as pessoas, contribui para a economia e fortalece a balança comercial do país.

■ REFERÊNCIAS

A GRANJA. Nutrientes para a vida: o fertilizante reconhecido. **Revista A Granja**, n. 806, p. 38-39, 2016.

ALYRIO, R. D. **Métodos e técnicas de pesquisa em Administração**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009.

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Principais indicadores do setor de fertilizantes**. Disponível em: http://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 9 fev. 2021.

ANDRADE, J. E. P.; KOO PAN, S. S.; DANTAS, C. A. D.; MELO, K. C. A. A indústria de fertilizantes. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 1, p. 94-109, jul. 1995.

AVISITE. **Brasil amplia liderança no ranking mundial de superávits agrícolas**. 2020. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/index.php?page=noticias&id=22129>. Acesso em: 23 fev. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 86.955, de 18 de Fevereiro de 1.982**. Regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1.980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050)**. Brasília: SAE, 2021.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Produção Nacional de Fertilizantes**. Brasília: SAE, 2020.

CÂMARA, G. M. S. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **Visão Agrícola nº 5**, p. 63-66, jan./jun., 2006.

COMEX STAT. **Exportação e importação geral**. Disponível em: Acesso em: 9 fev. 2021.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2017. **Cientistas usam bactérias para ajudar plantas a resistir à seca**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias//noticia/22885691/cientistas-usam-bacterias-para-ajudar-plantas-a-resistir-a-seca>. Acesso em: 27 fev. 2023.

FERTILIZANTES HERINGER. **Mercado brasileiro de fertilizantes**. Disponível em: http://www.mzweb.com.br/heringer/web/conteudo_pti.asp?idioma=0&tipo=66291&conta=45&img=2307&son=66291. Acesso em: 18 fev. 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 2008.

GLOBALFERT. **Outlook GlobalFert 2021**. Disponível em: . Acesso em: 28 fev. 2023.

INSTITUTO DE ENGENHARIA. **Brasil: alimentos para o mundo**. 2018. Disponível em: <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wpcontent/uploads/2018/10/Alimentos.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2021.

ISHERWOOD, K. F. **Mineral fertilizer use and the environment**. International Fertilizer Industry Association. Paris: IFA, 2000.

MACIEL, L. M.; TUNES, L. V. M. A importância dos fertilizantes para a agricultura. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 58647-58658, 2021.

OGINO, C. M.; COSTA JUNIOR, G.; POPOVA, N. D.; MARTINES FILHO, J. G. Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o centro-oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 1, p. 1-19, 2021.

OGINO, C. M.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Preços de fertilizantes impactando a produção agrícola brasileira. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental – IPEA**, n. 27, p. 151-154, jan.-jun. 2022.

- OLIVEIRA, M. P.; MALAGOLLI, G. A.; CELLA, D. Mercado de fertilizantes: dependência de importações do Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 489-498, 2019.
- PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, M. A.; LEAL JÚNIOR, I. C. Custo de transporte e alocação da demanda: análise da rede logística de uma produtora brasileira de fertilizantes nitrogenados. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 4, p. 5-9, 2016.
- REETZ JR., H. F. **Fertilizantes e o seu uso eficiente**. São Paulo: ANDA, 2017.
- SAAB, A. A.; PAULA, R. A. O mercado de fertilizantes no Brasil Diagnósticos e propostas de políticas. **Revista de Política Agrícola**, ano XVII, n. 2, abr./mai./jun. 2008.
- SILVA, D. R. G.; LOPES, A. S. **Princípios básicos para formulação e mistura de fertilizantes**. Boletim Técnico nº 89, p. 1-46, UFLA - Universidade Federal de Lavras, 2012.
- VALOR ECONÔMICO. **Frete para importar fertilizante da Europa sobe até 20%**. Agronegócio, 24/03/2022. Disponível em: <https://valor.globo.com/agronegocios/noticia/2022/03/24/frete-para-importar-fertilizante-da-europa-sobe-ate-20percent.ghtml>. Acesso em: 28 fev. 2023.
- VIEIRA, M. L.; CUNHA, A. J.; SOUZA, D. S. Organomineral associado a *Bacillus aryabhatai* como atenuador do déficit hídrico em mudas de café. **Revista Vitae - Educação, Saúde & Meio Ambiente**, v. 1, n. 9, p. 319-328, 2021.
- ZANELLA, L. C. H. **Metodologia de pesquisa**. Florianópolis: UFSC, 2011.
- COSTA, L. M.; OLIVEIRA E SILVA, M. F. **A indústria química e o setor de fertilizantes**. BNDES, 2012. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 01 mar. 2023.

Maximizando a produção de canaviais brasileiros: uma abordagem prática para implantação e manejo nutricional

| **Anderson dos Santos Dias**

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

| **Cleberton Correia Santos**

Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

RESUMO

Objetivo: Considerando a representatividade socioeconômica da cana de açúcar, o objetivo do presente capítulo será apresentar as principais técnicas agronômicas e sua abordagem a serem realizadas desde o planejamento agrícola até o manejo do processo de maturação da cana de açúcar, visando, identificar os gargalos locais de forma a otimizar a produção da cana de açúcar. **Métodos:** Foram realizadas revisões bibliográficas baseando-se em artigos científicos, boletins técnicos e dados oficiais do comércio exterior brasileiro, acerca do tema em questão de modo a construir o presente capítulo. **Resultados:** Visando a longevidade do canavial aliado a alta produtividade, a escolha do material adaptado ao local de cultivo representa um dos primeiros passos no planejamento agrícola canavieiro. No momento da instalação da cana planta, o uso de adubos formulados deve ser assertivo em relação a produtividade esperada baseado em previa análise de solo. Diversas ferramentas estão alinhadas para a tomada de decisão a respeito de adubações de cobertura, no qual a análise foliar apresenta parâmetros válidos. Contudo, as condições climáticas enfrentadas pelos canavieiros atuam diretamente no acúmulo de sacarose, dessa forma, é inevitável o uso maturadores fisiológicos de modo a evitar perdas dos carboidratos de interesse. **Conclusão:** Diversos fatores estão alinhados a ideia de alta produtividade no sistema canavieiro, a qual, cabe aos canavieiros manejá-los criteriosamente buscando longevidade do canavial.

Palavras-chave: Adubação, Maturadores, Vinhaça, Fitotecnia, Produtividade.

■ INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com CONAB (2022) as áreas de maior expressão cultivadas com cana de açúcar estão situadas nos Estados do Paraná e São Paulo, entretanto, é de se observar que nos últimos anos, surge um aumento significativo no cultivo da espécie, em regiões outrora abandonadas, tais como algumas áreas presentes no estado do Pernambuco, Pará e Rio de Janeiro.

Durante a safra 2022/23, foram estimadas o cultivo em 8.307,3 mil ha de terra, sendo observado uma redução de 0,5% em relação a área cultivada durante a safra 2021/22. Sendo possível associar tal redução em relação ao aumento expressivo da área cultivada com soja e milho, devido ao cenário atual da valorização das commodities.

Segundo Oliveira (2012), no Brasil existem duas macrorregiões produtoras de cana-de-açúcar, a região Centro Sul que abrange os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e a região Norte-Nordeste, que abrange os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Pará, Amazonas.

Com relação ao cenário atual, a produtividade média obtida foi de 72.026 kg ha⁻¹ de colmos, cerca de 3,9% superior a safra anterior (21/22), sendo que tal crescimento está condicionado as melhorias do sistema de manejo em quase todos os estados. De forma regional, a região Centro-Sul do país apresentou maior produção, cerca de 539.563,7 mil t⁻¹, logo atrás a região Norte-Nordeste apresentando cerca de 53.667,8 mil t⁻¹ (CONAB, 2023).

Com relação a estimativa da produção dos subprodutos da cana de açúcar, em uma primeira análise, foi observado a produção de 36.372,6 mil t⁻¹ de açúcar durante a safra 2022/23, apresentando aumento de até 4,1% em relação à safra anterior. No mesmo observado, o estado de São Paulo permanece como líder em produção de açúcar, apresentando produção anual (22/23) com cerca de 22.218,9 mil t⁻¹ de açúcar obtidos. Comparando ainda números absolutos na produção de açúcar, Minas Gerais, São Paulo e Pernambuco apresentaram maior acréscimo na produção de açúcar, enquanto que Paraná, Mato Grosso do Sul e Bahia foram os estados que tiveram maior redução, em comparativo com os dados da safra 2021/2022.

Aliados ao objetivo de manter a indústria alcooleira, a produção do biocombustível obtido foi de 11.032.750,1 mil L⁻¹ de álcool anidro, com maior destaque para região Centro-Sul, apresentando a produção de 9.880.930,2 mil L⁻¹. Entretanto, quando comparado a produção do álcool hidratado, é notório a redução do volume produzido em relação à safra anterior (16.186.312,0 mil L⁻¹), onde a produção durante a safra 2022/23 foi cerca de 15.563.329,6 mil L⁻¹ (CONAB, 2023).

Com relação as exportações, o Brasil exportou cerca de 22,1 milhões de toneladas de açúcar no acumulado entre abril-novembro, correspondendo a um aumento de 13% em relação ao mesmo período do ciclo anterior (CONAB, 2022). Conforme relatado no Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana de açúcar (Safra 2022/23), os motivos que influenciaram o aumento nas exportações brasileiras estão relacionados a oferta mundial do produto, o qual foi afetada pela safra na Índia, em razão do prolongamento do período chuvoso dificultando colheita em solo indiano e, por consequência, a chegada do subproduto no mercado internacional.

Nesse mesmo sentido, o destino do produto brasileiro está voltado a alguns países, como a China, seguido da Argélia, Marrocos, Indonésia, Bangladesh, Canadá e Nigéria, sendo que prevalece o consumo chinês, estimulando o comércio com cerca de US\$1,3 bilhões. Com comparativo do período de novembro de 2021 a novembro de 2022, houve um aumento em cerca de 78%, resultado da safra atrasada da Índia e a influência dos preços do petróleo, causando a elevação dos preços em âmbito nacional e internacional.

Por outro lado, o setor energético estimou a exportação em até 1.887 milhões de litro de etanol entre abril a novembro de 2022, correspondendo um aumento em cerca de 34,5% no mesmo período para a safra anterior. Entre os motivos que destacam o aumento das exportações de etanol, podemos citar: desoneração do ICMS sobre os combustíveis no Brasil, valorização do dólar, redução na oferta internacional de petróleo e aumento da demanda europeia por acesso a combustíveis em virtude dos acontecimentos da Guerra na Ucrânia. Entre os destinos do etanol brasileiro, grande parte é alocado pela Holanda, estimando um consumo de 27,6% do volume exportado, seguido pela Coreia do Sul (26,3%), Estados Unidos (24,2%), segundo a CONAB (2022).

Considerando a representatividade socioeconômica da cana de açúcar, o objetivo do presente capítulo será apresentar as principais técnicas agrônomicas e sua abordagem a serem realizadas desde o planejamento agrícola até o manejo do processo de maturação da cana de açúcar, visando, identificar os gargalos locais de forma a otimizar a produção da cana de açúcar.

■ ECOFISIOLOGIA DA CANA E CICLO DE DESENVOLVIMENTO

A respeito ao ciclo da cana de açúcar, existem duas classificações baseadas em seu modo de exploração. Em propriedades familiares, onde o material produzido é destinado a alimentação dos animais além da sua utilização na produção de melado, rapadura, destilados e derivados, a adoção de cultura perene pode ser aplicada. Porém, baseado na forma de manejo da espécie no setor sucroalcooleiro, a cana de açúcar pode ser considerada uma

espécie de ciclo semiperene, no qual, após a colheita do material vegetal de interesse, ou seja, os colmos, é necessário realizar a reforma do canavial (MAPA, 2012).

A planta de cana de açúcar é classificada botanicamente como pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae e gênero *Saccharum*. Conforme classificação de Linneu, em 1753, existem duas espécies de cana de açúcar sendo elas, a *Saccharum officinarum* L., a qual é a mais comumente cultivada de maneira comercial e a *S. spontaneum* L. a qual pode ser considerada uma espécie de cana silvestre (Daniels e Roach, 1987).

De maneira descritiva, a planta apresenta duas vias de propagação, seja de sementes provenientes da reprodução sexuada ou, propagação vegetativa, sendo essa a mais comum em lavouras comerciais, ao qual é feita com base em partes segmentares do colmo composto de nós e entrenós, denominado de “tolete”.

Por relato literário, existe uma convenção estabelecida por Gascho e Shih (1983) dividindo os estágios de desenvolvimento da cana de açúcar em quartos momentos, no qual, representam a brotação da gema com estabelecimento a campo, perfilhamento vegetal, início do desenvolvimento dos colmos e maturação. Dessa forma, apresenta-se na tabela 1, a relação entre o desenvolvimento fenológico e a duração de cada período, elaborado por da Mata (2018).

Tabela 1. Fase fenológica e estágio de desenvolvimento da cana de açúcar.

Estádio de desenvolvimento	Brotação da gema e estabelecimento	Perfilhamento	Início do desenvolvimento de colmos	Maturação
Fase fenológica	Emergência	Estabelecimento	Desenvolvimento	Maturação
Duração (dias)	30 – 60	60 - 90	180 – 210	60 - 90

Fonte: da Mata (2018).

Com relação as etapas de desenvolvimento da planta, após o plantio dos toletes, entre 7 a 10 dias, inicia-se o processo de brotação das gemas com marcada pelo desenvolvimento das raízes originarias da zona radicular presentes no nó. Logo após a emissão das raízes, ao qual apresentam função de sustentação, ocorre a emergência dos brotos, em consequência do desenvolvimento das gemas presentes nos toletes, apresentando suas próprias raízes sendo estimado uma duração entre 20 a 30 dias. Uma vez iniciado o processo de diferenciação celular de modo a estimular o desenvolvimento das gemas, agora subterrâneas, em novos colmos, temos o início do processo de perfilhamento, ao qual podem gerar perfilho primário, secundário etc., apresentando um sistema radicular com colmos e folhas, agindo como um indivíduo independente (Thomas, 2015).

Anteriormente, Lucchesi (2001) propõe que garantir o estabelecimento e o perfilhamento do material implantado na área é vital para definir o potencial produtivo pois, o número de perfilhos por unidade de área está associado ao início de acúmulo de sacarose nos colmos ao qual determinam a produtividade da cultura. Entretanto, é importante salientar que,

mesmo em situações de adequada nutrição, espaçamento, luz, temperatura e sanidade (no que diz respeito a incidência de doenças e ataque de pragas), a quantificação de perfilhos produzidos pela planta nesse estágio pode variar entre 10 a 20, entretanto, dado a competição intraespecífica, normalmente, o estabelecimento ocorre com números de 3 a 6 perfilhos sobreviventes (Dinardo-Miranta *et al.*, 2008).

Silva *et al.* (2010) salientam que o processo de perfilhamento é influenciado diretamente por fatores genéticos condicionantes à variedade, temperatura, luz, fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, densidade de plantio e competição entre plantas, assim, tal processo tem seu início, geralmente, cerca de 30 dias após a emergência, a qual o ápice ocorre cerca de 2 a 4 meses após a formação das touceiras (nome comumente relacionado a um agrupamento de perfilhos).

Conforme salientado por Casagrande (1991) e mais tarde por Aude (1993) durante o processo de crescimento da parte aérea, ocorre uma intensa diferenciação celular de modo a promover o aumento exponencial da massa seca da parte aérea e raízes, onde nos colmos, ocorre o processo de alongamento dos entrenós e desenvolvimento de folhas nos ápices.

É possível interligar que durante tal processo, em condições edafoclimáticas adequadas, ocorre o aumento do índice de área foliar entre o 90 a 180 dias após o perfilhamento, tendo início do acúmulo de sacarose nos entrenós do colmo, onde o teor do carboidrato é maior na região basal dos entrenós em comparação com a região apical.

Watt *et al.* (2014) descrevem que o acúmulo de sacarose ocorre durante a fase final, correspondente a maturação. Definindo então como um momento em que ocorre redução significativa ou até mesmo supressão do crescimento vegetativo de modo a alocar reservas em forma de carboidratos nos entrenós sendo mediada por alguns mecanismos, dentre os quais podemos citar a alteração na relação fonte/dreno, assimilação de CO₂, produção e transporte de carboidratos.

Nesse sentido, a maturação da cana de açúcar pode ser induzida pela aplicação de alguns compostos químicos, usualmente conhecidos como maturadores, a qual possuem a capacidade de modificar a morfologia e a fisiologia da planta, com o intuito de cessar ou atrasar o crescimento vegetativo, induzindo a planta a alocar as reservas energéticas nos colmos (Thomas, 2015). Portanto, visando apresentar instruções a respeito do manejo de maturações na cultura da cana de açúcar, iremos abordar de forma mais específica as informações relacionadas ao ponto de colheita (graus Brix) e os métodos de aplicação de tais produtos em um tópico específico.

É importante salientar que, em lavouras comerciais o florescimento não é desejado, conforme Salientado por Thomas (2015), tal processo, decorre de redução do teor de sacarose em colmos da planta, depreciando então, os subprodutos pós-colheita.

Por fim do processo de colheita, o material presente no solo por possuir gemas subterrâneas nos rizomas, ainda possui a capacidade de rebrote, devendo ser manejado para tal. Sendo que, um dos cuidados deve ser tomado ainda durante a colheita, onde os colmos deverão ser cortados rente ao solo, evitando que o rebrote ocorra das gemas laterais do material ainda presente na superfície (Thomas, 2015). Além disso, lavouras provenientes de rebrote de cana ou a chamada “cana soca”, desenvolvem-se mais rapidamente, em virtude do sistema radicular desenvolvido concomitante no fechamento do dossel de forma precoce, no mais, as etapas de desenvolvimento são similares a citada anteriormente. Entretanto, conforme dito por Cury (2013), o sistema radicular antigo atua de forma temporária ao passo que é substituído pelas raízes recém-desenvolvidas dos perfilhos da soqueira, a qual, localizam-se mais superficialmente ao solo.

IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR: ABORDAGEM ESTRATÉGICA NO PLANEJAMENTO, ESCOLHA VARIETAL E SISTEMA DE CULTIVO

Em decorrência das alterações climáticas observadas ao virar do século 20-21, diversas são às preocupações a respeito da implantação de sistemas de exploração sustentável, em diversos setores econômicos. Conforme salientado por Granco *et al.* (2019), os biocombustíveis apresentam-se como uma alternativa a dependências dos combustíveis fósseis, a qual algumas metas elencadas no Acordo de Paris, em 2015, são capazes de gerar benefícios socioeconômicos e ambientais de modo a estimular a cadeia produtiva canavieira, principalmente, a do Brasil, o qual o etanol é o principal biocombustível produzido e amplamente distribuído em território nacional.

Portanto, de modo a estimular a expansão agrícola ao cultivo da cana de açúcar, diversas são as ferramentas a quais o setor sucroalcooleiro tem a disposição, sendo elencado o Zoneamento Agroecológico da Cana de Açúcar (ZEA-CANA), a qual se refere a um mapeamento geográfico das áreas produtivas relevantes para expansão da fronteira de plantio da cana de açúcar, considerando o potencial produtivo, vulnerabilidade fundiária, riscos climáticos e legislação ambiental (Manzatto *et al.*, 2009).

Nesse sentido, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) elaborou no ano de 2009, o ZEA-CANA para 21 regiões das Unidades de Federação do Brasil nos biomas Cerrado, Mata Atlântica, Caatinga e Pampa. Onde, tal recurso apresenta a aptidão ao cultivo das terras, considerando as informações descritas anteriormente, para a cana de açúcar. Portanto, cabe aos interessados ao cultivo, buscar as informações a respeito dos riscos climáticos e além mais decorrentes da implantação do canavial.

Conforme entendimento comum, cada campo de produção tem suas particularidades a qual deverão ser exploradas pelos canavieiros de forma a obter os maiores índices de produtividade e retorno econômico.

Nesse sentido, o planejamento das atividades agrícolas é vital para o bom gerenciamento dos recursos presentes na propriedade e aplica-los de maneira sustentável visando a produção econômica. Sendo fundamental para garantir o sucesso na implantação de um canavial. Alguns fatores importantes a serem considerados incluem: área de cultivo, escolha da variedade de cana, estudo da topografia e solo, escolha de equipamentos e mão de obra, planejamento financeiro, estratégias de manejo de plantas e colheita, além de programas de monitoramento e controle de pragas e doenças. É importante levar em conta também a logística para transporte da cana e a disposição dos resíduos da colheita. Efetuar um planejamento cuidadoso e minucioso pode garantir a eficiência e rentabilidade da operação agrícola.

Com relação as denominações das áreas de cultivo, geralmente temos duas apresentações. A primeira diz respeito a chamada área de fundação, a qual são cultivadas com cana pela primeira vez, sendo áreas recém abertas ou ocupadas anteriormente com outras culturas. A segunda denominação refere-se as áreas de renovação, a qual já foram cultivadas com cana e periodicamente são renovadas devido o declínio da produtividade (Silva, 2012).

Seguindo o embasamento anterior, Silva relata que a renovação do canavial é necessária em áreas de cultivo entre 5 a 8 anos, onde o declínio produtivo pode chegar de 40 a 60%. Para tal, recomenda-se renovar de maneira anual, uma fração correspondente de 12,5 a 20% da área total do cultivo, de modo a estabilizar o declínio de produtividade. De maneira pratica, é necessário conhecer previamente a longevidade media do canavial, o qual em áreas onde é possível realizar a colheita de oito safras e a redução da produtividade for estimada em valores inferiores a 40% recomenda-se realizar a renovação de uma parcela de 12,5% do canavial total por ano, ao passo que, quando a longevidade media do canavial for de 5 anos, a renovação deverá corresponder a 20% da área total. Ainda, em lados extremos, onde não for possível colher mais de 4 safras anuais decorrentes de um plantio e o rendimento agroindustrial dos colmos for inferior a 60%, não é recomendado a implantação da cultura nessas regiões, o que pode elevar os custos de produção implicando severos riscos econômicos ao produtor.

Conforme visto, o planejamento das operações é vital para o gerenciamento da produção, o qual uma vez implantado,, o processo produtivo canavieiro deverá ser embasado na produtividade (alta produção de fitomassa por unidade de área – no que diz respeito ao rendimento de colmos industrializáveis); qualidade (riqueza em açúcar nos colmos industrializáveis) e longevidade do canavial (sendo um dos principais parâmetros a serem discutidos no ato do estabelecimento do canavial, estando relacionado ao número de cortes econômicos

em um prazo de tempo maior entre as reformas do canavial) (Silva, 2012). Portanto, é vital que os profissionais ligados ao setor produtivo tenham em mente quais indivíduos varietais serão destinados ao cultivo, de forma a explorar com maior eficiência esses três parâmetros.

Escolha varietal da cana de açúcar visando a longevidade do canavial

Uma das etapas cruciais para o sucesso no setor sucroalcooleiro baseia-se na escolha dos materiais adequados para o plantio, pois uma série de fatores deverão ser consideradas visando promover a longevidade do canavial e manter a qualidade do produto final, visando aumentar o intervalo de tempo entre as operações de renovação do plantio.

Assim, no momento da escolha do material a ser plantado, recomenda-se atenção quanto as condições edafoclimáticas da região, a capacidade produtiva do material, a qualidade e o teor de sacarose produzido, resistência a pragas e doenças além do ciclo de maturação. Sendo esse último, a principal diferenciação entre as variedades disponíveis no mercado.

Dessa forma, cabe a equipe responsável pela implantação cultural abrir o seguinte questionamento: Como racionar o uso da terra visando aumentar a longevidade do canavial de modo escalonar o período de colheita?

Assim, a resposta para tal questionamento poderá vir da recomendação sobre o planejamento varietal canavieiro baseia-se na alternância das variedades que apresentem diferenciação do ciclo de maturação.

Exemplificando, 30% da área total de cultivo poderá ser destinados ao cultivo de variedades precoces, 40% com variedades de ciclo médio e o restante, seja 30%, com variedade tardia. Outra recomendação é relacionar a topografia local com o ciclo da cultivar, onde as áreas de encosta ou difícil acesso recomenda-se o cultivo de materiais de ciclos mais longos seja médio ou tardio, o qual sua colheita será realizada durante a estação seca, facilitando assim, o tráfego de maquinário (Silva, 2012).

Entretanto, a decisão de quais materiais serão implantados e sua rotatividade na propriedade deverá partir de uma equipe multidisciplinar, no qual analisarão todas as características agrônômicas das variedades visando o plantio em ambiente mais adequados para o desenvolvimento e sua expressão genética.

Sistema de cultivo: plantio, espaçamento e densidade populacional

Todas as operações de cultivo abrangem um conjunto de atividades a serem realizadas durante o processo de plantio no qual, quando executadas adequadamente, resultam em produtividade elevada e retorno econômico compatível com o investimento proporcionado.

Normalmente, a escolha do sistema de produção e a amplitude de trabalho, voltado ao setor sucroalcooleiro, está diretamente relacionado com o meio físico, referindo-se ao local

de cultivo e desenvolvimento agrícola, aos fatores sociais, dos meios de produção disponíveis, do tamanho do empreendimento, do poder econômico associado e das exigências da legislação vigente (IAC, 2016). Dessa forma, alguns componentes estão associados ao sistema de produção local, citando: preparo do solo, espaçamento da cultura, época de plantio, tratamentos culturais, cultivo e colheita. Dessa forma, abordaremos em seguida os principais componentes relacionados ao momento da implantação do canavial.

A primeira etapa, realizada de maneira mecanizada em grandes áreas, refere-se ao preparo do solo de modo a receber os toletes e o estabelecimento da cultura *in situ*. Assim, o sistema mecanizado proporciona estabelecer condições físicas, químicas e biológicas para o desenvolvimento e estabelecimento da cultura, realizando a sistematização da área e o controle de enfermidades e plantas invasoras. Segundo o IAC (2016), estima-se que cerca de 30 operações mecânicas podem ocorrer num mesmo talhão ao longo de cinco cortes, o que ocasiona alterações nesses três fatores ligados ao ambiente edáfico, principalmente a compactação.

Entretanto, é importante salientar que a cultura da cana de açúcar é cultivada de maneira semiperene, ou seja, o sistema de cultivo adotado deverá ter em mente que o sistema solo será incapaz de receber grandes tráfegos de maquinário local, evitando problemas relacionados a porosidade e compactação.

Dessa forma, existem quatro opções sistemas de cultivo, onde: o cultivo convencional resulta em grande número de operações mecânicas relacionadas sob a área de cultivo, iniciando pela dessecação da soqueira/pastagem, revolvimento do solo (aração-subsolagem-gradagem) e operações de plantio e cultivo; o cultivo mínimo onde é feita apenas a operação de subsolagem em área total ou em faixas nas linhas de plantio e operações de plantio e cultivo; e o plantio direto o qual envolve apenas a sulcação com revolvimento da linha de plantio. Outro sistema utilizado refere-se ao cultivo em solo canteirizado, basicamente, esse sistema de cultivo utiliza hastes subsoladoras para o preparo profundo do solo de 0,5 a 0,7 m associado a incorporação de insumos (gesso + calagem) e restos culturais em uma única operação. Entretanto, a desvantagem desse sistema refere-se à necessidade quase que obrigatória de utilizar um sistema de referenciamento geodésico (GPS ou linhas de plantio demarcadas por RTK) para demarcação dos canteiros, sendo espaços convencionalmente (1,50m) ou em sulcos duplos, respeitando o declive local evitando assim, problemas erosivos ocasionado pelo encateiramento incorreto aumentando a erosividade do solo (IAC, 2016).

Com relação as épocas de plantio, nas condições edafoclimáticas presentes no Centro-Sul do Brasil, o plantio está localizado em quatro épocas distintas. De maneira resumida, a Tabela 2 apresenta as possíveis ligações de risco e recomendações a serem associadas ao cultivo da cana de açúcar nos quatro períodos.

Tabela 2. Interligação entre as diferentes épocas de cultivo da cana de açúcar na região Centro-Sul do Brasil e os desafios a serem observados com recomendações a serem adotadas.

Denominação	Época	Situação rotineira	Recomendações
Cana de ano e meio	Fev.-Abril	Crescimento lento; As plantas não apresentam muitas folhas o qual é capaz de tolerar o déficit hídrico	Iniciar o plantio em solos com textura mais argilosa e com alta capacidade de água disponível (CAD);
			Os últimos plantios deverão ser realizados em solos com textura arenosa e baixa CAD;
Cana de inverno	Maio - Agosto	Normalmente realizado quando não ocorre tempo hábil para o plantio da cana ano e meio; O déficit hídrico nesse período pode interferir na brotação causando falhas no estande	Em regiões onde há forte déficit hídrico, recomenda-se dar preferência no plantio para os meses de março e meados de abril.
			Necessário realizar manejo da água através da irrigação ou aproveitamento da vinhaça como fertirrigação;
Cana de ano	Set.-Nov.	Geralmente é o sistema de manejo empregado na maioria das usinas por escalonar a colheita (12 meses a partir do plantio)	Quando o plantio for realizado no inverno, recomenda-se dar preferência para solos mais suscetíveis a erosão e com textura mais argilosa, bem como os com baixa infiltração;
			É necessário destorroar os macroagregados superficiais através da gradagem a qual podem interferir na brotação por formarem bolsões de ar;
Cana dois verões	Dez-Jan	Essa modalidade de plantio apresenta maior risco de erosão devido às chuvas intensas na região Centro-Sul sendo normalmente integrada no sistema cana de ano e meio	Em caso de disponibilidade, o fornecimento de torta de filtro como forma de adubação pode ser útil em virtude do alto teor de umidade do material.
			Realizado somente em casos onde não foi possível finalizar o plantio da cana de ano e meio em tempo hábil sendo necessário que os solos a receberem a cana de ano apresentem elevada fertilidade e alta CAD.
Cana dois verões	Dez-Jan	Essa modalidade de plantio apresenta maior risco de erosão devido às chuvas intensas na região Centro-Sul sendo normalmente integrada no sistema cana de ano e meio	Recomenda-se utilizar restritamente e solos com topografia plana, textura argilosa, alta fertilidade e elevada CAD.

Fonte: Adaptado de IAC (2016).

Uma vez definido o sistema de cultivo, a época e a variedade a ser implantada, a etapa consequente refere-se à necessidade da adoção do espaçamento. Em decorrência dos tratamentos culturais mecanizados, os espaçamentos estão ligados diretamente com intuito de reduzir a compactação do solo e o pisoteamento das linhas de cana pela ação do maquinário, o qual irá afetar diretamente na produtividade e longevidade do canavial. Sendo assim, os espaçamentos são classificados em: simples, onde a distância entre sulcos de plantio é constante com cerca de 1,5 m. E os alternados, a qual apresentam dois espaçamentos onde, o maior varia entre 1,4 a 1,6m sendo reservado uma área para deslocamento do maquinário, e o menor, variando entre 0,4 a 0,9m reservado para o crescimento radicular e infiltração de água (IAC, 2016).

A respeito do plantio do material, existem três grupamentos citados na literatura sobre como proceder, sendo divididos de acordo com influência mecanizada, sendo eles: plantio manual, mecânico e semi mecânico. Sendo que a escolha do sistema a ser adotado está diretamente influenciado com a disponibilidade de equipe e maquinário nos campos produtivos, onde serão adotadas a forma de plantio via cana inteira ou mudas pré-brotadas. Ressalta-se

ainda que é fundamental realizar uma boa seleção do material a ser cultivado e após implantação no campo por meio das práticas de “*roguing*”, isto, monitoramento das plantas no viveiro e no campo com o intuito de reconhecer e eliminar aquelas que apresentem problemas fitossanitários ou aspecto de vigor indesejado e possam prejudicar os campos de produção.

Gessagem e calagem: abordando o uso e recomendações

O primeiro processo de manejo da química do solo, refere-se a prática de correção a acidez por intermédio da calagem. Conforme salientado por Li *et al.* (2019), a calagem é uma das práticas mais comuns para melhorar as propriedades químicas do solo (seja reduzir a toxicidade de Al e Mn além de melhorar a curva de disponibilidade de nutrientes para as plantas e diminuir a imobilização de P), o que também resulta na melhoria da atividade biológica do solo e por consequência, a produção agrícola.

Sendo assim, Sanchez (2019) argumenta ainda que, a calagem adequada os valores de pH do solo para níveis ótimos, além de fornecer Ca^{2+} e Mg^{2+} , aumentando a CTC e propiciando um ambiente adequado para o desenvolvimento radicular. Assim, existem algumas recomendações acerca de como serão baseados os cálculos para correção da acidez. Entretanto, é necessário que os canavieiros façam previamente a amostragem do solo, seja em grid ou em modo aleatório, onde as amostras deverão ser identificadas e enviadas ao laboratório para emissão do laudo final. Assim, o Instituto Agrônomo de Campinas (2020) apresenta a fórmula para cálculo e correção da acidez do solo. Sendo:

$$\text{NC (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{(V_2 - V_1) \times \text{CTC}}{\text{PRNT}}$$

Onde, V_2 é a saturação de bases desejada. No caso da cana-de-açúcar $V_2 = 70\%$, segundo Rajj *et al* (1997) para a camada de 0-25 cm; V_1 é a saturação de bases encontrada no solo (resultado encontrado no laudo laboratorial); CTC é a capacidade de troca de cátions obtida pela soma de Ca, Mg, K, Na, H + Al (valores encontrados no laudo laboratorial); PRNT é a poder de reação do calcário.

Outra recomendação a ser informada refere-se ao modo de aplicação, sendo a calagem realizada em área total, incorporado na maior profundidade de trabalho, sendo recomendado a realização dessa etapa com antecedência entre 3 a 4 meses do plantio. Além disso, é importante observar os teores de magnésio no solo, apresentando no laudo laboratorial, visando manter o teor de Mg^{2+} acima de 8 mmolc dm^{-3} na camada superficial, adotando a aplicação de calcário com no mínimo 12% de MgO (IAC, 2020). Além disso, após o primeiro plantio, e em intervalos de dois anos, deverão ser realizadas amostragens visando conhecer a dinâmica da acidez do solo no campo de produção, de modo a corrigir o pH

para o desenvolvimento das soqueiras, no qual a aplicação será feita superficialmente sem a incorporação em áreas de plantio direto.

Além disso, outro processo que poderá ser realizado durante a calagem, refere-se a prática da gessagem, por sua vez agirá neutralizando o alumínio tóxico (Al^{3+}) e atua como um condicionante ao crescimento das raízes em profundidade. Entretanto, a análise para determinação da quantidade de gesso a ser aplicado será proveniente de uma amostra composta retirada da camada 25-50 cm de profundidade. Porém a metodologia de cálculo adotada pelo IAC baseia-se textura do solo, citando a seguinte fórmula:

$$NC \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Argila (em g. kg}^{-1}\text{)} \times 6$$

Onde, a necessidade de gessagem geralmente está associada em solos com baixa saturação por bases (valores inferiores a 30%) e alta atividade de alumínio na CTC efetiva (acima de 40%). Além disso, caso o teor de S na camada 25-50 cm for inferior a 15 mg dm⁻³, recomenda-se a aplicação de apenas 1 t ha⁻¹ como fonte de enxofre, representando a quantidade suficiente para até 3 safras.

Além disso, dada a caracterização do enxofre e cálcio como macronutrientes, e a gessagem apresentar-se como uma fonte de enxofre e cálcio a baixo custo, a recomendação da utilização do gesso poderá basear-se em redução dos custos de produção em virtude da utilização de formulados mais simples, sem a presença dos tais macronutrientes, ou seja, somente as fórmulas a base de N- P₂O₅ -K₂O.

Manejo de macro e micronutrientes

Conforme visto, os resultados da análise de solo influenciam diretamente na tomada de decisão de manejar corretamente os níveis de nutrientes disponíveis no meio edáfico. Basicamente, a adubação resume em satisfazer as necessidades nutricionais das plantas, durante o ciclo de desenvolvimento, para que possam expressar o potencial genético relativo à produtividade da cultura.

Questionamento importante a ser considerado que influencia da tomada de decisão a respeito do dimensionamento da adução foi levantado por Vitti *et al.* (2016), o qual os autores elencam os seguintes questionamentos:

- 1- Quais as fontes e os nutrientes a serem aplicados?
- 2- Qual a quantidade necessária a ser aplicada de acordo com o nível de produtividade estimada?
- 3- Com relação a época de aplicação, qual é o momento mais adequado?

4- Definindo as respostas para os questionamentos anteriores, qual a forma de aplicação a ser adotada visando o máximo aproveitamento?

Adubação nitrogenada

Segundo Fagan *et al.* (2016), o nitrogênio é caracterizado como um nutriente com alta mobilidade no sistema solo, onde a absorção dos vegetais ocorre, em parte, via sistema radicular na forma oxidada (NO_3^-) ou na forma reduzida (NO_4^+). Nas plantas, o elemento atua como constituinte de molecular como proteínas, ácidos nucleicos e clorofilas.

Anteriormente, Malavolta *et al.* (1997) complementado por da Silva *et al.* (2015) elaboram que a cana de açúcar por apresentar metabolismo do carbono C_4 apresenta alta eficiência de utilização de adubos nitrogenados, o qual a assimilação do nutriente irá atuar de maneira direta e indireta em processos bioquímicos. Complementam ainda que a deficiência nutricional acarreta na diminuição da síntese de clorofila e aminoácidos essenciais, além de impactar na síntese de carboidratos e esqueletos carbônicos, o qual refletem na queda do desenvolvimento e produção da cultura.

De modo prático, Luz *et al.* (2017) apresentam que um dos fatores a serem observados no momento da compra de fertilizantes nitrogenados é optar por fontes que apresentar menor custo por unidade de nitrogênio. Sendo que, geralmente, os fertilizantes mais utilizados são a uréia (sólida) e a aquamônia (líquida). Dessa forma, na tabela 3 fica apresentado as recomendações para adubação nitrogenada para a cultura da cana.

Tabela 3. Doses de nitrogênio sugerido para adubação da cana com base na expectativa de produtividade.

Denominação / Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	² N (kg ha ⁻¹)
Cana planta: 100<170	30 – 60 ¹
Cana soca: <80	80
Cana soca: 80-100	100
Cana soca: 100-120	120
Cana soca: 120-140	140
Cana soca: >140	140

¹ No momento da implantação do canavial, a adubação da cana planta pode ser parcelada em até duas operações;

² Com relação as fontes, recomenda-se optar por: uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, MAP, DAP ou resíduos vegetais e animais; Caso o produtor opte pelo uso da ureia, é obrigatório a necessidade de incorporação com profundidade média de 7,0 cm, visando diminuir as perdas por volatilização. Em caso de haver dificuldade para incorporação, associar a aplicação com irrigação posterior ou realizar o procedimento em momento anterior a chuva, sendo esse último válido apenas para áreas de pequena dimensão.

Fonte: Adaptado de IAC (2020).

Apesar da simplicidade apresentada em realizar as adubações nitrogenadas é necessário conhecer a influência de utilização de tais insumos a longo prazo, de forma a observar o rendimento e a resposta da espécie ao manejo nutricional, no tocante ao nitrogênio. Partindo desse contexto, Boschiero *et al.* (2020) avaliaram os efeitos dos fertilizantes nitrogenados no crescimento da cana de açúcar, estado nutricional e produtividade em solos ácidos do

Brasil. No presente ensaio, foram realizados o gerenciamento das aplicações de diferentes fontes de nitrogenadas, citando: nitrato de amônio (100 kg N ha^{-1}) e nitrato de cálcio ($50, 100, 150$ e 200 kg N ha^{-1}) durante cinco anos consecutivos em sistema com rotação de culturas ou monocultura contínua. Portanto, decorrente as avaliações, os autores observaram que as plantas cultivadas em solos tradicionalmente sob monocultura mediadas pela aplicação de 100 kg N ha^{-1} de nitrato de amônio, 100 e 150 kg N ha^{-1} de nitrato de cálcio apresentaram rendimentos superiores em até 25 % na produtividade e teor de açúcar (Brix e açúcar total recuperável) em até 7 % maior que os demais locais gerenciados. Dessa forma, os autores concluem que o gerenciamento das aplicações nitrogenadas é vital para a manutenção do rendimento da cultura, onde, a aplicação desenfreada de adubos nitrogenados, além de desencadear perdas econômicas substanciais no sistema de cultivo local, contribui também para poluição ambiental, além de aumentar os custos de produção. Portanto, é necessário reconhecer que dentro de uma mesma propriedade agrícola, pode ocorrer respostas diferentes sob a adubação nitrogenada, sendo as influências mediadas pelo tipo de solo local e o sistema de cultivo empregado (rotação de culturas ou sucessão).

Na literatura está cada vez mais presente o uso de bioinsumos como forma de maximizar a produtividade das culturas, sendo o uso conciliado durante os procedimentos de manejo decorrentes do plantio ou até mesmo a aplicação via foliar de produtos contendo microrganismos ou seus metabólitos. Dentre os indivíduos capazes de realizar a conversão do N_2 atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas (NH_3), o gênero *Azospirillum* está entre os principais grupos de interesse agrônomo devido sua capacidade de atuar mediando a fixação biológica de nitrogênio para as plantas (Moura *et al.*, 2019). Nesse sentido, Gonçalves *et al.* (2020) estudaram o efeito da interação entre a inoculação de mudas pré-brotadas com *Azospirillum brasilense* (4 ml do inoculante comercial AzoTotal®) e diferentes doses de adubação nitrogenada em cobertura (0, 30, 60, 90 e 120 mg dm^{-3}) no desenvolvimento da cana de açúcar. Portanto, os autores observaram que a associação *dose + inoculação* teve caráter positivo, onde, foi notável o incremento linear da altura das plantas, diâmetro de colmos, número de folhas por planta, número de perfilhos e matéria seca. Os autores ainda apresentam em seus resultados que apesar do incremento linear, o uso do microrganismo sem a adição da adubação nitrogenada (0 mg dm^{-3} de N) acarretaram em resposta negativa, com indicação de efeito fitotóxico no desenvolvimento das plantas aos 60 dias de transplante.

Adubação fosfatada

Naturalmente nos solos brasileiros, as baixas concentrações de fósforo disponível as plantas caracterizam com um elemento capaz de limitar o crescimento das plantas,

principalmente durante as primeiras etapas de desenvolvimento das raízes. Luz *et al.* (2017) apontam que uma das principais questões a serem levantadas durante o manejo da adubação fosfatada diz respeito da solubilidade do elemento no solo. No qual os altos teores de ferro e alumínio acabam promovendo ligações com o P disponível formando complexos minerais indisponíveis para às plantas, fenômeno conhecido como fixação de fósforo. Portanto, é justificável o investimento de fertilizantes fosfatados revestidos com liberação lenta com o intuito de promover maior aproveitamento pela planta ao longo do ciclo de cultivo da cana, diminuindo as perdas por fixação.

Dessa forma, diversos profissionais recomendam que a adubação de fósforo seja realizada no sulco de plantio com profundidade acentuada, sendo essa prática mais comum em solos com elevado teor de argila (acima de 30%). Por outro lado, Luz *et al.* (2017) relatam que a fosfatagem em área total é indicada apenas para condições restritas, onde: os solos deverão apresentar textura arenosa dominante com teor de argila abaixo de 30%, além disso, os resultados de P em resina deverão ser menores que 10 mg dm⁻³, sendo que a operação em área total deverá ser realizada após a calagem e gessagem, evitando assim, desperdícios de insumos e aumento nos custos de produção. Portanto, na Tabela 4 e 5 são apresentadas recomendações da adubação fosfatada com base no teor extraído via Mehlich⁻¹ e resina de troca iônica.

Tabela 4. Doses de fertilizantes fosfatados sugerido para adubação da cana com base na expectativa de produtividade e disponibilidade do fósforo extraído com Mehlich⁻¹.

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	Classe de fertilidade do solo		
	Baixa	Média	Alta
	¹ Dose de P (Kg ha ⁻¹)		
< 100	70	-	-
100 a 150	80	60	40
150 a 180	90	70	50
> 180	100	80	60

¹Para transformar P em P₂O₅, multiplica-se o valor por 2,29

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021) e Raji *et al.* (2017).

Tabela 5. Doses de fertilizantes fosfatados sugerido para adubação da cana com base na expectativa de produtividade e disponibilidade do fosforo extraído com resina de troca iônica.

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	Fósforo extraído (mg dm ⁻³)			
	0 - 6	7 - 17	16 - 40	> 40
	¹ Dose de P (Kg ha ⁻¹)			
< 100	80	44	30	20
100 a 150	90	55	40	26
> 150	100	66	45	35

¹Para transformar P em P₂O₅, multiplica-se o valor por 2,29

É improvável obter produtividade superior a 150 t ha⁻¹ quando o P extraído via resina for menor que 6 mg dm⁻³.

Anterior a adubação fosfatada, deve-se realizar a análise do solo na camada 0-20 cm e caso a saturação por bases esteja inferior a 60%, recomenda-se realizar a calagem para elevar tal valor.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021) e Raji *et al.* (2017).

Com relação as adubações de manutenção, ou seja, aquelas realizadas após a rebrota decorrente da colheita, essas baseiam-se apenas na restituição do P removido pela colheita. Onde é possível associar que a colheita de 1 tonelada de biomassa, implica na restituição de 200 a 300 gramas de P. Portanto, a colheita de 120 t ha⁻¹ de material vegetal, deverão ser repostos de 24 a 36 Kg de P por hectare.

Além disso, no setor sucroalcooleiro alguns resíduos são produzidos, o qual, por sua vez podem ser utilizados como adubos ou até mesmo condicionantes de crescimento radicular. Dentre eles, a chamada torta de filtro é um subproduto gerado do processo de clarificação do caldo da cana de açúcar a qual é constituído de bagaço triturado e lodo decantado (Prado *et al.*, 2013), além disso apresenta alta concentração de matéria orgânica e nutrientes (P e Ca, principalmente, com ordem de concentração variando entre 5 a 10 kg e 15 a 36 kg, respectivamente, por tonelada de matéria seca (Oliveira, 2021), podendo ser disponibilizado as plantas, a qual substituirá parcialmente a dependência de fertilizantes minerais, além de reduzir a fixação de P, aumentando a biodisponibilidade do nutriente às plantas.

Na literatura existem ensaios demonstrando formas mais eficientes de maximizar a utilização de adubos fosfatados, evitando desperdícios por meio das aplicações desenfreadas o qual grande parte pode ser perdida via fixação. Nesse contexto, de Aquino *et al.* (2021) objetivaram quantificar as alterações na dinâmica de disponibilidade de fósforo em cana de açúcar, mediada pela aplicação de torta de filtro e adubos inorgânicos. Portanto, os autores realizaram as adubações utilizando três fontes de fósforo inorgânico: superfosfato triplo (TSP) (44% do P₂O₅ e 41% solúvel em ácido cítrico a 2%), fosfato de rocha Araxá (ARP) (22% do P₂O₅ e 4% solúvel em ácido cítrico a 2%) e Bayóvar® fosfato reativo (BRP) (28% do P₂O₅ e 14% solúvel em 2% de ácido cítrico, aliado a presença e a ausência da torta de filtro (7,5 t ha⁻¹ massa seca), a qual as fontes inorgânicas foram aplicadas na fase de plantio na dose de 90 kg ha⁻¹ P₂O₅. Com relação as avaliações, essas foram realizadas ao final da segunda colheita, mensurando os seguintes parâmetros: teor de P na matéria seca, teor de P na fração do solo. Portanto, os autores observaram que, todas as fontes de fertilizantes fosfatados foram eficientes no fornecimento de P para as plantas de cana de açúcar.

Entretanto, a utilização da torta de filtro como fonte de nutriente e matéria orgânica, associada a aplicação de fertilizantes inorgânicos, ocasionou a maior disponibilidade de P tanto as plantas como para a fração lábil do solo, principalmente, quando associado ao TSP. Além disso, foi observado que o P absorvido pelas plantas está associado a fração lábil e moderadamente lábil do solo, o qual deverão ser consideradas para estimar a disponibilidade do nutriente no momento do dimensionamento da adubação. Portanto, os autores concluem que a utilização da torta de filtro como meio integrado no sistema de adubação dos canaviais,

é capaz de manter maior a disponibilidade de P para a absorção pelas plantas, devendo associar ao uso do superfosfato triplo.

Adubação potássica

Dentre os macronutrientes de maior extração pelas plantas de cana de açúcar, o potássio apresenta destaque, a qual grande parte do extraído, se acumula nos tecidos vegetais de órgãos como folha e colmos (Rosseto *et al.*, 2008). Portanto, o fornecimento de fertilizantes potássicos merece atenção, evitando que as plantas apresentem sintomas de deficiência nutricional.

Segundo Prado (2008), apesar do elemento não estar associado a proteínas estruturais, diferentemente do nitrogênio, a atuação do potássio está relacionada a ativação enzimática, fechamento estomático além de atuar na rigidez e turgor celular participando do potencial osmótico celular. Conforme salientam Luz *et al.* (2017), as recomendações de adubação potássica estão associadas com base na expectativa de produtividade e na análise do solo. Dessa forma, na tabela 6 e 7 estão reunidas informações para a tomada de decisão com base na aplicação de adubos potássicos no momento de plantio e manutenção da soqueira da cana de açúcar.

Tabela 6. Doses de fertilizantes potássicos sugerido para adubação da cana com base na expectativa de produtividade e disponibilidade do potássio para implantação do canavial.

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	Potássio (mmolc dm ⁻³)			
	0,0 – 0,7	0,8 – 1,5	1,6 – 3,0	3,1 – 6,0
¹ Dose de K (Kg ha ⁻¹)				
< 100	100	80	40	40
100 a 150	100 – 150	120	80	60
> 150	> 150	160	120	80

¹Para transformar K em K₂O, multiplica-se o valor por 1,20.

Espera-se maior resposta a aplicação de K em solos que apresentem cerca de <1,5 mmolc dm⁻³

O acúmulo de palhada sobre o solo permite descontar cerca de 4 kg de K₂O para cada tonelada de palha em base seca;

Quando as doses de potássio forem elevadas é recomendado a aplicação de maneira parcelada tanto no plantio quanto nas soqueiras, principalmente em solos com baixa CTC, sendo realizada em período chuvoso.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021) e Raji *et al.* (2017).

Tabela 7. Doses de fertilizantes potássicos sugerido para adubação da cana com base na expectativa de produtividade e disponibilidade do potássio para a soqueira do canavial.

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	Potássio (mmolc dm ⁻³)		
	0 – 1,5	1,6 – 3,0	> 3,0
	¹ Dose de K (Kg ha ⁻¹)		
< 60	90	60	30
60 a 80	110	80	50
80 a 100	130	100	70
> 100	150	120	90

¹Para transformar K em K₂O, multiplica-se o valor por 1,20.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2021) e Raji *et al.* (2017).

De forma a estabelecer técnicas de aplicação para maior aproveitamento do fertilizante, visando diminuir os custos de produção, Rodrigues *et al.* (2021) avaliaram diferentes métodos de aplicação de potássio sob doses variáveis em três métodos de aplicação a fim de estabelecer qual método tem-se o melhor aproveitamento do fertilizante. No referido ensaio, os autores utilizaram cinco doses de potássio (0, 60, 110, 160 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O) em três métodos de aplicação (100% no fundo do sulco de plantio e coberto com solo, 100% em cobertura nas fileiras de cana de açúcar aos 60 dias após o plantio, 50% no sulco e 50% em cobertura). Entretanto, apesar das diferentes técnicas empregadas, não houve interação significativa entre os métodos aplicados nos parâmetros analisados (altura de planta, número de perfilhos por metro linear, sólidos solúveis, açúcares totais redutores, fibra, pureza e umidade).

Apesar do resultado inesperado, é importante utilizar a aplicação prática do ponto de vista econômico, no qual a aplicação de potássio na cultura da cana poderá ser feita através de um método que ocasione menos despesas aos canavieiros. Exemplificando, o fornecimento de adubos potássico poderão ser feitos de forma associada a aplicação de nitrogênio em cobertura, com posterior incorporação, realizando assim a otimização das operações mecânicas, o que além de reduzir os gastos econômicos associados (depreciação de máquinas, combustível, remuneração de operador) implica em menores impactos sobre o solo, evitando grandes tráfegos de maquinário, o que por consequência, implicaria em aumento da compactação do solo nas entrelinhas.

De forma semelhante a torta de filtro, a vinhaça também é um subproduto gerado dos processos fermentativos da produção do etanol, a qual a produção de 1 L de destilado ocasiona a produção de 8 a 10 litros de vinhaça, contudo, o uso do subproduto na irrigação dos campos de produção é uma alternativa para o aproveitamento, em decorrência de em sua constituição apresentar N, P, Ca, Mg, S, Na e Cl, além de água e matéria orgânica (Cassman *et al.*, 2018).

Nesse sentido, Almada *et al.* (2021) avaliaram o desempenho biométrico e tecnológico de duas variedades de cana de açúcar, sob aplicação de diferentes lâminas e parcelamento de vinhaça. Portanto foram utilizadas duas variedades de cana de açúcar sendo elas: 86-7515 e SP 80-1816, associadas a três lâmina diferentes de vinhaça, sendo: aplicação de 40 mm de vinhaça dividida em duas etapas de 20 mm (M1); aplicação de 40 mm de vinhaça em uma única etapa (M2); aplicação de 60 mm de vinhaça em duas etapas de 30 mm (M3). Para os métodos com parcelamento, o intervalo de tempo adotado foi de 34 dias. Portanto, os autores observaram que a variedade SP80-1816 apresentou superioridade significativa para as variáveis biométricas (altura de planta, número de folhas, diâmetro do caule, área foliar, produtividade de colmos) e para as variáveis tecnológicas (teor de sólidos solúveis, teor de sacarose aparente no caldo, teor de fibras, açúcares totais e redutores). Entretanto, não foi observada interação significativa entre as variedades de cana de e os três manejos de vinhaça empregados. Porém, a ausência de interação não inferioriza a utilização da vinhaça como forma complementar de adubação, na qual a sua utilização implica na redução do uso de fertilizantes minerais.

Contudo, a doses de vinhaça aplicada podem variar de 60 a 300 m³ ha⁻¹ (Oliveira, 2021), o qual para dimensionar a dose estimada é necessário conhecer as concentrações de potássio presentes no solo e no subproduto. Cabe aqui salientar que o uso desenfreado da vinhaça em solos brasileiros, poderá condicionar diversos riscos ao sistema de cultivo e, principalmente, ao meio ambiente, devido ao potencial poluidor do subproduto ao entrar em contato com corpos hídricos, seja subterrâneo ou superficial (Carpanez *et al.* 2022). Além disso, destaca-se que o excesso de aplicação de vinhaça ao solo pode afetar negativamente a atividade microbológica no solo (Vieira *et al.*, 2021).

Nesse sentido, existe uma regulamentação emitida pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) através da Norma Técnica P 4.231/2005 no qual estabelecem critérios para o armazenamento, transporte e aplicação de vinhaça gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento da cana de açúcar. Portanto, de maneira sucinta, a fórmula a seguir deverá ser utilizada para determinação da dose de aplicação de vinhaça com relação à necessidade da cultura.

$$\text{m}^3 \text{ de vinhaça ha}^{-1} = \frac{(0,05 \times \text{CTC} - \text{ks}) \times 3744 + 185}{\text{kvi}}$$

Onde, 0,05= representa 5% da CTC; CTC= Capacidade de Troca Catiônica, expressa em cmolc dm⁻³, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando metodologia de análise do solo; ks= concentração de potássio no solo, expresso em cmolc dm⁻³, à profundidade de 0 a 0,80 metros; 3744= constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em cmolc dm⁻³ ou meq/100 cm³, para kg de potássio em um volume de 01 (um) hectare por 0,80 metros de profundidade; 185= massa, em kg, de K₂O extraído pela cultura por hectare, por corte; kvi= concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de K₂O/m³, apresentada em boletim de resultado analítico.

Entretanto, alguns cuidados deverão ser observados pelos canavieiros mediante a aplicação da vinhaça no solo, em observância a Legislação Ambiental vigente. Elencando:

1. Não deverá haver aplicação da vinhaça nas áreas de preservação permanente (APP), definidas na Lei Federal nº 12.651/2015, alterada pela Lei Federal nº 12.727/2012 e regulamentada pelo Decreto Federal nº 7830/2012. Além de respeitar o limite de 6 metros de distância entre as áreas de aplicação de vinhaça e a APP.
2. Estabelecer a isenção da aplicação em um raio de 100 metros de distancia de poços de abastecimento de água. Além disso, deverão ser instalados poços para monitoramento da qualidade da água subterrânea (NBR 15847/2010; NBR 15495-1/2007 e NBR 15495-2/2008) em observância aos parâmetros: pH; Sulfato ($\text{mg SO}_4 \text{ L}^{-1}$); Nitrogênio nitrato (mg N L^{-1}); Nitrogênio nitrito (mg N L^{-1}); Nitrogênio amoniacal (mg N L^{-1}); Nitrogênio Kjeldhal total (mg N L^{-1}); Potássio (mg K L^{-1}); Cálcio (mg Ca L^{-1}); Cloreto (mg Cl L^{-1}); Sódio (mg Na L^{-1}); Magnésio (mg Mg L^{-1}); Fósforo Total (mg P L^{-1}), e Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$). As amostragens deverão ser realizadas anualmente no período de setembro a novembro. Havendo resultados discrepantes a normativa (Decisão de Diretoria da CETESB nº 045/2014/E/C/I, de 20/02/2014 e com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº. 2.914, de 12 de dezembro de 2011), o uso da vinhaça deverá ser imediatamente interrompido e as autoridades ambientais deverão estar cientes do fato.
3. A área da aplicação da vinhaça não deverá estar contida em áreas de domínio federal ou estadual;
4. Respeitar o limite mínimo de 1000 metros de distância entre as áreas de aplicação de vinhaça e os núcleos populacionais compreendidos no perímetro urbano;
5. A profundidade do nível d'água do aquífero livre, no momento de aplicação de vinhaça, deverá ser, no mínimo, de 1,50 m. Sendo necessário a elaboração de estudo de sondagem de solo para averiguação, de acordo com as diretrizes elaboradas na NBR 6484/2001.
6. A aplicação de vinhaça em áreas com declividade superior a 15% somente será admitida em sistemas de cultivo adotando técnicas para manejo e prevenção da erosão;
7. A concentração máxima de potássio no solo não poderá exceder 5% da Capacidade de Troca Catiônica. Quando esse limite for atingido, a aplicação de vinhaça ficará restrita à reposição desse nutriente em função da extração média pela cultura, que é de 185 kg de K_2O por hectare por corte.
8. As informações a respeito das áreas, manejo, dosagem, método e épocas de aplicação deverão estar contidas em documento intitulado Plano de Aplicação de Vi-

nhaça sendo apresentado ao Órgão Ambiental Local, visando a obtenção da Licença de Instalação e Operação do empreendimento (dito Lançamento de Efluentes Industriais), no qual para o estado de São Paulo, a CETESB será o órgão fiscalizador para emissão da licença, devendo o empreendedor (canavieiro) atender as condicionantes e prerrogativas impostas na Licença Ambiental.

Coleta e análise foliar visando determinar o estado nutricional das plantas

A coleta de material para análise foliar é uma ferramenta importante para avaliar o estado nutricional de plantas de cana. O material foliar fornece informações sobre a absorção e concentração de nutrientes pelas plantas. A análise foliar é amplamente utilizada para monitorar a fertilidade do solo, o status nutricional das plantas e para ajustar as aplicações de fertilizantes, para garantir o crescimento saudável das plantas.

Podemos considerar que a análise foliar é uma ferramenta importante para determinar a necessidade de nutrientes das plantas, bem como para avaliar a eficiência das práticas de adubação. Além disso, tal análise permite a detecção precoce de deficiências nutricionais, possibilitando a correção antes que causem danos irreparáveis às plantas.

Nesse sentido, Oliveira (2021) elenca que para obtenção de uma amostra confiável que represente o estado nutricional do talhão de cultivo, alguns cuidados e recomendações devem ser seguidos, sendo:

1. As amostras devem ser coletadas de uma área representativa da cultura, evitando bordas, zonas com diferentes condições de cultivo ou plantas doentes.
2. A época de amostragem deve ser determinada de acordo com o objetivo da análise e o estágio de desenvolvimento das plantas.
3. As folhas mais novas são geralmente as mais indicadas para a coleta, pois representam o estado nutricional mais recente da planta. Nesse caso, deve-se coletar a segunda ou terceira folha, sentido descende do colmo (considere como folha verdadeira a que apresente a região da inserção da bainha foliar no colmo, dito lígula)
4. Coletar um número total de folhas que represente o estado nutricional do talhão por um todo. A quantidade de folhas a ser coletada varia de acordo com o tamanho da cultura e a finalidade da análise. Em geral, são coletadas cerca de 20 a 50 folhas por unidade de área.
5. Após a coleta, o material deverá ser limpo em água corrente e, se possível, utilizar água destilada.
6. Caso a estrutura produtiva permita, recomenda-se realizar a secagem do material a 65°C até obtenção do peso constante. Caso o local de produção não ter estufas de circulação de ar forçado, recomenda-se acondicionar as amostras previamente

identificadas em sacos de papel dentro de caixas refrigeradas e encaminha-las ao laboratório para análise foliar.

De posse dos resultados, as medidas de recomendação deverão ser tomadas com base em parâmetros comparativos, baseados em plantas com estado nutricional adequado para o ciclo de desenvolvimento em questão. Sendo assim, a Tabela 8 apresenta as faixas de concentração de nutrientes para as folhas do terço médio das plantas de cana de açúcar, consideradas em estado nutricional adequado. Cabe aqui salientar, que tais parâmetros estão baseados em ensaios experimentais disponíveis na literatura.

Tabela 8. Faixas de concentração de nutrientes para o terço médio das plantas de cana de açúcar, consideradas em estado nutricional adequado.

Fonte	Macronutrientes					
	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Malavolta <i>et al.</i> (1989) ¹	19 – 21	2,0 – 2,4	11 – 13	8 – 10	2 – 3	2,5 – 3,0
Malavolta <i>et al.</i> (1989) ²	20 – 22	1,8 – 2,0	13 – 15	5 – 7	2,0 – 2,5	2,5 – 3,0
Raij <i>et al.</i> (1997)	18 – 25	1,5 – 3,0	10 – 16	2 – 8	1 – 3	1,5 – 3,0
Orlando Filho (1983)	16 – 26	2,0 – 3,5	6 – 14	4,3 – 7,6	1,1 – 3,6	1,3 – 2,8
	Micronutrientes					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	mg kg ⁻¹					
Malavolta <i>et al.</i> (1989) ¹	15 – 50	8 – 10	200 – 500	100 – 250	0,15 – 0,30	25 – 50
Malavolta <i>et al.</i> (1989) ²	-	8 – 10	80 – 150	50 – 125	-	25 – 30
Raij <i>et al.</i> (1997)	13 – 30	6 – 15	40 – 250	25 – 250	0,05 – 0,20	10 – 50
Orlando Filho (1983)	6 -29	9 – 17	76 - 392	73 – 249	-	-

¹ e ² representam as faixas de concentrações para cana planta e soqueira, respectivamente.

Com relação aos micronutrientes, existem controvérsias literárias a respeito da determinação de suas concentrações. Conforme relatam Luz *et al.* (2017) as plantas de cana de açúcar podem apresentar o fenômeno denominado de “Fome Oculta”, sendo basicamente, a presença de deficiência nutricional, a qual limitará diretamente a produtividade, com a ausência de sintomas visuais.

Nesse caso, recomenda-se realizar a análise do solo previamente à implantação e durante a condução das soqueiras, após a primeira colheita, de maneira a repor os níveis de micronutrientes para valores adequados, evitando assim, ocorrências inesperadas a respeito da deficiência nutricional. Assim, a tabela 9, apresenta a recomendação para adubação de micronutrientes, segundo o Boletim 100 do Instituto Agronômico de Campinas, com base nos valores apontados na análise do solo.

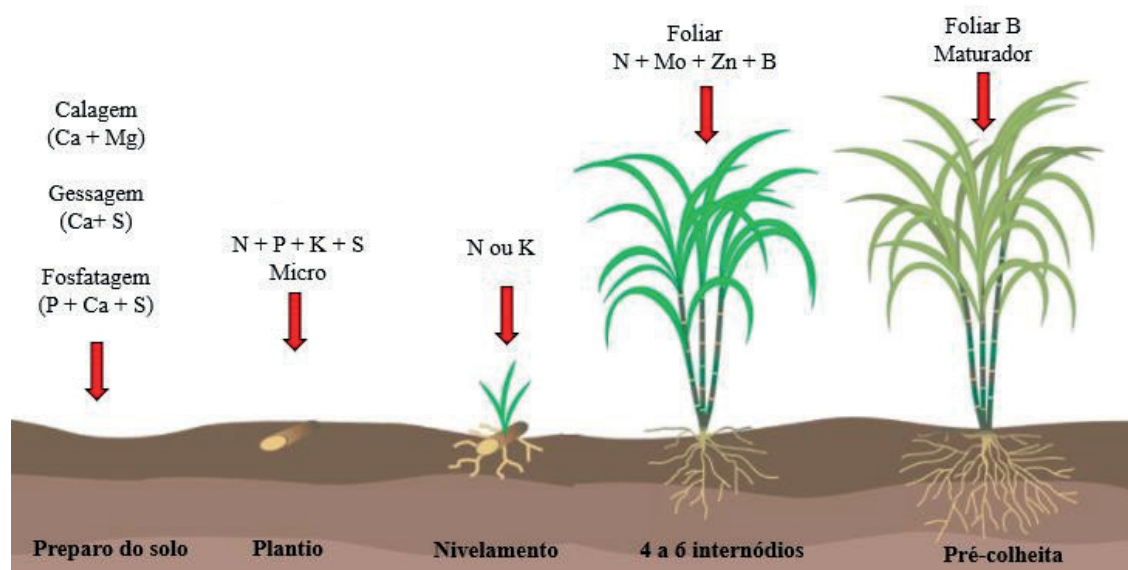
Tabela 9. Recomendação de micronutrientes com base nos resultados obtidos da análise do solo

Micronutriente	Teor no solo (mg dm ⁻³)	Quantidade a ser reposta (kg ha ⁻¹)
B	< 0,2	2
	0,2 – 0,6	1
	> 0,6	0
Cu	< 0,3	5
	0,3 – 0,8	0
	> 0,8	0
Mn	< 1,2	5
	1,2 – 1,5	0
	> 5,0	0
Zn	< 0,6	10
	0,6 – 1,2	5
	> 1,2	0

Fonte: Adaptado de IAC (2020).

Por fim, a figura abaixo apresenta, de maneira resumida, o momento do fornecimento de macro e micronutrientes para a cultura da cana de açúcar em relação as diferentes etapas do ciclo de desenvolvimento, seguindo as recomendações acima citadas.

Figura 1. Representação prática para o fornecimento de nutrientes ao longo do ciclo de desenvolvimento vegetativo da cultura da cana de açúcar.



Fonte: Luz e Quintino (2013).

Manejo de maturadores fisiológicos na cana de açúcar

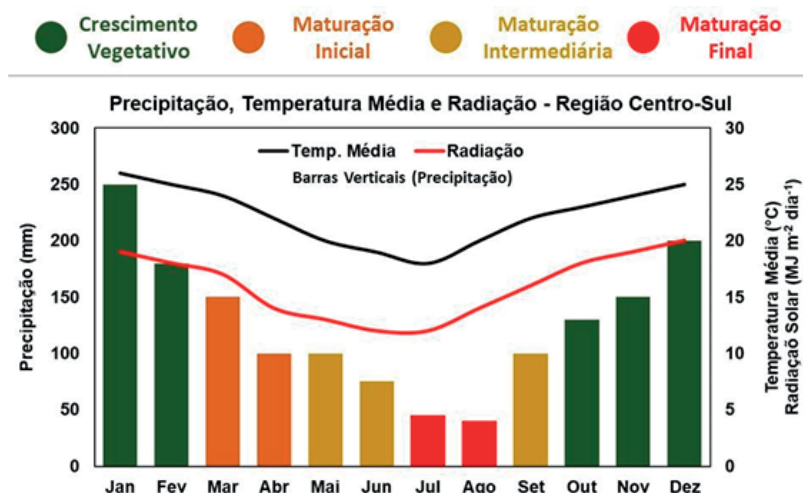
A maturação é um dos processos finais do ciclo de desenvolvimento de qualquer planta, seja cultivada ou não. O qual, nos vegetais de interesse comercial, certos aspectos relacionados a esta etapa deverão ser monitorados e manejados de forma a obter maiores índices produtivos ou até mesmo, otimizar o processo de colheita e escoamento.

Segundo Rossetto e Santiago (2019), existem três aspectos relacionados ao momento da maturação da cana de açúcar, no qual é citado: 1- Botânico: a planta é considerada madura a partir a emissão das estruturas reprodutivas e consequente formação das sementes; 2- Fisiológico: o processo de maturação é atingido quando a translocação máxima de sacarose resulta no maior armazenamento de carboidratos nos colmos; 3- Comercial: refere-se ao ponto de colheita estimado para a cultura da cana de açúcar, o qual, é necessário atingir o teor mínimo de 13% de sacarose com base no peso do colmo, indicando aptidão para processamento industrial.

Ainda, com base em linha exposta pelos autores, o acúmulo e translocação de sacarose, normalmente, inicia-se nos primeiros meses de crescimento até a formação dos colmos. Entretanto, é necessário existir restrições ao crescimento para que a planta interrompa o crescimento vegetativo e passe a acumular sacarose.

Nesse sentido, é observado que as regiões produtoras de cana de açúcar, principalmente a região Centro-Sul, apresentam um período chuvoso e com boa luminosidade, sendo representada pelas estações primavera/verão (dezembro a fevereiro), a qual favorece o desenvolvimento e crescimento vegetativo das plantas. Além disso, também é observado na estação outono/inverno (julho a setembro), a qual apresenta períodos de estiagem efêmeros com temperaturas amenas e baixa luminosidade, o qual ocasionam a maturação das plantas de cana de açúcar, em resposta fisiológica (Barbosa, 2022). Assim, é necessário manejar a maturação entre os meses de transição dos períodos definidos acima (março a julho – outubro a novembro), dessa forma, na Figura 2 é apresentado o efeito das condições climáticas na maturação da cana de açúcar.

Figura 2. Fases da maturação da cana de açúcar em relação ao efeito das condições climáticas para a região Centro-Sul.



Nota: Crescimento vegetativo: compreende os meses de outubro à fevereiro no qual as condições climáticas favorecem o crescimento da cana de açúcar com menor acúmulo de sacarose; Maturação inicial: compreende os meses de março e abril no qual a mudança gradual das condições climáticas ocasionam em ganho em toneladas de colmos por hectare (TCH) além de iniciar o processo de aumento gradativo de açúcares totais recuperáveis (ATR); Maturação intermediária: representada pelos meses de maio, junho e setembro onde as plantas cessam o desenvolvimento vegetativo no que diz respeito ao desenvolvimento de colmos, com impactos no TCH, e as plantas passam a direcionar a sacarose produzida para o armazenamento nos colmos. Entretanto, é observado que durante o mês de setembro, com a retomada das chuvas, faz com que as plantas, agora em maturação final, retomem o crescimento vegetativo; Maturação final: compreendida pelos meses de julho e agosto, a qual temos na Região Centro-Sul o período mais desfavorável ao cultivo e, inversamente, o mais favorável a maturação, essa fase é representada pelo maior acúmulo de ATR e maior estresse fisiológico.

Fonte: Barbosa (2022).

Além disso, é necessário entender que não basta apenas a presença do fator limitante ao crescimento vegetativo ocorrer que o processo de maturação iniciará de maneira imediata. É necessário haver um tempo de resposta da planta ao fator, no qual para a cana de açúcar tal valor é estimado entre 20 a 40 dias (Barbosa, 2022). Exemplificando, o efeito da estiagem de agosto na região Centro-Sul, somente será refletido na primeira quinzena de setembro, sendo que nesse período, normalmente maiores índices de ATR são observados nos materiais colhidos.

Portanto, é necessário entender o efeito de cada elemento climático no processo de maturação da cana de açúcar. Dessa forma, a tabela 10 apresenta as possíveis relações que agem sobre a maturação ou desenvolvimento vegetativo da cana de açúcar.

Tabela 10. Correlação entre efeitos edafoclimáticos sobre o crescimento e maturação da cana de açúcar.

Temperatura	Temperaturas acima de 30 °C favorece o crescimento vegetativo, enquanto que temperaturas abaixo de 23 °C reduzem em 50% a atividade fotossintética, iniciando o processo de maturação.
Umidade do solo e Precipitação	A redução gradativa da umidade do solo durante as estações de outono/inverno favorece a maturação. Entretanto, vale considerar o real estado hídrico da planta, dito o potencial hídrico. Nesse sentido, a maturação é iniciada quando as plantas apresentam potencial hídrico relativo à condição de estresse moderado ($\psi = -0,7$ a $-1,0$ MPa), onde em condições de restrição hídrica severa (longa estiagem) as plantas iniciam o consumo de sacarose em decorrência da respiração celular de manutenção, afetando significativamente o rendimento industrial dos colmos. Cabe ressaltar que plantas cultivadas em solos arenosos iniciam o processo de maturação mais rapidamente devido a menor capacidade de armazenamento de água desses solos. Ou seja, o intervalo de tempo para as plantas atingirem a condição de estresse moderado ocorre mais rapidamente do que em solos argilosos.
Radiação solar	Em razão da cana de açúcar apresentar metabolismo de carbono C4, as plantas são exigentes em radiação solar, o qual em condições de disponibilidade de água no solo, a espécie consegue aproveitar grande parte da radiação incidida sobre as folhas. Entretanto, em déficit hídrico e presença de grande quantidade de radiação solar, o estresse poderá ser acentuado, ocasionando na fotoinibição e consequente morte do vegetal. Assim, na fase inicial de maturação são necessários altos valores de radiação solar, o qual favorece a produção e acúmulo de sacarose nos colmos. Na fase intermediária da maturação, é necessário ocorrer a redução gradual na radiação solar, devido ao menor índice pluviométrico, o qual manterá as plantas em estresse moderado. Por fim, na fase final de maturação, é necessário a redução significativa da radiação solar, o qual matem os níveis de estresse abaixo de condições severas, permitindo o acúmulo de sacarose.
Idade da planta	O acúmulo de sacarose é aumentado conforme a idade da planta, em condições ambientais adequadas.
Estado nutricional	Em condições de deficiência nutricional, o potencial fotossintético é afetado assim como o acúmulo de sacarose.

Fonte: Adaptado de Barbosa (2022).

Maturadores químicos: principais grupos e recomendações

Um dos principais desafios da indústria sucroalcooleira é ter a disposição um volume de cana com qualidade tecnológica adequada para processamento industrial, seja para produção de álcool ou açúcar. Porém, conforme visto anteriormente, do ponto de vista agrônomo é necessário que diversos fatores ambientais (ora vezes relacionados ao manejo de implantação) atuem sobre as plantas de cana de açúcar para que o processo de maturação seja desencadeado.

Contudo, o setor agroindustrial não pode estar dependendo diretamente das condições climáticas para o fornecimento constante de colmos para o processamento e além disso em algumas regiões, as condições climáticas podem não favorecer o início do processo de maturação de maneira natural. Entretanto, em situação oposta, em condições ambientais favoráveis a grande quantidade de área a ser colhida pode ser um desafio, acarretando em alta dependência de maquinário e logística em um único período.

Assim, nessas condições, é necessário realizar o manejo da maturação via aplicação de produtos químicos que desencadeiam respostas fisiológicas visando o acúmulo de sacarose, em relação ao período de tempo, de modo a otimizar o processo de colheita diminuindo o risco de obter materiais com baixa qualidade tecnológica, no que diz respeito ao teor de sacarose, além de reduzir o risco de ociosidade da indústria.

Conforme dito por Faria *et al.* (2014), os maturadores químicos são produtos que induzem o processo de amadurecimento na qual desencadear respostas fisiológicas acerca da translocação e armazenamento dos açúcares, sendo utilizados para antecipar a maturação,

otimizar o planejamento da colheita, disponibilizar matéria prima de qualidade para a indústria e auxiliar no manejo varietal *in loco*. Dessa forma, a aplicação das moléculas que apresentam esse potencial ocasiona alterações na resposta da planta mediante a condição ambiental que se encontram, forçando a planta, basicamente, a direcionar os fotoassimilados produzidos nas folhas para o armazenamento nos entrenós, alterando o balanço entre sacarose e hexose (carboidrato estrutural) havendo, então, aumento do índice de açúcares totais redutores.

Do ponto de vista fisiológico, a aplicação dos maturadores resulta na alteração enzimática da planta, principalmente com relação ao balanço hormonal. Em condições normais de crescimento, há maior concentração de auxinas promovendo o desenvolvimento vegetativo, em relação aos níveis de etileno. Onde, a perturbação desse equilíbrio, mediado pela aplicação química ou condições ambientais já vistas, promove aumento dos níveis de etileno em decorrência do decréscimo da concentração de auxina, ocasionando, assim, a maturação da planta (Barbosa, 2022). Dessa forma, existem duas classificações dos maturadores de cana de açúcar, sendo elas: moléculas reguladoras de crescimento e moléculas estressantes.

O primeiro grupo, correspondem as substâncias capazes de retardar o crescimento e promover alterações metabólicas nas plantas de cana de açúcar, regulando o balanço hormonal o qual resulta no acúmulo momentâneo de sacarose. É importante salientar que tais produtos atuam de maneira efêmera, onde decorrido o efeito do produto, a planta retornará as suas atividades metabólicas normais, mediadas pela ação do ambiente de cultivo. Dessa forma, os canavieiros que optarem pelo uso de tais moléculas deverão planejar o tempo necessário para a colheita do material, de modo a maximizar os ganhos proporcionados pelo produto. O segundo grupo, compreende as moléculas que usualmente tem efeito herbicida, porém para efeito de maturadores em cana de açúcar, são utilizadas em subdosagem, a qual promovem um leve estresse metabólico nas plantas, ocasionando o aumento nas concentrações de etileno (Barbosa, 2022). Por fim, no mercado atual, estão disponíveis diversas moléculas a qual atuam como maturadores em cana de açúcar, no qual é apresentado na tabela 11 a relação de alguns produtos com seus ingredientes ativos e a dose recomendada para aplicação, de acordo com o MAPA (2023).

Tabela 11. Produtos recomendados como maturadores na cana de açúcar.

Identificação	Princípio ativo*	Classificação	Dose recomendada
(1) Moddus Neo®	Trinexapaque Etilico (250 g L ⁻¹)	Regulador de crescimento	0,8 – 1,2 L ha ⁻¹
(2) Etherel®	Etefom (240 g L ⁻¹) [Precursor de etileno]	Regulador de crescimento	2,0 L ha ⁻¹
(3) Curavial®	Sulfometurom – metílico (750 g kg ⁻¹)	Maturador estressante	18 a 26 g ha ⁻¹
(4) Riper	Bispirabaque-sódico (400 g L ⁻¹)	Maturador estressante	50 a 75 mL p.c ha ⁻¹
(5) Fusilade	Fluasifope-P-butílico (250 g L ⁻¹)	Maturador estressante	0,1 a 0,3 L p.c ha ⁻¹

(1) Época e intervalo de aplicação: realizar uma única aplicação aos 34, 45 ou 60 dias antes da colheita da cana, com a planta em pleno desenvolvimento vegetativo, a partir de 10 meses de idade. Para variedades colhidas em início de safra: aplicar entre os meses de janeiro e abril em variedades de ciclo de maturação médio ou tardio. Para variedades colhidas em final de safra: aplicar entre os meses de maio e novembro, com o objetivo de evitar o declínio do teor de sacarose na matéria prima.

(2) O produto pode ser usado para inibir o florescimento no qual deverá ser aplicado anteriormente a indução floral evitando decréscimo nos níveis de açúcares totais. Na região Centro-Sul, a aplicação deverá ser realizada numa única etapa por ciclo da cultura, de maneira aérea, entre a segunda quinzena de fevereiro à segunda quinzena de março. Recomenda-se adicionar 2% de uréia à calda de pulverização.

(3) Recomenda-se a aplicação uma única aplicação aos 40 ou 60 dias antes da colheita da cana de açúcar, desde que esteja em pleno crescimento vegetativo, com 10 a 12 meses de idade. Em cana de ano e meio, inverno ou dois verões, a aplicação poderá ultrapassar o período de 12 meses. Ainda, é necessário a adição de adjuvante do tipo espalhante adesivo com 0,1% v/v.

(4) Fazer uma aplicação entre 40 a 60 dias antes da colheita, de maneira a antecipar a maturação das plantas de cana de açúcar. Recomenda-se adicionar óleo mineral na dose de 50 mL/100 L de água.

(5) A aplicação deverá ser realizada em plantas com idade entre 10,5 a 11 meses para cana com ciclo de 12 meses (cana de ano) e 14 meses no mínimo para cana de ano e meio. Sendo que, a colheita deverá ser realizada decorrido 5 ou 6 semanas após a aplicação.

Fonte: MAPA (2023).

■ CONCLUSÃO

A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas do mundo, sendo amplamente utilizada na produção de açúcar, etanol e outros subprodutos. No Brasil, a cultura tem presença significativa na economia local e nacional, sendo que a região Centro-Sul se destaca pela sua aptidão edafoclimática ao cultivo.

Entretanto, para obtenção de altas produtividades é necessário adequar o sistema de cultivo seguindo práticas de manejo mais eficientes, desde a seleção das variedades, preparo de solo e o manejo nutricional da cana planta e, posteriormente, a soqueira.

Além disso, o uso de maturadores químicos é uma das principais ferramentas a qual auxiliam os canavieiros e as indústrias sucroalcooleiras a anteciparem a colheita, obterem matéria prima de qualidade e evitar a ociosidade industrial com suprimento constante de material para processamento.

■ REFERÊNCIAS

AIJ, B.V. Nova tabela de adubação e calagem para a cana-de-açúcar. *In: Semana da cana-de-açúcar de Piracicaba*. 2. ed, 1997, Piracicaba: ESALQ: IAC, p.40-42, 1997.

ALMADA, E. et al. Vinasse application management on two sugarcane varieties in the cerrado goiano. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 1, pp. 39-49, 2021.

AQUINO, V.L.S.A. et al. Phosphorus Dynamics in Sugarcane Fertilized With Filter Cake and Mineral Phosphate Sources. **Frontiers in Soil Science**, v. 1, e719651, 2021.

AUDE, M.I.S. Estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. **Ciência Rural**, v.23, p.241-248. 1993.

BARBOSA, A. **Maturação e Maturadores em Cana-de-Açúcar - Série Ecofisiologia da Cana-de-Açúcar**. 19 p. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360400213_Maturacao_e_Maturadores_em_Cana-de-Acucar_-_Serie_Ecofisiologia_da_Cana-de-Acucar. Acesso 08 fev. 2023.

BOSCHIERO, B.N. et al. Efeitos dos fertilizantes nitrogenados no crescimento da cana-de-açúcar, estado nutricional e produtividade em solos de ácidos tropicais. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 117, pp. 367 – 382, 2020.

CARPANEZ, T.G. et al. Sugarcane vinasse as organo-mineral fertilizers feedstock: Opportunities and environmental risks, **Science of The Total Environment**, v. 832, e154998, 2022.

CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP. 157p. 1991.

CASSMAN, N.A. et al. Genome-resolved metagenomics of sugarcane vinasse bacteria. **Biotechnology for Biofuels**, v. 11, e.48, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Norma Técnica P 4.231: Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. 3 ed., 15 p. 2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2013/11/P4.231_Vinha%C3%A7a_-Crit%C3%A9rios-e-procedimentos-para-aplica%C3%A7%C3%A3o-no-solo-agr%C3%ADcola-3%C2%AA-Ed-2%C2%AA-VERS%C3%83O.pdf. Acesso em: 13 fev. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Brasília, v9 – Safra 2022/23, n. 3 - Terceiro levantamento, p. 58 p. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Cana de Açúcar: Safra 2022/23 - 3º Levantamento. *In: Cana de Açúcar: Safra 2022/23 - 3º Levantamento*. 1. 1. ed. Online: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>: CONAB, 26 dez. 2022. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/45670_3099fcd8a2fab6e22dfd2a-5f244a7adf. Acesso em: 23 jan. 2023.

CURY, T.N. Biomassa radicular da cultura cana-de-açúcar em sistema convencional e plantio direto com e sem calcário. **Dissertação (Mestrado) Agricultura Tropical e Subtropical – Instituto Agrônomo**. Campinas. 110p. 2013.

- DANIELS, J.; ROACH, B.T. Taxonomy and evolution. *In*: DJ Heinz (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. Elsevier, v. 11. pp. 7-84. 1987.
- DINARDO-MIRANDA, L.L. et al. **Cana-de-açúcar**. Campinas, SP: Instituto Agronômico, p. 882. 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar - Portal Embrapa. 2009. (Mapa cartográfico)** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1249/zoneamento-agroecologico-da-cana-de-acucar>>. Acesso em: 27 jan. 2023
- GASCHO, G.J.; SHIH, S.F. Sugarcane. *In*: TEARE, I. D.; PEET, M. M. (Ed.). **Crop-water relations**. Interscience, p. 445–479. 1983.
- GONÇALVES, M. C. et al. Nitrogênio e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 2, p. 72-81. 2020.
- GRANCO, G. et al. Potential effects of climate change on Brazil's land use policy for renewable energy from sugarcane, **Resources, Conservation & Recycling**. v. 144, pp. 158–168. 2019.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico 100, 3. ed., Instituto Agronômico, 154 p. 2020.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Gemas brotadas de cana-de-açúcar: produção sustentável e utilização experimental na formação de áreas de multiplicação**. Campinas: Instituto Agronômico, 2020. 52 p.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. **Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana de açúcar**. **Boletim Técnico**. Campinas: Instituto Agronômico, 100 p, 2016.
- LI, Y. et al. Liming effects on soil pH and crop yield depend on lime material type, application method and rate, and crop species: a global meta-analysis, **Journal of Soils and Sediments**, v.19, n. 2019, p. 1393-1406. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2120-2>
- LUZ, P.H.C. et al. Nutrição mineral e fertilização em cana-de-açúcar. *In*: SILVA, F. C.; ALVES, B. J. R.; FREITAS, P. L. **Sistema de produção mecanizada da cana-de-açúcar integrada à produção de energia e alimentos**. Brasília, Embrapa, 2017. p. 938
- LUZ, P.H.C.; QUINTINO, T.A. Manejo da produção de fertilizantes organominerais balanceados para a cana-de-açúcar. *In*: Simpósio tecnologia de produção da cana-de-açúcar, 6., 2013, Piracicaba. Anais[...] Piracicaba: Esalq/USP, 2013
- MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 201 p. 1989.
- MANZATTO, C.V. et al. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-Açúcar Expandir a produção preservar a vida, garantir o futuro**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Documentos 110. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 55 p. 2009.
- MATA, J.F. Ecofisiologia da cultura da cana de açúcar. *In*: DIAS, José Paulo Tadeu. **Ecofisiologia de culturas agrícolas**. 1. ed. Belo Horizonte: EdUEMG, 2018. v. 1, cap. 9, p. 133-149.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Evolução da produtividade da cana-de-açúcar por corte**. 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/estatisticas/producao/SETE_MBRO_2012/evolucao%20podutividade%20cana.pdf>. Acesso em: 25 jan de 2023.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Consulta de Produtos Formulados**. Disponível em http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. 2023 Acesso 08 fev. 2023.

MOURA, J.B. et al. Influence of nitrogen fixing bacteria in the establishment of pre-broken sugar cane. **Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences**, v. 21, n. 1, p. 22-26, 2019.

OLIVEIRA, C. Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos. **Dissertação** (Mestrado em Ciências - Máquinas agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2012. 107 p. il.

OLIVEIRA, M. et al. **Nutrição mineral e adubação da cana-de-açúcar**. 1. Ed. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Belo Horizonte: MG, pp.30-43 2021.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana-de-açúcar. In: CÂMARA, G.M.S; OLIVEIRA, E.A.M. (Ed.). **Produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: USP-FEALQ, p.133-146, 1993.

SANCHEZ, P.A. **Properties and Management of Soils in the Tropics**. 2. ed. Cambridge University Press, UK, 666 p. 2019. <https://doi.org/10.1111/ejss.12897>

PRADO, R. et al. Filter cake, and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. **Applied and Environmental Soil Science**. v, 2013, e581984. 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/581984>

RAIJ, B. VAN. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo** 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 285p. 1997

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2. ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2017. p. 420.

RODRIGUES, A.N. et al. Aplicação de potássio para cana-de-açúcar em um Latossolo franco-arenoso do Cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.56, e02128, 2021.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A.D. Agência Embrapa de Informações Tecnológicas - AGEI-TEC. **Árvore do conhecimento cana-de-açúcar**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/canadeacucar/arvore/CONTAG01_33_711200516717.HTML>. Disponível em: 12 jan. 2023.

SILVA, J.P.N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar/João Paulo Nunes da Silva, Maria Regina Nunes da Silva**. Inhumas: IFG: Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 105 p. 2012.

SILVA, M.A. et al. Fenologia da cana-de-açúcar. In: **Tópicos em ecofisiologia da cana-de-açúcar**. CRUSCIOL, C.A.C et al. (Eds.). Botucatu: FEPAF. p.8-21. 2010.

UCCHESI, A.A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendeneiro e oliveira**. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, p. 13–45. 2001.

WATT, D.A. et al. Source and Sink Physiology. *In*: P.H. MOORE, F.C. BOTHA, F.C. (Eds.), **Sugarcane: Physiology, Biochemistry and Functional Biology**. 2014, p. 483–520

VIEIRA, E.S.; ANDRADE, V.S.; PERIN, L.; MENEZES, V.M.M.; PINHEIRO, S.S.C. Atributos microbiológicos do solo em área de cultivo de cana-de-açúcar em Sergipe. **Anais da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia**, v. 1, n. 1. p. 73-76. 2021.

Modelos empíricos de crescimento e produtividade de milho irrigado com doses de nitrogênio

| **Wemerson Saulo da Silva Barbosa**
Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOB

| **Guilherme Bastos Lyra**
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

| **José Leonaldo de Souza**
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

| **Iêdo Teodoro**
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

| **Ricardo Araújo Ferreira Junior**
Universidade Federal de Alagoas - UFAL

RESUMO

Objetivo: avaliar o ajuste de modelos empíricos de crescimento, logístico e peak log normal, e a produtividade do milho híbrido AG7088 irrigado sob diferentes doses de Nitrogênio. O experimento foi conduzido entre 29/02 e 20/06/2016, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados e os tratamentos foram quatro doses de Nitrogênio, usando como fonte a ureia (45% de N): 0, 75, 150 e 225 kg ha⁻¹. A coleta de dados, considerou os parâmetros biométricos: Altura de plantas, matéria seca de plantas, e índice de área foliar. A acurácia dos modelos, foi realizada através do Coeficiente de determinação ajustado, correlação de Pearson, Concordância de Willmontt e o Erro Padrão de Estimativa. Os modelos logísticos e pic log normal ajustados em função dos Graus-dia acumulados representaram satisfatoriamente a variação dos parâmetros de crescimento avaliados, com coeficiente de determinação ajustado entre 0,75 e 0,99; correlação de Pearson entre 0,86 e 0,99 e Concordância de Willmontt entre 0,96 e 0,99. A produtividade máxima de grãos de milho foi de 7,97 t ha⁻¹, obtida com 171,80 kg de N ha⁻¹. Conclui-se que os modelos podem ser utilizados para auxiliar na análise de crescimento vegetal, quando relacionados aos Graus-dia acumulados, além de permitirem obter coeficientes biométricos úteis em modelos dinâmicos.

Palavras-chave: Adubação, Modelagem, Graus-Dias, *Zea Mays* L.

■ INTRODUÇÃO

O Estado de Alagoas integra a região do SEALBA, uma nova fronteira agrícola no Nordeste Brasileiro (NEB), que compreende os estados de Sergipe, o leste, agreste e sertão alagoano e o nordeste da Bahia (PROCÓPIO *et al.*, 2018). Conforme a CONAB (2020), na região do SEALBA foram cultivados 413.1 mil ha de milho, com a produção de 1.0 milhão de toneladas (t). Alagoas produziu 61.40 mil t, em 38.41 mil hectares com a produtividade média de 1.600 kg ha⁻¹. No entanto, verifica-se que essas produtividades são baixas quando comparadas aos Estados de Sergipe e Bahia.

Esta lacuna produtiva é justificada pelo baixo nível tecnológico empregado nos cultivos de Alagoas, visto que a difusão de tecnologias importantes para o rendimento da cultura é negligenciada ou até mesmo não realizadas (LYRA *et al.*, 2014; MORAIS *et al.*, 2017; PROCÓPIO *et al.*, 2018), dentre elas o manejo da adubação. A adubação nitrogenada é uma prática indispensável para a cultura do milho, uma vez que, o nitrogênio é o nutriente absorvido em maior quantidade pelas plantas e participa de vários processos bioquímicos e fisiológicos (LYRA *et al.*, 2014; PRIMO *et al.*, 2011).

A simulação do crescimento e produção das plantas por meio de modelos é útil para o aprimoramento das práticas de manejo e dar suporte a tomada de decisão agrícola, ao reproduzir a relação do clima no crescimento e no rendimento das culturas, o que a torna um importante recurso para a previsão de safras (ALVAREZ *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2013; BENDER *et al.*, 2020).

O crescimento das culturas é linearmente relacionado ao acúmulo de temperatura do ar entre uma faixa de temperatura considerada ótima, sendo esse acúmulo denominado graus-dia (GDA) ou tempo térmico. Essa faixa é definida pela temperatura basal superior (TB) e inferior (Tb) (LYRA *et al.*, 2014; BENDER *et al.*, 2020).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o ajuste dos modelos empíricos de crescimento, logístico e peak log normal, em função dos Graus-dia acumulados e a produtividade do milho sob diferentes doses de N, na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.

■ MÉTODOS

Caracterização experimental e climática

O experimento foi realizado entre 29 de fevereiro a 20 de junho de 2016, na área experimental do *Campus* de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, situado na região dos Tabuleiros Costeiros. O clima da região é classificado como

úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno (THORNTHWAITE; MATHER, 1955).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, de textura média/argilosa as propriedades químicas estão expostas na **Tabela 1**, e as físicas, apresentaram pkg ha^{-1} , utilizando como fonte ureia (45% de N).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, de textura média/argilosa as propriedades químicas estão expostas na Tabela 1, e as físicas, apresentaram para um perfil com profundidade de 0,60 m, em média 56,8% de areia, 12,8% de silte e 30,4% de argila e densidade do solo de $1,32 \text{ Mg m}^{-3}$ (COSTA *et al.*, 2011).

Tabela 1. Análise química do solo da área experimental, em Rio Largo, Alagoas.

*Prof.	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC _t
m	H ₂ O	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol dm ⁻³ -----				
0,20 - 0,40	6,1	5	29	39	2,4	1,89	0,09	3,6	3,6
Prof.	CTC _T	MO	Saturação						
m	cmol dm ⁻³	g kg ⁻¹	-----%-----						
0 - 0,20	7,24	26,3	SB	m	Ca	Mg	K	Na	
			50,3	2,4	24	15,6	0,6	0,5	

*Prof. – profundidade, pH – Potencial de hidrogenação, P – fósforo, Mehlich, K – potássio, Na – sódio, Ca – cálcio, Mg – magnésio, Al – alumínio, H+Al – hidrogênio mais alumínio, CTC_t – Capacidade de troca de cátions efetiva, CTC_T – Capacidade de troca de cátions total, MO – Matéria orgânica, SB – soma de bases, m – saturação por alumínio.

O delineamento experimental foi blocos casualizados, com quatro doses de nitrogênio (N): 0 (N0), 75 (N75), 150 (N150) e 225 (N225) kg ha^{-1} , utilizando como fonte ureia (45% de N).

A cultivar AG 7088 foi semeada com a densidade de 50.000 plantas ha^{-1} , aos 15 Dias Após a Semeadura (DAS) foi feita a adubação de cobertura com a dose de N relativa a cada sub parcela.

Os dados meteorológicos de evapotranspiração de referência (ET₀), temperatura do ar máxima (TMáx.) e mínima (TMín.), Umidade relativa média (Urm%) e Precipitação (P), foram coletados de uma estação meteorológica automática (Micrologger – CR 3000, Campbell Scientific, Logan, Utah).

Foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, as lâminas de água aplicadas ao longo do experimento, tiveram como base 80% da ET_c (Equação 1), calculada, multiplicando-se a ET₀ pelo coeficiente de cultura (K_c) de cada fase de desenvolvimento, recomendado pelo boletim FAO-56 (ALLEN *et al.*, 1998).

$$ET_C = ET_0 K_C \quad (1)$$

As avaliações de crescimento ocorreram a cada 15 dias, e a colheita foi realizada em 23/06/2016. A variável do eixo das abscissas escolhida foi Graus-Dias Acumulados (GDA),

embasando-se no fato de que a planta necessita de certa quantidade de energia, representada pela soma de graus térmicos acima da temperatura basal, para completar determinada fase fenológica ou o seu ciclo total (BENDER *et al.*, 2020).

Na determinação do GDA necessários à cultura do milho utilizou-se a mesma relação de Lyra *et al.* (2008) conforme a Equação 2.

$$GDA = \sum_{i=1}^n (T_{m,i} - T_b) \quad (2)$$

em que GDA ($^{\circ}\text{C d}^{-1}$) - representa os graus-dia acumulados; $T_{m,i}$ ($^{\circ}\text{C}$)- é a temperatura do ar média diária do dia i , com i variando de 1 (data de plantio), até n dias (dias); e T_b ($^{\circ}\text{C}$)- é a temperatura basal. T_m foi determinada pelos extremos diários de temperatura do ar, pela relação $(T_x + T_n)/2$, em que T_x e T_n ($^{\circ}\text{C}$) são, respectivamente, a temperatura do ar máxima e mínima diária. Nas condições de cultivo da região, neste estudo adotou-se T_b para o milho de 10°C (LOZADA; ANGELOCCI, 1999).

Dados biométricos e modelagem

Foram coletadas as variáveis de crescimento, Altura de Plantas (AP), Massa Seca de Plantas (MSP) e Índice de Área Foliar (IAF), em cinco plantas por sub parcela, que totalizaram 20 plantas por parcela. A AP corresponde a distância (cm) entre o colo da planta e a extremidade da parte aérea, e foi mensurada com o auxílio de uma trena.

A MSP, foi obtida coletando-se folhas, colmos, pendões e espigas, armazenando-os em sacos de papel Kraft e pesadas em uma balança de precisão, posteriormente, foi seca em estufa de ventilação forçada na temperatura de 65°C por 72h, conforme as recomendações da ASAE (2000).

O IAF observado foi calculado através da divisão da área foliar da planta por área ocupada, conforme a Equação 3.

$$IAF = [(C \times L \times 0,75 \times (nf + 2)) \div 10.000] \times N \div E \quad (3)$$

em que, C o comprimento foliar; L corresponde à largura da folha; nf é o número de folhas; N representa o número de plantas; E é o espaçamento entre plantas e $0,75$ é o fator de forma da área foliar do milho.

A AP e a MSP foram ajustadas ao modelo logístico em função dos GDA, conforme Equação 4. E, o IAF foi ajustado para uma expressão peak logaritmo normal, com três parâmetros, em função dos GDA (Equação 6).

$$W = \frac{W_f}{1+(W_f/W_0-1)\exp(-TCR \sum GDA)} \quad (4)$$

em que W (cm ou g) é a variável de crescimento; W₀ e W_f (cm) taxa de crescimento inicial e final; TCR (cm cm⁻¹ dia⁻¹ ou g g⁻¹ dia⁻¹) é a taxa máxima de crescimento relativo (Equação 5); \sum GDA o somatório de GDA no período de crescimento.

$$TCR = \frac{\ln(b_2) - \ln(b_1)}{T_2 - T_1} \quad (5)$$

em que: TCR é a taxa máxima de crescimento relativo (cm cm⁻¹ ou g g⁻¹ °C⁻¹ dia⁻¹); b₁ matéria seca atual da planta (cm); b₂ matéria seca anterior da planta (cm); T₂ tempo ou GDA atual (dias); T₁ tempo ou GDA anterior (dias).

$$IAF = a * \exp \left\{ -0,5 * \left[\left(\ln \frac{x}{c} \right) \div b \right]^2 \right\} \quad (6)$$

Em que: a valor mínimo de y (IAF); b amplitude de y; c valor de x (GDA) no qual ocorre o y máximo.

Os modelos foram submetidos ao teste t de Student a 5% de probabilidade (p ≤ 0,05), Equação 7 e 8.

$$t = \frac{x - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (7)$$

Em que \bar{x} : Média da amostra; μ_0 : Valor fixo usado para comparação com a média da amostra; s: desvio padrão (Equação 6); n: número da amostra.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

Em que \bar{X} : Média da amostra; μ_0 : Valor fixo usado para comparação com a média da amostra; s: desvio padrão (Equação 7); n: número da amostra.

A acurácia dos modelos, logístico e peak log normal foi realizada através do Coeficiente de determinação ajustado (R²_{ajs}), Coeficiente de correlação de Pearson (r) e Índice de Concordância de Willmontt (d) e o Erro Padrão de Estimativa (EPE).

O R²_{ajs} é a porcentagem de variação na resposta que é explicada pelo modelo, ajustada para o número de preditores do modelo em relação ao número de observações, conforme a Equação 8, quanto maior o valor de R²_{Ajs} melhor o desempenho do modelo.

$$R_{aj\text{s}}^2 = 1 - \left[\frac{(1 - R^2)(n - i)}{n - p} \right] \quad (8)$$

Em que, p é o número de parâmetros assumidos pelo modelo; n é o número de amostras ou medidas; i é a relação de interceptação da curva dos valores observado com a curva do modelo, considerando 1 se houver interceptação das curvas com os pontos.

O Coeficiente de Correlação de Pearson “r” mede o grau de associação entre duas variáveis, indicando a correlação entre os dados observados e simulados, essa correlação pode ser positiva ou negativa, Equação 9.

$$r = \frac{\sum O_i S_i - \frac{\sum S_i \times \sum O_i}{N}}{(N - 1) \times S_{O_i} * S_{S_i}} \quad (9)$$

em que: r é o coeficiente de correlação de Pearson; $\sum O_i$ é a soma dos produtos entre os valores de observados e estimados; $\sum O_i * \sum S_i$ é o produto da soma dos valores de O_i e S_i ; N é o número de observações; S_{O_i} é o desvio padrão dos valores de o_i e o S_{S_i} é o desvio padrão dos valores de s_i .

O Índice de Concordância de Willmott (1982), avalia a concordância existente entre os pontos simulados e observados através da aproximação ou afastamento dos dados, que varia de zero a um, em que zero indica a nulidade e um indica a exatidão, de acordo com a Equação 10.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=0}^N (|S_i - \bar{o}| + |O_i - \bar{o}|)^2} \right] \quad (10)$$

em que: S_i é o valor estimado pelo modelo no dia i; O_i é o valor observado no dia i e \bar{o} é a média dos valores observados.

O Erro Padrão de Estimativa fornece o desvio médio entre os valores observados e estimados. Equação 11.

$$EPE = \sqrt{\frac{(S_i - O_i)^2}{N - 2}} \quad (11)$$

em que: S_i é o valor estimado pelo modelo no dia i; O_i é o valor observado no dia i e \bar{o} é a média dos valores observados; N é o número de amostras.

Produtividade de grãos

A Produtividade de Grãos (PG) ($t\ ha^{-1}$) foi estimada efetuando-se a pesagem de todos os grãos existentes nas plantas da área útil ($8.0\ m^2$) de cada subparcela, corrigida para 13% a base úmida, conforme a Equação 12.

$$Y = \frac{M}{C.E} * 10.000 \quad (12)$$

em que: Y é a produtividade de grãos ($t\ ha^{-1}$), M é a massa colhida na área amostrada (t), C é o comprimento total das linhas colhidas (m) e E é o espaçamento entre linhas (m).

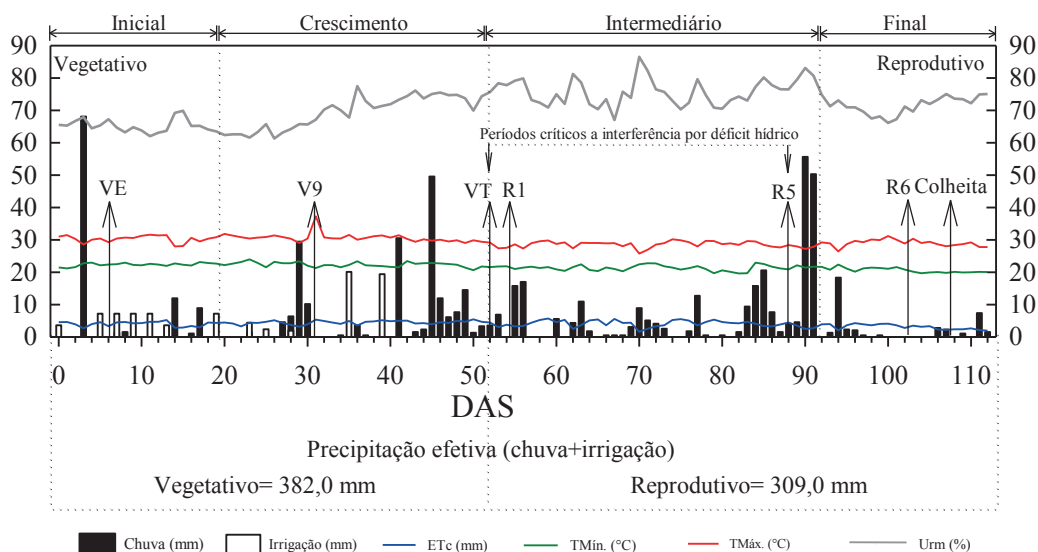
Os dados de PG foram submetidos à análise variância pelo teste F, e quando houve efeito significativo utilizou-se curvas de regressão polinomial quadrática com a variável independente, doses de nitrogênio.

■ RESULTADOS

Dados meteorológicos

Conforme a Figura 1, as condições meteorológicas variaram ao longo da estação de cultivo (semeadura até a colheita). A temperatura média mínima do ar (TMín.) foi de $21,7 (\pm 1,0)\ ^\circ C$, variando de $19,6$ (21/05/2016, 82 DAS) a $24\ ^\circ C$ (23/03/2016, 23 DAS), e a temperatura máxima média do ar (Tmáx.) foi de $29,5 (\pm 1,4)$, variando de $25,7\ ^\circ C$ (09/05/2016, 70 DAS) a $37,7\ ^\circ C$ (31/03/2016, 31 DAS). Conforme Lozada e Angelocci (1999) as temperaturas ideais para o crescimento de milho se encontram na faixa de 25 e $30\ ^\circ C$, logo as temperaturas ambientais registradas durante a condução do experimento foram satisfatórias para o crescimento das plantas.

Figura 1. Chuva, irrigação e variáveis meteorológicas: Evapotranspiração da cultura (ETc), Temperatura do ar máxima (TMáx), Temperatura do ar mínima (TMín) e Umidade relativa do ar média (Urm%) de 28/02/16 a 20/06/16 para o crescimento do milho irrigado sob doses de Nitrogênio em Alagoas.



A umidade relativa do ar média (Urm%) durante o experimento foi de 71,3 %, variando de 61,3% (26/03/2016, 26 DAS) a 86,5% (09/05/2016, 70 DAS), respectivamente (Figura 1).

A ETc média foi de 4,0 ($\pm 0,98$) mm dia⁻¹, variando entre 1,94 mm dia⁻¹ (112 DAS, 26/06/2016) e 5,70 mm dia⁻¹ (59 DAS, 28/04/2016), acumulando 451,94 mm (Figura 1).

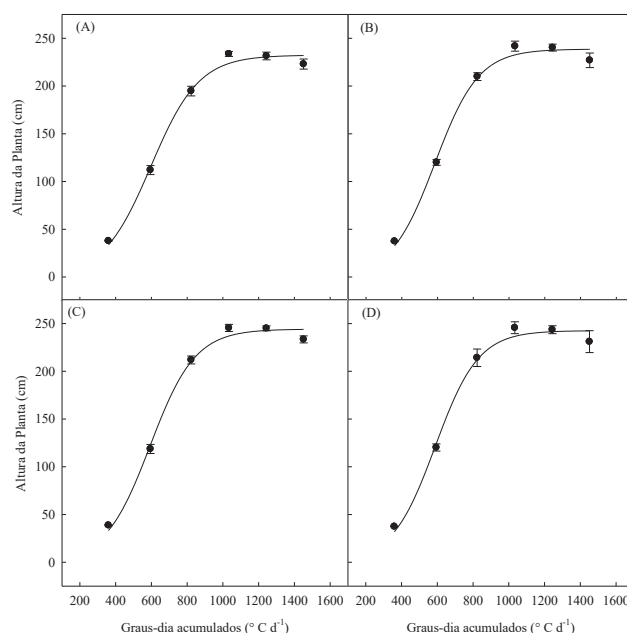
Em relação a disponibilidade de água, não houve déficit hídrico que comprometesse o crescimento das plantas, as precipitações ocorreram em 82 dias (73,21% do ciclo), totalizando 599,40 mm. No entanto, houve uma distribuição bastante irregular onde o maior evento de precipitação diária (68,10 mm) ocorreu na fase inicial de crescimento, aos 3 DAS. Justificando-se, portanto, o uso de irrigação. Foram aplicados o equivalente a 91,30 mm em períodos sem chuva (26,78% do ciclo). A lâmina de água total foi 691,0 mm (precipitação + irrigação) (Figura 1).

Dados biométricos e modelagem

Altura de Plantas

A AP apresentou efeito significativo ($p \leq 0,01$), pelo teste t, entre as doses de N para as seis datas de coleta, com R_{ajs}^2 variando de 0,992 a 0,993, o modelo explica a maior parte da variabilidade da AP (Figura 2).

Figura 2. Altura de plantas e curvas ajustadas pelo modelo logístico para o milho irrigado sob as doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) kg de Nitrogênio.



Bender *et al.* (2020), avaliaram o ajuste do modelo logístico, para a AP do algodão adubado com diferentes fontes de N no cerrado baiano, e verificaram uma boa acurácia com R2ajs variando de 0.996 a 0.946, e EPE variando de $\pm 3,65$ a $\pm 2,97$ cm.

Morais *et al.* (2017) também verificaram um bom ajuste do modelo logístico, para a AP de milho em épocas de semeio em Alagoas, com R2ajs variando de 0,985 a 0,991 e EPE entre $\pm 0,72$ a $\pm 1,54$ cm.

De acordo com Favarato *et al.* (2016) a AP é um parâmetro que expressa o crescimento da cultura e tem correlação positiva com a produtividade de grãos, provavelmente porque acumulam maiores quantidades de reservas ao longo do colmo. No entanto, plantas muito altas podem ser mais susceptíveis ao quebramento e acamamento, afetando negativamente o processo de colheita e a produtividade da lavoura (MENDES *et al.*, 2013; PEREIRA, *et al.*, 2017; KOOPER *et al.*, 2017).

O valor máximo observado para AP foi de 244,14 cm (N150) e o menor de 232,33 cm (N0). Para os coeficientes do modelo, o crescimento final da AP (Wf) e a taxa de crescimento relativo (TCR), foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) (Tabela 2).

Tabela 2. Coeficientes de ajuste do modelo logístico (Wf, W0 e TCR) para Altura da planta (AP, cm) e Massa seca de plantas (MSP, g) e ajustes (a, b e X0) do modelo peak log normal para variável Índice de área foliar (IAF); erro padrão (entre parênteses) dos coeficientes dos modelos, ajustados para o milho irrigado sob doses de Nitrogênio, em Alagoas.

Dose de N kg ha ⁻¹	logístico						
	¹ Wf0	W _f		W ₀		TCR	
Altura da Planta (cm)							
0	231,47	232,34**	(± 5,63)	2,63 ns	(± 1,44)	0,0074**	(± 0,0009)
75	240,26	238,64**	(± 5,97)	1,99 ns	(± 1,31)	0,0082**	(± 0,0011)
150	244,90	244,14**	(± 5,81)	2,20 ns	(± 1,31)	0,0079**	(± 0,0010)
225	243,56	242,55**	(± 6,03)	1,87 ns	(± 1,25)	0,0083*	(± 0,0012)
Massa Seca Plantas (g)							
0	241,68	266,90**	(± 26,93)	4,84ns	(± 2,88)	0,0042**	(± 0,0008)
75	295,94	317,81**	(± 33,27)	4,82 ns	(± 3,41)	0,0044**	(± 0,0009)
150	302,60	295,10**	(± 19,19)	1,74 ns	(± 1,67)	0,0060**	(± 0,0012)
225	299,47	324,06**	(± 22,58)	3,89 ns	(± 2,10)	0,0047**	(± 0,0007)
peak log normal							
	a ₀	a		b		X ₀	
IAF							
0	3,56	3,06*	(± 0,54)	0,306*	(± 0,06)	878,27**	(± 56,20)
75	3,98	3,30*	(± 0,64)	0,326*	(± 0,08)	892,06**	(± 67,41)
150	4,18	3,40*	(± 0,69)	0,334*	(± 0,09)	897,30**	(± 72,09)
225	4,30	3,50*	(± 0,69)	0,345*	(± 0,09)	899,70**	(± 74,28)

**significativo à nível de 1%; *significativo à nível de 5%; ns não significativo pelo teste t.; 1 variáveis (AP, MST) finais observadas; massa seca final (Wf); massa seca inicial (W0); crescimento relativo (TCR); (a0)-máximo IAF observado; (a) máximo IAF estimado; (b)-IAF mínimo estimado; (X0) Graus-dia acumulados que proporcionou maior IAF.

O modelo logístico obteve TCR para a AP variando entre 0,0074 cm cm⁻¹ °C⁻¹ dia⁻¹ (N0) e 0,0083 cm cm⁻¹ °C⁻¹ dia⁻¹ (N225). Observa-se na Figura 2 que as maiores AP, ocorreram aos 1.000 GDA, independente da dose de N, em seguida houve a uniformização da AP, possivelmente pela transição do período vegetativo para o reprodutivo (VT-R1) em que as plantas cessam o crescimento e direcionam a produção de fotoassimilados para a formação da espiga (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Massa Seca de Plantas

Verifica-se na Figura 3, que houve diferença significativa para os parâmetros de MSP Wf e TCR a (p≤0,01). Independente da dose de N, os dados de MSP ajustados aos GDA, mostram um bom ajuste ao modelo logístico, com R²ajs entre 0,987 e 0,993 (Tabela 2), índices de correlação de Person (r) variando de 0,994 a 0,995, e concordância de Willmott (d), superior a 0,998. O EPE apresentou variação entre ± 8,155 g (N225) e ± 13,856 g (N150) (Tabela 3) corroborando com trabalhos de Bender *et al.* (2020), Morais *et al.* (2017) e Lyra *et al.* (2014), que também verificaram bons ajustes do modelo para a MSP.

Figura 3. Massa seca de plantas e curvas ajustadas pelo modelo logístico para o milho irrigado sob as doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) kg de Nitrogênio, em Alagoas

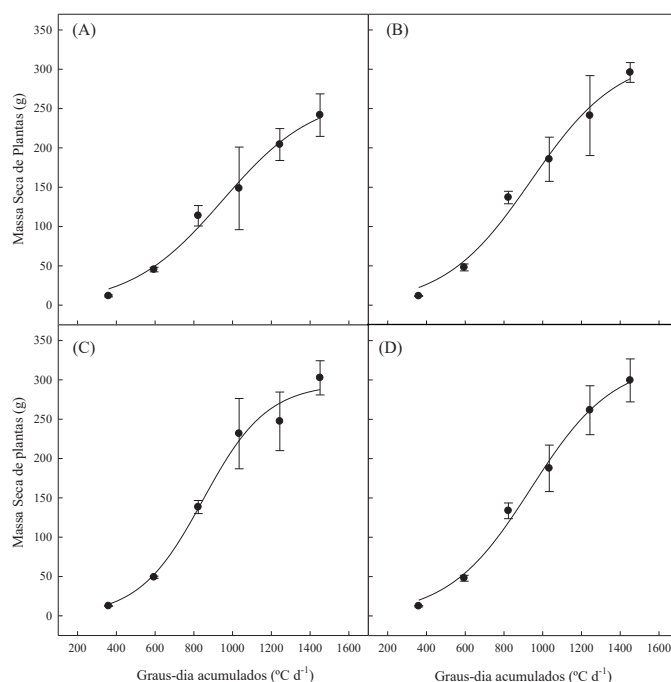


Tabela 3. Desempenho do modelo logístico para as variáveis Altura de plantas e Massa seca de plantas e do modelo peak log normal com 3 parâmetros, para variável Índice de área foliar com base no Coeficiente de ajuste (R_{aj}^2), coeficiente de correlação de Pearson (r), índice de concordância Willmont (d) e Erro Padrão da Estimativa (EPE) para o crescimento de milho irrigado sob diferentes doses de Nitrogênio, em Alagoas.

Dose kg de N ha ⁻¹	R_{aj}^2	r	d	EPE
0	0,993	0,998	0,999	± 9,923
75	0,992	0,999	0,999	± 10,726
150	0,993	0,999	0,999	± 9,766
225	0,993	0,999	0,999	± 9,688
Massa Seca de Plantas (g)				
0	0,989	0,995	0,999	± 9,020
75	0,988	0,994	0,998	± 12,423
150	0,987	0,994	0,998	± 13,856
225	0,993	0,998	0,999	± 8,155
IAF				
0	0,807	0,903	0,973	± 0,500
75	0,770	0,873	0,964	± 0,642
150	0,755	0,866	0,961	± 0,698
225	0,752	0,868	0,964	± 0,679

A maior MSP observada foi de 302,0 g planta⁻¹ (N150), no entanto o modelo subestimou em 2,28% a média observada (295,10 g planta⁻¹). A maior MSP estimada pelo modelo foi de 324,67 g planta⁻¹ (N225), superestimando em 7,60%, as médias observadas (299,47 g). A maior TCR foi de 0,006 g g⁻¹ °C⁻¹ dia⁻¹ (N150) e a menor 0,0042 g g⁻¹ °C⁻¹ dia⁻¹ (N0) e a média de 0,006 g g⁻¹ °C⁻¹ dia⁻¹. O EPE variou entre ±19,49 e ±33,20 g para Wf e ±0,01 g para TCR.

A predição da MSP é uma excelente ferramenta para prever o rendimento de plantas para o processo de ensilagem, visto que é possível estimar em qual período as plantas estarão com a MSP ideal para a produção de forragem, levando-se em consideração além do crescimento, os atributos bromatológicos do genótipo cultivado (PAZIANI *et al.* 2009; MOREIRA *et al.* 2014).

A alocação de MSP inicial entre as doses de N é lenta entre os 400 a 600 GDA (Figura 3), posteriormente há um crescimento linear até o fim do ciclo (1.600 GDA), corroborando com Morais *et al.* (2017), Lyra *et al.* (2014), Oliveira *et al.* (2013) e França *et al.* (2011), que também verificaram uma fase inicial de crescimento lento, com uma baixa alocação de MSP, seguida por uma fase de rápida alocação de matéria seca na ordem de 80-90%, sendo necessária para sustentar as espigas no período reprodutivo (VT-R6).

Índice de área foliar (IAF)

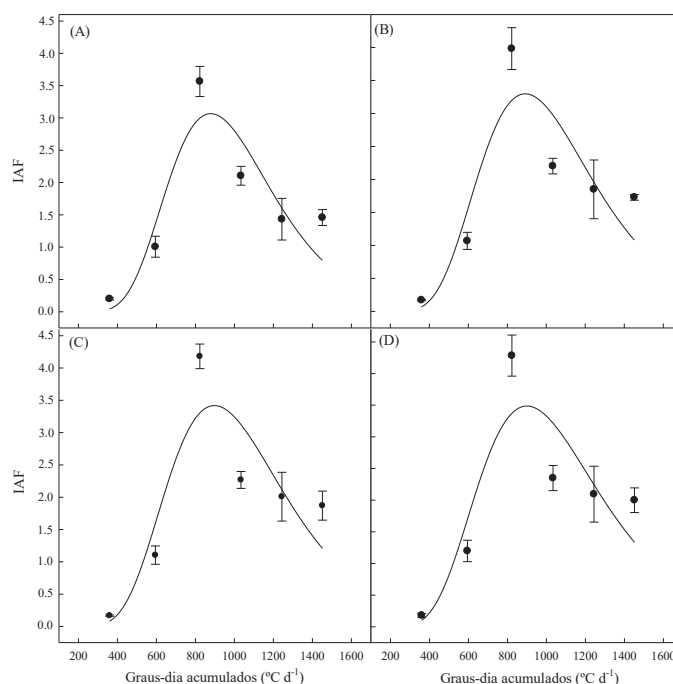
Na Tabela 3, verificam-se os coeficientes de ajuste do modelo peak log normal para o IAF, em função das doses de N e dos GDA. A análise de variância apresentou para os coeficientes a e b significância a ($p \leq 0,05$) e a ($p \leq 0,01$) para X_0 .

Os coeficientes de regressões indicam que o modelo explica quase a totalidade da variabilidade do IAF do milho em função dos GDA. O coeficiente de regressão ajustado R^2_{ajs} variou entre 0,807 (N0) a 0,752 (N225), os índices de correlação de Person (r) variaram de 0,866 a 0,903, o índice de concordância de Willmott (d), foi superior a 0,9601 e o EPE variou de $\pm 0,500$ g (N0) a $\pm 0,698$ g (N225), com média de 0,61 g, entre as doses de N.

Conforme Sangoi *et al.* (2011), o milho deve alcançar valores de IAF entre 4 e 5, para otimizar seu desempenho agrônômico, as médias máximas de IAF observado neste trabalho ocorreram aos 822,95 GDA, cujos valores foram de 4,30 (N225), 4,18 (N150), 3,98 (N75) e 3,56 (N0) (Figura 5), houve um incremento na ordem de 20,22% comparando o maior IAF (N225) com o menor observado (N0) (Tabela 3), corroborando com França *et al.* (2011) que também verificaram aumentos de IAF no milho em função da disponibilidade de N.

O IAF tem influência direta na irradiação fotossintética interceptada pela cultura do milho, que leva vantagem competitiva sobre as plantas daninhas, uma vez que promovem o sombreamento das entre linhas (OLIVEIRA *et al.*, 2013; FERREIRA JÚNIOR *et al.*, 2014; SARMENTO *et al.*, 2019).

Figura 5. Índice de Área Foliar (IAF) e curvas ajustadas pelo modelo peak log normal para as doses de 0 (A), 75 (B), 150 (C) e 225 (D) kg por hectare de N, para o crescimento de milho irrigado sob diferentes doses de Nitrogênio, em Alagoas.



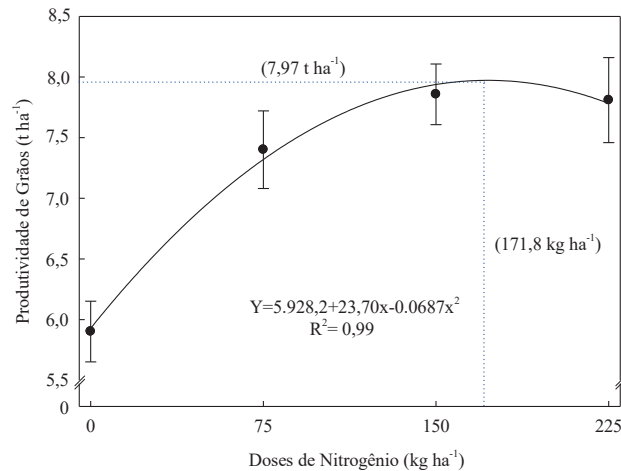
O modelo apontou diferentes ápices de IAF, ocorrendo em diferentes GDA, aos 878,27 (N0), 892,06 (75), 897,30 (N150) e 899,70 (N225). Os valores máximos estimados foram de 3,06 (N0); 3,30 (N75); 3,40 (N150) e 3,50 (N225), tais valores representam subestimação dos dados observados na ordem de 13,90% (N); 17,30% (N75); 18,20% (N150) e 18,90% (N225).

Lyra *et al.* (2014), citam que após a cultura do milho atingir o IAF máximo a partição de fotoassimilados se destina a principalmente a formação das espigas e o enchimento de grãos, o que justifica o decaimento dos valores de IAF após a assíntota.

Produtividade de grãos

Em relação a Produtividade de Grãos (PG), verifica-se na Figura 6 que houve um bom ajuste para o modelo polinomial quadrático, isto demonstra que o tratamento com N150 obteve PG de 7,80 t ha⁻¹. No entanto, a PG máxima estimada é de 7,97 t ha⁻¹, obtida com a dose máxima eficiente de N de 171,80 kg ha⁻¹, em seguida, a PG decaiu 2%.

Figura 6. Produtividade de grãos de milho irrigado sob diferentes doses de Nitrogênio, em Alagoas.



Esse decréscimo é atribuído ao fato de que a eficiência das doses de N diminui em função de sua elevação, pois pode exceder as necessidades das culturas, além de perdas por amônia (LYRA *et al.*, 2014).

Valores divergentes foram observados em outras pesquisas em Alagoas. Cruz *et al.* (2008) encontraram PG de 5,6 t ha⁻¹ com 120 kg ha⁻¹ de N. Lyra *et al.* (2014), obtiveram PG na ordem de 5,45 t ha⁻¹ com 200 kg ha⁻¹ de N.

A PG máxima superou a média nacional (5,50 t ha⁻¹) (CONAB, 2020), em aproximadamente 37,30%, e comparando os valores entre a dose máxima eficiente 171,80 kg de ha⁻¹ e a maior dose aplicada neste experimento 225 kg ha⁻¹, verifica-se a economia de aproximadamente 30% na aplicação de N ha⁻¹, com valores de PG de 7,97 e 7,80 t ha⁻¹, respectivamente, ou seja, um incremento de 0,16 t ha⁻¹.

■ CONCLUSÃO

Os modelos de crescimento logístico e peak log normal apresentaram bons ajustes estatísticos para altura, massa seca de plantas e índice de área foliar. A maior altura de plantas foi observada na dose de 150 kg de N ha⁻¹. Os maiores valores de acúmulo de matéria seca, bem como os maiores IAF foram observados na dose de 225 kg de N ha⁻¹. A produtividade de grãos máxima estimado é de 7,97 t ha⁻¹, obtido com a dose de 171,82 kg de N ha⁻¹.

■ REFERÊNCIAS

ALVAREZ, R. C. F. CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S. Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42: 397-406, 2012.

- ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Moisture measurement - Unground grain and seeds. St. Joseph: ASAE, 2000. 563p.
- BENDER, E. P., BATISTA, J. N., LYRA, G. B., POLIDORO, J. C., JANTALIA, C. P., LYRA, G. B. Modelagem do crescimento e produtividade do algodão em cultivo comercial no cerrado baiano. *Nativa*, 8: 403-412, 2020.
- CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra 2019/2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 14 maio 2021.
- COSTA, C. T. S., FERREIRA, V. M. ENDRES, L., FERREIRA, D. T. R. G., GONÇALVES, E. R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. *Revista Caatinga*, v.24, p.56-63, 2011.
- CRUZ, S. C. S., PEREIRA, F. R.S., SANTOS, J. R., ALBUQUERQUE, A. W., PEREIRA, R. G. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, 12: 62-68, 2008.
- FAVARATO, L. F., SOUZA, J. L., GALVÃO, J. C. C., SOUZA, C. M., GUARCONI, R. C., BALBINO, J. M. S. Crescimento e produtividade do milho-verde sobre diferentes coberturas de solo no sistema plantio direto orgânico. *Bragantia*, 75: 497–506, 2016.
- FERREIRA JUNIOR, R. A., SOUZA, J. L., TEODORO, I., LYRA, G. B., SOUZA, R. C., ARAÚJO NETO, R. A. Eficiência do uso da radiação em cultivos de milho em Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 18:322–328, 2014.
- FRANÇA, S., MIELNICZUK, J., ROSA, L. M.G., BERGAMASCHI, H., BERGONCI, J. I. Nitrogênio disponível ao milho: Crescimento, absorção e rendimento de grãos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 15: 1143–1151, 2011.
- KOPPER, C.V., MEERT, L., KRENSKI, A., BORGHI, W.A., OLIVEIRA NETO, A. M., FIGUEIREDO, A. S. T. Produtividade de milho segunda safra em função de diferentes velocidades de semeadura e densidade de plantas. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*. Recife, 22: e201701, 2017.
- LOZADA, B. I.; ANGELOCCI, L. R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia para a estimativa do subperíodo da semeadura à floração de um híbrido de milho (*Zea mays*). *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 7: 31- 36, 1999.
- LYRA, G. B., ROCHA, A. E. Q., LYRA, G. B., SOUZA, J. L., TEODORO, I. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. *Revista Ceres*, 61: 578-586, 2014.
- LUO, Q.; BANGE, M.; CLANCY, L. Cotton crop phenology in a new temperature regime. *Ecological Modelling*, 285: 22-29, 2014.
- MENDES, M. C., MATCHULA, P. H., ROSSI, E. S., OLIVEIRA, B. R., SILVA, C. A., SÉKULA, C. R. Adubação nitrogenada em cobertura associada com densidades populacionais de híbridos de milho em espaçamento reduzido. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 12: 92-101, 2013.

MORAIS, R. B., LYRA, G. B., SANTOS, L. R., CAVALCANTE JÚNIOR, C. A., CARVALHO, A. L., LYRA, G. B., SOUZA, J. L. Crescimento e produtividade de milho em diferentes épocas de plantio, nos tabuleiros costeiros de Alagoas. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 16: 109-119, 2017.

MOREIRA, S. G., LUPP, R. M., LIMA, C. G., MARUCCI, R. C., RESENDE, Á. V., BORGES, I. D. Massa seca e macronutrientes acumulados em plantas de milho cultivadas sob diferentes espécies de cobertura. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 13: 218-231, 2014.

OLIVEIRA, P., NASCENTE, A.S., KLUTHCOUSKI, JOÃO, PORTES, T. A. A. Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 43: 239–246, 2013.

PAZIANI, S. F., DUARTE, A. P., NUSSIO, L. G., PAULO BOLLER GALLO, BITTAR, C. M. M., ZOPOLLATTO, M., RECO, P. C. Características agrônômicas e bromatológicas de híbridos de milho para produção de silagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38: 411-417, 2009.

PEREIRA, L. B., MACHADO, D. S., ALVES FILHO, D. C., BRONDANI, I. L., SILVA, V. S., ARGENTA, F.A M., MOURA, A. F., BORCHATE, D. Características agrônômicas da planta e produtividade da silagem e grãos de milho submetido a diferentes arranjos populacionais. *Magistra*, 29: 18-27, 2017.

PROCÓPIO, S. O.; SANTIAGO, A. D.; CARVALHO H. W. L. Estudos de população de plantas de soja na região do SEALBA. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2018. 24 p.

PRIMO, D. C., MENEZES, R. S. C., SILVA, T. O., ALVES, R. N., CABRAL, P.K.T. Biomassa e extração de nutrientes pelo milho submetido a diferentes manejos de adubos orgânicos na região semiárida. *Scientia Plena*, 7: 1-8, 2011.

SANGOI, L., SCHWEITZER, C., SILVA, P. R. F., SCHMITT, A., VARGAS, P. V., CASA, T. R., SOUZA, C. A. Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46: 609-616, 2011.

SARMENTO, P. L. V. S., SOUZA, J. L., FERREIRA JUNIOR, R. A., LYRA, G.B., TEODORO, I., LYRA G. B., ROCHA, A. E. Q., MAGALHÃES, I. D., CAVALCANTE JÚNIOR, C. A. Radiation use efficiency in maize as a function of sowing dates and plant densities. *Agrometeoros*, Passo Fundo, 27: 387-396, 2019.

Alterações morfofisiológicas promovidas pela micorriza arbuscular em plantas hortícolas: uma revisão integrativa

| **Fabiola Stockmans de Nardi**

Centro Universitário do Instituto de Desenvolvimento Educacional do Alto Uruguai - UNIDEAU

| **José Luís Trevizan Chiomento**

Universidade de Passo Fundo - UPF

| **Rosiani Castoldi da Costa**

Universidade de Passo Fundo - UPF

| **Nicolas dos Santos Trentin**

Universidade Federal do Paraná - UFPR

| **Thomas dos Santos Trentin**

Universidade de Passo Fundo - UPF

| **Giuseppina Pace Pereira Lima**

Universidade Estadual Paulista - UNESP

| **Eunice Oliveira Calvete**

Universidade de Passo Fundo - UPF

RESUMO

A simbiose entre fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (Glomeromycota) e plantas ocorre em quase todos os ecossistemas terrestres. Em torno de 90% da flora terrestre estabelece simbiose do tipo micorrízica arbuscular. Essa associação promove alterações morfofisiológicas nas plantas hospedeiras ligadas ao aumento da área superficial das raízes, maior aquisição de água e nutrientes e reforço das atividades enzimáticas ligadas ao sistema de defesa das plantas. A literatura reporta que essas alterações ocorrem pela maior capacidade de adaptação das plantas micorrizadas frente a estresses bióticos e abióticos. Além disso, em condições normais de cultivo, tais modificações podem promover aumentos de produtividade das plantas hortícolas com reduções no aporte de água e nutrientes, tornando o sistema produtivo econômico e ambientalmente viável. Dessa forma, elaboramos essa revisão de acordo com as bases metodológicas de uma revisão integrativa, com o objetivo de descrever as alterações morfofisiológicas induzidas pelas micorrizas arbusculares, relacionando essas modificações à nutrição mineral das plantas hortícolas para justificar sua utilização em condições não estressantes nos sistemas de produção em horticultura.

Palavras-chave: Horticultura, Fungos Micorrízicos Arbusculares, Morfofisiologia, Nutrição Mineral.

■ INTRODUÇÃO

As novas diretrizes agrícolas devem buscar o uso racional dos recursos naturais disponíveis para manter e/ou aumentar a produtividade das culturas sem, no entanto, aumentar a área de produção e degradar o meio ambiente. Esse desafio da agricultura atual começa a ser discutido de forma mais evidente no meio acadêmico. Alternativas antes consideradas não economicamente viáveis, a exemplo do uso de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), tornaram-se foco de pesquisas visando aplicar ferramentas sustentáveis para solucionar adversidades bióticas e abióticas que acometem as culturas agrícolas.

O aumento da demanda por frutas e hortaliças, tanto nos mercados domésticos quanto nos internacionais, é constante. Os consumidores passaram a ter consciência da relação entre alimentação e saúde e, por isso, têm exigido disponibilidade e diversidade desses produtos. Ainda, o mercado consumidor tem exigido produtos de alta qualidade, com melhor sabor e aroma e seguros, ou seja, sem quaisquer contaminações. Assim, o desafio dos horticultores é produzir mais alimentos de forma eficiente, usando menos água, fertilizantes, produtos derivados de petróleo e agroquímicos. Dentre as alternativas sustentáveis que permitem reduzir o uso de insumos químicos no cultivo de hortaliças estão os FMA.

A literatura reporta que a simbiose entre plantas e FMA reduz perdas por fatores de estresse (Munier-Lamy *et al.*, 2007), o que proporciona melhor desenvolvimento do hospedeiro vegetal atrelado à economia de insumos e redução da contaminação ambiental (Huang *et al.*, 2011). Devido às propriedades biofertilizantes e bioprotetoras, a micorriza arbuscular se tornou foco das investigações científicas como uma alternativa aos fertilizantes químicos e biocidas na agricultura sustentável (Fester; Sawers, 2011). Assim, os trabalhos presentes na literatura buscam esclarecer os mecanismos pelos quais os FMA auxiliam as culturas hortícolas, de modo a justificar a inclusão desses microrganismos como uma biotecnologia econômica e ambientalmente eficaz.

Os FMA são simbiontes obrigatórios, ou seja, completam seu ciclo de vida somente quando associados a um hospedeiro que lhe forneça carbono. Em troca, esses fungos proporcionam aos seus hospedeiros maior produção de biomassa, melhora do estado nutricional e tolerância a estresses bióticos e abióticos (Smith; Smith, 2011). Esses benefícios são consequência do estabelecimento da simbiose, pois nesse processo as plantas sofrem alterações bioquímicas, fisiológicas e moleculares relacionadas ao seu sistema de defesa. Essas alterações são reguladas por ambos simbiontes (planta e fungo) e sofrem influência de fatores abióticos. O processo simbiótico, coordenado por sinalizações moleculares entre FMA e plantas hospedeiras, segue uma sequência bem definida de eventos: germinação de esporos assexuados no solo, ramificação de hifas em direção a uma raiz, fixação de hifas em superfícies radiciais e diferenciação de hifopódio, penetração e disseminação do fungo

nas raízes por um aparelho de pré-penetração e desenvolvimento intracelular de arbúsculos (Gutjahr; Parniske, 2013).

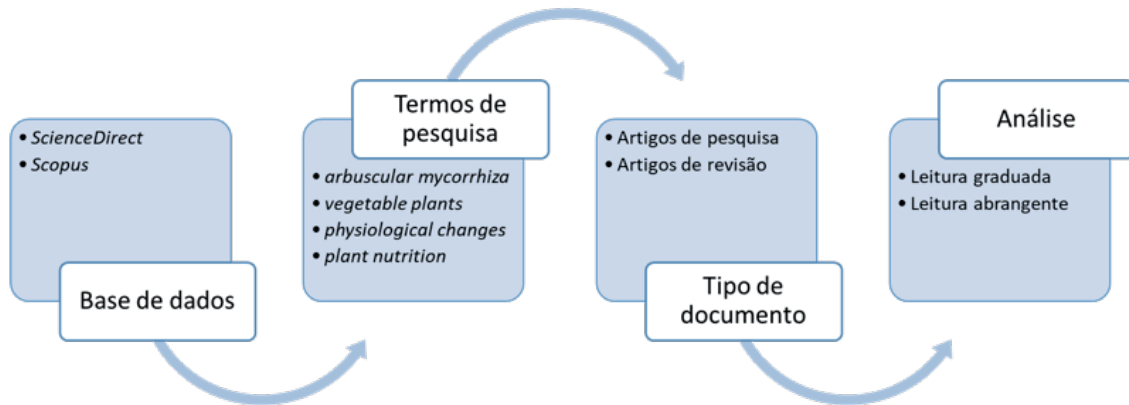
A ramificação das hifas é um passo crítico da simbiose, pois é a partir dessa estrutura vegetativa que o fungo garante contato com as raízes para se desenvolver e completar seu ciclo de vida e, em troca, beneficiar a planta hospedeira. As alterações morfológicas do sistema radicial, que incluem maior quantidade de ramificações e diminuição do diâmetro das raízes, parecem dar suporte para algumas das alterações fisiológicas que ocorrem durante a simbiose, tais como modificações do conteúdo nutricional, taxas fotossintéticas, condutância estomática e atividade enzimática. Dessa forma, essa revisão integrativa tem como objetivo descrever as alterações morfofisiológicas induzidas pelas micorrizas arbusculares e sua relação com a nutrição mineral das plantas hortícolas para justificar sua utilização em condições não estressantes nos sistemas de produção em horticultura.

■ METODOLOGIA

O estudo das publicações sobre o tema seguiu as bases metodológicas de uma revisão integrativa (Mendes *et al.*, 2008). Realizamos levantamento de artigos científicos, indexados nas bases de dados *ScienceDirect* (<https://www.sciencedirect.com>) e *Scopus* (<https://www.scopus.com>) usando as seguintes palavras-chave: micorriza arbuscular (arbuscular mycorrhiza), plantas hortícolas (vegetable plants), alterações fisiológicas (physiological changes) e nutrição de plantas (plant nutrition). Utilizamos *and* e *or* como lógicas booleanas de pesquisa. A busca foi limitada a artigos com fator de impacto igual ou superior a 1,5 e escritos em língua inglesa.

Na primeira etapa da pesquisa procedemos a uma leitura graduada e abrangente dos artigos identificados pela estratégia de busca inicial (Figura 1). Posteriormente, esses arquivos foram avaliados conforme os seguintes critérios de inclusão: (1) população (olerícolas, frutíferas, medicinais, aromáticas ou ornamentais) e (2) alterações morfofisiológicas [crescimento, nutrição, conteúdo de proteínas, açúcares, prolina, clorofila, condutância estomática, uso eficiente da água, conteúdo relativo de água, taxa de transpiração, conteúdo interno de dióxido de carbono (CO₂), fotossíntese líquida e atividade enzimática]. Dentre as bibliografias avaliadas, 30 artigos foram analisados, interpretados e contextualizados em forma de tabelas visando destacar as alterações morfofisiológicas induzidas por FMA em seus parceiros vegetais.

Figura 1. Esquema metodológico usado na seleção dos artigos para a revisão integrativa.



Fonte: José Luís Trevizan Chiomento (2022).

Os resultados das análises foram dispostos em Tabelas e referiram-se às diferenças observadas entre plantas não micorrizadas e micorrizadas sem interferência de qualquer outro tratamento, uma vez que a maior parte dos trabalhos estava associado ao uso de FMA como agente redutor de efeitos de estresses relacionados à salinidade, a fitopatógenos, ao déficit hídrico ou a metais pesados. Esse critério de avaliação foi definido com o intuito de mostrar as alterações promovidas apenas pela associação com FMA, de modo a compreendermos seus efeitos na nutrição de plantas hortícolas.

■ RESULTADOS

De acordo com a origem dos artigos publicados, dos 30 artigos analisados (Tabela 1) verificamos que 10% foram publicados na ‘Acta Physiologiae Plantarum’, 13% no ‘Journal of Plant Physiology’, 17% na ‘Mycorrhiza’, 10% na ‘Plant and Soil’ e 13% na ‘Scientia Horticulturae’. Os outros 37% foram retirados de outros onze periódicos (Quadro 1).

Dos trabalhos avaliados, 80% tinham como objetivo avaliar o efeito da colonização com FMA em plantas hortícolas submetidas a alguma condição de estresse (metais pesados, salinidade, déficit hídrico, temperatura ou fitopatógeno) e apenas 20% avaliaram apenas o efeito da colonização micorrízica (isolados, comunidades ou tipos de inoculação). Ainda, 97% dos artigos analisados tiveram seus experimentos desenvolvidos em vasos preenchidos com substratos esterilizados e, desses, apenas 7% foram realizados sob condições naturais e ao ar livre. Somente 3% dos trabalhos foram realizados no solo (Quadro 1).

Quadro 1. Artigos avaliados para a elaboração da análise integrativa.

Referência	Periódico	Hospedeiro	FMA
Abdel-Latef (2011)	'Mycorrhiza'	<i>Capsicum annuum</i> L.	<i>Glomus mosseae</i>
Abdel-Fattah et al. (2011)	'Microbiological Research'	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	<i>G. mosseae</i> + <i>G. intraradices</i> + <i>G. clarum</i> + <i>Gigaspora gigantea</i> + <i>Gi. margarita</i>
Al-Karaki et al. (2001)	'Mycorrhiza'	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Asrar et al. (2012)	'Photosynthetica'	<i>Antirrhinum majus</i> L.	<i>G. deserticola</i>
Boldt et al. (2011)	'Journal of Plant Physiology'	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Davies Junior et al. (2001)	'Journal of Plant Physiology'	<i>Helianthus annuus</i> L.	<i>G. intraradices</i>
Diallo et al. (2001)	'European Journal of Soil Biology'	<i>Vigna unguiculata</i> L.	<i>G. mosseae</i> e <i>G. versiforme</i>
Estrada-Luna e Davies Junior (2003)	'Journal of Plant Physiology'	<i>Capsicum annuum</i> L.	<i>G. albidum</i> + <i>G. claroides</i> + <i>G. diaphanum</i>
Estrada-Luna et al. (2000)	'Mycorrhiza'	<i>Psidium guajava</i> L.	<i>G. diaphanum</i> + <i>G. albidum</i> + <i>G. claroides</i>
Fan e Liu (2011)	'Acta Physiologiae Plantarum'	<i>Poncirus trifoliata</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Fan et al. (2008)	'Biotechnology Letters'	<i>Fragaria X ananassa</i> Duch.	<i>G. mosseae</i>
Garg e Singla (2012)	'Scientia Horticulturae'	<i>Pisum sativum</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Garg e Kaur (2013)	'Journal of Agronomy and Crop Science'	<i>Cajanus cajan</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Hajiboland et al. (2010)	'Plant and Soil'	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>G. intraradices</i>
He et al. (2007)	'Colloids and Surfaces B: Biointerfaces'	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Huang et al. (2011)	'Plant and Soil'	<i>Cucumis melo</i> L.	<i>G. mosseae</i> , <i>G. versiforme</i> e <i>G. intraradices</i>
Ismaiel et al. (2014)	'Australian Journal of Crop Science'	<i>Vicia faba</i> L.	<i>G. mosseae</i> + <i>Gigaspora</i> sp. + <i>Acaulospora</i> sp.
Lambais et al. (2003)	'New Phytologist'	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	<i>G. intraradices</i> e <i>G. clarum</i>
Abdel-Latef e Chaoping (2011)	'Acta Physiologiae Plantarum'	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Martin e Stutz (2004)	'Mycorrhiza'	<i>Capsicum annuum</i> L.	<i>G. intraradices</i> e <i>Glomus</i> sp. (isolados e em mistura)
Rozpádek et al. (2004)	'Chemosphere'	<i>Cichorium intybus</i> L.	<i>G. intraradices</i>
Sadeque Ahmed et al. (2006)	'Plant and Soil'	<i>Lens culinaris</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Sánchez-Blanco et al. (2003)	'Journal of Plant Physiology'	<i>Rosmarinus officinalis</i> L.	<i>G. deserticola</i>
Sanmartín et al. (2014)	'Scientia Horticulturae'	<i>Lactuca sativa</i> L.	<i>Rhizophagus intraradices</i> + <i>Funneliformis mosseae</i>
Soares et al. (2005)	'Scientia Agricola'	<i>Passiflora edulis</i> Sims	<i>G. clarum</i> e comunidade nativa (<i>G. clarum</i> + <i>G. spurcum</i> + <i>Scutellospora fulgida</i> + <i>G. macrocarpum</i> + <i>G. invermaium</i> + <i>Entrophospora colombiana</i> + <i>S. pellucida</i> + <i>A. appendiculata</i> + <i>S. heterogama</i>)
Valentine et al. (2001)	'Scientia Horticulturae'	<i>Cucumis sativus</i> L.	<i>G. mosseae</i>
Vicente-Sánchez et al. (2013)	'Mycorrhiza'	<i>Lactuca sativa</i> L.	<i>G. iranicum</i>
Wu et al. (2010)	'Acta Physiologiae Plantarum'	<i>Citrus tangerine</i> Hort.	<i>G. mosseae</i> e <i>Paraglomus occultum</i>
Wu et al. (2011)	'Plant Growth Regulation'	<i>Poncirus trifoliata</i> L.	<i>G. mosseae</i> , <i>G. versiforme</i> e <i>P. occultum</i>
Zai et al. (2007)	'Journal of Horticultural Science and Biotechnology'	<i>Prunus maritima</i>	<i>G. mosseae</i> , <i>G. diaphanum</i> e <i>G. etunicatum</i>

Fonte: Autores.

As alterações mais comumente avaliadas entre os artigos analisados foram a biomassa seca de raiz (BSR) e parte aérea (BSPA), relação raiz-parte aérea (R-PA), área foliar (AF), conteúdo de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), conteúdo de malondialdeído (MDA), prolina (PRO), proteínas totais (PT), açúcares solúveis totais (AST), clorofila total (CT), conteúdo relativo de água (CRA), eficiência de uso da água (EUA), condutância estomática (gs), taxa de transpiração (E), fotossíntese líquida (A) e atividades das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD).

Observamos que 90% dos artigos analisados mostraram alterações na BSPA, dos quais 85% relataram aumento, 11% diminuição e 4% nenhuma alteração. Com relação à BSR, 77% relataram aumento, 15% diminuição e 8% nenhuma alteração. Dos artigos, 27% (8) indicaram alterações na R-PA, dos quais 50% reportaram aumento nessa relação. Alterações na AF foram avaliadas em 33% (10) dos artigos, dos quais 80% indicaram aumento na AF, 10% com diminuição e 10% sem alterações (Tabela 1).

Tabela 1. Morfologia fitométrica e teores de macronutrientes de culturas hortícolas submetidas à biotecnologia micorrízica.

Referência	BSPA ¹	BSR	R-PA	AF	N	P	K	Ca	Mg
Abdel-Latef (2011)	>2	>	>	=		>	>	>	=
Abdel-Fattah <i>et al.</i> (2011)	>	>		>	>	>	>		
Al-Karaki <i>et al.</i> (2001)	>	>		>		>	>		
Asrar <i>et al.</i> (2012)	>	>		>	>	>	>	>	>
Boldt <i>et al.</i> (2011)	>			>		=			
Davies Junior <i>et al.</i> (2001)	>	>	>	>					
Diallo <i>et al.</i> (2003)	<	=	>		=				
Estrada-Luna e Davies Junior (2003)	=	=	<	>	>	>	>	=	<
Estrada-Luna <i>et al.</i> (2000)	>	>	=	>	<	>	<		>
Fan <i>et al.</i> (2008)	>	>			>	>			
Garg e Singla (2012)	>	>			=	>	>		
Garg e Kaur (2013)	>	>	=						
Hajjiboland <i>et al.</i> (2010)	>	>			>	>	>		
He <i>et al.</i> (2007)	>	>							
Huang <i>et al.</i> (2011)	>	>	>						
Abdel-Latef e Chaoxing (2011)	>	>							
Martin e Stutz (2004)	≤	≤				>			
Rozpądek <i>et al.</i> (2014)	>	>				>			
Sadeque Ahmed <i>et al.</i> (2006)	>	>							
Sánchez-Blanco <i>et al.</i> (2003)	>	<							
Sanmartín <i>et al.</i> (2014)	>	<				>	>	>	>
Soares <i>et al.</i> (2005)	>	>				>	>	>	
Valentine <i>et al.</i> (2001)	<	<		<	=	<			
Vicente-Sánchez <i>et al.</i> (2013)	>	>	=		>	>	>	>	=
Wu <i>et al.</i> (2010)	>	>					>	=	>
Wu <i>et al.</i> (2011)	>	>							
Zai <i>et al.</i> (2007)	>	>		>		>	>	>	>

¹ BSR: biomassa seca de raiz; BSPA: biomassa seca da parte aérea; R-PA: relação raiz-parte aérea; AF: área foliar; N: nitrogênio; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio.

² > indica efeito positivo da inoculação micorrízica; < indica efeito negativo; = indica ausência de efeito.

Fonte: Autores.

O conteúdo de CT foi avaliado em 43% (13) dos trabalhos, com 77% de incremento relatado nas plantas micorrizadas (Tabela 2). O conteúdo de PRO em parte aérea e raízes foi avaliado em 27% (8) dos trabalhos, com superioridade em seu conteúdo em 63% (5) dos casos (Tabela 2). O conteúdo de AST em parte aérea e raízes foi avaliado em 23% (7) dos estudos e apenas 14% relataram diminuição do seu conteúdo na raiz (Tabela 2). Apenas 20% (6) dos artigos avaliaram o conteúdo de PT, dos quais apenas quatro reportaram aumentos (Tabela 2). O CRA foi avaliado em 23% (7) dos trabalhos e, desses, 72% (5) relataram superioridade em seus valores (Tabela 2). Ainda, 20% dos trabalhos (6) avaliaram o UEA e 50% (3) deles relataram aumento, 17% (1) indicaram diminuição e em 33% (2) não ocorreram alterações (Tabela 2). A E foi avaliada em 23% (7), com valores superiores em 71% (5) dos casos (Tabela 2). A gs e a A foram avaliadas em 33% (10) dos artigos e em 60% (6) dos casos foram relatados valores superiores em plantas micorrizadas de ambos os atributos. (Tabela 2).

Tabela 2. Fisiologia de culturas hortícolas submetidas à biotecnologia micorrízica.

Referência	CT1	PRO	AST	PT	CRA	UEA	gs	E	A
Abdel-Latef (2011)	> ²	<	>	>					
Asrar <i>et al.</i> (2012)	>	<			>	>			
Boldt <i>et al.</i> (2011)	<		>				>	>	
Davies Junior <i>et al.</i> (2001)									<
Diallo <i>et al.</i> (2003)					>	>		<	
Estrada-Luna e Davies Junior (2003)	>				=		>	>	>
Estrada-Luna <i>et al.</i> (2000)							=		=
Fan e Liu (2011)	>	>			>				
Fan <i>et al.</i> (2008)							>		>
Garg e Singla (2012)	>	>	>	>	>				
Garg e Kaur (2013)									
Hajiboland <i>et al.</i> (2010)	>	>		=		<	>	>	=
Huang <i>et al.</i> (2011)			>		>	>	>	=	>
Ismaiel <i>et al.</i> (2014)	>	>	>						
Abdel-Latef e Chaoxing (2011)	>	<	>	>					
Martin e Stutz (2004)								>	
Rozpádek <i>et al.</i> (2014)									
Sanmartín <i>et al.</i> (2014)		>	>	>					
Sánchez-Blanco <i>et al.</i> (2003)	<				=		=		>
Valentine <i>et al.</i> (2001)	=						=	<	=
Vicente-Sánchez <i>et al.</i> (2013)	>						=	=	>
Wu <i>et al.</i> (2010)							>	>	>
Wu <i>et al.</i> (2011)	>		>	<					

¹ CT: clorofila total; PRO: prolina; AST: açúcares solúveis totais; PT: proteínas totais; CRA: conteúdo relativo de água; UEA: eficiência de uso da água; gs: condutância estomática; E: taxa de transpiração; A: fotossíntese líquida.

² > indica efeito positivo da inoculação micorrízica; < indica efeito negativo; = indica ausência de efeito.

Fonte: Autores.

Do total de trabalhos apenas 20% (6) avaliaram alterações no conteúdo de MDA de parte aérea e raiz. Em apenas um dos trabalhos o conteúdo de MDA foi igual entre plantas micorrizadas e não micorrizadas (Tabela 3). Em relação às atividades enzimáticas, 27% (8) dos trabalhos avaliaram a SOD, 30% (9) a CAT, 33% (10) a POD e 10% (3) a APX. Todos os trabalhos relataram aumento na atividade da SOD (Tabela 3). Apenas 20% (2) dos trabalhos relatam ausência de alterações da CAT nas raízes (Tabela 3). Dos 33% (10) de trabalhos que avaliaram a POD, 90% (9) deles relataram aumento de sua atividade (Tabela 3).

Tabela 3. Atividade enzimática de culturas hortícolas submetidas à biotecnologia micorrízica.

Referência	MDA1		SOD		CAT		POD	
	PA2	SR	PA	SR	PA	SR	PA	SR
Abdel-Latef (2011)	< ³		>		>		>	
Abdel-Fattah <i>et al.</i> (2011)							>	
Fan e Liu (2011)			>				>	
Garg e Kaur (2013)	<			>		>		>
Garg e Singla (2012)	<	<	>		>		>	
Hajiboland <i>et al.</i> (2010)	=	=	>	>	>	>	=	=
He <i>et al.</i> (2007)		<				=		>
Huang <i>et al.</i> (2011)			>	>	>	=	>	=
Ismail <i>et al.</i> (2014)							>	
Lambais <i>et al.</i> (2003)				>		>		
Abdel-Latef e Chaoxing (2011)	<		>		>		>	
Rozpądek <i>et al.</i> (2014)			>		>			

¹ MDA: conteúdo de malondialdeído; SOD: superóxido dismutase; CAT: catalase; POD: peroxidase.

² PA: parte aérea; SR: sistema radicial.

³ > indica efeito positivo da inoculação micorrízica; < indica efeito negativo; = indica ausência de efeito.

Fonte: Autores.

■ DISCUSSÃO

Destacamos que houve comportamento similar entre as culturas hortícolas estudadas, em diferentes condições de cultivo e manejos, quanto às alterações morfofisiológicas promovidas pela micorriza arbuscular. O uso de FMA alterou, de forma positiva, os atributos morfofisiológicos avaliados.

O reforço do sistema radicial do hospedeiro vegetal foi citado, em todos os trabalhos analisados, como uma reposta da simbiose. Um sistema radicial mais robusto melhora o acesso à água do meio de crescimento e a hidratação da folha. Por consequência, obtêm-se alterações nas respostas biofísicas das plantas, a exemplo da condutância estomática, da transpiração e, em certa medida, da fotossíntese, bem como nas respostas bioquímicas, tais como as alterações no acúmulo de solutos e atividade enzimática (Augé, 2001). Devido à maior disponibilidade hídrica em plantas micorrizadas ocorre maior abertura estomática e isso aumenta a condutância estomática e diminui sua resistência. Isso causa aumento na

taxa de transpiração e, assim, maior suprimento de CO₂ para a realização da fotossíntese (Mikiciuk *et al.*, 2019).

O acúmulo de solutos em plantas micorrizadas, como PRO, AST e PT, também parece estar relacionado ao aumento dos valores de *g_s* (Augé, 2001) porque esse acúmulo diminui o potencial osmótico para manter o potencial hídrico e o turgor das células próximos do nível ótimo (Bitterlich *et al.*, 2018). Fisiologicamente, quando há maior acúmulo de solutos o conteúdo relativo de água da célula tende a diminuir. No entanto, reduções no conteúdo de PRO foram observadas em pimentão (Abdel-Latef, 2011), boca-de-leão (Asrar *et al.*, 2012) e tomateiro (Abdel-Latef; Chaoxing, 2011). Esses resultados contraditórios podem estar relacionados ao papel secundário da PRO. Esse soluto, além da sua função bem estabelecida como osmorregulador, também desempenha um papel significativo na eliminação de radicais hidroxila, de modo a envolver-se nos mecanismos de defesa das plantas. Portanto, o reforço promovido pela micorrização a estresses indica que plantas micorrizadas tornam-se menos estressadas e produzem menos PRO (Asrar *et al.*, 2012).

Ao encontro das demais mudanças fisiológicas relacionadas ao abastecimento de água em plantas micorrizadas, o CRA e a EUA têm seus valores aumentados em decorrência do processo simbiótico (Asrar *et al.*, 2012) e isso se traduz em maior capacidade fotossintética (Vicente-Sánchez *et al.*, 2013). Apenas uma exceção foi encontrada no estudo realizado por Hajiboland *et al.* (2010), em tomateiro, com relação ao UEA. Os autores indicam que esse resultado se deve às maiores perdas de água indicadas pela maior *E*. No entanto, essa perda não influenciou negativamente o desempenho da planta devido à melhor absorção de água das plantas micorrizadas, uma vez que a *A* foi igual entre plantas micorrizadas e não micorrizadas.

Esses atributos estão diretamente relacionados ao potencial de turgor foliar que é, em parte, controlado pela disponibilidade hídrica (Chandrasekaran *et al.*, 2019). A manutenção do turgor nas células permite a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese e adia a desidratação dos tecidos. Os estudos de fisiologia vegetal mostram que há conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (Bitterlich *et al.*, 2018). A maior abertura estomática permite entrada contínua de CO₂ (fotossíntese); no entanto, ocorre perda de água na forma de vapor (transpiração). O processo de transpiração contribui para o resfriamento das folhas e para a absorção e transporte de água e minerais à parte aérea. Plantas em simbiose têm seus valores de *E* mais elevados, o que pode explicar os maiores teores de nutrientes encontrados nessas plantas (Hajiboland *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2010), uma vez que os minerais que são absorvidos pelas raízes movem-se para a parte aérea no fluxo transpiracional (Bitterlich *et al.*, 2018).

A taxa de transpiração depende de dois principais fatores: a diferença na concentração de vapor entre a folha e o ar exterior e a resistência difusional, que pode ser dividida em resistência estomática e resistência devido à camada de ar sem turbulência na superfície da folha (Huang *et al.*, 2020). O mecanismo envolvido na maior *E* em plantas micorrizadas parece estar relacionado à maior difusão de água e CO₂ através dos estômatos, promovidos pela maior gs.

O movimento da água no sistema solo/substrato-planta-atmosfera é governado por uma diferença entre potenciais hídricos. O aumento desses potenciais no meio de crescimento, promovido por alterações morfológicas do sistema radicial que podem ser induzidas pelos FMA (Augé, 2001), desencadeia um processo hidráulico/osmótico que promove elevações no conteúdo relativo de água, maior turgescência celular, maior condutância estomática, menor resistência estomática e maior taxa transpiratória. Isso resulta em fluxos contínuos de água e solução do solo/substrato, promovendo melhora do estado nutricional da planta e, em consequência, maiores valores de fotossíntese líquida, que se traduzem em aumento de biomassa, área foliar e produtividade em plantas hortícolas, conforme demonstrado pela literatura (Tabelas 1 e 2).

Além do reforço nutricional, o aumento da atividade enzimática em plantas micorrizadas relacionadas à limpeza de espécies reativas de oxigênio (EROS) promove menores estresses por danos oxidativos e, como consequência, aumenta o teor de clorofila em pimentão (Abdel-Latef, 2011), tomateiro (Abdel-Latef; Chaoxing, 2011), ervilha (Garg; Singla, 2012) e alface (Vicente-Sánchez *et al.*, 2013) devido à maior estabilidade da membrana e do reforço do aparato fotossintético (Fan; Liu, 2011).

Respostas negativas da inoculação micorrízica foram relatadas com menor frequência e parecem estar associadas a desajustes quanto à dependência micorrízica (DM) entre os parceiros vegetais. A DM é o indicador padrão da capacidade de resposta da planta hospedeira frente aos FMA. Ela pode ser alterada de acordo com as características genômicas da planta hospedeira e do simbionte fúngico, práticas agronômicas e fatores biogeoquímicos do solo que alteram a concentração de P disponível às plantas na solução do solo (Smith; Smith, 2011). A literatura reporta que o P é o elemento mais importante na regulação do estabelecimento e desempenho dos FMA e que sua disponibilidade influencia o processo infectivo e também a eficiência da simbiose (Elbon; Whalen, 2015).

Dentre os trabalhos analisados, três evidenciaram respostas negativas da micorrização quanto ao aumento de biomassa de parte aérea ou da raiz (Diallo *et al.*, 2003; Martin; Stutz, 2004; Valentine *et al.*, 2001). Os autores discutem que esses resultados negativos estão relacionados à ineficiência em termos da troca de carbono entre a planta e o fungo em condições normais de cultivo (disponibilidade hídrica e temperatura), nas quais a formação da

rede de hifas torna-se apenas um dreno de carboidratos (Martin; Stutz, 2004), ou em função do elevado teor de P da solução fornecida (Valentine *et al.*, 2001).

Além das respostas morfofisiológicas relacionadas ao abastecimento de água em plantas micorrizadas e aumentos do teor de clorofila, o aumento da atividade de enzimas antioxidantes, como SOD, CAT e POD, e a diminuição do conteúdo de MDA são comumente observados (Tabela 3). A indução de enzimas que eliminam EROS é o mecanismo de desintoxicação mais comum e ocorre durante as respostas a estresses bióticos e abióticos.

O ataque oxidativo e a geração de EROS ocorrem durante interações planta-fitopatógeno decorrentes de reações de hipersensibilidade. Apesar da natureza simbiótica da micorriza arbuscular, a indução de enzimas antioxidantes foi observada durante a formação dos apressórios (He *et al.*, 2007). Esses mecanismos foram atribuídos a uma resposta de defesa das plantas durante a fase inicial de desenvolvimento da simbiose. No entanto, a ativação da resposta de defesa da planta é limitada, transiente, e pode ser restrita a células específicas.

Durante o estabelecimento da micorriza arbuscular, modulações das respostas de defesa da planta ocorrem para que a simbiose se torne funcional. Como consequência dessas modulações, uma ativação leve, mas eficaz, das respostas imunes das plantas parece ocorrer não só localmente, mas também sistematicamente (Jung *et al.*, 2012). Essas modulações modificam o metabolismo primário e secundário das plantas e alteram a regulação dos seus mecanismos de defesa, podendo resultar em um pré-condicionamento dos tecidos para ativação mais eficiente desses mecanismos frente ao ataque de agentes fitopatogênicos, um fenômeno denominado priming (Pozo; Azcón-Aguilar, 2007). Isso confere às plantas um estado de “alerta” onde as defesas não são ativamente expressas, mas em que a resposta a um ataque ocorre mais rapidamente e/ou mais forte em comparação com plantas não previamente expostas a esse estímulo. Isso aumenta, eficientemente, a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos.

As EROS, como radical superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH), ocorrem normalmente no metabolismo celular. Contudo, sob condições de estresse biótico e abiótico, podem ter sua produção aumentada. Nesse caso, tornarem-se citotóxicas ao reagirem com outras moléculas e isso pode causar danos ao metabolismo normal por meio de danos oxidativos a lipídios, proteínas e ácidos nucleicos. Isso causa mudanças na permeabilidade seletiva de biomembranas. Em associações micorrízicas, a atividade reforçada SOD, CAT, POD, a maior concentração de PRO e conteúdo inferior de MAD podem contribuir para uma melhor manutenção do equilíbrio de íons das reações fotoquímicas e nas trocas gasosas em folhas, além de diminuir o dano celular e foto-oxidativo (Hajiboland *et al.*, 2010).

A resposta integrada da planta, incluindo a assimilação de carbono, a alocação de fotoassimilados às diferentes partes da planta, o ajustamento osmótico e a capacidade reprodutiva, possibilita sua sobrevivência e manutenção em condições de estresse ambiental. Essas respostas podem ter influência negativa no crescimento e produtividade das culturas. Porém, o incremento dos FMA nos cultivos hortícolas parece amenizar os efeitos negativos pela manutenção do equilíbrio hídrico com aumentos na aquisição de água, a partir do solo/substrato, pelas hifas (Augé, 2001), pelo aumento da turgescência foliar e da redução do potencial osmótico (Tabela 2), pela melhoria da nutrição do hospedeiro promovida por maiores taxas transpiratórias ou pelo aumento da atividade das enzimas SOD, CAT e POD (Tabela 3), que desempenham papel fundamental na defesa celular.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos benefícios demonstrados pelos artigos analisados destacamos que 97% (29) deles tiveram seus experimentos desenvolvidos em vasos preenchidos com substratos esterilizados. Desses, apenas 7% (2) foram realizados sob condições naturais e ao ar livre. Os demais foram desenvolvidos em casa de vegetação e 31% (9) foram mantidos em condições controladas. Por fim, a maior parte dos experimentos (90%) usam como inoculantes micorrízico isolados do gênero *Glomus*. Tanto a escolha do sistema de cultivo quanto a escolha do inoculante justificam-se pelas limitações em condições de campo, a exemplo da interferência da comunidade micorrízica nativa e de outros microrganismos do solo, assim como das próprias características edafoclimáticas. Portanto, são necessários estudos que considerem o meio natural de desenvolvimento das plantas hortícolas no solo, a fim de verificar o desempenho de isolados fúngicos em relação à competição com FMA nativos presentes no campo, ou mesmo adequar os sistemas de cultivo fora do solo de modo a otimizar a micorriza arbuscular.

Estudos relacionados ao uso de inoculantes *on-farm* também devem ser desenvolvidos para intensificar a inclusão dos FMA no cultivo de plantas hortícolas. As vantagens da utilização de comunidades de FMA produzidas pelo método *on-farm* em relação aos produtos comerciais são a obtenção de grandes quantidades de propágulos infectivos, a produção de inoculantes multiespecíficos, incluindo espécies localmente adaptadas e menor custo de produção. Ainda, essas comunidades podem ser usadas de forma acessível pelos agricultores (Douds Junior *et al.*, 2010).

Os benefícios da simbiose micorrízica ocorrem mesmo quando as plantas não são submetidas a condições de estresse, indicando que sua utilização pode ser incluída nas práticas de manejo de plantas hortícolas com benefícios que abrangem a economia de água,

maior eficiência nutricional e maiores produtividades. Isso tudo se traduz em economia de insumos e redução da contaminação de agroecossistemas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (307571/2019-0) pelo apoio financeiro. Ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Particulares (PROSUC) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

■ REFERÊNCIAS

ABDEL-FATTAH, G. M. et al. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. **Microbiological Research**, vol. 166, no. 4, p. 268–281.

ABDEL-LATEF, A. A. H.; CHAOXING, H. Arbuscular mycorrhizal influence on growth, photosynthetic pigments, osmotic adjustment and oxidative stress in tomato plants subjected to low temperature stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, vol. 33, no. 4, p. 1217–1225, 2011.

ABDEL-LATEF, A. A. H. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and copper on growth, accumulation of osmolyte, mineral nutrition and antioxidant enzyme activity of pepper (*Capsicum annuum* L.). **Mycorrhiza**, vol. 21, no. 6, p. 495–503, 2011.

AL-KARAKI, G. N. et al. Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. **Mycorrhiza**, vol. 11, p. 43–47, 2001.

ASRAR, A. A. et al. Improving growth, flower yield, and water relations of snapdragon (*Antirrhinum majus* L.) plants grown under well-watered and water-stress conditions using arbuscular mycorrhizal fungi. **Photosynthetica**, vol. 50, no. 2, p. 305–316, 2012.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, vol. 11, no. 1, p. 3–42, 2001.

BITTERLICH, M. et al. Arbuscular mycorrhiza alleviates restrictions to substrate water flow and delays transpiration limitation to stronger drought in tomato. **Frontiers in Plant Science**, vol. 9, e-154, 2018.

BOLDT, K. et al. Photochemical processes, carbon assimilation and RNA accumulation of sucrose transporter genes in tomato arbuscular mycorrhiza. **Journal of Plant Physiology**, vol. 168, no. 11, p. 1256–1263, 2011.

CHANDRASEKARAN, M. et al. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on photosynthesis, water status, and gas exchange of plants under salt stress – A meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, vol. 10, e-457, 2019.

- DAVIES JUNIOR, F. T. et al. Mycorrhizal fungi enhance accumulation and tolerance of chromium in sunflower (*Helianthus annuus*). **Journal of Plant Physiology**, vol. 158, no. 6, p. 777–786, 2001.
- GARA, L. et al. The antioxidant systems vis-a-vis reactive oxygen species during plant-pathogen interaction. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol. 41, no. 10, p. 863–870, 2003.
- DIALLO, A. T. et al. Water status and stomatal behaviour of cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, plants inoculated with two *Glomus* species at low soil moisture levels. **European Journal of Soil Biology**, vol. 37, no. 3, p. 187–196, 2001.
- DOUDS JUNIOR, D. D. et al. *On-farm* production of inoculum of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and assessment of diluents of compost for inoculum production. **Biore-source Technology**, vol. 101, no. 7, p. 2326–2330, 2010.
- ELBON, A.; WHALEN, J. K. Phosphorus supply to vegetable crops from arbuscular mycorrhizal fungi: A review. **Biological Agriculture & Horticulture**, vol. 31, no. 2, p. 73–90, 2015.
- ESTRADA-LUNA, A. A. et al. Mycorrhizal fungi enhancement of growth and gas exchange of micropropagated guava plantlets (*Psidium guajava* L.) during *ex vitro* acclimatization and plant establishment. **Mycorrhiza**, vol. 10, no. 1, p. 1–8, 2000.
- ESTRADA-LUNA, A. A.; DAVIES, F. T. Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange, abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. **Journal of Plant Physiology**, vol. 160, no. 9, p. 1073–1083, 2003.
- FAN, Q.; LIU, J. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungus affects growth, drought tolerance and expression of stress-responsive genes in *Poncirus trifoliata*. **Acta Physiologiae Plantarum**, vol. 33, no. 4, p. 1533–1542, 2011.
- FAN, Y. et al. Arbuscular mycorrhizae formed by *Penicillium pinophilum* improve the growth, nutrient uptake and photosynthesis of strawberry with two inoculum-types. **Biotechnology Letters**, vol. 30, no. 8, p. 1489–1494, 2008.
- FESTER, T.; SAWERS, R. Progress and challenges in agricultural applications of arbuscular mycorrhizal fungi. **Critical Reviews in Plant Sciences**, vol. 30, no. 5, p. 459–470, 2011.
- GARG, N.; SINGLA, P. The role of *Glomus mosseae* on key physiological and biochemical parameters of pea plants grown in arsenic contaminated soil. **Scientia Horticulturae**, vol. 143, p. 92–101, 2012.
- GARG, N.; KAUR, H. Response of antioxidant enzymes, phytochelatin and glutathione production towards Cd and Zn stresses in *Cajanus cajan* (L.) Millsp. genotypes colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. **Journal of Agronomy and Crop Science**, vol. 199, no. 2, p. 118–133, 2013.
- GUTJAHR, C.; PARNISKE, M. Cell and developmental biology of arbuscular mycorrhiza symbiosis. **Annual Review of Cell and Developmental Biology**, vol. 29, p. 593–617, 2013.
- HAJIBOLAND, R. et al. Colonization with arbuscular mycorrhizal fungi improves salinity tolerance of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. **Plant and Soil**, vol. 331, no. 1-2, p. 313–327, 2010.

HE, Z. Q. et al. Changes of antioxidative enzymes and cell membrane osmosis in tomato colonized by arbuscular mycorrhizae under NaCl stress. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, vol. 59, no. 2, p. 128–133, 2007.

HUANG, G. M. et al. Mycorrhizal roles in plant growth, gas exchange, root morphology, and nutrient uptake of walnuts. **Plant, Soil and Environment**, vol. 66, no. 6, p. 295–302, 2020.

HUANG, Z. et al. Physiological and photosynthetic responses of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings to three *Glomus* species under water deficit. **Plant and Soil**, vol. 339, no. 1-2, p. 391–399, 2011.

ISMAIEL, A. A. et al. Physiological response of *Vicia faba* L. to inoculation with *Rhizobium* and arbuscular mycorrhizal fungi: Comparative study for irrigation with Nile water and wastewater. **Australian Journal of Crop Science**, vol. 8, no. 5, p. 781–790, 2014.

JUNG, S. C. et al. Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. **Journal of Chemical Ecology**, vol. 38, no. 6, p. 651–664, 2012.

MENDES, K. D. S. et al. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto and Contexto Enfermagem**, vol. 17, no. 4, p. 758–768, 2008.

MIKICIUK, G. et al. Mycorrhizal frequency, physiological parameters, and yield of strawberry plants inoculated with endomycorrhizal fungi and rhizosphere bacteria. **Mycorrhiza**, vol. 29, p. 489–501, 2019.

LAMBAIS, M. R. et al. Antioxidant responses in bean (*Phaseolus vulgaris*) roots colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, vol. 160, no. 2, p. 421–428, 2003.

MARTIN, C. A.; STUTZ, J. C. Interactive effects of temperature and arbuscular mycorrhizal fungi on growth, P uptake and root respiration of *Capsicum annuum* L. **Mycorrhiza**, vol. 14, no. 4, p. 241–244, 2004.

MUNIER-LAMY, C. et al. Selenium bioavailability and uptake as affected by four different plants in a loamy clay soil with particular attention to mycorrhizae inoculated ryegrass. **Journal of Environmental Radioactivity**, vol. 97, no. 2, p. 148–158, 2007.

POZO, M. J.; AZCÓN-AGUILAR, C. Unraveling mycorrhiza-induced resistance. **Current Opinion in Plant Biology**, vol. 10, no. 4, p. 393–398, 2007.

ROZPADEK, P. et al. Mycorrhizal fungi modulate phytochemical production and antioxidant activity of *Cichorium intybus* L. (Asteraceae) under metal toxicity. **Chemosphere**, vol. 112, p. 217–224, 2014.

SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. et al. Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. **Journal of Plant Physiology**, vol. 161, no. 6, p. 675–682, 2003.

SADEQUE AHMED, F. R. et al. Influences of arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on growth and nutrition of lentil irrigated with arsenic contaminated water. **Plant and Soil**, vol. 283, p. 33–41, 2006.

SANMARTÍN, C. et al. Mycorrhizal inoculation affected growth, mineral composition, proteins and sugars in lettuces biofortified with organic or inorganic selenocompounds. **Scientia Horticulturae**, vol. 180, p. 40–51, 2014.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New paradigms from cellular to ecosystem scales. **Annual Review of Plant Biology**, vol. 62, p. 227–250, 2011.

SOARES, A. C. F. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and the occurrence of flavonoids in roots of passion fruit seedlings. **Scientia Agricola**, vol. 62, no. 4, p. 331–336, 2005.

VALENTINE, A. J. et al. Interactions between phosphorus supply and total nutrient availability on mycorrhizal colonization, growth and photosynthesis of cucumber. **Scientia Horticulturae**, vol. 88, no. 3, p. 177–189, 2001.

VICENTE-SÁNCHEZ, J. et al. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alleviates detrimental effects of saline reclaimed water in lettuce plants. **Mycorrhiza**, vol. 24, no. 5, p. 339–348, 2013.

WU, Q. S. et al. Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, vol. 32, no. 2, p. 297–304, 2010.

WU, Q. S. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi can alter some root characters and physiological status in trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) seedlings. **Plant Growth Regulation**, vol. 65, no. 2, p. 273–278, 2011.

ZAI, X. et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the rooting and growth of beach plum (*Prunus maritima*) cuttings. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, vol. 82, no. 6, p. 863–866, 2007.

Avanços no sistema produtivo da mangueira em São Paulo objetivando a produção fora de época – estudo de caso

- | **Gilberto José Nogueira e Silva**
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
- | **Ítalo Herbert Lucena Cavalcante**
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
- | **Raí Nascimento do Carmo**
Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF
- | **João Henrique Barbosa da Silva**
Universidade Federal da Paraíba - UFPB
- | **Luis Carlos Giroto de Almeida**
Consultor Técnico
- | **Paul Bergman**
Diretor de Marketing

RESUMO

A manga (*Mangifera indica* L.), é uma fruta tropical de elevada aceitação comercial, apresentando importância econômica para o Brasil. Contudo, o sistema de produção de manga no Estado de São Paulo tem sido caracterizado pelo baixo nível tecnológico em condições de sequeiro, especialmente das variedades Palmer, Tommy Atkins e Espada vermelha. Além disso, a floração da mangueira historicamente tem apresentado dependência de baixas temperaturas, ocorrendo apenas nos meses mais frios (entre junho e julho), mesmo com o uso de paclobutrazol (PBZ) como inibidor de síntese de giberelina. Com base nisso, este estudo de caso teve como objetivo realizar avanços no sistema de produção e no escalonamento da produção em períodos não convencionais de colheita da manga para o Estado de São Paulo. Em 2013, iniciou-se estudos e ações com base nas recomendações técnicas do consultor técnico doutorando Ms.c Gilberto José Nogueira e Silva, visando avanços no sistema de produção e escalonamento da produção de mangueira em épocas não convencionais de colheita. Por meio das recomendações técnicas do consultor técnico doutorando Ms.c Gilberto José Nogueira e Silva e do Programa Construindo Plantas® (PCP), tornou-se possível a colheita fora de época das variedades de mangueira Palmer, Espada vermelha e Tommy Atkins, observando ainda, a ocorrência praticamente nula da desordem fisiológica do colapso interno dos frutos, com alta produtividade.

Palavras-chave: *Mangifera Indica*, Manejo Floral, Avanço Tecnológico.

■ INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.), é uma fruta tropical de elevada aceitação comercial, apresentando importância econômica para o Brasil, com resposta de 28,9% dos US\$ 787,3 milhões em frutas frescas exportadas pelo país em 2019 (MAPA, 2019; BARROSO *et al.*, 2015). Além disso, a manga é uma fruta com elevada fonte de macronutrientes, como carboidratos, lipídios, ácidos graxos, proteínas e aminoácidos, bem como micronutrientes como vitaminas e minerais, com valor energético de 60 a 190 Kcal por 100 g de polpa, se destacando como uma fruta de excelente qualidade na dieta humana (OLIVEIRA *et al.*, 2022; MALDONADO-CELIS *et al.*, 2019).

No território brasileiro, existe diversas espécies de interesse para o mercado, com cultivo em diversas regiões, se diferenciando pela forma, tamanho, coloração, fibras, aroma e sabor, podendo ser citada a Palmer, Tommy Aktins e Espada, sendo a Tommy Aktins a de maior expressividade de produção, gerando em torno de 80-85%%, colocando o Brasil como um dos principais produtores e exportadores dessa fruta a nível global (MATIAS *et al.*, 2022). Em grande parte, a manga é preferencialmente consumida in natura ou em forma de polpas congeladas e sucos, no entanto, observa-se um aumento no uso dessa fruta de forma processada para produção de doces, geleias, na panificação e na indústria cosmética (PATIÑO-RODRÍGUEZ *et al.*, 2020).

No entanto, o baixo nível tecnológico limita a produção da manga em diversas regiões do Brasil, e de forma particular no Estado de São Paulo, o que acarreta problemas de mercado pela 'super' oferta do produto e problemas fitossanitários, principalmente quanto a bactéria (*Xanthomonas* sp.), antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) e alternária (*Alternaria alternata*), além de problemas climatológicos de geadas, chuvas torrenciais e, esporadicamente, ocorrência de granizo. Nesse contexto, a floração da mangueira historicamente tem apresentado dependência de baixas temperaturas, ocorrendo apenas nos meses mais frios (entre junho e julho), mesmo com o uso de paclobutrazol (PBZ) como inibidor de síntese de giberelina. Ao se constatarem esses problemas, esse estudo de caso teve como objetivo realizar avanços no sistema de produção e, conseqüentemente, o escalonamento da produção em períodos não convencionais de colheita da manga para o Estado de São Paulo.

■ DETALHAMENTO DO CASO

Ano e Localização das atividades desenvolvidas

Em 2013, iniciou-se estudos e ações com base nas recomendações técnicas do consultor técnico doutorando Ms.c Gilberto José Nogueira e Silva, visando avanços no sistema

de produção e escalonamento da produção de mangueira em épocas não convencionais de colheita, de forma específica, para o Estado de São Paulo, o que apenas foi possível com o aprimoramento das práticas culturais, direcionando-se a floração para o final do período das chuvas (a partir de março) e a colheita para quando o período chuvoso é tradicionalmente iniciado (até outubro). Na Figura 1, pode-se observar a incidência de doenças encontradas no início do estudo antes da adoção das práticas culturais executadas.

Figura 1. Incidência de doenças em pomar de mangueira no município de Taquaritinga-SP.

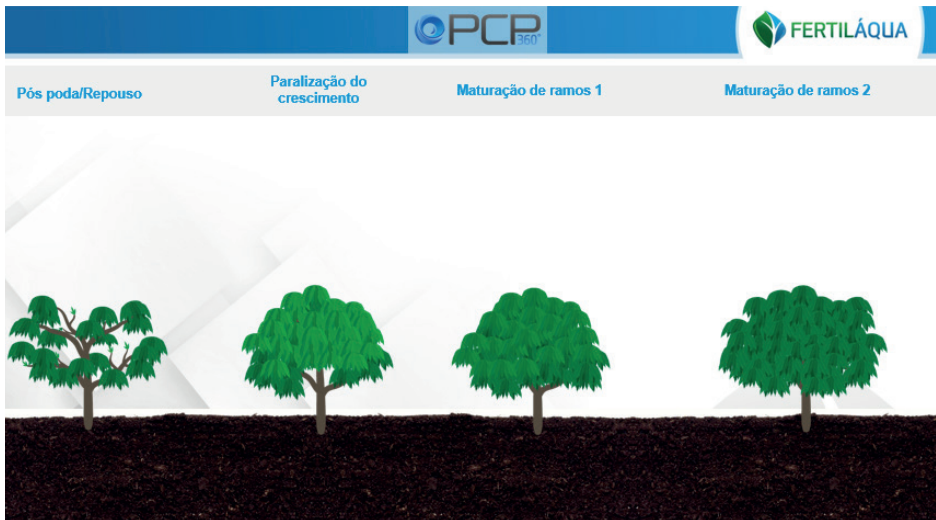


Fonte: Nogueira e Silva (2014).

Práticas culturais executadas

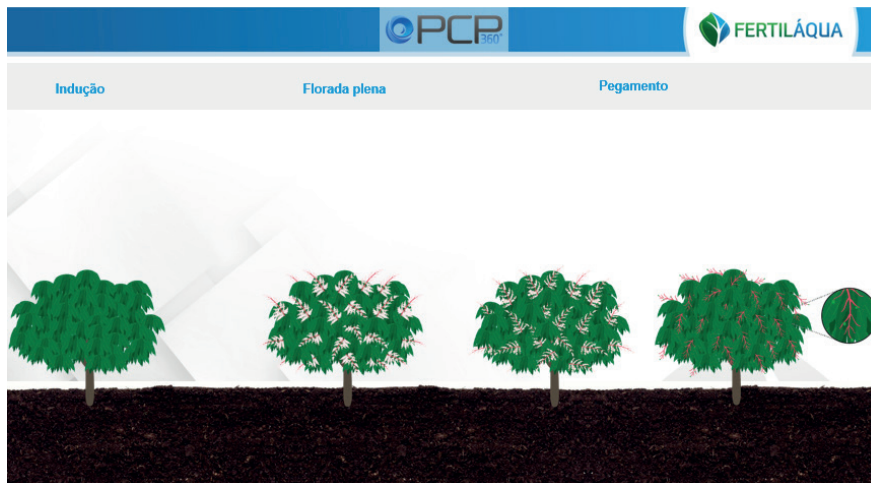
As principais práticas culturais executadas com o objetivo de produção de manga fora de época em São Paulo seguiram as recomendações técnicas do consultor técnico doutorando Ms.c Gilberto José Nogueira e Silva e o Programa Construindo Plantas® (PCP) (Figura 2, 3 e 4, respectivamente) que é uma tecnologia que tem como intuito melhorar a eficiência da planta, iniciando pelo solo, de modo a potencializar o desenvolvimento da cultura de forma mais eficiente, levando ao solo um manejo nutricional equilibrado otimizando qualidades físicas, químicas e biológicas, buscando, dessa forma, sistemas com altos potenciais produtivos e conseqüentemente, rentabilidade.

Figura 2. Práticas culturais executadas em mangueira no município de Taquaritinga-SP.



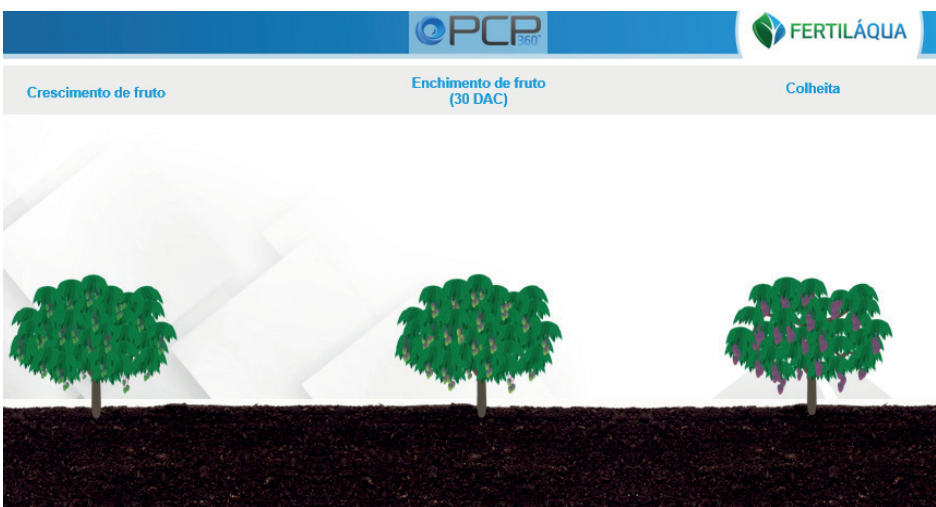
Fonte: Nogueira e Silva (2014).

Figura 3. Práticas culturais executadas em mangueira no município de Taquaritinga-SP.



Fonte: Nogueira e Silva (2014).

Figura 4. Práticas culturais executadas em mangueira no município de Taquaritinga-SP.



Fonte: Nogueira e Silva (2014).

A PCP® preconiza ações como: análise de solo, correção e adubação; revitalização do solo (estruturação de perfil e a disponibilização de nutrientes); uso de mudas de qualidade e estímulo; desenvolvimento de plantas uniformes e adoção intensa de tratos culturais; aumento de reservas energéticas para pegamento e desenvolvimento de frutos; e adoção de estratégia para enchimento de frutos. Na Figura 5, observa-se o produtor da área (Ademar Yoshio Ogata). Ao lado, se encontra o consultor técnico doutorando Ms.c (Gilberto José Nogueira e Silva) responsável pelas práticas culturais, após ações visando avanços no sistema de produção e escalonamento da produção de mangueira em épocas não convencionais.

Figura 5. Produtor de mangueira (Ademar Yoshio Ogata) e consultor (Gilberto José Nogueira e Silva) no município de Taquaritinga-SP.



Fonte: Nogueira e Silva (2017).

Resultados encontrados com o estudo

Após à adoção das práticas recomendadas pelo PCP®, registraram-se colheitas fora de época, destacando-se em outubro de 2014, setembro de 2015, junho de 2017, e programação para julho e agosto de 2017, das variedades Palmer, Espada vermelha e Tommy Atkins. Além disso, observou-se incidência praticamente nula da desordem fisiológica do colapso interno dos frutos, o que era altamente visível antes das práticas utilizadas na área de estudo.

Assim sendo, na Figura 6 podemos observar o resultado positivo após as práticas executadas pelo PCP®, com a presença de frutos com boa qualidade para comercialização, ao lado do consultor técnico (Luis Carlos Giroto de Almeida), seguido da Figura 7, onde observa-se de forma detalhada a qualidade dos frutos.

Figura 6. Pomar de mangaueira no município de Taquaritinga-SP após ações do PCP®.



Fonte: Nogueira e Silva (2017).

Figura 7. Pomar de mangaueira do produtor (Luis Carlos Giroto de Almeida) após ações do PCP®, Taquaritinga-SP.



Fonte: Nogueira e Silva (2017).

■ DISCUSSÃO

Este estudo possibilita subsídios para diversos produtores de manga no Brasil, de modo especial, no Estado de São Paulo, visto que tradicionalmente a floração da mangaueira é dependente de temperaturas baixas, com ocorrência nos meses mais frios do ano, o que acaba por limitar sua produção, ocasionando ‘super’ oferta do produto. Assim, nossos resultados evidenciaram ser possível a colheita de três variedades de manga (Palmer, Tommy Aktins e Espada vermelha) fora de época.

Resultados promissores, especialmente ao se considerar que a produção de manga fora de época permite ao produtor ganhos extras que pode chegar a R\$ 1,00 por kg da fruta, e

levando em consideração que a produtividade média anual de um mangueiral estável chega em torno de 25 mil kg por hectare, o que leva o produtor a faturar cerca de R\$ 25 mil reais a mais por cada hectare produzido (MELO, 2020). Assim, levando em consideração que o município de estudo (Taquaritinga-SP) é considerado o segundo maior produtor de manga no Estado, a utilização das práticas recomendadas pelo PCP® permite um ganho anual potencial elevado, o que paga muitas vezes o investimento realizado.

Dessa forma, a produção fora de época da mangueira possibilita a colheita da manga exatamente nas janelas de mercado abertas de outras regiões, tanto a nível nacional quanto internacional, sendo uma possível produzir frutos com melhor coloração, maior teor de açúcares e isentos de problemas fitossanitários típicos ocasionados na cultura, como a bactéria (*Xanthomonas* sp.), antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) e alternária (*Alternaria alternata*), bem como problemas climatológicos.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das recomendações técnicas do consultor técnico doutorando Ms.c Gilberto José Nogueira e Silva e do Programa Construindo Plantas® (PCP), tornou-se possível a colheita fora de época das variedades de mangueira Palmer, Espada vermelha e Tommy Atkins, observando ainda, à ocorrência praticamente nula da desordem fisiológica do colapso interno dos frutos, com alta produtividade.

Agradecimentos

A Aminoagro (PCP) e seu Diretor de Marketing - Paul Bergman.

Ao Consultor Técnico - Luis Carlos Giroto de Almeida.

Ao Produtor - Ademar Yoshio Ogata.

Ao Engenheiro Agrônomo – Itamar Guerra.

■ REFERÊNCIAS

BARROSO, Antônio Jackson Ribeiro et al. Aceitabilidade de bolo elaborado com pó alimentício obtido da casca de manga Tommy Atkins. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 3241-3246, 2015.

MALDONADO-CELIS, Maria Elena et al. Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1073, 2019.

MAPA. Agrostat: **Exportação Importação**. 2019. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MATIAS, Aline da Silva Fernandes et al. **Elaboração e análise físico-química de pão sem glúten adicionado de farinha de manga rosa (*Mangifera indica* L.)**. 2022. 34f. TCC (Graduação em Nutrição) – Universidade Federal de Campina Grande, 2022.

MELO, Nataniel Franklin. **Apoio da Facepe às pesquisas aplicadas estimula desenvolvimento da agricultura no Interior de Pernambuco**. 2020. P.20-22. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125634/apoio-da-facepe-as-pesquisas-aplicadas-estimula-desenvolvimento-da-agricultura-no-interior-de-pernambuco>. Acesso em: 10 mar. 2023.

OLIVEIRA, Jamille Rabêlo et al. Efeito da densidade de inóculo, temperatura, período de molhamento sobre o desenvolvimento de lesões e controle alternativo de antracnose e podridão peduncular de manga Tommy Atkins: Effect of inoculum density, temperature, wetness period on lesion development and alternative control of anthracnose and stem rot of Tommy Atkins mango. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 4, p. 4410-4428, 2022.

PATIÑO-RODRÍGUEZ, Omar et al. Pulp and peel of unripe stenospermocarpic mango (*Mangifera indica* L. cv Ataulfo) as an alternative source of starch, polyphenols and dietary fibre. **Food Research International**, v. 138, 2020.

Atividades e experiências do grupo de estudos em ecofisiologia de plantas da UFGD

- | **Cleberton Correia Santos**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA
- | **Silvana de Paula Quintão Scalon**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA
- | **Juliana Milene Silverio**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA
- | **Jéssica Aline Linné**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA
- | **Diego Pereira**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA
- | **Rian Alex Lopes Janse**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA
- | **Victor Stein Proence**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA
- | **José Ricardo Palácio Caldeira Dias**
Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD/FCA

RESUMO

O Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas (GEEP) da Universidade Federal da Grande Dourados desenvolve pesquisas direcionadas ao conhecimento das respostas ecofisiológicas de espécies frutíferas e arbóreas, entre outras de interesse agrícola frente a fatores abióticos estressores. Além disso, tem sido desenvolvido estudos com o uso de produtos com o intuito de aliviar o efeito estressante do déficit hídrico, alagamento e luminoso sobre o metabolismo e crescimento das plantas. Objetivamos descrever por meio desse relato de experiência as principais atividades desenvolvidas pelos integrantes do GEEP e sua repercussão no desenvolvimento e difusão de informações técnico-científicas, e na formação profissional. O relato de experiência foi baseado na descrição das atividades desenvolvidas pelos integrantes do GEEP, além de registros fotográficos. Além disso, foi realizada uma pesquisa por meio de entrevista semi estruturada com duas perguntas abertas. Também realizamos um levantamento de trabalhos defendidos pelos egressos e atuais integrantes do GEEP dos últimos quatro anos (2018-2022). Os integrantes do GEEP se reúnem para as variadas atividades no campo e laboratório. Os alunos de iniciação científica acompanham as atividades experimentais dos alunos de pós-graduação, e em conjunto com os professores planejam experimentos, com o intuito de articular a compreensão do planejamento e delineamento experimental, além da responsabilidade de condução, tomada de dados e redação científica. Os resultados das pesquisas são divulgados por meio publicação de resumos, capítulos de livros e artigos em periódicos indexados, além da apresentação de trabalhos em eventos. A partir dos relatos de experiência foi possível notar a importância das pesquisas e da participação no GEEP para a formação acadêmica, profissional e difusão de tecnologias, além da interação harmoniosa entre os integrantes.

Palavras-chave: GEEP, Formação Acadêmica, Interação Acadêmica, Publicação, Relatos.

■ INTRODUÇÃO

Nos últimos anos as mudanças climáticas tem sido um fator agravante, pois promove alterações nas temperaturas e umidades relativas atmosféricas, além da distribuição irregular das chuvas. Assim, em algumas localidades ou épocas do ano as plantas estão sujeitas a períodos de estiagem prolongada (seca), enquanto que em outras podem ser submetidas ao alagamento, tornando-se condições desfavoráveis ao estabelecimento inicial das plantas nessas condições.

Portanto, o conhecimento das respostas ecofisiológicas das plantas a condições adversas, tal como o estresse hídrico por déficit ou excesso de água no solo, e o estresse luminoso são fundamentais para estabelecer protocolos do cultivo *ex situ* de espécies florestais arbóreas e/ou frutíferas. No âmbito acadêmico-profissional, tem aumentado as pesquisas direcionadas a linha de ecofisiologia vegetal com o intuito de contribuir na difusão de informações técnico-científicas e estabelecer estratégias de manejo para subsidiar projetos de recuperação de ambientes degradados, sistemas agroflorestais, recomposição de matas nativas, áreas de preservação permanentes e pomares comerciais.

Em 2017, na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD, Dourados – MS), foi criado o Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas – GEEP, o qual é constituído por docentes e discentes do curso de Graduação em Agronomia, e do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Mestrado-Doutorado), e da equipe técnica de laboratório, todos da Faculdade de Ciências Agrárias.

As pesquisas do GEEP são direcionadas para avaliar o efeito dos variados estresses abióticos em espécies frutíferas e nativas no Cerrado brasileiro. Também desenvolvemos pesquisas com culturas de interesse agrícola como a cana-de-açúcar, soja, trigo, entre outras espécies.

Além de verificar as respostas de cada espécie e seu potencial de plasticidade por meio de mecanismos morfofisiológicos, estamos desenvolvendo pesquisas testando o potencial de mitigação de produtos no efeito de fatores estressores. Dentre os produtos utilizados pode-se citar o hidrogel, ácido salicílico, óxido de silício, silicato de potássio, bactérias promotoras de crescimento do gênero *Bacillus*, microalga e macro alga.

Objetivamos descrever por meio desse relato de experiência as principais atividades desenvolvidas pelos integrantes do GEEP e sua repercussão no desenvolvimento e difusão de informações técnico-científicas, e na formação profissional.

■ DETALHAMENTO DA EXPERIÊNCIA

Procedimentos Metodológicos

O relato de experiência foi baseado na descrição das atividades desenvolvidas pelos integrantes do grupo de pesquisa GEEP, além da apresentação por meio de registros fotográficos com consentimento dos integrantes. Além disso, foi realizada uma pesquisa por meio de entrevista semi estruturada, aplicada ao total de oito participantes atuais constituídos de alunos de graduação e pós-graduação em Agronomia, e de um professor orientador, integrantes do grupo, após os consentimentos de autorização. As perguntas foram do tipo aberta, a saber:

- I. Qual a importância das pesquisas desenvolvidas pelo GEEP?
- II. Qual a importância de participar do GEEP?

As entrevistas foram registradas por texto ou áudio e transcritas para o documento de maneira descritiva utilizando a técnica de análise do discurso do sujeito coletivo (Lefèvre *et al.*, 2000), o qual consiste em agrupar informações de um coletivo para posterior discussão. As narrativas foram apresentadas de forma aleatória e não foram identificadas quantos aos entrevistados, mantendo o anonimato. Também realizamos um levantamento na página da UFGD de trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses defendidos pelos egressos e atuais integrantes do GEEP dos últimos quatro anos (2018-2022), contendo as seguintes informações: nome do acadêmico, nível de titulação, título, objetivo(s) e conclusão (ões) da pesquisa desenvolvida.

Atividades Desenvolvidas

Inicialmente é realizado um levantamento dos dias e horários em que a maioria dos integrantes estão com disponibilidade para participar das atividades, e na data marcada todos se reúnem para as variadas tarefas do dia – organização dos espaços de armazenamento de vasos, bandejas, insumos diversos para experimentos, limpeza e manutenção dos viveiros, recipientes, piscina, e outros materiais (Figura 1). Em geral, as atividades envolvem os alunos de graduação, pós-graduação, técnica e docentes do GEEP (Figura 2).

Figura 1. Manutenção de estrutura de cobertura plástica e limpeza do viveiro.



Fonte: Os autores.

Figura 2. Integrantes e atividades de campo.



Fonte: Os autores.

No campo, os projetos de iniciação científica, dissertação ou tese são implantados com a participação dos alunos de graduação, pós-graduação e professores, momento no qual são descritas as ideias propostas e dinâmicas dos experimentos quanto aos fatores em estudo (tratamentos), espécie, tempo de experimento, avaliações que serão realizadas.

Ainda, dentre as atividades realizadas pode citar o peneiramento de solo, preenchimento de tubetes, vasos com o substrato de cultivo, normalmente o solo disponível da região com areia grossa na proporção de 3:1 (v/v). Quando os experimentos estão em andamento, todos se organizam para realizar a irrigação dos experimentos em andamento.

Os alunos de iniciação científica e voluntários acompanham as atividades experimentais dos alunos de pós-graduação (Figura 3), e em conjunto com os professores supervisores (orientadores) planejam experimentos, com o intuito de articular a compreensão do planejamento e delineamento experimental, repetições, aleatoriedade (casualização), amostras, tratamentos, e incitar a responsabilidade de implantação, condução, tomada de dados e redação de resultados de uma pesquisa científica.

Figura 3. Atividades de campo e avaliação de características destrutivas.



Fonte: Os autores.

Durante as avaliações, os alunos são orientados a realizar desde avaliações mais cotidianas como medir altura de plantas, diâmetro de caule, contar o número de folhas, identificar e medir área de ocupação de lenticelas hipertrofiadas (estrutura adaptativa ao estresse por excesso de água) (Figura 4). Além dessas avaliações, os acadêmicos realizam medições com equipamentos, tais como clorofilômetro portátil (SPAD), fluorômetro e o medidor portátil de fotossíntese (IRGA) (Figura 4). Durante as atividades no campo há diálogos entre

os integrantes do grupo (exemplo: conseguem ver que as plantas no ambiente de 70% de sombra estão mais verdes e maiores do que as do pleno sol?).

Figura 4. Avaliação de experimentos e manuseio de equipamentos.



Fonte: Os autores.

No laboratório de Nutrição e Metabolismo de Plantas, após a avaliação das características destrutivas como área foliar, comprimento de raiz, massas frescas das plantas, entre outras, os integrantes realizam a pesagem de material fresco para a quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos com espectrofotômetro, e maceração de material vegetal com nitrogênio líquido para posterior análise de atividade de enzimas antioxidantes e aminoácido de osmorregulação (Figura 5).

Figura 5. Alunos de iniciação científica macerando material vegetal em nitrogênio líquido.



Fonte: Os autores.

Relatos de Experiências

Os relatos quanto ao questionamento “Qual a importância das pesquisas desenvolvidas pelo GEEP?”, os relatos foram os seguintes

No meu ponto de vista o principal motivo da tamanha importância das pesquisas realizadas pelo GEEP é a obtenção das respostas fisiológicas de espécies nativas submetidas a diferentes condições consideradas adversas, e conhecer formas de preservar espécies que muitas vezes não estão em linha de produção comercial ou que até mesmo estão sujeitas ao risco de extinção por haver uso indiscriminado, coletas extrativistas inadequadas. Os benefícios ficam restritos ao conhecimento popular. Algumas espécies nativas ainda não foram estudadas mais a fundo, e o GEEP proporciona um olhar diferenciado para essas espécies nativas do Cerrado e seus estudos auxiliam a compreensão da fitofisionomia desse bioma.

A importância das atividades está relacionada em buscar explicações entre as diferentes respostas que as plantas podem apresentar, tentando assim justificar o que ocorre por traz desses processos. Sendo desde sua resposta aos diferentes sombreamentos até o comportamento na falta ou excesso de água ou sua afinidade com determinado produto como microalgas e outros na redução do estresse.

As pesquisas realizadas pelo grupo GEEP são direcionadas ao estudo de estresse abiótico, que é de importância gigantesca no campo. O estudo de estresse das plantas tem um papel fundamental para a agricultura, expondo as plantas em condições desfavoráveis a ela, desenvolvendo assim uma pesquisa que ajude a descobrir os limites da planta.

As pesquisas que são proporcionadas pelo GEEP, resolvem questões e problemas relevantes na nossa sociedade, contribuindo para o melhoramento e entendimento das plantas em seus meios de estresses.

Os projetos desenvolvidos pela equipe GEEP contribuem na difusão de informações técnicas sobre as respostas ecofisiológicas de espécies com diferentes interesses frente a fatores estressantes, com a finalidade de realizar um bom posicionamento agrícola pensando no manejo fisiológico e nutricional das plantas.

As pesquisas garantem resultados e avanços na fisiologia vegetal de forma a contribuir que os integrantes do grupo aprendam essa ciência da forma mais prática possível, atuando na coleta de dados, monitoramento e avaliações a campo e laboratório, manutenção de equipamentos, interpretações de resultados, etc.

Eu penso que nosso grupo é importante para solucionar algum problema que levantamos sobre a cultura que vamos trabalhar. Nós conseguimos ver como a planta se desenvolve por meio dos nossos experimentos e como ela reage a falta de água um estresse hídrico no caso ... pouca água ... muita água ... aplicação de produtos biológicos. A partir desses experimentos conseguimos fazer uma conclusão, nos ajudando, e caso publicado o artigo ajuda outras pessoas que possam utilizar os nossos resultados.

No segundo questionamento: Qual a importância de participar do GEEP? Os relatos foram os seguintes:

O grupo tem uma grande importância pra mim, pois me ajuda bastante a entender como funciona o manejo das plantas ... Fazer comprimento de raiz, área foliar, mexer com equipamentos diferentes como o IRGA e o SPAD, extrair informações desses equipamentos saber manuseá-los, caso eu tenha na vida profissional precisar eles ... Eu já vou saber Saber organizar experimentos com vasos. Isso vai me ajudar muito na vida profissional.

O GEEP forma indivíduos pensantes, capazes de questionar, buscar informações e gerar conhecimento. Alunos de iniciação científica fazem parte do time e é notório o quanto eles sentem-se apaixonados pelas atividades. Muitas vezes, é por meio do nosso grupo onde o aluno terá o primeiro contato com a pesquisa científica.

O grupo é muito importante para os estudos da fisiologia vegetal e metabolismo, tem uma ótima equipe de trabalho, excelentes orientadores, organização impecável e experiências importantes que auxiliarão na área profissional do agrônomo.

O GEEP traz novidades e completa o conhecimento aprendido durante o curso, além de gerar oportunidade de trabalhos práticos que servem para a formação acadêmica e profissional. Além disso, o ambiente agradável do grupo ajuda a descontrair durante as atividades, até as mais exaustivas.

Participar do grupo de pesquisa tem sua importância relacionada a resposta anterior, avaliando e observando as pesquisas adquirimos conhecimento sobre o assunto estudado, em cada prática descobrimos algo novo. É um grupo de pesquisa que ajuda o aluno em formação a ter diversas noções sobre as plantas, estresse, irrigação, entre outros assuntos, ajudando-o no caminho de sua formação.

O mais interessante do GEEP é que além da importância na formação dos integrantes no âmbito acadêmico e profissional, a interação entre a equipe é maravilhosa por ser harmoniosa, amigável e produtiva ao mesmo.

O GEEP possibilita interação entre a pós-graduação e a graduação havendo uma troca de conhecimentos e união da equipe com objetivo de ampliar estudos em ecofisiologia de plantas, possibilitando oportunidades para desenvolvimento de dissertações, teses, TCCs, apresentações de resumos em eventos, entre outras coisas com temas relevantes que se interrelacionam, trazendo informações de grande importância para produção de mudas com qualidade e sustentabilidade.

■ DISCUSSÃO

A partir das informações apresentadas é possível reforçar que a formação de grupos de pesquisa, tal como o GEEP, é fundamental para a difusão de tecnologias para a sociedade e atender os objetivos do desenvolvimento sustentável. Ressalta-se que a interação acadêmica entre os discentes de graduação, pós-graduação, equipe técnica e professores supervisores fortalece a pesquisa do grupo tanto no âmbito profissional quanto pessoal, articulando a troca de saberes. Os trabalhos de pesquisa, traduções e pagamento de taxas de publicações são custeados por meio de projetos financiados pela FUNDECT, e pelo apoio financeiro da UFGD.

Após a tabulação de dados e análises estatísticas, os resultados das pesquisas são difundidos por meio da publicação de resumos, capítulos de livros e artigos científicos em periódicos indexados, além da participação e apresentação em eventos científicos, tal como o ENEPE-UFGD.

Quanto às pesquisas, as mais recentes e em andamento que estão sendo desenvolvidas pelo GEEP são as seguintes:

- Bactérias promotoras de crescimento em mudas de *Cedrela fissilis* Vell. sob alagamento.
- Bactérias promotoras de crescimento em mudas de *Hymenaea courbaril* L. sob alagamento.
- *Bacillus* sp. em mudas de *Hymenaea courbaril* L. sob déficit hídrico.

- Sombreamento mitiga o efeito do déficit hídrico em mudas de *Cedrela fissilis* Vell.
- Interação sombreamento e regimes hídricos em *Myracrodruon urundeuva*.
- Flutuação hídrica, silício e extrato de alga em mudas de *Cedrela fissilis* e *Myracrodruon urundeuva*.
- Entre outros trabalhos em planejamento para implantação.

Na figura 6, o egresso Antônio Augusto Souza Silva está participando de um momento de apresentação do GEEP aos calouros do curso de Agronomia, no qual em sua fala descreveu algumas das atividades e pesquisas desenvolvidas no grupo.

Figura 6. Apresentação do GEEP por aluno egresso aos alunos calouros do curso de Agronomia da UFGD.



Fonte: Os autores.

Nos últimos quatro anos os trabalhos defendidos pelos alunos participantes GEEP foram os seguintes (Tabela 1):

Tabela 1. Trabalhos defendidos por alunos participantes do GEEP no período 2018-2022.

Aluno (s)	Título do trabalho	Objetivo (s)	Conclusão (ões)
Lucas Coutinho Reis	Sombreamento e aplicação de silício em mudas de <i>Hymenaea courbaril</i> L. sob déficit hídrico e seu potencial de recuperação	Avaliar o efeito de níveis de sombreamento e doses de silicato de potássio em mudas de <i>H. courbaril</i> submetidas ao déficit hídrico e o potencial de recuperação do metabolismo fotossintético, enzimático e crescimento das mudas após a suspensão do estresse.	As mudas de <i>H. courbaril</i> L. são sensíveis ao déficit hídrico e apresentam potencial de recuperação no pós-estresse por plasticidade fisiológica. A aplicação de silicato de potássio na dose entre 6,00-7,00 mL L-1 contribui para o aumento da atividade de enzimas antioxidantes como mecanismo de proteção de danos ao fator estressor.
Wesley Souza Prado	Silício e déficit hídrico no metabolismo fotossintético e crescimento de chia	Avaliar o efeito de doses de silício associadas a diferentes capacidades de retenção de água nas respostas germinativas e morfofisiológicas de chia a fim de testar a hipótese de que o silício atua na mitigação do déficit hídrico dessa espécie.	As plantas cultivadas sob irrigação contínua apresentaram maior crescimento de chia. A dose de Si de 100 kg ha-1 atenua o déficit hídrico, favorecendo a manutenção e a recuperação do metabolismo fotossintético das plantas.

Aluno (s)	Título do trabalho	Objetivo (s)	Conclusão (ões)
Mailson Vieira Jesus	Déficit hídrico associado à micorrizas arbusculares e ácido abscísico no metabolismo fotossintético e crescimento inicial de mudas de <i>Dipteryx alata</i> Vogel.	Avaliar o déficit hídrico associado aos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e ácido abscísico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de <i>D. alata</i> .	As mudas de <i>D. alata</i> apresentam resiliência ao déficit hídrico. O ácido abscísico exógeno aplicado no substrato, apresenta efeito direto e benéfico na colonização dos FMAs. Os FMAs, especialmente <i>Rhizoglyphus clarum</i> , contribuíram no crescimento das mudas.
Edineia Messias Martins Bartieres	Ecofisiologia e potencial de recuperação de mudas de <i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O. Berg sob déficit hídrico e sombreamento	Avaliar o efeito do déficit hídrico e níveis de sombreamento sobre as respostas fotossintéticas, de proteção e potencial de recuperação das mudas de <i>C. xanthocarpa</i> .	As plantas de <i>C. xanthocarpa</i> suportaram o déficit hídrico em todos níveis de sombreamentos, apresentando maior atividade antioxidante de proteção e menor qualidade sob 0% de sombreamento. Os níveis de sombreamentos amenizaram o estresse hídrico nas mudas. As mudas tem potencial de recuperação pós-estresse.
Edvânia Aparecida dos Santos Cardoso	Respostas fisiológicas de cultivares de feijão sob déficit hídrico e inoculação de <i>Macrophomina phaseolina</i>	Avaliar as trocas gasosas e a eficiência do aparato fotossintético de cultivares de feijão submetidas a déficit hídrico e inoculação de <i>M. phaseolina</i> como também o potencial de recuperação de seu status fisiológico após a suspensão da condição estressante.	As cultivares de feijão-caupi, Guariba e Tumucumaque apresentaram maior tolerância ao déficit hídrico e conseqüentemente a inoculação por <i>M. phaseolina</i> . A cultivar Esteio é mais sensível ao déficit hídrico e a inoculação por <i>M. phaseolina</i> . O feijão-comum comparado ao feijão-caupi é mais sensível a condições estressantes.
Jéssica Aline Linné	Aspectos ecofisiológicos e potencial de recuperação em mudas de <i>Dipteryx alata</i> Vogel sob alagamento e sombreamento	Avaliar as modificações morfofisiológicas e bioquímicas ocorridas em mudas de <i>D. alata</i> cultivadas em níveis de sombreamento e períodos de avaliação, bem como o potencial de recuperação das mudas.	O alagamento prejudica o metabolismo e o crescimento das mudas. Decorridos 100 dias de pós-alagamento, a espécie se recupera. O sombreamento de 30% é o mais indicado para mitigar os efeitos deletérios causados pelo alagamento.
Márcio Santos da Silva	Silício e sombreamento atenuam os efeitos do déficit hídrico no metabolismo e no crescimento foliar de mudas de <i>Dipteryx alata</i> vog.	Avaliar o comportamento de mudas de <i>D. alata</i> submetidas ao déficit hídrico e o efeito de doses de silício associado a níveis de sombreamento nos aspectos morfofisiológicos.	A interação sombreamento e silício não mitigaram o efeito estressante do déficit hídrico nas mudas de <i>D. alata</i> , entretanto, retardaram a redução da fotossíntese e anteciparam sua recuperação. A espécie apresenta potencial de recuperação no pós-estresse.
Juliana Milene Silverio	Hidrogel na mitigação do estresse hídrico e potencial de recuperação em mudas de <i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.	Avaliar o potencial do hidrogel em mitigar o estresse hídrico e de auxiliar na recuperação de mudas de <i>E. myrcianthes</i> Nied. sob flutuações hídricas.	O hidrogel contribuiu em maior eficiência intrínseca do uso da água e não prejudicou as mudas mesmo no alagamento. As mudas apresentaram sobrevivência, retomada do metabolismo e de crescimento no pós-estresse, independente do uso do hidrogel.
João Lucas da Costa Santos de Almeida	Estratégias de mitigação do estresse hídrico em mudas de <i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hill.) Radlk.	Avaliar metodologias de mitigação do estresse hídrico em mudas de <i>T. esculenta</i> .	As plantas de <i>T. esculenta</i> suportam condições de alagamento, apresentando menor atividade fotossintética. O uso de ácido salicílico se mostrou ineficaz no crescimento de plantas alagadas. As mudas apresentam surgimento de lenticelas após 7 dias do alagamento, sugerindo plasticidade fisiológica até os 45 dias de alagamento.
Thainá Caroline Casavechia de Oliverira	O sombreamento atenua o efeito estressante por alagamento em mudas de <i>Talisia esculenta</i> (A. ST. – Hill) Radlk?	Avaliar o efeito do sombreamento sobre a sobrevivência, crescimento e alterações morfofisiológicas de mudas de <i>T. esculenta</i> sob alagamento.	As mudas de <i>T. esculenta</i> são sensíveis ao alagamento e ao cultivo sob 0% de sombreamento, e esses dois fatores. Os sombreamentos mitigaram o efeito estressante do alagamento sobre as mudas, sendo que o sombreamento de 70% proporcionou maior qualidade de mudas. Lenticelas e síntese de prolina contribuíram para a sobrevivência das mudas.
Wállas Matos Cerqueira	Ecofisiologia e crescimento inicial de <i>Inga vera</i> Willd. sob diferentes níveis de sombreamento e regimes hídricos	Avaliar o efeito de diferentes níveis de sombreamento em mudas de <i>I. vera</i> submetidas a diferentes regimes hídricos.	Os resultados mostram que o sombreamento artificial afetou positivamente o crescimento inicial de <i>I.</i> e apresentou efeito mitigador da baixa disponibilidade de água no substrato.

Aluno (s)	Título do trabalho	Objetivo (s)	Conclusão (ões)
Francisco Antonio Beltramin e Willian Costa Silva	Polímeros hidroretentores mitigando o déficit hídrico em <i>Schinus terebinthifolia</i> : metabolismo fotossintético e crescimento inicial	Avaliar o efeito de polímero hidroretentor nos aspectos morfofisiológicos de <i>S. terebinthifolia</i> submetidas ao déficit hídrico e na recuperação das mudas.	A adição de hidrogel ao solo contribui para a manutenção da capacidade fotossintética da <i>S. terebinthifolia</i> sob déficit hídrico, além de potencializar as respostas foliares e alocação de biomassa nessas condições de cultivo. A <i>S. terebinthifolia</i> apresenta potencial de recuperação das trocas gasosas após o período de estresse, demonstrando resiliência ambiental por plasticidade fisiológica.
Estevão Honorato Lemes de Paula e Lucas Rodrigues Paulino	Estresse luminoso e silício nas respostas morfofisiológicas de mudas de <i>Alibertia edulis</i> Rich.	Avaliar o efeito do silicato de potássio nos processos fotoquímicos e crescimento de mudas de <i>A. edulis</i> sob diferentes disponibilidades luminosas.	O uso do K ₂ SiO ₃ na dose de 10,0 mL L ⁻¹ mitigou os efeitos negativos do estresse luminoso do pleno sol e contribui na obtenção de mudas de <i>A. edulis</i> de elevada qualidade em ambiente com alta e moderada disponibilidade luminosa.
Diego Sampaio Marques Torraca	Silício e ácido salicílico na ecofisiologia em mudas de <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi sob alagamento	Avaliar o potencial do silício e ácido salicílico como agentes mitigadores sobre as respostas ecofisiológicas e crescimento inicial de mudas de <i>S. terebinthifolia</i> submetidas ao alagamento.	O uso silício e ácido salicílico na dose de 1,0 e 3,0 mM, respectivamente, mitigou os danos ao aparato fotossintético das mudas de <i>S. terebinthifolia</i> em condições de alagamento. As mudas apresentam lenticelas hipertrofiadas em resposta a sensibilidade ao alagamento, mas toleram essa condição por até 15 dias sem reduzir drasticamente o metabolismo fotossintético.
Alan Seite Ferraz Koga e Gustavo Felipe Rocha Batista	Alagamento e sombreamento no desenvolvimento de mudas de baru (<i>Dipteryx alata</i> Vog.)	Avaliar o efeito do alagamento e sombreamento no desenvolvimento das mudas de baru.	As mudas de baru desenvolvem-se melhor no sombreamento de 30% e o alagamento interfere negativamente na qualidade das mudas.
Ivo José Basso Júnior e Vinicius Libano Navarro	Silício e restrição hídrica na integridade do aparato fotossintético e crescimento inicial de <i>Inga vera</i> Willd.	Avaliar o potencial do silício em mitigar o efeito estressante da restrição hídrica e contribuir na plasticidade fisiológica de mudas de <i>I. vera</i> .	As plantas de <i>I. vera</i> apresentam sensibilidade ao déficit hídrico, mas o silício, especialmente na dose de 0,84 g contribui na mitigação dos danos ao aparato fotossintético durante e após a restrição hídrica. A aplicação de 0,84 e 1,68 g de Si retardou surgimento de sintomas visuais do estresse por déficit hídrico.
Luiz Gabriel Dias Fernandes e Higor Périkles Guedes Jorge	Sombreamento e substratos na emergência, produção e qualidade de mudas de <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	Avaliar o efeito de diferentes substratos e sombreamentos na emergência e qualidade de mudas de <i>A. peregrina</i> .	Mudas de <i>A. peregrina</i> produzidas em substrato 100% Latossolo Vermelho Distroférrico e sob pleno sol apresentaram maior qualidade.
Luiz Carlos Saracho e Neder Martins Lima	Ácido salicílico em mudas de <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi. em resposta a intervalos de irrigação	Avaliar o efeito do ácido salicílico em mudas de <i>S. terebinthifolia</i> submetidas a diferentes manejos hídricos.	A aplicação de 200 mg L ⁻¹ de ácido salicílico contribui nas atividades fotoquímicas, teores de pigmentos fotossintéticos e qualidade das mudas com irrigação realizada a cada 12 dias.
Elias Vinicius W. Quaresma e Rodrigo da S. Pereira Otto.	Produção de mudas de <i>Mentha x villosa</i> Huds. por estaquia, sob níveis de sombreamento.	Avaliar o efeito dos níveis de sombreamento de 0% (pleno sol), 30%, 50% e 70% de sombra na propagação vegetativa de hortelã.	Recomenda-se a propagação de mudas hortelã sob pleno sol.
Juliana Milena Silvério e Giselly Marques Espíndola	Sombreamento e adubação fosfatada no crescimento inicial e aspectos fotoquímicos em <i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg	Avaliar o crescimento inicial e aspectos fotoquímicos em <i>C. xanthocarpa</i> cultivada sob adubação fosfatada e níveis de sombreamento.	Mudas de <i>C. xanthocarpa</i> cultivadas sob sombreamento tiveram maiores rendimentos fotoquímicos com dose entre 10-35 mg P kg solo ⁻¹ . No cultivo a pleno sol a adição de 100 mg P kg solo ⁻¹ favorece a regulação das atividades fotoquímicas.
Rafael Chiquito Ortega e Henrique Chacha Poyer	Crescimento, fotoquímica e qualidade de mudas de <i>Alibertia sessilis</i> Schum. com nitrogênio	Avaliar o efeito do nitrogênio no crescimento e aspectos fotoquímicos da fotossíntese em <i>A. sessilis</i> .	As mudas de <i>A. sessilis</i> responderam positivamente quanto ao crescimento inicial e biomassa na dose próxima de 50,0 mg kg ⁻¹ de N.

Aluno (s)	Título do trabalho	Objetivo (s)	Conclusão (ões)
Antonio Augusto Souza Silva Caio Henrique Carvalho de Oliveira	Extrato de alga <i>Asco-phyllum nodosum</i> em mudas de <i>Inga edulis</i> Mart. sob restrição hídrica e no pós-estresse	Avaliar o papel do extrato de alga <i>A. nodosum</i> em mudas de <i>I. edulis</i> durante a restrição hídrica e no pós-estresse.	Na fase de sintoma de déficit hídrico, as mudas de <i>I. edulis</i> que receberam aplicação de 30 e 45 mL L ⁻¹ de <i>A. nodosum</i> apresentaram maior produção de biomassa. A aplicação de 15 mL L ⁻¹ de extrato de <i>A. nodosum</i> prejudicou as mudas durante e após o período de restrição hídrica. Mudas de <i>I. edulis</i> com 45 mL de extrato de <i>A. nodosum</i> tiveram maior eficiência fisiológica e de crescimento na fase de recuperação.
Luis Felipe Pereira da Silva e Mathews Piesanti	Ácido salicílico mitiga o efeito do alagamento em mudas de <i>Hymenaea courbaril</i> L.	Avaliar o efeito da aplicação de doses de ácido salicílico sobre as trocas gasosas e o crescimento de mudas de <i>H. courbaril</i> .	As mudas que receberam aplicação das concentrações entre 100 e 300 mg L ⁻¹ de AS tiveram maiores características de crescimento, qualidade e plasticidade fenotípica. A aplicação foliar de ácido salicílico não mitigou o efeito do alagamento sobre as trocas gasosas, mas contribuiu no crescimento das mudas de <i>H. courbaril</i> .

Fonte: Os autores.

Na tabela 2 estão listados os integrantes atuais do GEPP cujo os integrantes são constituídos dos professores orientadores, técnica de laboratório, e de alunos de graduação e de pós-graduação.

Tabela 2. Integrantes atuais do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas (GEPP) em 2023.

Integrante do GEPP	Participação
Cleberton Correia Santos	Professor Orientador
Silvana de Paula Quintão Scalon	Professora Orientadora
Caroline de Arruda Queiróz Taira	Técnica de Laboratório
Juliana Milene Silverio	Doutoranda em Agronomia
Jéssica Alinne Linné	Doutoranda em Agronomia
Vanda Maria de Aquino Figueiredo	Doutoranda em Agronomia
Rodrigo da Silva Bernardes	Doutorando em Agronomia
Thaise Dantas	Doutoranda em Agronomia
Anderson dos Santos Dias	Mestrando em Agronomia
Diego Pereira	Graduando em Agronomia, Iniciação Científica
Rian Alex Lopes Janse	Graduando em Agronomia, Iniciação Científica
Victor Stein Proence	Graduando em Agronomia, Iniciação Científica
José Ricardo Palácio Caldeira Dias	Graduando em Agronomia, Iniciação Científica
Leonardo Meotti Ribeiro	Graduando em Agronomia, Iniciação Científica
André Albino Carvalho Sottolano	Graduando em Agronomia, Iniciação Científica

Fonte: Os autores.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grupo de estudos em ecofisiologia de plantas contribui na formação acadêmica e profissional dos integrantes, além do desenvolvimento de pesquisas com a finalidade de difusão de informações técnico-científicas sustentáveis para a sociedade. Durante as atividades de campo e laboratório é notável a união, participação harmoniosa e produtiva dos integrantes, além das publicações técnico-científicas.

Agradecimentos

Agradecemos aos integrantes atuais e egressos do Grupo de Estudo em Ecofisiologia de Plantas (GEEP) da UFGD pela dedicação e participação efetiva nas atividades desenvolvidas, além das amizades construídas. Agradecemos a UFGD, CAPES e ao CNPq pela concessão de bolsas de iniciação científica, de mestrado e doutorado, e à FUNDECT, pelo apoio financeiro.

■ REFERÊNCIA

LEFÈVRE, F. et al. **O discurso do sujeito coletivo: uma nova abordagem metodológica em pesquisa qualitativa**. Caxias do Sul: EDUCS. 2000. Acesso em: 21 mar. 2023.

Relato de experiência: cultivo de coentro em diferentes sistemas hidropônicos

Nayane Cristina Figueredo de Carvalho Souza

Universidade Federal Rural da Amazônia

Luciana da Silva Borges

Universidade Federal Rural da Amazônia

Rhaiana Oliveira de Aviz

Universidade Federal do Piauí

Luana Kesley Nascimento Casais

Universidade Federal do Tocantins

RESUMO

O coentro é uma cultura de grande demanda e importância culinária em diversos Estados, e seu cultivo pode ser impulsionado através dos sistemas hidropônicos e semi-hidropônicos suspenso e com substrato esses sistemas se sobressaem em relação ao cultivo no solo devido à racionalização dos recursos hídricos, quebra da sazonalidade, e melhor aproveitamento da área. Este capítulo relata como ocorre o cultivo de coentro nos sistemas de produção hidropônico, semi-hidropônico suspenso e semi-hidropônico com substrato, presente numa propriedade de agricultores familiares no município de Paragominas, no Estado do Pará, além de mostrar algumas técnicas de avaliação do desenvolvimento e produtividade das plantas realizadas por alunos de graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Em campo, foram feitas observações e a descrição dos sistemas, além disso, também foi feita a coleta do parâmetro de clorofila *a*, *b* e total. Plantas em ponto de colheita foram coletadas e levadas para o laboratório multifuncional localizado da UFRA, onde foram analisados parâmetros relacionados a área foliar, pesagem e produtividade. Apesar de suas vantagens em relação ao cultivo no solo, esses sistemas são de alto custo inicial e demandam assistência técnica, o que pode ser um entrave para a adoção desse sistema pela agricultura familiar. Dentre os sistemas de cultivo, o semi-hidropônico com substrato foi que proporcionou melhor desenvolvimento e produtividade do coentro. Em relação à experiência vivida pelos alunos de Agronomia, a visita a propriedade e as análises realizadas contribuíram para o conhecimento técnico e prático.

Palavras-chave: *Coriandrum Sativum* L., Cultivo sem Solo, Sistema Semi-Hidropônico.

■ INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção de olerícolas desempenha um papel relevante atuando socialmente e economicamente, movimentando em torno de 25 bilhões de reais e gerando cerca de sete milhões de empregos, sejam eles diretos ou indiretos (HORTIFRUTI SABER E SAÚDE, 2018). As diferentes condições climáticas no país durante o ano tornam-se fator favorável à produção de hortaliças, e associado ao fato das hortaliças possuírem a adaptação facilitada a manejos de pouca exigência faz com que ela seja altamente produzida pelo setor da agricultura familiar (BRAINER, 2021).

Segundo Borges *et al.* (2022a), os produtores vinculados a agricultura familiar relatam dificuldades no manejo de hortaliças na região de Paragominas, relacionado com falta de conhecimento de técnicas de manejo, associado com o solo e clima da região.

Dentre as principais hortaliças comercializadas, o coentro (*Coriandrum sativum* L.) representa grande importância socioeconômica em diversas regiões brasileiras. O emprego econômico da cultura está relacionado ao seu uso na culinária, e por vezes como produto ornamental. No mercado há uma alta oferta dessa olerícola devido apresentar baixa complexidade durante seu cultivo (SANTOS *et al.*, 2020). Possui ciclo curto, sua colheita ocorre em média de 30 a 45 dias após a sementeira (GRANJEIRO *et al.*, 2011). A cultura do coentro permite ser cultivada em sistema hidropônico, semi-hidropônico suspenso e semi-hidropônico com substrato.

O cultivo de plantas em sistema que diminuam a velocidade do esgotamento dos recursos hídricos tem-se elevado para racionalizar o uso da mesma, visto os riscos de escassez e devido ser um elemento essencial para o desenvolvimento vegetal, dessa maneira, através da implantação do sistema hidropônico é possível o cultivo de plantas sem solo, apenas com água já com os nutrientes dissolvidos e fornecidos à planta, d (SILVA *et al.*, 2016).

O sistema semi-hidropônico suspenso se caracteriza por adicionar à solução nutritiva em conjunto com o substrato sólido inerte, mantendo a umidade do substrato e garantindo o crescimento e desenvolvimento do vegetal, apresentando relevância também para um cultivo mais sustentável através da racionalização da água (JARDINA *et al.*, 2017). Esse sistema de cultivo é realizado em ambiente protegido, com formação de canteiros podendo ser estruturados com o uso de lajotas (NETTO, 2017).

Os sistemas hidropônico e semi-hidropônico se sobressaem em relação ao cultivo no solo devido à quebra da sazonalidade, não há necessidade de rotação de culturas e melhor aproveitamento da área, além disso, a produção em substrato inerte reduz problemas fitossanitários e não há impacto das chuvas sobre a cultura. Entretanto, exige cuidados relativos à ergonomia (GONÇALVES *et al.*, 2016).

A partir do exposto, este capítulo tem como objetivo relatar como ocorre o cultivo de coentro nos sistemas de produção hidropônico, semi-hidropônico suspenso e semi-hidropônico com substrato, presente numa propriedade de agricultores familiares no município de Paragominas, no Estado do Pará, além de mostrar algumas técnicas de avaliação do desenvolvimento e produtividade das plantas realizadas por alunos de graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia.

■ DETALHAMENTO DA EXPERIÊNCIA

Caracterização do local

O cultivo do coentro foi realizado na empresa B&A hidroponia, localizada na comunidade Condomínio Rural, à 3 km de distância da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus de Paragominas (Figura 1). O município de Paragominas pertence a região sudeste do estado do Pará. A empresa possui as coordenadas 3°0'18,09" S (latitude) e 47°24'46,25" O (longitude), e atua no agronegócio desde o ano de 2016, com a produção de olerícolas como o jambu, agrião, salsa, coentro, pimentão, cebolinha, chicória, rúcula, sendo a alface o maior foco de produção, devido sua maior demanda na região.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a região é considerada com clima quente e úmido, sendo caracterizada como Aw1. Apresenta temperatura média de 26,3°C, umidade do ar variando entre 75% e 85% e com precipitação média anual em torno de 1800 mm. Em setembro de 2021 a outubro do mesmo ano, no período de implantação a campo do experimento, é o período mais quente da região paraense, em que chega a registrar 27,8°C (BASTOS; PACHECO; FIGEUIREDO, 2005).

Figura 1. Localização da empresa B&A hidroponia.



Fonte: Google maps (2023).

Sistema hidropônico

Em relação a estrutura, a empresa conta com 3 estufas para o cultivo hidropônico, sendo elas construídas em ferro e madeira, totalmente fechadas com lonas (filme plástico com 150 micras). Suas laterais são fechadas com sombrite na cor vermelha e termo refletora em 35%, na casa de vegetação, além do filme plástico é utilizado Aluminet® para diminuição da entrada de radiação infravermelha (calor) para dentro do ambiente, e diminuição de temperatura em até 20% no interior da estufa e da luminosidade nos horários mais quente, entre 11h e 16h (Figura 2).

Figura 2. Estrutura estufa hidropônica.



Fonte: Souza (2021).

As plantas foram colocadas sobre bancadas de madeira, que medem 1,70 m de altura e declividade de 8%, que são compostas por canos de polietileno perfurados e específicos para hidropônia. Há uma distância de 24 cm por cano e por perfuração, dessa forma as plantas são dispostas em arranjo triangular.

Sistema semi-hidropônico suspenso

No cultivo semi-hidropônico suspenso (Figura 4), são depositados substratos inertes nas bancadas, sendo eles areia lavada e casca de arroz carbonizada de pequena granulometria, que facilitam a absorção da solução nutritiva pelas plantas. Nesse sistema há canos de polietileno nas entrelinhas para a distribuição da solução, com distância de 24 cm entre eles. O local onde opera a semi-hidropônia é coberto por plástico de 150 micra, com medições

de 4 m de comprimento, 1,5 m de largura, 1,10 m de altura e 2 m de pé direito. A solução nutritiva passa de 4 vezes ao dia, com tempo de três min. Não sendo necessário aplicação da solução no horário noturno.

Figura 4. Sistema semi-hidropônico suspenso.



Fonte: Souza (2021).

Sistema semi-hidropônico com substrato inerte

No mesmo local onde está presente a semi-hidropônia suspensa foi instalado o cultivo no canteiro rente ao solo com substrato inerte (Figura 5), possuindo 5 m de comprimento e 1 m de largura. O canteiro foi estruturado com lajotas, e o substrato utilizado é a área lavada, além disso, a solução nutritiva é fornecida às plantas pela técnica de inundação. A empresa utiliza seixo como cobertura do substrato, que facilita a drenagem da água, pois como o método de fornecimento da solução nutritiva ser por inundação esse material auxilia no controle e disponibilidade hídrica, evitando o excesso prejudicial as plantas de coentro cultivadas no sistema.

Figura 5. Sistema semi-hidropônico solo.



Fonte: Souza (2021).

Solução nutritiva

A solução nutritiva fornecida para os sistemas hidropônico e ambos os semi-hidropônicos consiste em 650 g/1000L de Dripsol Alface, 650 g/1000L de Calcinit, 20 g/1000L de Kelamylth MP6 e 10 g/1000L de Conmicros Ligth, onde a renovação/preparação da solução ocorre a cada 20 dias.

A circulação e controle da solução nutritiva nos sistemas é possível através do uso de motor-bomba. O motor-bomba e o reservatório da solução nutritiva da hidropônia está presente em uma casa ao lado do sistema, esse local também serve de depósito para os materiais utilizados no cultivo. Em relação as semi-hidropônias, somente um motor-bomba é utilizado para as duas, o reservatório para a solução nutritiva é uma caixa d'água, e também está localizado ao lado dos sistemas, sob uma estrutura coberta com filme plástico de 150 micras (Figura 5). Nos dois locais onde há o motor-bomba também há um painel de controle para o monitoramento do pH e controle da circulação da solução nutritiva. O pH deve permanecer em torno de 5 a 7. Horário de aplicação da solução é estabelecido para cada sistema. Sendo que no sistema hidropônico tradicional, a solução passa de 15 em 15 min, durante o dia e 4 vezes pelo horário noturno. Nos sistemas Semi hidropônico e sistema com substrato inerte a solução nutritiva passa quatro vezes ao dia, com tempo de três min. Não sendo necessário aplicação da solução no horário noturno.

Figura 6. Motor-bomba da solução nutritiva dos sistemas hidropônico e semi-hidropônico.



Fonte: Souza (2021).

Temperatura do ambiente

Para a hidropônia, o controle médio da temperatura se mantém em torno de 30° a 35°C, para os sistemas semi-hidropônicos permanece a temperatura ambiente, em torno de 26.5°C. Ambos os sistemas são controlados por painéis timer, onde é registrada a temperatura diariamente no período da manhã.

Semeadura e manejo

Para a produção do coentro nos 3 tipos de sistemas, a semeadura é realizada na esponja fenólica, que é um material estéril livre de possíveis contaminações. A esponja primeiramente é umedecida, e com o auxílio de semeadora específica é realizada a semeadura (Figura 7), visto o difícil manuseio das sementes de pequeno tamanho, para maior facilidade na distribuição e profundidade.

Figura 7. Semeadura em esponja fenólica.



Fonte: Souza (2021).

As esponjas semeadas são dispostas em bandejas, que após o semeio são postas geladeira de armazenagem até a emergência das plântulas (Figura 8). Após a emergência, as plântulas são levadas para berçários localizados dentro da estufa, onde já começam a receber a solução nutritiva. Após 14 dias de desenvolvimento das plantas, é realizado o transplante para os canos de polietileno presente na hidropônia e para o substrato das semi-hidropônias, sendo o local da inserção das mudas espaçadas a cada 24 cm entre plantas e entre fileiras.

Figura 8. Geladeira armazenadora e berçário.



Fonte: Souza (2021).

Métodos de avaliação

Durante a experiência, alunos de graduação em agronomia da UFRA coletaram material para análises de clorofila, área foliar e peso das plantas. O material coletado estava no ponto de comercialização considerado pelos produtores da B & A hidroponia, ou seja, quando as plantas estão bem desenvolvidas e ainda não se encontram em fase de floração.

Ainda em campo, com as plantas dispostas em seus sistemas foi feita a coleta do parâmetro de clorofila *a*, *b* e total utilizando clorofilômetro portátil CLOROFILOG-CFL1030, na qual foram medidas 6 folhas por planta, no período matutino (Figura 9).

Figura 9. Apuração dos dados de clorofila (CLOROFILOG-CFL1030).



Fonte: Souza (2021).

Realizada a finalização da coleta do primeiro parâmetro descrito acima, iniciou-se o processo de colheita (Figura 9), onde anteriormente cada saco foi identificado, e posteriormente era formado cada maço e retirado o vegetal por completo e armazenado em suas embalagens. Foram coletados ao todo 10 pontos.

Figura 10. Colheita do coentro.



Fonte: Souza (2021).

Finalizada a coleta, com as plantas já armazenadas em saco plástico para transporte, foram levadas para o laboratório multifuncional localizado da UFRA. Com o auxílio do equipamento Medidor de área foliar portátil AM350 (Figura 11) foi apurado os dados para as seguintes análises: área foliar (mm²), comprimento foliar (mm), largura foliar (mm), ratiofac (fator de proporção), perímetro (mm), shapefac (fator de forma). Além disso, com o auxílio de balança de precisão em gramas foram coletados os dados de peso da parte aérea (g) e peso de raiz (g) para verificar a produtividade por m² (Figura 12).

Figura 11. Avaliação foliar das plantas de coentro.



Fonte: Souza (2021).

Figura 12. Pesagem da parte aérea e raiz da planta.



Fonte: Souza (2021).

■ DISCUSSÃO

A substituição do uso do solo por sistemas hidropônicos proporciona ao agricultor maior controle do meio que se produz os vegetais, além de incrementar a qualidade e aumentar a produtividade das culturas (PRASAD *et al.*, 2012). Apesar das vantagens, o investimento inicial é de alto custo, além disso, agricultores familiares relatam dificuldade em conseguir assistência técnica, falta de produtos específicos para hidropônia no mercado local e perdas de produção por quedas de energia (OSTWALD *et al.*, 2022). Além de poder aquisitivo, os agricultores precisam de conhecimento técnico relacionado ao sistema e cultivo hidropônico. Guimarães *et al.* (2020) em seus estudos sobre a caracterização dos agricultores familiares de Paragominas mostram que 60% dos agricultores possuem escolaridade até o ensino fundamental, além disso, 67% dos agricultores tem dificuldade em conseguir assistência técnica e crédito rural, o que pode ser um fator que dificulta a adoção da hidropônia nessa região.

A avaliação do desenvolvimento e produtividade são importantes testes para o monitoramento do cultivo, além de mostrar qual cultura se adapta a determinado tipo de sistema. As quantidades de pigmentos foliares são diretamente expressos de acordo às condições de desenvolvimento a qual o vegetal analisado está submetido (WENNECK *et al.*, 2021). De acordo com Daniel *et al.* (2016) a intensidade da cor verde nas folhas das plantas indica o teor de clorofila presente nas mesmas, dessa maneira, quanto mais intensa a coloração verde indica maior quantidade da clorofila. O processo de fotossíntese essencial ao desenvolvimento vegetal é realizado por contribuição das clorofilas, dessa maneira, os vegetais expressam os seus índices nutricionais através do teor e qualidade destes pigmentos, onde

os mesmos se relacionam intimamente com os carotenoides (betacaroteno) na disposição de 0,81 (CASSETARI, 2015).

A análise de área foliar assim como de matéria seca auxilia na quantificação de índices fisiológicos que por sua vez podem sinalizar os diferentes comportamentos dos vegetais de acordo ao modo e meio que é produzido (LACERDA *et al.*, 2019). Visto que a mesma de acordo a Trautenmüller *et al.* (2017) possui estreita relação com a interceptação da energia solar, que por sua vez está intimamente relacionada ao processo de fotossíntese, essencial aos vegetais.

Em relação aos resultados das análises, os alunos identificaram os melhores resultados em todas as análises em plantas cultivadas no sistema semi-hidropônico com substrato, além disso, também observaram plantas com estiolamento no sistema hidropônico. Pinheiro *et al.* (2019) afirmam que o estiolamento no coentro é induzido pelo sombreamento do ambiente de cultivo, e isso afeta diretamente a produtividade das plantas. Para Borges *et al.* (2022b), um dos pontos importantes para bom manejo das hortaliças é o ambiente protegido para região, pois levando em consideração o clima da região, como fortes chuvas, alta umidade do ar e temperaturas elevadíssimas, construir um ambiente protegido de acordos com essas questões climáticas é primordial, pois produzir hortaliças em condições de grandes oscilações climáticas, pode se tornar quase impossível se não tiver um local adequado, com técnicas e bem estruturado em termos de tamanho e altura para que de fato alcance uma boa eficiência.

■ CONSIDERAÇÕES FINAIS

O coentro é uma cultura de grande demanda e importância culinária no Estado do Pará, e seu cultivo pode ser impulsionado através dos sistemas hidropônicos e semi-hidropônicos suspenso e com substrato. Entretanto, apesar de suas vantagens em relação ao cultivo no solo, esses sistemas são de alto custo inicial e demandam assistência técnica, o que pode ser um entrave para a adoção desse sistema pela agricultura familiar.

Dentre os sistemas de cultivo, o semi-hidropônico com substrato foi que proporcionou melhor desenvolvimento e produtividade do coentro, além disso, esse sistema pode ser de menor custo em comparação ao hidropônico e semi-hidropônico suspenso, pois não é necessário a construção de bancadas e uso de canos perfurados.

Em relação à experiência vivida pelos alunos de Agronomia, a visita a propriedade e as análises realizadas contribuíram para o conhecimento técnico e prático, gerando nesses alunos interesse em atuar na área da olericultura.

■ REFERÊNCIAS

BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A.; FIGUEIREDO, R. O. Frequência de chuva e ocorrência de seca na microrregião de Paragominas PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 14, 2005, Campinas. Agrometeorologia, agroclimatologia e agronegócio: **Anais**. Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: UNICAMP, 2005.

BORGES, L. S.; CASAIS, L. K. N.; SANTOS, T. V.; AVIZ, R. O.; CARVALHO, F. S.; FREITAS, L. S.; MEDEIROS, M. B. C. L. Relato de experiência: práticas de manejo de cultivo de pimentão nas condições edafoclimáticas paraense. In: MELO, J. O. F. **Ciências agrárias: o avanço da ciência no Brasil – volume 4**. 1 ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022a, 246-262 p.

BORGES, L.S.; NUNES, K.N.M.; SAMPAIO, I.M.G; MEDEIROS, M. C. L.; PEREIRA, R.S.; AVIZ, R.O. Agronegócio das hortaliças, seus desafios e tendências no Estado Pará. In: MELO, J. O. F. **Ciências agrárias: o avanço da ciência no Brasil – volume 4**. 1 ed. Guarujá: Editora Científica Digital, 2022b, 246-262 p.

BRAINER, M. S. C. P. Produção de hortaliças na área de atuação do BNB. **Caderno Setorial ETENE**, n. 180, 2021.

CASSETARI, L. S. et al. Níveis de β -caroteno e clorofila em cultivares e linhagens de alface. **Acta Horticulturae**, v. 1083, n. 1, p. 469-473, 2015.

DANIEL, E. S. et al. Relação entre o teor absoluto e relativo de clorofila m folhas de vimeiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 307-312, 2016.

GONÇALVES, M. A. et al. Produção de morango fora do solo. **Embrapa**, p. 32, 2016.

GUIMARÃES C. C. V. et al. Perfil socioeconômico e aspectos produtivos de agricultores familiares da Colônia do Uraim, Paragominas, Pará. **Revista Ciências Agroambientais**, v. 18, n. 2, 2020.

GRANJEIRO, L. C. et al. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 11-16, 2011.

HORTIFRUTI SABER E SAÚDE. **Cenário hortifruti Brasil**. 2018. 96 p. Disponível em: <https://abrafrutas.org/wp-content/uploads/2019/09/relatorio-hortifruti.pdf>. Acesso em: 14 janeiro 2022.

JARDINA, L. L. et al. Desempenho produtivo e qualidade de cultivares de rúcula em sistema semi-hidropônico. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 1, p. 78-82, 2017.

LACERDA, E. G. et al. Adubação nitrogenada no vigor das mudas, concentração de aminoácidos e proteínas totais e no teor de clorofila no feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*). **Revista Agri-Environmental Scienses**, v. 6, 2019.

NETTO, J. F. **Produção de morangos sob sistema semi-hidropônico em ambiente protegido**. 2017. 48 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação), Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), Alegrete, 2017.

PAMPLONA, L. J. C. et al. Mulching modifies coriander yield. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, 2021.

- PINHEIRO, J. C. et al. Agronomic performance of coriander in function of the density of sowing and directing of the planting lines in the bed. **Agrarian academy**, v. 6, n.11, 2019.
- PRASAD, A. et al. Growth and centelloside production in hydroponically established medicinal plant-*Centella asiatica* (L.). **Industrial Crops and Products**, v. 35, n. 1, p. 309–312, 2012.
- OSTWALD, D. et al. Caracterização dos sistemas Hidropônicos de produção no município de Três Passos-RS. **Revista Extensão em Foco Palotina**, n. 26, p. 220-234, 2022.
- SANTOS, J. V. B. et al. Produção de coentro em sistemas hidropônico e aquapônico. **Revista Semiárido de Visu**, v. 8, n. 2, p. 367-378, 2020.
- SILVA, M. G. et al. Crescimento e produção de coentro hidropônico sob diferentes densidades de semeadura e diâmetros dos canais de cultivo. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 312-326, 2016.
- SOARES, C. S.; SILVA, J. A.; SILVA, G. N. Produção de coentro em diferentes espaçamentos dos canais hidropônicos. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 22, n. 1, p. 1-22, 2017.
- TRAUTENMÜLLER, J. W. et al. Leaf area growth and leaf area index of *Cordia americana* seedlings in different crop management. **BIOFIX Scientific journal**, v. 2, n. 2, p. 60-64, 2017.
- WENNECK, G. S. et al. Pigmentos foliares na cultura da ervilha: Relação entre índice SPAD e conteúdo de clorofila. **BIOENG – Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 15, n. 3, p. 391-400, 2021.

SOBRE O ORGANIZADOR

Cleberton Correia Santos

Graduado em Agroecologia pela Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Mestre, Doutor e Pós-Doutor em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Atualmente é Professor Visitante junto ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal da UFGD. Tem experiência em Tecnologias para Produção de Mudas, Ecofisiologia, Nutrição e Metabolismo de Plantas e Manejo de Recursos Naturais Renováveis. É integrante do Grupo de Estudos em Ecofisiologia de Plantas – GEPP e dos de Pesquisa do CNPq: i) Olericultura e Plantas Medicinais, e ii) Cultivo e Propagação de Plantas do Cerrado.

Contato: cleber_frs@yahoo.com.br

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6639439535380598>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adubação: 26, 30, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 58, 59, 60, 63, 64, 65, 77, 101, 117, 132

Avanço Tecnológico: 97

C

Consumo Interno: 12, 23, 26

Cultivo sem Solo: 121

F

Fertilizantes: 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 58, 59, 81

Fitotecnia: 30

Formação Acadêmica: 106, 113, 118

Fungos Micorrízicos Arbusculares: 80, 81, 116

G

GEEP: 106, 107, 108, 112, 113, 114, 115, 118, 119

H

Horticultura: 80, 82

I

Importação e Exportação: 12, 25

Interação Acadêmica: 106, 114

M

Manejo Floral: 97

Mangifera Indica: 97, 98, 103, 104

Maturadores: 30, 34, 52, 55, 56, 57, 58

Modelagem: 63, 66, 70, 77

Morfofisiologia: 80

N

Nutrição Mineral: 59, 60, 80, 82

P

Preços Internacionais: 12, 16, 25, 26

Produção: 12, 13, 14, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 34, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 50, 55, 57, 59, 60, 64, 72, 74, 78, 80, 81, 82, 88, 90, 91, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 112, 114, 117, 118, 121, 122, 123, 127, 130, 132, 133

Produtividade: 13, 14, 15, 16, 26, 30, 31, 33, 36, 37, 39, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 51, 58, 60, 62, 63, 64, 69, 71, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 89, 91, 97, 103, 121, 123, 129, 130, 131

Publicação: 106, 114

R

Relatos: 106, 112, 113

S

Semi-Hidropônico: 121, 122, 123, 124, 125, 126, 131, 132

Solo: 14, 15, 16, 17, 18, 22, 26, 30, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 77, 81, 83, 89, 91, 99, 101, 107, 109, 117, 121, 122, 125, 130, 131, 132

V

Vinhaça: 30, 39, 47, 48, 49, 50, 58



científica digital



VENDA PROIBIDA - ACESSO LIVRE - OPEN ACCESS

