

QUALIDADE TECNOLÓGICA DO SORGO SOB MANEJO DE MATURADORES QUÍMICOS

Bruno Rafael de Almeida Moreira
Ronaldo da Silva Viana
Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo
Sérgio Bispo Ramos
Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
André May
Victor Hugo Cruz
Paulo Renato Mattos Lopes



Atena
Editora

Ano 2021

QUALIDADE TECNOLÓGICA DO SORGO SOB MANEJO DE MATURADORES QUÍMICOS

Bruno Rafael de Almeida Moreira
Ronaldo da Silva Viana
Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo
Sérgio Bispo Ramos
Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
André May
Victor Hugo Cruz
Paulo Renato Mattos Lopes



Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacl do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miraniide Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa

Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Qualidade tecnológica do sorgo sob manejo de maturadores químicos

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Q1 Qualidade tecnológica do sorgo sob manejo de maturadores químicos / Bruno Rafael de Almeida Moreira, Ronaldo da Silva Viana, Paulo Alexandre Monteiro de Figueiredo, et al. - PR: Atena, 2021.

Outros autores
Sérgio Bispo Ramos
Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho
André May
Victor Hugo Cruz
Paulo Renato Mattos Lopes

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-123-4
DOI 10.22533/at.ed.234213105

1. Bioenergia. 2. Bioetanol de primeira geração. 3. Cogeração de eletricidade. 4. Matéria-prima integral. 5. Sorghum bicolor L. Moench. I. Moreira, Bruno Rafael de Almeida. II. Viana, Ronaldo da Silva. III. Figueiredo, Paulo Alexandre Monteiro de. IV. Título.

CDD 620.92

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
INTRODUÇÃO.....	3
REVISÃO DE LITERATURA.....	4
HORMÔNIOS E REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL.....	4
Conceituação e funções	4
Ácido abscísico	4
Ácido salicílico	4
Auxinas	5
Brassinosteróides	5
Citocininas	5
Etileno.....	6
Giberelinas	6
Jasmonatos	7
Benefícios à agricultura.....	7
Cereais	8
Arroz.....	8
Aveia, centeio, cevada, trigo e triticales	9
Milho.....	10
Estimulantes, extrativas e fibrosas	11
Algodão.....	11
Café.....	12
Seringueira.....	13
Tabaco	13
Oleaginosas	14
Amendoim.....	14
Colza	14
Soja	15
Energéticas.....	15
Cana-de-açúcar.....	15
Sorgo.....	17

Pastagens e gramados	18
Olerícolas	19
Hortaliças-fruto, bulbos e infrutescências.....	19
Fitorremediação	19
Mercado	20
CULTURA DE SORGO SACARINO.....	20
Generalidades	20
Características morfofisiológicas e aspectos de cultivo	21
Rendimento e composições de caldo, grão e bagaço.....	23
Finalidades econômicas.....	25
Alimentos e bio-produtos de valor agregado	26
Biocombustíveis	26
Bioetanol de caldo.....	27
<i>Extração, pré-tratamento e estocagem.....</i>	<i>27</i>
<i>Fermentação sólida.....</i>	<i>28</i>
<i>Fatores de condicionamento</i>	<i>29</i>
Fonte de nitrogênio	29
Concentração inicial de sacarose.....	30
Concentração de inóculo	30
pH.....	30
Temperatura	31
Diluição e agitação de meio.....	31
<i>Destilação e desidratação.....</i>	<i>31</i>
Bioetanol de grãos.....	31
Bioetanol de bagaço e, ou, palha.....	32
<i>Pré-tratamento.....</i>	<i>34</i>
<i>Métodos.....</i>	<i>34</i>
Explosão a vapor	34
Hidrólise ácida.....	35
Hidrólise alcalina	35
Hidrólise enzimática.....	35
<i>Sacarificação e fermentação.....</i>	<i>36</i>
Rendimentos de bioetanol de caldo e bagaço.....	36
Desafios de produção de bioetanol	36

<i>Tecnologias para otimização de produtividade e qualidade</i>	37
<i>Granulagem</i>	38
<i>Decorticação</i>	38
<i>Floculação a vapor</i>	38
<i>Extrusão de fluido supercrítico</i>	38
<i>Maltagem</i>	38
<i>Reatores metálicos exóticos</i>	39
<i>Enzimas exógenas</i>	39
<i>Desenvolvimento de tolerância a inibidores de hidrolisados</i>	39
<i>Sacarificação avançada</i>	39
<i>Fermentação por supergravidade</i>	40
<i>Biotecnologia</i>	40
<i>Organismos geneticamente modificados</i>	40
Aspectos de sustentabilidade	41
Meio ambiente e sociedade	42
Economia	42
<i>Política e comércio</i>	43
EUA	43
Brasil.....	43
União Europeia.....	43
China	44
Índia.....	44
<i>Análise de viabilidade</i>	44
Custos de produção agrícola	46
Custos de transporte	47
Custos de moagem.....	47
Custos de bioconversão	47
<i>Estado e quota de mercado de bioetanol</i>	48
Biogás	49
EXPERIMENTOS REGIONAIS	51
BIOMATRIX 535	51
CMSXS 646 E CMSXS 647	51
BRS 508 E BRS 509.....	52

80007 E 80147	53
BRS 508.....	54
MODELAGEM DE RELAÇÃO CULTIVAR-MATURADOR.....	54
RESULTADOS.....	55
QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DO CULTIVAR, BIOMATRIX 535, POR NATUREZA E DOSE DE MATURADOR, E ÉPOCA DE COLHEITA.....	55
QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DOS CULTIVARES, CMSXS 646 E CMSXS 647, POR NATUREZA DE MATURADOR.....	56
QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DOS CULTIVARES, BRS 508 E BRS 509, POR NATUREZA DE MATURADOR.....	57
QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DOS CULTIVARES, 80007 E 80147, POR NATUREZA DE MATURADOR.....	59
RENDIMENTO E VALOR NUTRICIONAL DE BIOMASSA, E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DO CULTIVAR, BRS 508, SOB MANEJO INTEGRADO DE ETEFOM E FÓSFORO	63
PERCEPÇÕES EM QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO	75
Associações lineares	75
Variáveis explicativas.....	76
DISCUSSÃO	79
CONSIDERAÇÕES.....	82
REFERÊNCIAS	83
SOBRE OS AUTORES	101

RESUMO

A cultura de sorgo sacarino é opção à produção bioenergética: caldo rico em sacarose e bagaço fibroso são matérias-primas, técnica e economicamente, viáveis à fabricação de bioetanol e biogás e cogeração de bioeletricidade. Embora estratégicas à minimização de problemas de entressafra de cana-de-açúcar, período de ociosidade operacional e inflação de preço de produtos, lavouras de sorgo sacarino, gramínea tropical de substancial rendimento de biomassa e ampla adaptabilidade fisiográfica a ambientes hostis, dificultam, todavia, planejamento de colheita e industrialização, devido ao curto ciclo comercial, 90 a 120 dias. Reguladores de crescimento vegetal seriam, portanto, alternativas perspicazes. O artigo compartilha, contextualmente, conteúdo técnico-científico de múltiplos ensaios experimentais de qualidade de caldo de cultivares de sorgo sacarino sob manejo de maturadores. Entre 2012/13 e 2018/19, testaram-se, regionalmente, os ingredientes ativos, etefom, etil-trinexapac, glifosato, metil-sulfometuron e thidiazuron, em CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508, BRS 509, Biomatrix 535, 80007 e 80147. À avaliação técnica de caldo e bagaço, determinaram-se: Brix, Pol, pureza, açúcares redutores, rendimento de açúcares teóricos e fibra. Considerando-se o mapeamento fatorial de cultivares e maturadores, conclui-se, portanto: CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508, BRS 509 e 80147, tratados com etefom a 1,35 L ha⁻¹, etil-trinexapac a 0,2 a 1,6 L ha⁻¹ e glifosato a 0,4 a 0,8 L ha⁻¹, particularmente, viabilizariam produção de bioetanol, devido à incomparável qualidade de caldo, enquanto, Biomatrix 535, tratada com glifosato a 0,1 a 0,4 L ha⁻¹ e metil-sulfometuron a 5 a 10 g ha⁻¹, caracterizada pelo excelente teor de glicose, desempenharia excelente papel de matéria-prima para industrialização de açúcar líquido; complementarmente, 80007, tratada com etefom a 0,33 a 1,32 L ha⁻¹, metil-sulfometuron a 10 a 40 g ha⁻¹ e thidiazuron a 0,10 a 0,15 L ha⁻¹, proporcionaria ao setor sucroenergético, considerável rendimento de fibra, substrato de cogeração de calor para cocção de açúcar e bioeletricidade.

PALAVRAS-CHAVE: Bioenergia; bioetanol de primeira geração; cogeração de eletricidade, matéria-prima integral, *Sorghum bicolor* L. Moench.

ABSTRACT

THE TECHNOLOGICAL QUALITY OF JUICE FROM SWEET SORGHUM CROP WITH APPLICATION OF CHEMICAL RIPENERS

Sorghum crop is an option for the bioenergy production. Its juicy matter and fibrous bagasse are suitable for the production of bioethanol and biogas, and cogeneration of bioelectricity. Plantations of sorghum may be of interest to assist solving operational drawbacks and balance the products' supply-demand ratio at the consuming market, during off-season of sugarcane crop. However, their relatively short commercial cycle, 90–120 days, makes planning of sugar-energy sector difficult. Chemical ripeners may be strategies to deal with how to minimize this, suitably and sustainably. This chapter reports accordingly the findings of multiple experiments on the quality of juice of cultivars of sorghum with synthetic ripening ingredients. The regional trials of spraying the products, ethephon, trinexapac-ethyl, glyphosate, sulfometuron-methyl and thidiazuron on the genotypes, CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508, BRS 509, Biomatrix 535, 80007, and 80147, lasted for seven growing seasons, from 2012/13 to 2018/19. The variables to analyze the quality of juice and bagasse were: total soluble solids, sucrose, purity, reducing sugars, yield of sugar, and fiber. The cultivars, CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508, BRS 509, and 80147, with ethephon at 1.35 L ha⁻¹, trinexapac-ethyl at 0.2–1.6 L ha⁻¹, and glyphosate at 0.4 – 0.8 L ha⁻¹, have great potential to develop bioethanol, due to their impressive quality of juice. In contrast, CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508, BRS 509, and 80147, with ethephon at 1.35 L ha⁻¹, trinexapac-ethyl at 0.2–1.6 L ha⁻¹ and glyphosate at 0.4–0.8 L ha⁻¹, would be more suitable for making refined and liquid sugars, due to their larger availability of glucose and fructose. Complementarily, 80007 with ethephon at 0.33–1.32 L ha⁻¹, sulfometuron-methyl at 10–40 g ha⁻¹ and thidiazuron at 0.1–0.15 L ha⁻¹, could furnish significant yield of fiber to sugar-energy stations for the cogeneration of heat and power.

KEYWORDS: Bioenergy; cogeneration of bioelectricity; first-generation bioethanol; *Sorghum bicolor* L. Moench; whole feedstock.

INTRODUÇÃO

Cultura cerealífera, originária do continente africano, o sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é, economicamente, versátil: caldo repleto de carboidratos fermentescíveis, grãos amiláceos, palha e bagaço fibrosos são produtos e subprodutos utilíssimos à industrialização de alimentos para consumo humano, biocombustíveis, forragem e silagem para nutrição de animais ruminantes e monogástricos.

Folhas longas lanceoladas e sistema radicular fasciculado são padrões morfofisiológicos que permitem ao sorgo sacarino, efetividade em interceptação de energia física de raios solares e captação de água e nutrientes de ambientes hostis, caracterizados por prevalência de déficit hídrico, estresse térmico, salinidade, ou atípica incidência de pragas, ou simultaneidade de eventos, amenizando-os.

Sistemas agrícolas de produção de sorgo sacarino são atrativos ao mercado de bioenergia: economia de água e fertilizantes minerais sintéticos, substancial rendimento de biomassa, razoável qualidade de caldo e lignocelulose, elogiável adaptabilidade fisiográfica a climas tropicais, subtropicais e temperados, e potencial fotossintético de mitigação de emissão de dióxido de carbono são argumentos à exploração comercial da gramínea tropical, competitiva às culturas de arroz, cana-de-açúcar e milho.

No Brasil, país de escala continental, referência mundial em tecnologias sucoenergéticas, particularmente, implementam-se lavouras de sorgo sacarino em períodos de renovação de canaviais, pretendendo-se, fundamentalmente: minimização de ociosidade de biorrefinarias, destilarias e usinas de moagem, mantendo-as em constante operação; a estratégia previne, inclusive, inflacionamento de preços de bioetanol em postos de abastecimento. O curto ciclo comercial de sorgo sacarino, 90 a 120 dias, caracterizado por maturação fisiológica progressiva ao desenvolvimento de grãos, dificulta, todavia, planejamento de colheita mecanizada e industrialização. Materiais genéticos precoces e reguladores de crescimento, maturadores ou fitoreguladores seriam, contextualmente, alternativas à otimização de agroecossistema.

Maturadores são substâncias naturais ou sintéticas que condicionam crescimento e desenvolvimento vegetal por estímulo, ou inibição, de processos bioquímicos, metabólicos e, ou, fisiológicos. Promotores e retardadores são categorias que regulam balanço hormonal de ácido abscísico, auxinas, etileno e giberelinas, hormônios vegetais endógenos, indispensáveis ao complexo processo de maturação. Etefom, etil-trinexapac, glifosato, metil-sulfometuron, thidiazuron e nitrato de potássio são ingredientes ativos, frequentemente, aplicados em culturas energéticas, extrativas e fibrosas, destacando-se: algodão, arroz, cana-de-açúcar, colza, milho e trigo.

O documento compartilha, portanto, contextualmente, conteúdo técnico-científico de múltiplos ensaios experimentais de qualidade de caldo e finalidade(s) econômica(s) de cultivares de sorgo sacarino sob manejo de maturadores.

REVISÃO DE LITERATURA

HORMÔNIOS E REGULADORES DE CRESCIMENTO VEGETAL

Conceituação e funções

Tecnicamente, define-se regulador de crescimento vegetal: substância natural, ou sintética, que, subdosada, estimule, ou limite, processos metabólicos condicionantes ao desenvolvimento de planta, principalmente, sob condição ambiental imprevisível e, ou, incontrolável. Sinônimas de fitoregulador, maturadores químicos são atóxicos e, normalmente, desqualificados à nutrição. Precedidos por alongação e divisão de células, enraizamento, florescimento, formação de fruto e semente, e senescência foliar são eventos reducionistas e holísticos responsivos à aplicação de bioreguladores. Promotores ou bioestimulantes, e retardadores são categorias de reguladores que alteram, completamente, balanço hormonal de ácido abscísico, auxinas, citocininas, etileno e giberelinas, e, eventualmente, ácido salicílico, brassinosteróides e jasmonatos e poliaminas, compostos, naturalmente, sintetizados (CASSINA *et al.*, 2011; NICKELL, 2018; RADEMACHER, 2004, 2015; RADEMACHER; BRAHM, 2010).

Clássicos, os hormônios endógenos, ácido abscísico, auxinas, citocininas, etileno e giberelinas, possibilitam à planta, reações agudas e, ou, crônicas a estímulos externos ao crescimento e desenvolvimento, como: fertilidade de solo, fotoperíodo, radiação solar, temperatura e precipitação pluviométrica. Embora controversos, ácido salicílico, brassinosteróides, jasmonatos e poliaminas complementam o seletivo grupo de substâncias hormonais funcionais. Regiões meristemáticas caulinares e radiculares, e estruturas de reprodução representam a infinidade de sítios citológicos e morfológicos de formação de hormônios. O desempenho de hormônio é, invariavelmente, dependente de concentração: atípicos níveis de auxinas, especificamente, induzem, ou, restringem, momentânea, ou, definitivamente, alongação e divisão de células. Indetermináveis interações de sinergismo e antagonismo definem a complexidade de sistema hormonal. Estudá-las e compreendê-las seria, portanto, perspicaz ao desenvolvimento de estratégias de manejo à melhoria de rendimento e qualidade de produtos agrícolas: alimentos, energia, fibras e matérias-primas (RADEMACHER, 2015).

Ácido abscísico

Fundamental ao sistema de defesa de hospedeiro, o ácido abscísico promove, além de fechamento estomático, caso a planta esteja sob estresse hídrico e, ou, térmico, inibição de germinação precoce. *Cercospora rosicola* e *Botrytis cinerea* são fungos reconhecidos, cientificamente, pelo potencial de secreção de ácido abscísico; inoculá-los em culturas poderia, eventualmente, capacitá-las à produção sob climas hostis, recorrentes em zonas marginais (GROSSMANN; JUNG, 1984; MARUMO *et al.*, 1982; ZAHARIA *et al.*, 2005).

Ácido salicílico

Crescimento e desenvolvimento de regiões meristemáticas, permeabilidade de

membrana, respiração mitocondrial, dinamismo de abertura e fechamento de estruturas estomáticas, fotossíntese e transferência de fotoassimilados, e absorção iônica são processos sob regulação de ácido salicílico ou orto-hidróxibenzóico, composto fenólico que desempenha papéis-chave à proteção de planta contra agentes de estresse abióticos e bióticos (ALVAREZ, 2000; SENARATNA *et al.*, 2000).

Auxinas

Relacionadas aos processos, fototropismo e gravitropismo, auxinas, composições orgânicas aromáticas de baixa densidade molecular, estimulam alongação e divisão celulares; a dominância apical é, absolutamente, regulada pela dinâmica de concentração endógena de auxinas. Auxinas são funcionais ao estoque de amido em sementes de cereais, e induzem síntese de etileno, protagonista à maturação fisiológica. O ácido indol-3-acético é versátil e eficaz à clonagem por cultura de tecidos. Os ácidos, 3-indolbutírico e 1-naftilacético, reúnem elogiáveis aptidões à promoção de enraizamento de estacas arbóreas e herbáceas. O ácido 2-(1-naftil) acetamida é indutor de florescimento e auxiliar ao desbaste de estruturas de frutificação de macieira e pereira. Os ácidos, 2,4-diclorofenoxiacético, {[3,5,6-tricloro-2-piridinil) óxi] acético} e 1-metilcarbonimidato de hidrogênio e naftil, qualificam-se como excelentes opções ao manejo de frutificação e retenção de frutos em pós-colheita. Economicamente, introduziram-se os ácidos, 3-indolbutírico e 1-naftilacético, ao mercado de reguladores auxínicos sintéticos, em 1949 e 1953, respectivamente. Lamentavelmente, utilizaram-se os ácidos, 2,4,5-triclorofenóxiacético e 2,3,7,8-tetratoclorodibenzeno-p-dioxina, como ingredientes ativos de produtos desfolhantes, durante a Guerra do Vietnã. *Acinobacter* sp., *Azospirillum* sp., *Azotobacter* sp., *Bacillus* sp., e *Pseudomonas* sp., são gêneros bacterianos que secretam ácido indol-3-acético pelas vias de acetonitrilo, ácido piroico e acetamida (ALI *et al.*, 2019; BASHRI; PRASAD, 2016; DAVIES, 2010; GEORGE; HALL; KLERK, 2008; LATIF KHAN *et al.*, 2016; LÜTHEN, 2015; STELLMAN *et al.*, 2003).

Brassinosteróides

Brassinosteróides são os primeiros esteroides vegetais que possuem natureza regulatória. Estímulos de crescimento por brassinosteróides conduzem à proliferação e prolongamento de estruturas celulares. Encurtamento de ciclo fenológico, melhoria de absorção de nutrientes e intensificação de mecanismos de resistência a fatores ambientais estressantes são funcionalidades biológicas de brassinosteróides (CHANDLER *et al.*, 2009; DIVI; KRISHNA, 2009).

Citocininas

Essencialmente, citocinas estimulam formação de gemas meristemáticas, promovem expansão de folhas e sintetizam pigmentos fotossintéticos e fotoprotetivos, especialmente, carotenoides e clorofilas; retardamento de envelhecimento de órgãos pela conversão de etioplastos em cloroplastos e eliminação de radicais livres complementar, contextualmente, o vasto reportório de funções de citocininas. Cinetina e 6-benziladenina, citocininas tipo adenina, isoladas, ou integradas, a giberelinas, são relevantes à produção

de transplantes por cultura de tecidos, enquanto, thidiazuron e forclorofenuron, citocininas tipo difenilureia, ótimas opções à desfolha de algodoeiro e melhoria de características de fruto, respectivamente. Há, inclusive, pesquisas que comprovam sinergismo de citocininas sintéticas à fitorremediação de metais pesados (ASHRAF *et al.*, 2008; GROSSMAN; LESHEM, 1978; GROSSMANN, 1991; GROSSMANN; JUNG, 1984; SAYED, 1999; TASSI *et al.*, 2008; WERNER *et al.*, 2001).

Etileno

Estimulação e inibição de crescimento celular, indução de florescimento, promoção de senescência de tecidos e órgãos, amadurecimento de fruto e formação de camadas de abscisão são funções de etileno, hormônio gasoso influenciável por reguladores. Rhizobitoxina e aviglicina, análogo etóxi, inibem biossíntese de etileno pelo bloqueio de conversão de S-adenosilmetionina em ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano; *Streptomyces* sp., microrganismo edáfico, produz aviglicina, naturalmente. Há, complementarmente, possibilidade de o fazê-lo pela administração de etil-trinexapac, cuja forma ácida livre mimetiza estrutura de ácido ascórbico, substituindo-o, portanto, em sítio de atuação de dioxigenases que convertem ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano em etileno; compostos que interrompem receptores de etileno são soluções práticas à protelação de senescência. O nitrato de prata, particularmente, antagônico ao etileno, previne abscisão de folhas, flores e frutos; todavia, é impraticável, devido à inércia em tecidos vegetais e indiscutível potencial fitotóxico. Integrá-lo a quelantes, a fim de torná-lo útil, seria, portanto, oportuno. Opcional, o gás, 1-metilciclopropano, mimetizador de estrutura química de etileno, possui extrema afinidade a receptoras naturais. Complexá-lo a α -ciclodextrina, permite manuseá-lo, estocá-lo e transportá-lo, seguramente (HARPAZ-SAAD *et al.*, 2018; OWENS; LIEBERMAN; KUNISHI, 1971; SEREK; SISLER; REID, 1994; SISLER; BLANKENSHIP, 1996; VEEN; VAN DE GEIJN, 1978).

Giberelinas

Giberelinas são derivados de ácido carboxílico diterpenóide tetracíclico. Pesquisas a respeito de giberelinas se iniciaram, em 1900, no Japão: à época, investiu-se substancial capital intelectual ao estudo de *Gibberella fujikuroi*, espécie fúngica fitopatogênica, produtora de ácido giberélico e causadora de anormal alongação de estruturas vegetativas aéreas, especialmente, em arrozeiro. Barreiras linguísticas e tempos de guerra dificultaram, entretanto, difusão de trabalhos científicos. Em 1950, especificamente, companhias do Reino Unido e EUA oficializaram linhas de produção de giberelinas por fermentação, experimentando-as, simultaneamente, em plantas de interesse econômico. Em 1954, registrou-se patente de identificação química de giberelinas sintéticas. A sintetização industrial de ácido giberélico por *G. fujikuroi* é possível, porém, complexa e onerosa. Apesar de alternativas, culturas de *Sphaceloma manihoticola*, agente causador de superelongação em mandioca, produzem variações inviáveis, comercialmente. Há centenas de possibilidades de ácido giberélico que ocorrem, naturalmente, em plantas superiores e, ou, fungos. Todavia, minoria possui atividade biológica e maioria é precursor ou catabólito. Promoção de crescimento primário, frutificação e desenvolvimento de frutos, indução de enzimas hidrolíticas em germinação de

sementes, estimulação à absorção de nutrientes que contribuem à tolerância a estresses abióticos e bióticos pela regulação de antioxidantes representam funções hormonais de ácido giberélico. Em plantas superiores, particularmente, a biossíntese de ácido giberélico ocorre em etapas: inicialmente, ciclases de terpenos atuam em proplastídeos, monoxigenases associadas ao retículo endoplasmático, e dioxigenases imersas em citosol; tais enzimas catalisam D-gliceraldeído e piruvato, convertendo-os, posteriormente, em entcaureno, que, ao sofrer oxidação, origina, finalmente, ácido giberélico₁₂-aldeído, substrato de hidroxilação de ácido giberélico. Inúmeros reguladores sintéticos agem pela inibição de biossíntese de giberelinas. Valorizadíssimos, mercadologicamente, retardadores de crescimento são assíduos em sistemas agrícolas de produção de cereais e fibra: compostos amoníacos, fosfatados e sulfatados, especialmente, pirimidinas e triazóis, são retardantes que interrompem síntese de giberelinas pela inibição de ciclases, monoxigenases e dioxigenases, e oportunizam controle de tombamento de plantas de arroz, centeio e trigo por excesso de vento e, ou, chuva, e compactação de arquitetura de algodoeiro, tornando-o adequado à colheita mecanizada de alto rendimento e qualidade (GILROY; JONES, 1992; RADEMACHER, 2000; RADEMACHER; GRAEBE, 1979; SERRANI *et al.*, 2007; SIDDIQUI *et al.*, 2008; SPONSEL; HEDDEN, 2010; TUDZYNSKI; HÖLTER, 1998).

Jasmonatos

Jasmonatos representam o grupo de hormônios que estimulam processos de germinação de sementes e desenvolvimento radicular. Ácido jasmônico e éster metílico, derivados de ácido linoleico ciclopentano, são fundamentais à sinalização de respostas enzimáticas e não-enzimáticas de planta a eventuais estresses, protegendo-a de radicais livres. A aplicação exógena de ácido jasmônico inibe crescimento e induz senescência. O prohidrojasmonato sintético é, relativamente, estável ao ambiente, e promove coloração de fruto de macieira pela intensificação de deposição de antocianina, pigmento fotoprotetivo (CREELMAN; MULLET, 1995; LEÓN; SÁNCHEZ-SERRANO, 1999; PIOTROWSKA *et al.*, 2009; POSCHENRIEDER *et al.*, 2008).

Benefícios à agricultura

O emprego de reguladores em atividades agrícolas, principalmente, horticultura e viticultura, justifica-se pela possibilidade de obtenção de vantagens quanti e qualitativas, como: fortalecimento de sistema de defesa de hospedeiro, tornando-o invulnerável a eventos de estresse oxidativo; estruturação de arquitetura; sistematização de colheita mecanizada; e intensificação de produtividade e qualidade. Credita-se a Neljubow (1901), a descoberta científica: hormônios, definidos, à época, como compostos distintos, são, biologicamente, funcionais em espécies vegetais superiores. Em 1930, marco histórico de uso sistemático de reguladores, fruticultores aplicaram etileno sintético e acetileno em macieiras, para induzi-las ao florescimento e formação de frutos. Desde então, reguladores constituem elementos-chave à agricultura. Maturadores químicos são, tradicionalmente, aplicados por pulverização foliar. Natureza e concentração de ingrediente ativo, qualidade de formulação, espécie e estado fisiológico de cultura são fatores que determinam desempenho técnico (MOHAMMED; TARPLEY, 2019; SALASSI *et al.*, 2013; YIM; KWON;

BAYER, 1997; YOSHINAGA, 2005).

Cereais

Arroz

Fertilidade e salinidade de solo, precipitação pluviométrica e temperatura são fatores edafoclimáticos limitantes à sustentabilidade de sistemas agrícolas de produção de arroz. A aplicação de subdoses de ácido giberélico em arrozal sob SPD (sistema plantio direto) é, relativamente, comum. O tratamento otimiza percentual de germinação, emergência e, principalmente, porte de planta, condicionante ao tombamento. O tombamento por agentes climáticos, especialmente, vento e precipitação pluviométrica, constitui fator limitante ao rendimento e qualidade de grãos. Cultivares de porte mediano são resistentes ao agravante. Todavia, agricultores optam por materiais genéticos de estatura acentuada, que, apesar de sensíveis ao tombamento, rendem considerável massa de grãos de qualidade superior. No Japão, há preferência de consumo por Koshihikari, cultivar tradicional, naturalmente, propenso ao tombamento, devido à considerável altura, 110 cm. Os produtos, uniconazol-P, paclobutrazol e prohexadiona de cálcio, são opções à estabilização de crescimento de caule e folhas e, portanto, soluções práticas ao controle de tombamento pela redução de massa (MOHAMMED; TARPLEY, 2019; SALASSI *et al.*, 2013; YIM; KWON; BAYER, 1997; YOSHINAGA, 2005).

Estudos científicos a respeito de efeito de aplicação exógena de reguladores em grãos de pólen, crescimento rendimento de cultura sob estresse térmico, conduzidos por Fahad *et al.* (2016a) e Fahad *et al.* (2016b), comprovaram, colaborativamente: os ingredientes ativos, ácido ascórbico, α -tocoferol, brassinosteróides, jasmonatos metílicos e triazóis, integrados, além de amenizarem intervenções deletérias de temperatura em deiscência de anteras, germinação, síntese de metabólitos, retenção e fertilidade de pólen, melhoraram, significativamente, eficiência de uso de água, taxa fotossintética líquida e, conseqüentemente, rendimento de grãos. Os autores descreveram reguladores como potenciais alternativas de manejo à produção de cultivares resistentes ao calor. Zhang *et al.* (2017) experimentaram os reguladores, ácido 1-naftilacético, nitrofenolato de sódio e hexanoato de dietilaminoetilo, ao controle de clorose em arroz sob irrigação por gotejo, administrando-os por imersão de sementes e aplicação via sistema. Os produtos, especialmente, nitrofenolato de sódio, intensificaram teor de clorofila e atividade antioxidante de sistema radicular e possibilitaram às plantas, incrementos em absorção e concentração de Fe em tecidos foliares; conseqüentemente, houve melhoria em rendimento de grãos. Os autores concluíram: aplicação sistêmica de nitrofenolato de sódio é ótima opção ao alívio de clorose de Fe em cultura de arroz sob irrigação.

Kanmani *et al.* (2017) avaliaram influência de reguladores em traços fisiológicos em cultivares sob estresse salino. Os autores declararam, incisivamente: brassinosteróides, ácido giberélico e cinetina potencializaram fluorescência de clorofilas, taxa fotossintética e transpiração foliar. Contextualmente, Jadhav *et al.* (2017) estudaram efeito de reguladores em comportamento fisiológico. A aplicação foliar de triacontanol, ácido salicílico e paclobutrazol, 30, 60, 90 e 120 dias após semeadura, aumentou, significativamente, fluorescência de clorofilas, taxa fotossintética e condutividade estomática, e reduziu transpiração foliar.

Goutam *et al.* (2018) conduziram experimento de aplicação de reguladores em híbridos de arroz. Os autores reportaram: ácido giberélico alongou caule, e ácido indol-3-acético aumentou teores de carboidratos e proteínas, fluorescência de clorofila, matéria seca de panículas e rendimento e grãos. O estudo científico sobre respostas de híbridos à aplicação de reguladores, conduzido por (FITRI *et al.*, 2019), enfatizou: ácido indol-3-acético e cinetina possibilitaram a plantas pré-antítese, robustez em estatura, provavelmente, devido à indução de síntese de clorofilas e, conseqüentemente, aumento de taxa fotossintética líquida. Finalmente, Fitri *et al.* (2019), ao avaliarem influência de fertilizante fosfatado e maturadores químicos em crescimento e rendimento de cultura, publicaram: aplicação foliar de giberelinas incrementou matéria seca de grãos moídos.

Aveia, centeio, cevada, trigo e triticales

Referenciado, o tombamento é fenômeno recorrente em cereais, como arroz, aveia, centeio, papoula de ópio, trigo e triticales. Plantas de porte elevado, com estruturas vegetativas e reprodutivas, relativamente, densas, predispõe-se, naturalmente, à queda por ventos e precipitação pluviométrica. Época de implantação de lavoura, densidade e profundidade de estruturas propagativas, e manejo de fertilidade, principalmente, em relação ao nitrogênio, são variáveis de cultivo que determinam risco de tombamento em culturas cerealíferas. O emprego de reguladores, como etil-trinexapac e prohexadiona de cálcio, permite controle de tombamento em papoula de ópio pelo encurtamento de caule. Produtos anti-tombamento, como cloreto de cloromequat e ethrel, liberador de etileno, praticados, principalmente, em países asiáticos e europeus, como Alemanha, Corêia do Sul, França, Japão e Reino Unido, representaram, em 2012, aproximadamente, 25 % do total de vendas globais de reguladores, equivalentes a € 270 milhões; no Reino Unido, especificamente, trataram-se 100, 89, 76 e 73 % das áreas de centeio, trigo e cevada de inverno, e aveia, respectivamente. Nos Estados Unidos, Canadá e Austrália, irregularidades de clima, em relação à temperatura e precipitação pluviométrica, desfavorecem aplicação de produtos anti-tombamento em cereais (AUSTIN, 1999; BAKER; STERLING; BERRY, 2014; BERRY *et al.*, 2004; BERRY; SPINK, 2012; FLINTHAM *et al.*, 1997; HAGEL; FACCHINI, 2010; PETRY; RADEMACHER; KÜHBAUCH, 1989; SALASSI *et al.*, 2013).

Insustentabilidade de rendimento e qualidade de grãos, promoção de micotoxinas e encarecimento de custos de colheita e secagem industrial são impactos negativos de tombamento em cultura de trigo, causado, basicamente, pelo rompimento de base de caule por forças de agentes climáticos e incidência de *Pseudocercospora herpotrichoides*. Introduzido ao mercado de reguladores, em 1965, o cloreto de cloromequat foi o primeiro estabilizador de caule utilizado em larga escala para evitar tombamento em cereais. Posteriormente, registraram-se moléculas alternativas. Combinações de cloreto de cloromequat, ou mepiquat, com etil-trinexapac, ou prohexadiona de cálcio representam excelentes opções técnicas ao controle de tombamento em campos de aveia, centeio, papoula de ópio, trigo e triticales sob condições climáticas imprevisíveis e, ou, incontrolláveis. Cloretos de cloromequat e mepiquat atuam, otimamente, a baixas temperaturas, e possibilitam, aplicações eficientes e persistentes em início de estação de cultivo; etil-trinexapac e prohexadiona de cálcio atuam, divergentemente, porém, complementam-se.

Aplicá-los, garantiria, portanto, controle de tombamento, fertilidade de perfilhos, viabilidade de pólen e satisfatório rendimento de grãos de qualidade superior. A cultura de cevada é indiferente aos cloretos de cloromequat e mepiquat, em relação à aveia, centeio, trigo e triticale; tratá-la com etil-trinexapac, prohexadiona de cálcio e etefom seria, portanto, recomendável (BAKER; STERLING; BERRY, 2014; BERRY *et al.*, 2004; BERRY; SPINK, 2012; EASSON; WHITE; PICKLES, 1993; SALASSI *et al.*, 2013).

Singh *et al.* (2018) investigaram o potencial de alquil silatranos como reguladores em desenvolvimento de cereais. Os autores reportaram: γ -aminopropil e γ -cloropropil proporcionaram ótimos resultados de massa de raízes e rebentos às culturas de milho e trigo, respectivamente. Silatranos integram o grupo de compostos de silício pentacoordenados neutros, cuja geometria, bipiramidal trigonal distorcida. Silatranos são resistentes à oxidase de ácido 3-indolacético e, eventualmente, comportam-se como auxinas. Elementos que contém átomo de nitrogênio em posição γ , ou δ , em relação ao Si, possuem funcionalidade fisiológica, discutiram os autores.

Milho

A cultura de milho é fundamental à segurança alimentar e produção energética, globalmente. Interações de solo, clima e práticas de manejo determinam rendimento e qualidade de grãos e subprodutos de milharal. Chattha *et al.* (2015) estudaram influência de aplicação exógena de reguladores em crescimento e desenvolvimento. Os autores reportaram: ácido ascórbico, ácido húmico, cinetina e extrato de folhas de moringa cresceram, acentuadamente, altura de planta, área foliar, massa, teor de proteínas e rendimento de grãos, e disponibilidade de compostos fenólicos, enquanto, ácido salicílico e extrato de sementes de Neem surtiram efeitos positivos, porém, inexpressivos. Otie *et al.* (2016) experimentaram efeito interativo de reguladores e ureia em crescimento e eficiência de uso de nitrogênio em cultivares. Os autores declararam: não houve influência significativa de maturadores em produção de matéria seca, correlacionada, positivamente, à concentração de ureia; maturadores intensificaram, todavia, rendimento de grãos e índice de colheita; independente de maturador, os materiais genéticos, Obatanpa-98 e Calabar Branco, manejadas com dose de ureia de 90 kg ha⁻¹, associaram-se à eficiência de uso de N. Os benefícios de reguladores seriam proeminentes em ambientes de produção de restrito aporte de nitrogênio, enfatizaram.

O estresse por congelamento restringe desempenho técnico de cultura por oxidação. Wagas *et al.* (2017) experimentaram indução de resistência ao congelamento por aplicação de reguladores em híbridos. Os tratamentos de ácido salicílico, tioureia e extratos de sorgo e folhas de moringa, além de promoverem melhorias em taxa de crescimento, altura de planta, índice e duração de área foliar, produção de grãos e acúmulo total de matéria seca, e conterem extravasamento de eletrólitos pelo reforço de membrana celular, intensificaram taxa fotossintética líquida e produtividade de água, e reduziram transpiração foliar. Extrato de moringa e ácido salicílico, particularmente, destacaram-se pela economia, complementaram os autores. Estresse hídrico pela seca desequilibra balanço hormonal e, portanto, limita rendimento produtivo e qualidade de matéria-prima. Sarwar *et al.* (2017) avaliaram efeito de aplicação exógena de ácido giberélico em produtividade de

milho sob condições contrastantes de água em solo. O hormônio, subdosado, aumentou, significativamente, taxa e duração de área foliar e produção de matéria seca sob restrição hídrica. Os autores enfatizaram: ácido giberélico seria opção à indução de resistência à seca em cultura de milho e, portanto, permitiria implantação e condução de lavouras comerciais em zonas marginais, caracterizadas por insuficiência e, ou, irregularidade de precipitação pluviométrica, ou inviabilidade técnica e, ou, econômica de sistematização de irrigação.

Circunstancialmente, impropriedades de solo, como atípica salinidade, indisponibilidade de recursos hídricos, contaminantes e fungos fitopatogênicos, caracterizam microclima hostil a sementes. Suo (2017) investigaram o potencial de agente de revestimento de sementes de reguladores em cultura de milho-doce. Os autores reportaram: ácido acético 1-naftaleno, ácido giberélico, 6-benzilaminopurina e formulado de brassinosteróides intensificaram taxa de germinação, atividade antioxidante, vigor e aspectos fenotípicos de mudas. O estudo científico de influência de reguladores em formação de sementes, teores hormonais e rendimento técnico de cultura de milho em regiões semiáridas, conduzido por Ahmad *et al.* (2019), divulgou: uniconazol, isolado e integrado a etefom, possibilitou melhorias em acúmulo de matéria seca e enchimento de semente, devido à promoção de ácido giberélico e zeatina; materiais propagativos sexuados vigorosos, normalmente, refletem plantas produtivas, enfatizaram os autores. Finalmente, Pricinotto *et al.* (2019) estudaram produtividade e características biométricas por densidades populacionais de plantas daninhas e doses de etil-trinexapac. O biorregulador reduziu, consideravelmente, porte de planta e altura de inserção de espiga; etil-trinexapac compensou limitação de produtividade de grãos por plantas daninhas, afirmaram os autores.

Estimulantes, extrativas e fibrosas

Algodão

O algodão, arbusto lenhoso perene, é, amplamente, cultivado como cultura anual em regiões semiáridas e úmidas. Cotonicultores sistematizaram o uso de maturadores químicos, desde o advento tecnológico de colheita mecanizada, pretendendo-se otimizá-la, principalmente, pelo equilíbrio de relação de estruturas vegetativas e reprodutivas que compõem o hábito de crescimento indeterminado de algodoeiro. A nível de pesquisa, preconizam-se, assertivamente: melhoria de germinação de sementes; precocidade de produção de flores; retenção de frutos; e qualidade de fibra, revestimento natural de sementes em capulho, cápsula protetora, objeto de colheita. O tratamento de reguladores é, especialmente, importante, caso haja expectativa de crescimento vegetativo excessivo e, ou, inapropriações de solo e clima que dificultem deiscência de capulhos, desidratação e desenrolamento de fibras, fatores interferentes à eficiência e qualidade de colheita mecanizada. Previamente à colheita, plantas exigem tarefas de finalização de safra: desfolhantes, promotores de abertura de capulhos, dessecantes e preventores de retomada de crescimento vegetativo integram o manejo cultural. Os herbicidas, etil-carfentrazone e thidiazuron, estimulam síntese de etileno pela promoção de injúrias; induzido, o hormônio gasoso promove, então, abscisão foliar e abertura de capulhos. Dessecantes e dessecantes trabalham, otimamente, sob temperaturas inferiores a 18 °C; valores além do limite críticos

os tornariam, portanto, fitotóxicos e prováveis contaminantes ambientais (Edmisten *et al.*, 2010; Edmisten *et al.*, 2014).

Cloreto e pentaborato de mepiquat, introduzidos ao mercado estadunidense de reguladores, em 1980 e 2003, respectivamente, são soluções práticas ao controle de crescimento vegetativo excessivo. Na Austrália, especialmente, há preferência pelo cloreto de cloromequat, provavelmente, devido a questões de custo variável de produção, eficiência técnica e particularidades climáticas. Comparado ao cloreto, pentaborato de mepiquat permite ótimo rendimento produtivo e qualidade de fibra, devido à facilidade de absorção, translocação e assimilação pela planta e valor nutritivo de boro. Há, inclusive, alternativas à melhoria de eficiência técnica e persistência de cloreto de mepiquat: adituições de cinetina e ciclanilida. O tratamento de cloreto de mepiquat, em início de floração, limita crescimento, melhora distribuição de ramos frutíferos e retenção de capulhos, e antecipa colheita mecanizada, prevenindo-a de épocas chuvosas. Precocidade é importante à redução de incidência de doenças fúngicas e economia de custos de irrigação e aplicações de pesticidas em final de ciclo comercial (CATHEY; MEREDITH, 1988; COOK; KENNEDY, 2000; GWATHMEY; CLEMENT, 2010; KERBY; HAKE; KEELEY, 1986).

Episódios de temperaturas extremas, durante estádios reprodutivos, restringem rendimento produtivo e qualidade de fibra. Sarwar *et al.* (2018) experimentaram proteção de cultura de estresse térmico pela aplicação exógena de reguladores. Ácido salicílico, ácido ascórbico, peróxido de hidrogênio e extrato de folha de moringa intensificaram atividade enzimática específica de catalase e superóxido dismutase, teor de clorofilas, taxa fotossintética líquida, número de ramos frutíferos, massa de capulhos e componentes de qualidade de fibra. O desenvolvimento de botão floral é fundamental ao rendimento técnico de cultura. Fang *et al.* (2019) avaliaram efeito de aplicação exógena de reguladores em estágio inicial de reprodução de algodoeiro. Os autores reportaram: imersão de sementes em solução de ácido giberélico e N6-benziladenina resultou significativas melhorias em disponibilidade de botões florais massivos, repletos de sacarose, retenção e abertura de capulhos, devido à intensificação de taxa fotossintética e teor de carboidratos, e redução de taxa de abscisão natural; houve indiferença de plantas ao tratamento de cloreto de N-dimetil piperdínio, complementaram os autores.

Café

A cultura de café é, sucintamente, fonte de cafeína, alcaloide estimulante natural. Solo e clima, herbivoria por insetos-praga, doenças fúngicas e bacterianas, e manejo cultural, principalmente, em relação à poda de ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, são fatores limitantes ao rendimento, qualidade e longevidade comercial de cafezal. Bacilieri *et al.* (2016) avaliaram efeito de dose e época de aplicação exógena de regulador de crescimento em cafeeiro cv. Mundo Novo IAC 379-19. Os autores reportaram: independentemente de estágio fenológico, subdose de 0,5 L ha⁻¹ intensificou número de entrenós e frutos em quarto e quinto nós, e, conseqüentemente, produtividade de grãos. Ramos (2016) estudaram influência de inibidor de síntese de giberelinas em características bioquímicas e fisiológicas foliares. Plantas tratadas com paclobutrazol, dois meses antes de poda de rejuvenescimento, produziram folhas superconcentradas em dióxido de carbono,

comparadas àquelas submetidas à aplicação de regulador um mês antes de duas podas; não houve efeito significativo de paclobutrazol em teor de clorofilas, taxa de fotossíntese líquida, transpiração, e teores foliares de N, P, K, Ca e Mg.

Seringueira

A seringueira, cultura arbórea, produz látex em vasos laticíferos, morfologicamente, situados, internamente, à casca de tronco, próximo a tecidos de vascularização. Há registros históricos de heveicultores que aplicavam mistura de esterco bovino e argila em painéis de sangria, pretendendo-se, justamente, estimular fluxo de látex. Empregados em indústria de borracha natural, desde o início de 1950, auxinas sintéticas e etileno promovem enraizamento e regularizam atividades de vasos laticíferos, respectivamente; portanto, constituem opções à intensificação de produtividade de látex (LACOTE *et al.*, 2010).

O teor de sólidos totais em látex é crucial ao rendimento produtivo e qualidade de borracha seca. An *et al.* (2016) estudaram efeito de etefom em teor de sólidos totais em látex em painel de sangria. Os autores afirmaram, assertivamente: o ingrediente ativo reduziu, drasticamente, teor de sólidos totais e, portanto, aumentou rendimento e pureza de látex, devido à alteração de cinética de elementos orgânicos e minerais em compartimentos intracelulares pela liberação e translocação de etileno, regulador de aquaporinas, canais de membrana constituídos por proteínas especiais que conduzem, seletivamente, moléculas de água ao interior de células, hidratando-as, e previnem passagem de íons.

O etil, estimulante comercial à base de etileno, é, comumente, utilizado em sistemas de exploração de para intensificar hidrólise de sacarose e otimizar produção de borracha seca. As invertases de parede celular, neutra e vacuolar, são as principais enzimas que hidrolisam sacarose e fornecem hexoses à biossíntese de látex. Domiciano e Carvalho (2018) avaliaram efeito de ethrel, liberador de etileno, em atividade enzimática específica de isoformas de invertase solúvel. Os autores reportaram: o maturador químico estimulou as invertases de parede celular, neutra e vacuolar, e, portanto, contribui, positivamente, à disponibilidade de hexoses, rendimento de látex e influxo de água, necessário à recuperação parcial de injúrias mecânicas por sangria.

Tabaco

Ao longo dos anos, produtores de tabaco descobriram, empiricamente, que a remoção de gemas terminais e axilares melhora rendimento e qualidade de folhas curadas. O fenômeno, fisiologicamente, refere-se à alteração de concentração endógena de auxinas em regiões meristemáticas. A hidrazida maleica, inibidor sistêmico, representa o regulador de crescimento de maior relevância prática em sistemas de produção de fumo.

A salinidade de solo é fator de estresse abiótico limitante ao crescimento e desenvolvimento de cultura. Idris *et al.* (2015) avaliaram efeito de reguladores em bioquímica e fisiologia de plantas sob estresse salino *in vitro*. Os autores reportaram: os ácidos, benzoico, p-cumárico e salicílico, aumentaram, significativamente, teores de clorofila, prolina e ácido ascórbico, compostos que recuperaram distúrbios bioquímicos e fisiológicos por superconcentração de cloreto de sódio; as substâncias hormonais possibilitariam indução

de resistência à salinidade, concluíram. Uranga *et al.* (2016) estudaram funcionalidade de ésteres etílicos de ácidos graxos, produzidos por *Lasiodiplodia theobromae*, como reguladores. Os autores afirmaram: linoleato, hexadecanoato e estereato de etila inibiram, consideravelmente, germinação de sementes e alteraram padrões de crescimento e morfologia foliar; os ácidos graxos, identificados por ressonância magnética e cromatografia gasosa, performariam, analogamente, ao ácido giberélico, complementaram.

Segundo o estudo científico de indução de resistência sistêmica a patógeno bacteriano pela aplicação exógena de ácido fenilacético, conduzido por Sumayo, Son e Ghim (2018), o regulador influenciou, positivamente, formação de sistema radicular, atividade específica das enzimas sequestradoras de radicais livres, fenilalanina amônia-lisase, peroxidase e polifenoloxidase, e expressão de NtEXP2, NtEXP6, COi1, NPR1, PR-1a e PR-1b, genes de resposta de sistema de defesa de hospedeiro a adversidades de *Pectobacterium carotovorum*.

Oleaginosas

Amendoim

A cultura de amendoim é peculiar, devido à geocarpia, terminologia designada ao desenvolvimento subterrâneo de frutos. O dossel de amendoimzeiro é robusto e, portanto, dificulta operações de colheita mecanizada, principalmente, em relação ao arranquio. O produto químico, prohexadiona de cálcio, registrado para cultivos, no Reino Unido, retarda crescimento vegetativo, melhora visibilidade de lavoura e, conseqüentemente, otimiza colheita; há, circunstancialmente, possibilidade de melhorias em rendimento de vagens e qualidade de grãos (JORDAN *et al.*, 2001, 2008).

A aplicação foliar dos ácidos, acético naftálico e giberélico, triazóis e brassinosteróides intensificou produção de matéria seca e vagens por planta, percentual de descascamento e rendimento de grãos, devido ao controle de crescimento vegetativo excessivo, reportaram Ta *et al.* (2018). Ethrel, cloretos de clorocholina e mepiquat, hidrazida maleica e ácido acético naftálico promoveram, persistentemente, variações positivas significativas em número de flores, massa de vagens, fisiologicamente, maduras e rendimento de sementes, registraram Viothini, Vijayan e Umarani (2018). Contextualmente, Avinasha *et al.* (2019) avaliaram efeito de reguladores e minerais em florescimento e produtividade de cultura. Os autores afirmaram, incisivamente: a administração dos hormônios, etefom e cloreto de mepiquat, e nutrientes, fosfato monoamônico e cloreto de potássio, melhorou partição, translocação e distribuição de fotoassimilados em fontes e drenos, florescimento, rendimento de vagens e grãos.

Colza

A colza de inverno é cultura oleaginosa importante à economia de países europeus; abastecimento de plantas de industrialização de biodiesel é finalidade nobre. Crescimento vegetativo excessivo a torna vulnerável ao tombamento e, ou, congelamento, em final de ciclo. Evitá-los pela aplicação de maturadores químicos seria, portanto, perspicaz à manutenção, ou intensificação, de rendimento produtivo. Historicamente, produtores da

Alemanha, França e Reino Unido, empregaram os produtos ao controle de comprimento de caule: triazóis, tebuconazole e metconazole, associados, ou não, ao cloreto de mepiquat, etil-trinexapac, paclobutrazol e difeconazole, fungicida, popularmente, aplicados à proteção de plantas (BAKER; STERLING; BERRY, 2014; BERRY; SPINK, 2012).

Anwar *et al.* (2017) investigaram efeito de quizalofop-e-tilo em crescimento e rendimento de sistema integrado de produção de colza de inverno e arroz, comum em províncias de território chinês. Os autores enfatizaram: plântulas de sementes *in natura*, estabelecidas em pousio de arrozal, desenvolveram caule, extremamente, longo e, automaticamente, propensos ao tombamento por excesso de massa; imersão de sementes em solução de quizalofop-e-tilo melhorou, significativamente, taxas de germinação, crescimento e sobrevivência, e comprimento de caule, durante o período de inverno; complementarmente, houve intensificação de rendimento produtivo.

Soja

A cultura de soja, oleaginosa de ciclo anual, oferece múltiplas finalidades econômicas, destacando-se: alimentos, ração animal e biocombustíveis. Materiais genéticos são, incrivelmente, plásticos à diversidade de solos e climas e, portanto, permitem lavouras comerciais em zonas tropicais, subtropicais e temperadas.

Ramesh e Ramprasad (2015) avaliaram efeito de reguladores em características bioquímicas, fisiológicas e morfológicas. Os autores reportaram: aplicação exógena de ácido acético naftálico e brassinosteróides promoveram benefícios à altura de planta, número de ramos e trifólios, e acúmulo de matéria seca em estruturas caulinares e foliares, enquanto, cloretos de clormequat e mepiquat os limitaram, consideravelmente, devido ao estresse oxidativo em teor de clorofilas e taxa fotossintética líquida. Portanto, ocasionalmente, reguladores são antagonistas ao crescimento e desenvolvimento vegetal, prejudicando-os, irreversivelmente.

Guo *et al.* (2019) estudaram influência de reguladores em expressão de genes de codificação de biossíntese de fitoquímicos e atividade antioxidante. Os autores obtiveram resultados promissores: tratamentos de 6-benzilaminopurina, ácido giberélico e ácido acético naftálico induziram superexpressão de GmVTC2, GmDHAR, GmPAL, GmCHS e GmIFS, unidades fundamentais de hereditariedade, precursoras de biossíntese de ácido ascórbico, fenóis, flavonoides e isoflavonas, compostos antioxidantes não-enzimáticos secundários; 6-benzilaminopurina representaria à melhor opção de manejo à melhoria de qualidade nutricional e benefícios à saúde pública de produtos de soja, complementarmente.

Energéticas

Cana-de-açúcar

Originária da Ásia, a cultura de cana-de-açúcar é elementar ao progresso socioeconômico-demográfico de nações, principalmente, emergentes. Impressionante adaptabilidade fisiográfica, inexpressiva exigência de fertilidade e solo, pluralidade de aplicações industriais e geração de oportunidades de emprego a comunidades rurais são

características que a tornam, extremamente, atrativa. A maturação natural de cana-de-açúcar, figurada pelo intenso acúmulo de sacarose em parênquimas lacunosos de caule, é definida pela interação de genótipo e variáveis de ambiente, especialmente, temperatura, precipitação e fotoperíodo. Restrições em temperatura, disponibilidade de recursos hídricos e horas diárias de luz solar restringem crescimento vegetativo pela concentração de produtos de fotossíntese, principalmente, sacarose, dissacarídeos de glicose e frutose, em internódios e, eventualmente, nós de colmo. Situações edafoclimáticas desfavoráveis, caracterizadas por elevadas temperaturas e abundância de água em substrato, em período de inverno, inviabilizam maturação fisiológica e, conseqüentemente, reduzem rendimento produtivo e qualidade de canaviais. Maturadores químicos seriam, circunstancialmente, estratégias à indução de amadurecimento e sistematização de colheita mecanizada de biomassa repleta de açúcares fermentescíveis (HEERDEN; EGGLESTON; DONALDSON, 2013; ROBERTSON *et al.*, 1999).

Historicamente, aplicam-se maturadores químicos em canaviais via pulverização foliar, ou terrestre. Administrados, os compostos são absorvidos por folhas e causam inibição de rotas bioquímicas associadas à síntese de ácidos nucleicos, proteínas estruturantes, enzimas e hormônios promotores de crescimento e desenvolvimento. A eficácia de regulador é função de capacidade de ingrediente ativo de promover rendimento de sacarose, sem, sequer, danificar o cultivo de cana-de-açúcar e ambiente adjacente. Registrados no Brasil, USA e Austrália, glifosato, etefom, fluazifop-p-butílico, etil-trinexapac e metil-sulfometuron são os principais maturadores de cana-de-açúcar, em termos de valores de mercado e representatividade de aplicação em lavouras comerciais. Glifosato e fluazifop-p-butílico, particularmente, possuem propriedades herbicidas que induzem maturação pela supressão de dominância apical de caule por auxinas. Etetom é carreador de etileno, hormônio gasoso que promove estoques de sacarose em parênquimas lacunosos pelo controle de área fotossintética efetiva e balanceamento de relações hormonais entre os ácidos, salicílico e jasmônico, giberelinas e auxinas. O etil-trinexapac restringe alongamento de internódios e promove acúmulo de sacarose pela inibição temporária de precursores de giberelinas (BELLA *et al.*, 2007; CUNHA; ALVES; MARQUES, 2017; HEERDEN; EGGLESTON; DONALDSON, 2013; ORGERON *et al.*, 2012; YANG, 1969).

Karmollachaab *et al.* (2016) avaliaram maturação e rendimento produtivo pelo tratamento exógeno de reguladores. O glifosato, herbicida sistêmico de amplo espectro de ação, especialmente, promoveu melhorias em qualidade de caldo pelo aumento de teores de sacarose e sólidos solúveis, e redução de teores de açúcares redutores e fibras, reportaram os autores. Misturas de radicais carboxílicos orgânicos, metil-sulfometuron, glifosato e etetom melhoraram, satisfatoriamente, qualidade tecnológica de caldo, em termos de sacarose, sólidos solúveis totais, pureza, açúcares redutores, fibra e umidade, porém, não proporcionaram aumento significativo em produtividade de colmos e açúcar, afirmaram Viana *et al.* (2017). Nguyen *et al.* (2019) avaliaram o efeito de maturadores químicos em rendimento produtivo. Os autores reportaram: ácido giberélico e glifosato incrementaram, substancialmente, acúmulo de sacarose em regiões de colmo e lucro; os níveis residuais dos ingredientes ativos em biomassa estiveram aquém de limites críticos estabelecidos por entidades regulatórias, isentando-a de contaminação, enfatizaram. O glifosato inibe atividade de 5-enol-piruvilchiquimato-3-fosfato sintase, enzima indispensável

à via bioquímica de chiquimato, precursor de síntese de fenilalanina, triptofano e tirosina, aminoácidos aromáticos que antecedem de lignina, alcaloides, flavonoides, ácidos benzoicos e outros biocompostos que regulam crescimento e desenvolvimento vegetal. Aplicá-lo causaria, portanto, quebra de dominância apical e redistribuição de fotoassimilados, concentrando-os, majoritariamente, em tecidos de reserva de colmo e, eventualmente, sistema radicular (Herrmann, 1995; Hilton *et al.*, 1980).

O estudo científico de maturação fisiológica por etil-trinexapac, conduzido por van Heerden, Mbatha e Ngzaliwe (2015), enfatizou: aplicado por pulverizador de CO₂ pressurizado, anteriormente, ao estágio fenológico de florescimento, o maturador promoveu melhorias significativas em rendimento e qualidade de caldo pela restrição de alongamento de internódios, concentrando-os em açúcares fermentescíveis, crescimento e desenvolvimento de estruturas foliares, limitando-as, em relação à eficiência fotossintética. Crusciol *et al.* (2017) avaliaram produtividade pela aplicação de inibidores de crescimento em meio de safra. Os autores reportaram: metil-sulfometuron, glifosato e radicais carboxílicos orgânicos, sob condições desfavoráveis à maturação fisiológica natural, melhoraram qualidade de caldo, principalmente, em relação ao teor de sacarose e pureza, devido à inibição de ácido indol-3-acético, sintetizado pelo triptofano, e estimulação de invertases alcalinas. Spaunhorst, Todd e Hale (2019), autores do estudo científico de resposta de variedades à aplicação de maturadores químicos, alegaram: glifosato e etil-trinexapac contrabalancearam declínio de rendimento de colmos pelo aumento de teor de sacarose; antecipação de maturação por reguladores beneficiaria colheita mecanizada e evitaria exposição de canaviais a eventuais fatores estressantes abióticos e bióticos que ocasionam inversão de sacarose em glicose e frutose, monossacarídeos prejudiciais à qualidade de caldo e período industrial útil.

Sorgo

Explorada em regiões tropicais e subtropicais, a cultura de sorgo é alternativa imediata à cana-de-açúcar em sistemas de produção de alimentos, energia e, ou, ração animal. Salinidade e calor são tensões abióticas que limitam produção de culturas alimentícias e energéticas. *Primers* de semente são ferramentas úteis ao condicionamento de crescimento de plântulas de sorgo sacarino sob ambientes hostis. Nimir *et al.* (2015) avaliaram efeitos de reguladores em emergência, crescimento inicial e sistema de defesa antioxidante de cultura de sorgo sob estresses salino e térmico. Contextualmente, Forghani, Almodares e Ehsanpour (2018), autores do estudo científico de indução de tolerância pela aplicação de reguladores, afirmaram: ácido giberélico e paclobutrazol induziram melhorias em desenvolvimento de caule e sistema radicular e teores de carotenoides e clorofilas, pigmentos fotoprotetivos e fotossintéticos, e hidratos de carbono pela modulação de citocininas, ácido indol-3-acético e poliaminas, hormônios endógenos associados à resposta de sistema de defesa de hospedeiro a externalidades estressantes. Ali *et al.* (2019) estudaram efeito dos ácidos, jasmônico e húmico, em atividade antioxidante e resistência de sorgo forrageiro ao estresse salino. O hormônio vegetal afetou, positivamente, atividade enzimática específica de catalase, peroxidase e superóxido dismutase, e índices de emergência e resistência ao estresse de sementes, declararam, assertivamente, os

autores. Ácido giberélico, superdosado, reduziu, significativamente, absorção de água, índice de germinação de sementes, e comprimentos de germe e radícula de sorgo sacarino sob estresse de cloreto de sódio, reportaram Zhu *et al.* (2019). Os autores enfatizaram, todavia: concentração apropriada do hormônio aliviou, proeminentemente, estresse salino em germinação. O cloreto de sódio induz estresse oxidativo em planta pela produção de peróxido de hidrogênio, radical livre que estimula peroxidação de lipídeos e oxidação de proteínas funcionais e estruturantes. A aplicação de giberilinas alivia o estresse salino pela indução de síntese de prolina em tecidos radiculares e foliares via conversão enzimática de glutamato. A prolina, além de marcador e mecanismo de defesa, regula metabolismo, crescimento e desenvolvimento. Plantas sob estresse, normalmente, aumentam a produção de ácido prolina-amina para proteger macromoléculas e estruturas celulares de eventos de estresse oxidativo (STEWART; LEE, 1974; SZABADOS; SAVOURÉ, 2010; TUNA *et al.*, 2008).

Abood (2017) avaliaram efeito de aplicação exógena de etefom em características de crescimento e rendimento de cultura de sorgo sacarino. Os autores reportaram: houve antagonismo de dose máxima, 1500 mg L⁻¹, à altura de planta, área foliar, número de folhas e rendimento de grãos, independentemente de região de cultivo, circunstancialmente, Bagdá e Ramadi; estágio fenológico determinou eficiência de tratamento químico: plantas de idade avançada, submetidas a 500 e 1000 mg L⁻¹. renderam mais grãos. O estudo científico de efeito de reguladores em fisiologia e valor nutricional de cultura de sorgo sacarino, realizado por Macedo *et al.* (2017), reportou: etil-trinexapac e etefom reduziram crescimento vegetativo e teor de fibra em detergente neutro, porém, aumentaram teor de cinzas; os autores afirmaram: etil-trinexapac e cloreto de cloromequat se qualificaram como estratégias à melhoria de qualidade nutricional de biomassa de sorgo sacarino. Os ácidos, giberélico e salicílico, e cinetina afetaram, positivamente, percentual de emergência, massa seca de raízes e parte aérea, teor de clorofilas, atividade enzimática específica de superóxido dismutase e teor de malondialdeído, produto secundário de peroxidação lipídica, declararam os autores, que os julgaram excelentes *primers* ao fortalecimento de sistema de defesa de hospedeiro.

Pastagens e gramados

O emprego de etil-trinexapac, paclobutrazol, prohexadiona de cálcio e, ou, flurprimidol ao controle de crescimento e desenvolvimento de pastagens e relvados de golfe é prática comum em distritos alemães e estadunidenses; em relação a campos de golfe, particularmente, ao inibirem formação de folhas vigorosas, tais reguladores uniformizam superfície de jogo, tornando-o, tecnicamente, agradável aos adeptos do esporte; economia de custos de mão-de-obra, controle de pragas e irrigação é benefício adicional (MARCH; MARTINS; MCELROY, 2013; MATTHEW; HOFMANN; OSBORNE, 2009; RADEMACHER, 2015).

Pecuarista do sudeste dos EUA adotam gramíneas tropicais nativas à formação de pastos, vulneráveis à perda de qualidade nutricional, em final de estação de verão. Inibidores de giberelinas são soluções ao problema técnico. Tilhou e Nave (2018) avaliaram valor nutritivo de gramíneas pela aplicação de regulador de crescimento. Os autores

reportaram: genericamente, apesar de reduzir produção de forragem, o etefom intensificou o valor nutricional de *Andropogon gerardii* e *Sorghastrum nutans* L.

Olerícolas

Hortaliças-fruto, bulbos e infrutescências

Retardantes são opções à prevenção de supercrescimento em olerícolas. Nos EUA, particularmente, fosfato de uncozanole é praticado em canteiros de tomate e berinjela; auxinas são eficazes à melhoria de rendimento produtivo e qualidade de frutos solanáceos, principalmente, sob prejuízos de manejo de adubação por extremos de temperatura. Aplicado em final de ciclo, etefom acelera e concentra amadurecimento fisiológicos de frutos de tomateiro, predispondo-os, então, à intensificação de colheita. Na Espanha, Turquia e Índia, cloretos de mepiquat e clormequat, inibidores de síntese de giberelinas, são utilizados, sistematicamente, em cultivares de cebola e alho, pretendendo-se, redundantemente: melhoria de produtividade e qualidade de bulbos. Finalmente, giberelinas são estratégias à indução de maturação química e antecipação de colheita de alcachofra, planta riquíssimas em propriedades medicinais (RADEMACHER, 2015).

Fitorremediação

Fitorremediação é o conceito de descontaminação e, ou, despoluição de sítios por plantas. Reguladores de crescimento vegetal são alternativas, tecnicamente, viáveis à melhoria de fitoextração, rizofiltração, fitoestabilização, fitodecomposição, fitodegradação e, ou, fitovolatilização de metais pesados, metaloides e, ou, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. Auxinas contribuem à fitorremediação pela promoção de alterações bioquímicas em constituintes de membrana e funções celulares, tornando-os insensíveis à nocividade de íons metálicos: o chumbo, particularmente, é capaz de condensar a cromatina pelo estabelecimento de ligações com ácidos nucleicos; conseqüentemente, há inibição de divisão celular e crescimento vegetal. O ácido indol-3-acético reduz efeito tóxico de chumbo e, portanto, assegura, diretamente, desenvolvimento de raízes e caule e formação de xilema e floema e, indiretamente, exsudação, fonte de nutrientes para biomassa microbiana, degradação de pireno, hidrocarboneto derivado de combustão incompleta de matéria orgânica. O ácido giberélico limita toxidez de cádmium pela redução de absorção radicular e peroxidação de lipídeos de membrana, e regulação de expressão gênica de óxido nitroso (APRILL; SIMS, 1990; GANGWAR *et al.*, 2011; HAÇ-WYDRO; SROKA; JABŁOŃSKA, 2016; ISRAR; SAHI, 2008; PARSEH *et al.*, 2018; PINO-HERRERA *et al.*, 2017; ROSTAMI *et al.*, 2016; ROSTAMI; AZHDARPOOR, 2019; ROSTAMI; AZHDARPOOR; SAMAEI, 2017; SIDDIQUEE; ROHANI, 2011; TEIRI; POURZAMANI; HAJIZADEH, 2018; VÁZQUEZ *et al.*, 2013; ZHU *et al.*, 2012).

A aplicação exógena de giberelinas, compostos carboxílicos diterpenóides carboxílicos, potencializa crescimento e desenvolvimento de cultura de soja sob estresse, pela intensificação de níveis endógenos de daidezeína e genisteína, fitoestrogênio pertencente à família de isoflavonas, antioxidantes naturais capazes de inibir crescimento de células cancerígenas e preventivos ao Alzheimer, reportaram Meng *et al.* (2009) e

Hamayun *et al.* (2010). Siddiqui, Al-Whaibi e Basalah (2011) avaliaram efeitos de regulador e macronutriente em trigo sob estresse de níquel. Os autores afirmaram: o íon metálico restringiu, consideravelmente, altura de planta, comprimento de sistema radicular, massa seca de parte aérea, teor de clorofilas e atividade enzimática específica de anidrase carbônica, enzima transportadora de dióxido de carbono; ácido giberélico e cálcio, aliviaram, todavia, interferência de níquel pela indução de síntese de prolina, aminoácido cíclico alifático antiestresse. Contextualmente, Ji *et al.* (2015), autores do estudo científico de potencial de ácido giberélico de intensificação de fitorremediação de cádmium por *Solanum nigrum* L., reportaram: o hormônio aumentou, significativamente, produção de biomassa e reduziu concentração do metal pesado em tecidos caulinares. Elhassan *et al.* (2016) avaliaram o potencial de fitorremediação de chumbo de cultura de milho sob tratamento de ácido salicílico. Os autores reportaram: o hormônio surtiu efeitos positivos em absorção do metal pesado e estruturação física de planta. O ácido salicílico reduz efeitos deletérios de estresse por metais pesados em células, tecidos e, ou, órgãos vegetais pela promoção de enzimas de eliminação de radicais livres, catalase e peroxidase, e osmorreguladores, prolina, glicina e betaina (METWALLY *et al.*, 2003; SENARATNA *et al.*, 2000). Os ácidos, indol-3-acético e salicílico, citocinas e giberelinas são, definitivamente, eficazes à fitoextração de metais pesados, especialmente, chumbo e zinco (CASSINA *et al.*, 2011; SAYED, 1999; SHAKIROVA *et al.*, 2003; THOMAS *et al.*, 2005).

Mercado

Em 2014, dessecantes e desfolhantes herbicidas e fungicidas representaram inexpressivos 2,5 % do total de vendas do mercado global de proteção vegetal, estimado em US\$ 56,7 bilhões. Apesar de irrelevância, houve tênue progresso em consumo de reguladores em cultivos intensivos sob circunstâncias desfavoráveis à naturalidade de crescimento e desenvolvimento – pesquisa, desenvolvimento e registro de produtos requereram US\$ 240 milhões, aproximadamente. A prospecção de moléculas é, historicamente, onerosa. Todavia, há possibilidade de redução de investimentos financeiros, desde que, o ingrediente ativo sob pretensão seja natural, como: bioquímicos atóxicos e biodegradáveis; herbicidas, fungicidas e inseticidas são, circunstancialmente, opções à economia de custos. Regularidade de demanda de mercado, lucratividade e, principalmente, inocuidade à saúde pública e meio ambiente são pré-requisitos de reguladores sustentáveis. Genericamente, a indústria de maturadores químicos concentra esforços em produtos para culturas alimentícias, energéticas e fibrosas de larga escala, destacando-se: algodão, arroz, bananeira, cana-de-açúcar, colza, fruteiras cítricas, macieira, milho, pereira, trigo, soja e videira. Há, evidentemente, escassez, em relação ao desenvolvimento de moléculas para culturas de escopo; adaptá-las seria, aparentemente, razoável.

CULTURA DE SORGO SACARINO

Generalidades

Originário do continente africano, o sorgo (*Sorghum* spp.), é, indiscutivelmente, atrativo aos setores de produção de alimentos, energia e fibras. Granífero, forrageiro e

bioenergia são grupos técnico-econômicos. Grãos de sorgo são ricos em amido, tanino, fibra dietética e fenóis, e oferecem múltiplas possibilidades à produção de gêneros alimentícios alternativos a derivados de arroz, milho, trigo e cevada, fármacos, e ração para avicultura, bovinocultura de corte e leiteira, piscicultura e suinocultura. A massa de caule e folhas de materiais forrageiros é palatável, tragável e digerível e, portanto, qualifica-se à composição de dieta de ruminantes e monogástricos sob sistemas pecuários de produção extensivos, semi-intensivos e intensivos. Espécies bioenergéticas, incluindo-se, principalmente, sorgo sacarino, destacam-se pelo expressivo potencial de rendimento produtivo de biomassa lignocelulósica, útil à cogeração de bioeletricidade e calor para cocção de açúcar, e caldo, fração líquida repleta de carboidratos solúveis e insolúveis fermentescíveis (CHUCK-HERNANDEZ; PEREZ-CARRILLO; SERNA-SALDIVAR, 2009; DEMIRBAS, 2007, 2008; DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2009; GNANSOUNOU; DAURIAT; WYMAN, 2005; HAMELINCK; HOOIJDONK; FAAIJ, 2005; KIM; DAY, 2011; SOLOMON; BARNES; HALVORSEN, 2007).

Historicamente, explora-se caldo de sorgo sacarino como xarope, adoçante natural derivado de processo de concentração térmica de hidratos de carbono; açúcar mascavo, metano e hidrogênio representariam, circunstancialmente, finalidades industriais adicionais. O emprego de sorgo sacarino à industrialização de bioetanol de primeira geração data de 1970, antecedente de homologação do Proálcool (Programa Nacional do Álcool), iniciativa do governo federal brasileiro à diversificação, fortalecimento e consolidação de cadeia produtiva de bioetanol de espécies vegetais amiláceas e sacarinas, incluindo-se, principalmente, cana-de-açúcar, milho e mandioca, e solução de impactos socioeconômico-demográficos de crise mundial de petróleo. Complementarmente, o bagaço de sorgo sacarino, co-produto fibroso de extração de caldo, é matéria-prima versátil à produção de forragem, silagem, etanol celulósico, butanol, péletes, polímeros, papel, biofertilizantes *etc.* Registrem-se, portanto, pluralidades de interesse antrópico de derivados de sorgo sacarino, cogitado, inclusive, à quarta geração de biocombustíveis, devido à notável capacidade de sequestro e conversão de dióxido de carbono em biomassa integral industrializável (BALAT; BALAT, 2009; DEMIRBAS, 2007; SOLOMON; BARNES; HALVORSEN, 2007).

Características morfofisiológicas e aspectos de cultivo

O sorgo sacarino [*S. bicolor* (L.) Moench] pertencente à família, *Poaceae*. Explorado, principalmente, nos EUA, Nigéria, Índia e Sudão, é o quinto cereal de maior relevância mundial; as culturas, trigo, arroz, milho e cevada, superam-no, em termos de produção, representatividade e aceitação de mercado. Morfofisiologicamente, caracteriza-se pela robustez de porte e estruturas foliares, razoável taxa de perfilhamento, resistência de sistema radicular ao tombamento natural e extrema dependência de maturidade fisiológica fatores climáticos; o caule, órgão de conexão de fontes e drenos, é elementar ao armazenamento de sacarose. Capaz de suportar seca, salinidade e calor, e se adaptar, fisiograficamente, a solos argilosos e arenosos, a gramínea possibilita cultivos comerciais em regiões tropicais, subtropicais e temporadas situadas entre 40° N e 40° S: faixas de temperatura, precipitação pluviométrica e fotoperíodo 32 a 34 °C, 500 a 800 mm e 10 a 14 h, respectivamente, são ótimas ao crescimento e desenvolvimento da cultura, cujo ciclo comercial varia de três a cinco meses, caracterizado pelo máximo teor de sólidos solúveis totais em estágio de

pré-floração e declínio progressivo de estoque de açúcares, principalmente, sacarose, em plena maturação fisiológica, fenômeno acropetal (Figura 1). Em regiões tropicais, semeia-se sorgo sacarino entre os meses de junho a julho, e setembro a outubro, estações de inverno e primavera, respectivamente. A época de semeadura, função básica de disponibilidade de recursos hídricos, é, invariavelmente, condicionantes à produtividade e industrialização de bioetanol. Em Iowa, EUA, semeadura entre maio e junho, período chuvoso, rendeu 14.500 L ha⁻¹; no Brasil, semeadura entre novembro e dezembro, com colheita entre março e abril, otimizou período industrial útil de destilarias, reportaram estudos científicos (ELLIS; TUCK; MILLER, 1997; FOLLIARD *et al.*, 2004; OLUKOYA *et al.*, 2015; RAO *et al.*, 2009; REDDY; RAVINDER REDDY; KUMAR, 2012a; TURHOLLOW JR; WEBB; DOWNING, 2010).

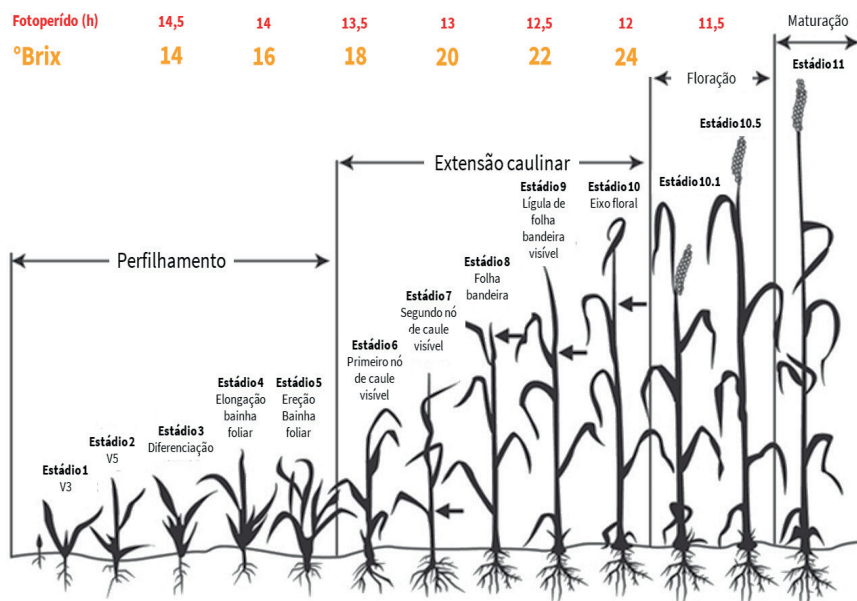


Figura 1. Ciclo fenológico de cultura de sorgo sacarino

adaptado de Ellis *et al.*, 1997; Folliard *et al.*, 2004; Rao *et al.*, 2009; Turhollow; Webb; Downing, 2010.

O início de programas de melhoramento genético de sorgo sacarino para produção bioenergética remete a 1970. À época, hibridizavam-se linhagens de elite e selvagens, pretendendo-se, principalmente: adequação de ciclo comercial; adaptabilidade fisiográfica a ambientes hostis; resistência físicomecânica ao tombamento natural e, ou, impostos por adversidades climáticas; produtividade e qualidade de biomassa e caldo; extenso período industrial; e, eventualmente, moderado rendimento de grãos e forragem. Comparado à cultura de cana-de-açúcar, o principal desafio de produção de sorgo sacarino é a duração de ciclo comercial. Geralmente, o florescimento de cultivares tropicais ocorre 55 a 70 após a semeadura, à medida que temperatura e fotoperíodo regridem, progressivamente. A transição de estádios vegetativos para reprodutivos, distinguida pela emergência e desenvolvimento de panícula, induz redistribuição e realocação de fotoassimilados de

caule para grãos; conseqüentemente, há indesejável restrição de teor de sacarose em parênquimas lacunosos. O limitado período de colheita dificulta a utilização de sorgo sacarino em instalações sucoenergética. Híbridos que permitam colheita contínua e aplicação de maturadores químicos são alternativas ao planejamento agrícola e industrial (BASSAM, 2010; GNANSOUNOU; DAURIAT; WYMAN, 2005; HERNÁNDEZ; KAFAROV, 2009; KIM; DAY, 2011).

Rendimento e composições de caldo, grão e bagaço

Genótipo, solo, clima, sistema de cultivo e práticas de manejo são determinantes à produtividade e qualidade de lavoura. Rotacionada com milho e, ou, soja, a cultura rende, aproximadamente, 20,5 t ha⁻¹ de biomassa. O teor de sacarose progride, à medida que o ciclo fenológico evolui à maturação fisiológica de grãos. Nos EUA, particularmente, há possibilidade de intensificação de teores de sacarose, glicose e frutose, e, posteriormente, rendimento de etanol de híbridos comerciais, desde que, a semeadura seja realizada, precocemente. Materiais genéticos de maturidade fisiológica precoce retornam, impressionantemente, 6,6 t ha⁻¹ de holocelulose, 20,2 t ha⁻¹ de massa seca de caule e 13,0 L ha⁻¹ de bioetanol (AMADUCCI; MONTI; VENTURI, 2004; MAMMA *et al.*, 1995).

O caldo de sorgo, cujos teores de sacarose, glicose e frutose variam entre 53 a 85, 9 a 33 e 6 a 21 %, respectivamente, é rico em macro e micronutrientes, especialmente, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Na; arabinose, galactose, manose, sorbose e xilose são carboidratos complementares (Tabela 1). O grão é, principalmente, composto por amido e proteínas, e possibilita conversão enzimática de açúcares simples em bioetanol (Tabela 2). O bagaço, alternativa à fabricação de etanol celulósico, é repleto de carboidratos estruturais: celulose, hemicelulose e lignina, fundamentais ao suporte estrutural de planta e resistência mecânica ao ataque de pragas e intempéries climáticas, asseguram satisfatório poder calorífico; óxidos de potássio, cálcio, magnésio, cloro e silício compõe a fração de cinzas, inerte à combustão (Tabela 3). Economia de insumos, principalmente, água e fertilizantes, continuidade de semeadura, produtividade, multiplicidade, versatilidade e qualidade de produtos e subprodutos são argumentos ao cultivo de sorgo sacarino, competitivo à beterraba sacarina, cana-de-açúcar, cana-energia e milho, culturas bioenergéticas valorizadíssimas ao mercado de biocombustíveis tecnológicos (Tabela 4) (BALAT; BALAT, 2009; HARDE *et al.*, 2014; ORTIZ-MUÑIZ *et al.*, 2010; PÉREZ-CARRILLO *et al.*, 2011; QUINTERO *et al.*, 2008; SANKH; DESHPANDE; ARVINDEKAR, 2011; TURHOLLOW JR; WEBB; DOWNING, 2010; YU; XUZHANG; TAN, 2008).

Propriedade	Valor
Açúcares totais (g L ⁻¹)	173,1
°Brix	10,5 – 20,7
Sacarose (%)	69 – 74
Açúcares redutores (%)	5 – 19
Amido (%)	0,4 – 5,3
Acidez titulável	3,6 – 4,8

Ácido aconítico (%)	3,6 – 4,8
Proteínas (%)	0,9 – 1,3
Nitrogênio fermentável (mg L ⁻¹)	626,4
Íons de amônio (ppm)	21,4
Íons de nitrito (ppm)	4,4
Fósforo (ppm)	20
Potássio (ppm)	1790
Cálcio (ppm)	166
Magnésio (ppm)	194
Enxofre (ppm)	120
Cobre (ppm)	0,3
Ferro (ppm)	2
Manganês (ppm)	3
Sódio (ppm)	170
Zinco (ppm)	1,4

Tabela 1. Propriedades de caldo de sorgo sacarino
Adaptado de Mamma *et al.*, 1995

Cultura	Propriedade (%)				
	Proteína	Lipídeos	Amido	Fibra	Cinzas
Sorgo sacarino	10 – 13	4	60 – 73	2,2	1,5
Sorgo granífero	11,3	3,3	70,8	2,7	1,8
Trigo	12,2	1,9	71,9	1,9	1,7
Centeio	11,6	1,7	71,9	1,9	2
Cevada	10,9	2,3	73,5	4,3	2,4
Aveia	11,3	5,8	55,5	10,9	3,2
Milho	9,1	4,4	73,4	2,3	1,4
Milheto	14,5	5,1	76,4	2	2
Arroz	8,1	1,2	75,8	0,5	1,4

Tabela 2. Composição de grãos de culturas cerealíferas
Adaptado de Hamelinck; van Hooijdonk; Faaij, 2005; Azhara *et al.*, 2017

Propriedade	Cultura				
	Sorgo sacarino	Cana-de-açúcar	Beterraba sacarina	Cana-energia	Milho
Celulose (%)	27 – 44,6	41,6	52	43,3	35 – 45
Hemicelulose (%)	25 – 27,1	23,8	32	23,8	28
Lignina (%)	11 – 24,7	20,3 – 32	16	21,7	15 – 21
Xilose (%)	21,5	72,1 – 85	-	-	21,1
Cinzas (%)	0,4	4,8	3,4	0,8	5 – 7
PC (MJ kg ⁻¹)	18,3	17,3	-	17,7	17,7

Poder calorífico (PC).

Tabela 3. Propriedades físico-químicas de bagaço e palhada de culturas bioenergéticas

Característica	Cultura				
	Sorgo sacarino	Cana-de-açúcar	Beterraba	Cana-energia	Milho
Origem	África	Ásia	Mediterrâneo	Ásia	América Central
Classificação	Gramínea	Gramínea	Tubérculo	Gramínea	Gramínea
Ciclo comercial (meses)	4 – 6	12 – 18	5 – 6	12 – 18	3 – 4
Semeadura/plantio	Contínua	Descontínua	Descontínua	Descontínua	Contínua
Propagação	Sexuada	Assexuada	Sexuada	Assexuada	Sexuada
Exigência hídrica (m ³ ha ⁻¹)	8.000	36.000	18.500	-	12.000
Exigência nutricional (t ha ⁻¹)	90N:40P:50K	325N:125P:125K	120N:60P:60K	-	130N:60P:60K
Rendimento de biomassa (t ha ⁻¹)	-	60 – 85	85 – 100	100	-
Teor de sacarose (%)	7 – 15	10 – 17,6	15 – 21,8	9,8	9,8
Rendimento açúcar (t ha ⁻¹)	7 – 15	5 – 12	11.2 – 18	-	-
Rendimento etanol (L ha ⁻¹)	4.600	4.350 – 7.000	-	-	5.506
Rendimento grãos (t ha ⁻¹)	45 – 60	-	-	-	3.2 – 11.4

Tabela 4. Características de culturas bioenergéticas

Adaptado de Demirbas, 2007; Quintero *et al.*, 2008; Balat e Balat, 2009; L *et al.*, 2011; Pérez-Carrillo *et al.*, 2011

Finalidades econômicas

Os grupos de matérias-primas para industrialização de bioetanol são, basicamente: amiláceas, sacarinas e lignocelulósicas. Arroz, batata-doce, cevada, mandioca, milho, sorgo granífero e trigo são relevantes fontes de amido. Beterraba e cana-de-açúcar se destacam pelo teor de sacarose. Cana-energia, capim-elefante e essências lenhosas proporcionam lignocelulose de qualidade superior. O sorgo sacarino, hábil à produção simultânea de biomassa fibrosa, caldo e grãos, enquadra-se em todos os grupos. Forragem, silagem, gêneros alimentícios, químicos finos, biofertilizantes e condicionadores de solo, e biocombustíveis são produtos da cultura (Figura 2), relevantíssima ao abastecimento de regiões áridas e semiáridas (AL KHALASI *et al.*, 2010; DAHLBERG *et al.*, 2012; FAHMY; YOUSSEF; EL SHAER, 2010; HARDE *et al.*, 2014; KHANUM *et al.*, 2010; ORTIZ-MUÑOZ *et al.*, 2010; PÉREZ-CARRILLO *et al.*, 2011; SANKH; DESHPANDE; ARVINDEKAR, 2011).

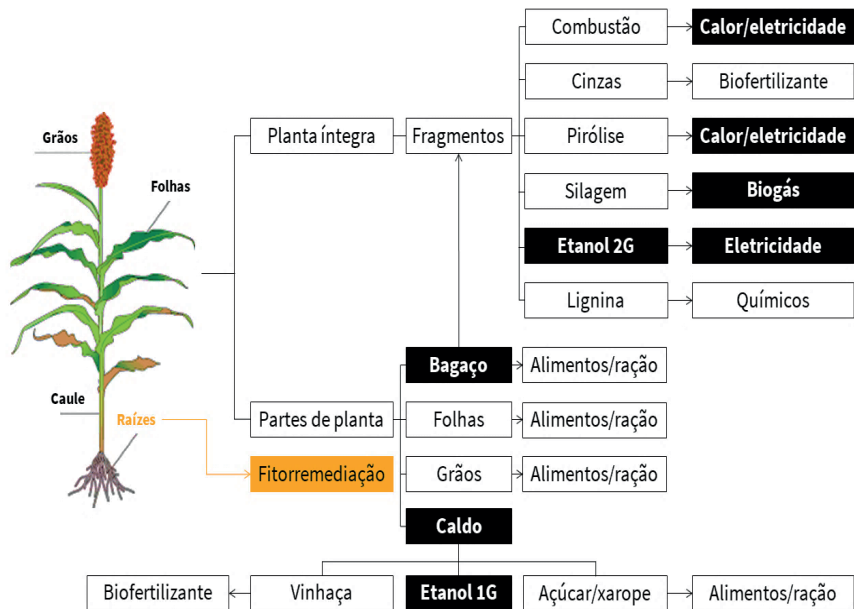


Figura 2. Produtos de sorgo sacarino
Adaptado de Sehgal; Kawatra; Singh, 2003.

Alimentos e bio-produtos de valor agregado

Grãos de sorgo sacarino, ricos em amido e proteínas, especialmente, são excelentes opções à industrialização de farinha, fermentados alcoólicos, aglutinantes para fundição de metais e refinação de minérios, embalagens biodegradáveis, papelão, solventes, fármacos, cosméticos e enzimas. Caule desidratado, racemo e corante, extraído de panícula, são úteis à cocção de alimentos em estabelecimentos comerciais, tingimento de fibras naturais e sintéticas, e produção de vassoura, respectivamente; o germe é, interessantemente, aplicado à síntese de antioxidantes de combate ao câncer e controle glicêmico (DAHLBERG *et al.*, 2012).

Biocombustíveis

Fermentação alcoólica de caldo; hidrólise enzimática de caule, folhas, grãos e resíduos de panícula em glicose e xilose, substratos de produção de biogás por digestão anaeróbia; cogeração de calor e bioeletricidade por combustão; biometanização de vinhaça e co-produtos de processo fermentativo de amido; e briquetagem, peletização, torrefação e pirólise são rotas tecnológicas de conversão de produtos e subprodutos de sorgo sacarino em biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos (Figura 3) (DEMIRBAS, 2008; ROSILLO-CALLE; WALTER, 2006; SOLOMON; BARNES; HALVORSEN, 2007).

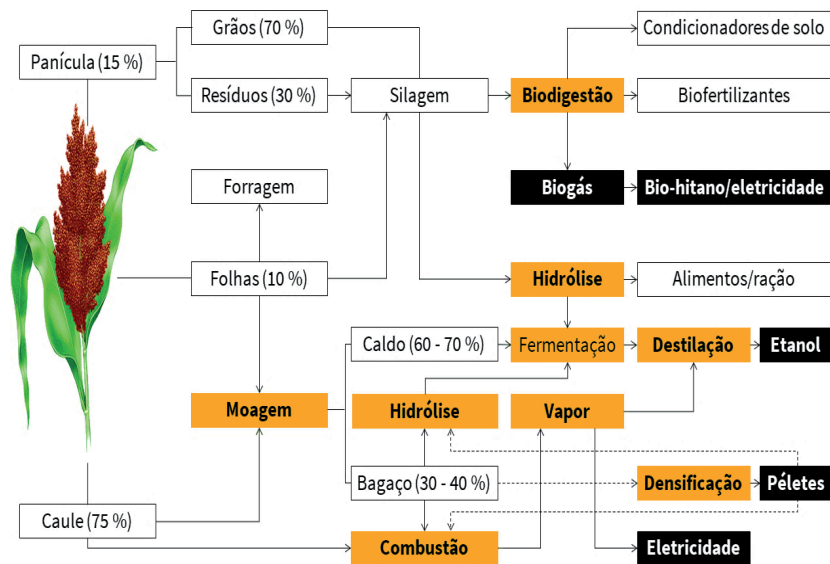


Figura 3. Rotas tecnológicas de conversão de (sub)produtos de sorgo sacarino em bicompostíveis

Adaptado de Rosillo-Calle e Walter, 2006; Solomon; Barnes; Halvorsen, 2007; Demirbas, 2008.

Bioetanol de caldo

Historicamente, concentrava-se caldo de sorgo sacarino em xarope. Inexistia, portanto, inicialmente, real interesse em destiná-lo à produção de bioetanol: composição físico-químico, viabilidade técnico-econômica e adequabilidade a infraestruturas sucroenergéticas representavam incertezas à tecnologia, legitimada, posteriormente. Extração, pré-tratamento, fermentação, destilação e desidratação são etapas de industrialização convencional de bioetanol de primeira geração (BALAT; BALAT, 2009; CLAASSEN *et al.*, 2004).

Extração, pré-tratamento e estocagem

Convencionalmente, extrai-se caldo de sorgo sacarino, mecanicamente, por moagem de caules por moinho de rolos em tandem, ou prensa hidráulica. Ambos os métodos são, operacionalmente, trabalhosos e demandam considerável período de tempo à recuperação de fração líquida (Figura 4). A difusão, tecnologia, originalmente, desenvolvida à extração de caldo de cana-de-açúcar, é realidade à otimização de recuperação industrial de açúcares fermentescíveis de fragmentos de biomassa de sorgo sacarino. Pesquisa científica comprova: eficiência de extração de caldo de sorgo sacarino por difusão, alimentada com enzimas de degradação de carboidratos solúveis, à temperatura de 95 °C e tempo de retenção de 115 minutos, equivale-se a 98,5 %, valor, significativamente, superior à média, 50 %, antieconômica. Independentemente de tecnologia de extração, água de filtração, levedo de fermentação e vinhaça de destilação são os principais resíduos de industrialização de etanol de primeira geração (GUIYING *et al.*, 2003; REDDY; RAVINDER REDDY; KUMAR,

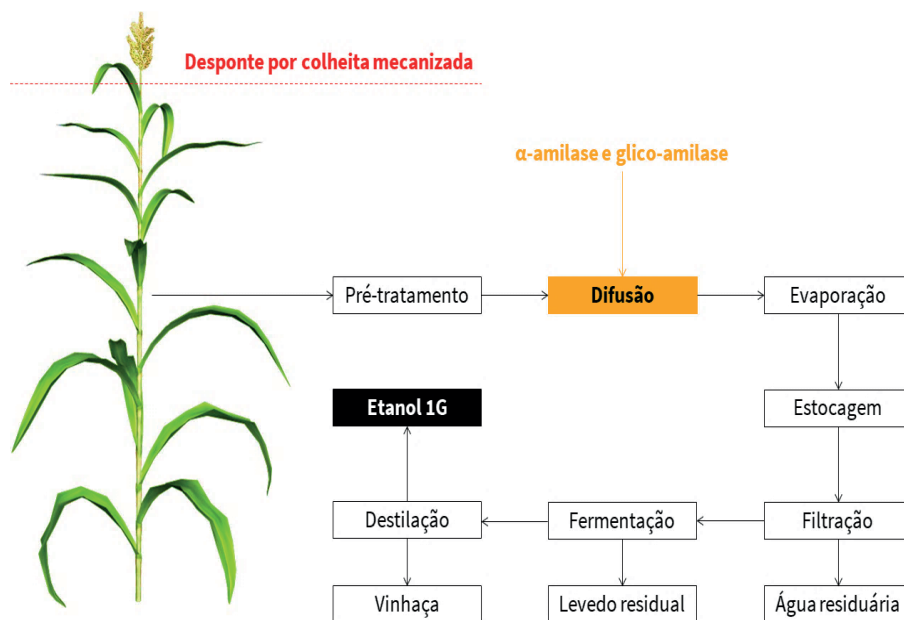


Figura 4. Extração de caldo de sorgo sacarino por difusão

Adaptado de Guiying *et al.*, 2000; Sehgal; Kawatra; Singh, 2003; Tajerzadeh e Karimi, 2008; Kaur *et al.*, 2010; Reddy; Reddy; Kumar, 2012.

O caldo fresco, rico em açúcares livres, é instável e propenso à degradação microbiana: há, eventualmente, possibilidade de conversão de impressionantes 50 % do total de carboidratos simples em ácidos orgânicos, etanol e dióxido de carbono, caso o material seja armazenado, indevidamente, à temperatura e umidade relativa de ar que favoreçam o crescimento de microrganismos indesejáveis à produção bioenergética sustentável; metabólitos bacterianos e fúngicos, como ácido acético, restringem eficiência de fermentação alcoólica por leveduras. O benzoato de sódio é opção à estabilização de caldo sob armazenamento a longo prazo; o conservante garante qualidade e prolonga vida útil. Pasteurização, processo de esterilização térmica de produtos, e ozonização sob alta temperatura são alternativas complementares (BALAT; BALAT, 2009; DEMIRBAS; BALAT; BALAT, 2009; FAHMY; YOUSSEF; EL SHAER, 2010; KHANUM *et al.*, 2010).

Fermentação sólida

A fermentação sólida envolve crescimento e metabolismo de microrganismos em substrato isento de água livre. Excelente fonte de carbono, macro e micronutrientes, a fermentação sólida simula naturalidade, é, extremamente, eficiente em produção de etanol, gera inexpressivo volume de água residuária e economiza energia, comparada à tradicionalidade; dificuldades de controle de uniformidade de umidade, concentração de

meio e temperatura são, todavia, limitações técnicas. A espécie de levedura, *Saccharomyces cerevisiae*, é, comumente, aplicada à produção de etanol de caldo de caules moídos de sorgo sacarino por fermentação em estado sólido, receptível ao tratamento alcalino; concentração de células de 25 g L⁻¹, temperatura de 30 °C, tempo de retenção de 24 h e velocidade de rotação de meio de 0,5 rpm são condições operacionais de fermentador industrial. Eventualmente, empregam-se agentes microbianos termotolerantes, caso a engenharia de biorreator permita. Associado, momentaneamente, ao material fermentado, o etanol produzido é recuperado por vaporização, em coluna de destilação (Figura 5) (BILLA *et al.*, 1997; GNANSOUNOU; DAURIAT; WYMAN, 2005)

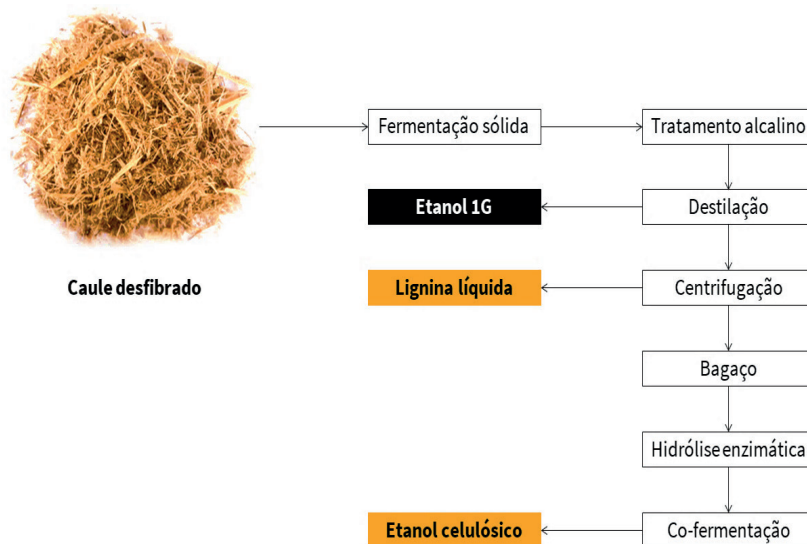


Figura 5. Produção de etanol de primeira de caldo de caules moídos de sorgo sacarino por fermentação em estado sólido

Adaptado de Billa *et al.*, 1997; Co *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2013.

Fatores de condicionamento

Inúmeros são os fatores que condicionam produtividade e qualidade de fermentação alcoólica, destacando-se, assertivamente: fonte de nitrogênio, concentrações de sacarose e inóculo, pH, temperatura, diluição e agitação de meio (ZABED *et al.*, 2014).

Fonte de nitrogênio

O processo de conversão fermentativa de açúcares em etanol exige, obviamente, macro e micronutrientes à nutrição de células microbianas, principalmente, nitrogênio. Extratos de levedura e malte, peptona, ureia e sulfato de amônio são fontes nitrogenadas extras eficazes à produção de bioetanol, pois, dentre diversas possibilidades, intensificam taxa de utilização de sacarose por *S. cerevisiae*. O sulfato de amônio é, todavia, preferido,

devido à operacionalidade e acessibilidade de preço. Adicionalmente, o composto inorgânico, integrado por íons de enxofre, estabiliza o pH de mosto, devido ao indiscutível poder de tamponamento. A suplementação nutricional de células de *S. cerevisiae*, cultivadas a pH 6,4, com sulfato de amônio e fosfato de potássio possibilita rendimento de etanol de caldo de sorgo sacarino de, aproximadamente, 119,10 g L⁻¹ h⁻¹. O extrato de levedura é capaz de incrementar produtividade de álcool pela oferta de riboflavina e biotina, cofatores hidrossolúveis que reduzem energia metabólica requerida à biotransformação de hidratos de carbono, otimizando-a. Bio-produtos de culturas de amendoim, girassol, soja e trigo, ricos em aminoácidos, ácidos graxos insaturados, esteróis e vitaminas, são alternativas ao manejo nutricional e controle de contaminantes que depreciam rendimento e qualidade de bioetanol (DING *et al.*, 2009; HARDE *et al.*, 2014; ORTIZ-MUÑOZ *et al.*, 2010; PÉREZ-CARRILLO *et al.*, 2011; SANKH; DESHPANDE; ARVINDEKAR, 2011; YU; XUZHANG; TAN, 2008).

Concentração inicial de sacarose

A concentração inicial de sacarose é, obviamente, crucial à produção de bioetanol. Há relações positivas entre o fator condicionante, rendimento e qualidade de fermentação. O aumento de concentração inicial de sacarose implica, invariavelmente, prolongação de tempo de retenção hidráulica e oneração de custo de fermentação. Eventualmente, alterando-se, geometricamente, a massa de sacarose, de 85 para 156 g L⁻¹, inibe taxa de crescimento específico e produção de biomassa de leveduras, porém, intensifica produtividade de etanol de caldo de sorgo sacarino sob fermentação por *S. cerevisiae*, à temperatura de 30 °C. À fermentação sustentável, recomendam-se concentrações que não excedam a capacidade específica de absorção de substrato de células microbianas, mantendo-as estáveis e funcionais (JIN; LIU; HE, 2012; PÉREZ-CARRILLO *et al.*, 2011; ZABED *et al.*, 2014).

Concentração de inóculo

A concentração de inóculo influencia consumo de açúcares e produtividade de etanol. Aparentemente, incrementando-se concentração, de 1 × 10⁴ para 1 × 10⁷ células mL⁻¹, otimiza rendimento de álcool e economiza retenção hidráulica, devido a melhorias em variáveis de crescimento microbiano, principalmente, velocidade e capacidade de conversão de substrato. Superconcentrações, normalmente, limitantes à fermentação, são, circunstancialmente, possíveis, desde que metabolismo microbiano, condições de meio e engenharia de biorreator sejam incapazes de suportar eventuais competições intraespecíficas por espaço e elementos nutritivos (ZABED *et al.*, 2014).

pH

O pH, variável físico-química, determina disponibilidade de nutrientes, crescimento de leveduras, predisposição de meio à contaminação microbiana, eficiência de fermentação e geração de subprodutos; portanto, constitui elemento crucial ao rendimento e qualidade de etanol. O transporte de minerais pela membrana celular de levedura depende de

concentração de íons de H⁺ disponíveis em substrato. Faixa de pH de 2,75 a 4,25 é crítica à taxa de sobrevivência de células. *S. cerevisiae*, especificamente, desempenha, otimamente, em meios, cujos valores de pH oscilem de 4 a 5; extremos a tornam ineficientes, prolongam tempo de retenção hidráulica, restringem produtividade e depreciam qualidade de etanol (FLEET, 1993; STANISZEWSKI; KUJAWSKI; LEWANDOWSKA, 2007; ZABED *et al.*, 2014).

Temperatura

A temperatura determina, basicamente, crescimento e eficiência fermentativa de leveduras por interferências em turgescência de membrana celular e atividade enzimática. Altas temperaturas, normalmente, desfavorecem fermentação por perturbações em funções de membrana e sistema de transporte de metabólitos tóxicos. Todavia, há cepas de *S. cerevisiae* que desempenham, otimamente, em termofilia, importante à redução de período de exposição à contaminação bacteriana. Baixas temperaturas retardam atividades de metabolismo microbiano; entretanto, garantem viabilidade de células ao final do processo fermentativo. Genericamente, temperaturas entre 25 a 30 °C permitem que leveduras transfiram calor de superfície de partículas a compartimentos celulares, sem que haja, sequer, comprometimento de produtividade volumétrica de bioetanol (CHAROENCHAI; FLEET; HENSCHKE, 1998; ORTIZ-MUÑIZ *et al.*, 2010; PARK *et al.*, 2014).

Diluição e agitação de meio

A diluição é o processo de adição de água ao meio. O objetivo é adequar a concentração de açúcar, para que microrganismos desempenhem, satisfatoriamente, poupando-os de desnecessária pressão osmótica. Embora benéfica, diluição prolonga, todavia, tempo de retenção hidráulica, devido à redução de disponibilidade de carboidratos, e promove formação de subprodutos, eventualmente, nocivos a células microbianas e oxidativos à engenharia de biorreator. Drástica diluição seria, portanto, indesejável. A taxa de agitação, variável que regula, fundamentalmente, fluxo de nutrientes, difusão de energia térmica e liberação de metabólitos microbianos ao substrato, é preponderante à produtividade e qualidade de etanol, e controle de inibição de células de levedura por agentes contaminantes. Faixa de agitação de 150 a 200 rpm reflete rendimento de álcool de, aproximadamente, 85,70 %; excessos limitam atividade metabólica (MOHD AZHAR *et al.*, 2017; SHEN; LIU, 2009; ZABED *et al.*, 2014).

Destilação e desidratação

Destilação e desidratação são, sugestivamente, processos de separação de fases e remoção de água de mosto, respectivamente, pretendendo-se concentrá-lo em etanol. Normalmente, desidrata-se o material, até que este atinja teor alcoólico equivalente a 95 % v v⁻¹, pré-requisito à produção de álcool etílico 99,6 % v v⁻¹. A vinhaça, resíduo pastoso de destilação, oferece interessante conteúdo de sólidos para compostagem e fertirrigação de lavoura.

Bioetanol de grãos

O processamento de grãos de sorgo sacarino para produção de bioetanol é semelhante ao aplicado à cultura de milho: genericamente, leva-se, tritura-se, liquefaz-se e sacarifica-se o material, para obtenção de glicose, substrato às etapas posteriores de fermentação, destilação e desidratação; o principal subproduto é a massa de grãos secos destilados, extremamente, atrativa à formulação de ração animal de qualidade nutritiva superior (Figura 6) (Serna-Saldivar, 2010).

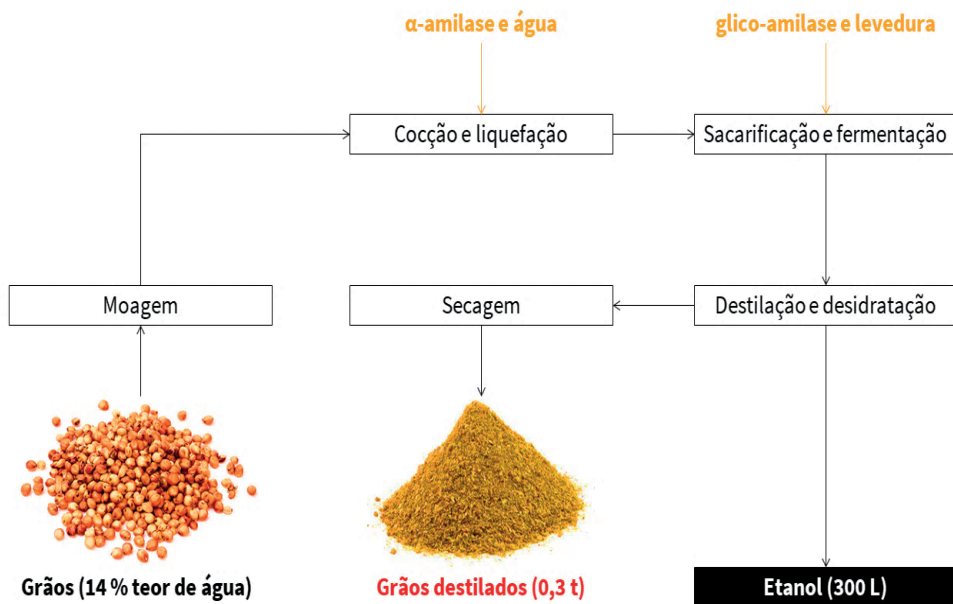


Figura 6. Produção de bioetanol de grãos de sorgo sacarino

Adaptado de Ballesteros *et al.*, 2002, Kurian *et al.*, 2010, Quintero *et al.*, 2008, Sipos *et al.*, 2009 e Yu, Xuzhang e Tan, 2008.

Bioetanol de bagaço e, ou, palha

O bagaço, material fibroso intransigente, proveniente de extração de caldo de caule de sorgo sacarino por moagem, ou difusão, contém, majoritariamente, lignocelulose. Desintegrá-lo, pretendendo-se separação de holocelulose de lignina, para produção de etanol de segunda geração, é, tecnicamente, desafiador e consome energia elétrica, dispendiosamente. O sucesso de desconstrução de matéria-prima integral em pentoses e hexoses fermentescíveis é função de propriedades físico-químicas de biomassa, método de pré-tratamento, sistema enzimático e condições operacionais e engenharia de biorreator. Pré-tratamento, hidrólise e fermentação são, assertivamente, etapas decisivas à produtividade e qualidade de etanol celulósico. Tradicionalmente, conduzem-nos, separadamente; entretanto, há reatores que permitem conjugá-los, qualificando-se, portanto, como estratégias de economia de custos operacionais (Figuras 7 e 8) (BALLESTEROS *et al.*, 2002; KURIAN *et al.*, 2010; QUINTERO *et al.*, 2008; SIPOS *et al.*, 2009).

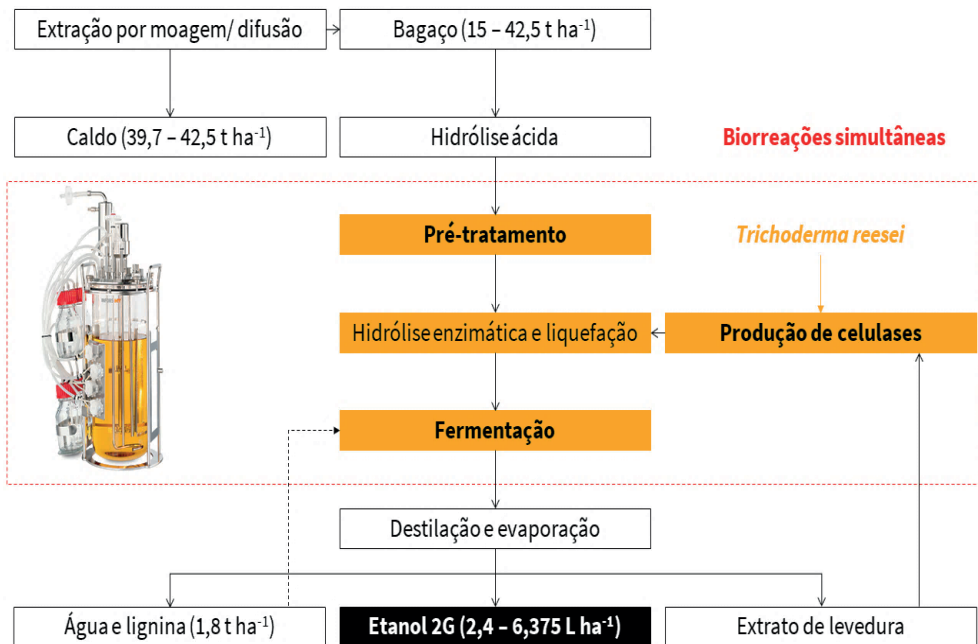


Figura 7. Produção alternativa de etanol celulósico de sorgo sacarino por conjugação de processos de pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação

Adaptado de Ballesteros *et al.*, 2002; Sipos *et al.*, 2009; Yu; Zhang; Tan, 2009; Kundiyana *et al.*, 2010; Kurian *et al.*, 2010.

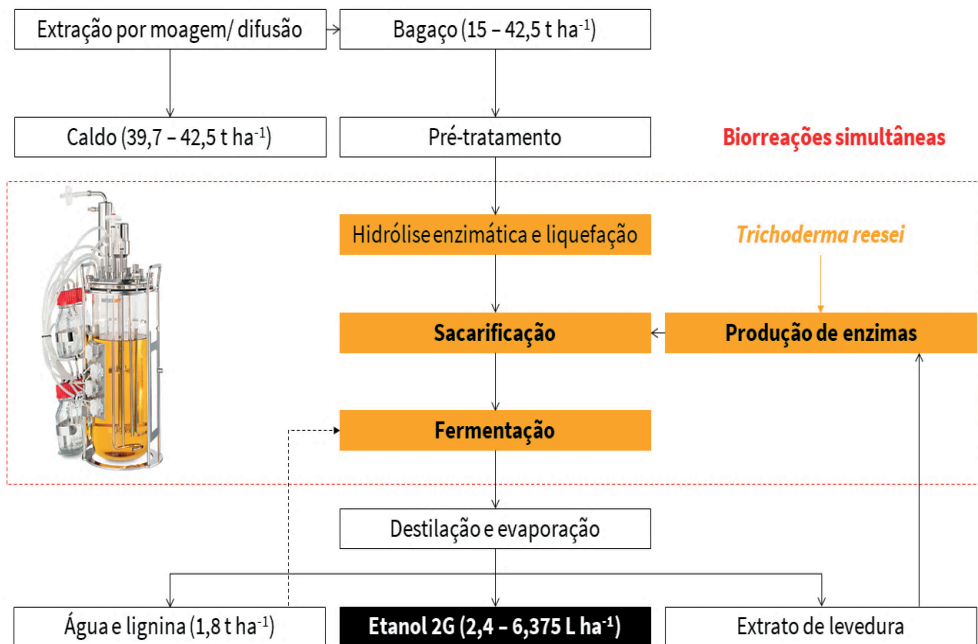


Figura 8. Produção alternativa de etanol celulósico de sorgo sacarino por conjugação de processos de pré-tratamento, hidrólise enzimática e fermentação

Sipos *et al.*, 2009; Kurian *et al.*, 2010; Serna-Saldivar, 2010; Hong-Zhang e Zhi-Hua, 2015.

Pré-tratamento

O pré-tratamento preconiza, fundamentalmente, separação de holocelulose de lignina, tornando-a acessível à hidrólise enzimática. Biológica, física e química são classes técnicas. Hidrólise enzimática e extrusão são métodos biológico e físico, respectivamente, enquanto, hidrólise ácida, álcali, ozônio, líquidos iônicos e solventes orgânicos, químicos; e explosão a vapor e amoniacal, solvólise e termo-hidrólise, físico-químicos.

Métodos

Explosão a vapor

Pretendendo-se otimização de sacarificação enzimática, impregna-se bagaço com irrisório volume de dióxido de enxofre, após reidratação. Subsequentemente, introduz-se o material em reator e injeta-se vapor saturado a 170 a 210 °C, mantendo-o sob condição térmica ótima ao rompimento de fibras. Finalmente, transfere-se o hidrolisado a ciclone, equipamento que separa fases sólidas e líquidas por força centrífuga. Ballesteros *et al.* (2002) e Hong-Zhang e Zhi-Hua (2015), autores das pesquisas científicas de hidrólise enzimática e tecnologia de refino de biomassa vegetal, respectivamente, reportaram: explosão a vapor, isenta de SO₂, extraiu 89 a 92 % de celulose, 18 g de glicose, 23 g de xilose e 5,5 g de hidrolisado de arabinose. McIntosh e Vancov (2010) afirmaram, incisivamente:

explosão a vapor, à pressão de 0,25 t h⁻¹ e temperatura 160 °C, por 5 minutos, superou, tecnicamente, hidrólise ácida diluída, à 1 % m v⁻¹ e 180 °C, por 10 minutos; cal, 1,5 % m v⁻¹ e 121 °C, por 60 minutos; e líquidos iônicos, representados por solução de 5 g de bagaço e 45 g de cloro, à 110 °C e 120 rpm, por 60 minutos, em termos de eficiência de desconstrução fração fibrosa de sorgo sacarino; o método físico-químico, extremamente, efetivo à redução de disponibilidade de xilose em resíduo fibroso, rendeu concentração de glicose de 25 g L⁻¹.

Hidrólise ácida

Habitual ao pré-tratamento de fibras, a hidrólise ácida produz considerável massa de açúcares hemicelulósicos. Os ácidos, sulfúrico, clorídrico, hidrofluorídrico, acético e fosfórico, são, comumente, aplicados à tecnologia. À hidrólise, imerge-se bagaço em solução ácida diluída a 0,1 a 10 % m v⁻¹. Concluída a autoclavagem, trata-se o hidrolisado, rico em celulose e lignina, enzimaticamente, para intensificação de rendimento de açúcares fermentescíveis (TELLEZ-LUIS; RAMÍREZ; VÁZQUES, 2002). Ban *et al.* (2008) reportaram: o emprego de ácido fosfórico a 0,8 % m m⁻¹ à hidrólise de bagaço de sorgo sacarino, conduzida à 120 °C, por 80 minutos, rendeu, aproximadamente, 300 g kg⁻¹ de açúcares hemicelulósicos. Contextualmente, Kurian *et al.* (2010) reportaram: o pré-tratamento de bagaço de sorgo sacarino por ácido sulfúrico a 0,5 % m m⁻¹, à temperatura de 140 °C, por 30 minutos, ininterruptamente, produziu extrato como 92 g L⁻¹ de açúcares totais. Previsivelmente, natureza e concentração de reagente, temperatura e tempo de retenção de material lignocelulósico são fatores que condicionam eficiência técnica de hidrólise ácida.

Hidrólise alcalina

O intenso pré-tratamento alcalino desconecta carboidratos estruturais, principalmente, lignina e xiloses, pelo rompimento de ligações ésteres. Hidróxidos de cálcio e sódio, e amônia são substâncias comuns à hidrólise alcalina, vantajosa, em relação à economia de energia elétrica, pois, opera a baixas temperaturas e pressões, e requer menos tempo de retenção hidráulica McIntosh; Vancov (2010). A pesquisa de hidrólise enzimática de celulose, realizada por Lin *et al.* (2011), reportou: empregadas ao pré-tratamento de bagaço de sorgo sacarino, soluções de hidróxidos de cálcio a 1,7 % m v⁻¹ e sódio a 2 % m v⁻¹, em biorreator de 15 mL, à temperatura de 100 °C, por 2,4 horas, converteram, aproximadamente, 85,5 e 93 % da biomassa e reduziram 35,5 e 50 % do total de lignina, respectivamente; natureza e concentração de substância, e carga de material fibroso determinaram eficiência técnica, discutiram os autores.

Hidrólise enzimática

A hidrólise enzimática, conceituada pela ação de proteínas funcionais que utilizam água à quebra de ligações moleculares, converte pectina, celulose e hemiceluloses em açúcares solúveis. As espécies bacterinas e fúngicas filamentosas, *Trichoderma reesei*, *Fusarium oxysporum*, *Neurospora crassa*, *S. cerevisiae*, *Fungus Mucor hiemalis*, *Zymomonas mobilis*, *Klebsiella oxytoca*, *Corynebacterium glutamicum* e *Escherichia coli*, são excelentes

fontes de exo e endoglucanases, pectinases, celulases e hemicelulases, enzimas hidrolíticas eficazes à desconstrução de fibras em glicose, sacarificação e fermentação. Industrialmente, é possível aplicá-la, anterior e posteriormente, ao pré-tratamento químico, físico ou mecânico. Os benefícios de hidrólise enzimática são, fundamentalmente: possibilidade de fermentação de fração líquida, rica em xilose, convertendo-a em etanol; utilização de fase sólida como substrato para produção de celulases; e reciclagem de resíduos em bio-produtos de valor agregado. Circunstancialmente, convertem-se 90 % do total de celulose em açúcares monoméricos e liberam-se 235 g kg⁻¹ de xilose de palha de sorgo, hidrolisado, enzimaticamente (GNANSOUNOU; DAURIAT; WYMAN, 2005; LIN *et al.*, 2011; MCINTOSH; VANCOV, 2010; REDDY; YANG, 2005; ROONEY *et al.*, 2007; SIPOS *et al.*, 2009).

Sacarificação e fermentação

Subprodutos de hidrólise (bio)química de açúcares hemicelulósicos, furfural e os ácidos, acético e 5-hidroximetilfurfural, são potenciais inibidores de estirpes bacterianas osmotolerantes e leveduras, inabilitando-as, assim, à produção sustentável de bioetanol de segunda geração. O ajuste de pH de pré-tratamento alcalino ou ácido diluído é, advertidamente, importante para precipitá-los, inibindo-os, e, portanto, garantir eficiência à sacarificação e fermentação alcoólica. Hidrolisado de fibras de sorgo sacarino contém ótimas concentrações de pentoses e hexoses. Fermentá-lo, a fim de converter açúcares em álcool, é, inquestionavelmente, perspicaz e lucrativo. Ballesteros *et al.* (2002) e Kurian *et al.* (2010) reportaram, colaborativamente: fermentação de hidrolisados por *Kluyveromyces marxianus* e *Pichia stipitis* renderam 16,2 e 38,7 g L⁻¹ de etanol, respectivamente.

Rendimentos de bioetanol de caldo e bagaço

O rendimento de bioetanol é, essencialmente, função de manejo de cultivo, condições edafoclimáticas, tipo e propriedades físico-químicas de matéria-prima, e rota tecnológica de bioconversão. A cultura de sorgo sacarino produz 50 a 120 t ha⁻¹ de biomassa de caules, que produzem, aproximadamente, 70 e 30 % de caldo e bagaço, respectivamente. Os resultados de produtividade de bioetanol de caldo e bagaço, considerando-se eficiência de fermentação de 60 a 95 %, são, respectivamente: 3.000 a 5.220 e 6.375 a 10.000 L ha⁻¹, competitivos ao de grãos de milho, 5100 a 8625 L ha⁻¹ (Prasad *et al.*, 2007; Almodares e Hadi, 2009; Wu *et al.*, 2010; Kim e Day, 2011).

Desafios de produção de bioetanol

A tecnologia de produção de bioetanol de sorgo sacarino progride, geometricamente. Todavia, há necessidade de melhorá-la, a fim de popularizá-la a agricultores e empresários. São inúmeros os desafios, destacando-se, assertivamente: sazonalidade de safra, limitado período de colheita mecanizada, exigência de mão-de-obra, possibilidade de regressão de teor de açúcares hemicelulósicos em biomassa sob atraso de moagem e gerenciamento de logística (REDDY; RAVINDER REDDY; KUMAR, 2012b).

Incerteza à sustentabilidade econômica de transporte, a gradativa transição de lavouras comerciais, de ambientes propícios ao crescimento e desenvolvimento de cultura para zonas marginais, hostilizadas por agentes estressantes abióticos e bióticos, principalmente, seca, calor, salinidade e incidência de pragas sob densidades populacionais críticas, é preocupante ao planejamento de operações de semeadura e colheita, elemento central ao rendimento de biomassa e carboidratos fermentescíveis para abastecimento industrial; tombamento por incidência de fenômenos naturais e degradação de qualidade tecnológica de caldo, questões que impactam, negativamente, regularidade de oferta de matéria-prima à usina, requerem especial atenção. Demandas de setor a programas de melhoramento genético, genótipos de maturação fisiológica precoce, média e tardia, tolerantes a estresses edafoclimáticos, seriam opções ao escalonamento de semeadura, ampliação de período de colheita e, portanto, fornecimento contínuo de matéria-prima a biorrefinarias e destilarias (REDDY; YANG, 2005).

A fermentação alcoólica é susceptível à contaminação por bactérias e leveduras selvagens, que competem com cepas industriais por espaço físico e recursos de sobrevivência de meio. Sucessiva reciclagem de células e esterilização de mosto favorecem ocorrência de contaminantes em fermentadores, tornando-os impróprios à produção sustentável de bioetanol. *Lactobacillus sp.* e *Bacillus sp.*, gêneros bacterianos gram-positivos, são frequentes em processos fermentativos. Ocasionalmente, registra-se perda de etanol por contaminação equivalente a 10 %, em destilaria com capacidade de processamento diário de caldo de sorgo sacarino de 1.000.000 L. Termotratamento e biocidas químicos controlam contaminantes, eficientemente, sem, sequer, afetar células de levedura. Microrganismos geneticamente modificados complementariam, oportunamente, a lista de estratégias (AMORIM; BASSO; LOPES, 2009; AMORIM *et al.*, 2011; LUCENA *et al.*, 2010).

Existentes, pesquisas científicas de citotoxicidade, potencial inflamatório e histopatologias de biocombustíveis de produtos e subprodutos de sorgo sacarino são, todavia, controversos e inconclusivas. A toxicidade geral de bioetanol e emissões é variável, e depende de matéria-prima, condições operacionais de bioprocessamento, finalidade econômica *etc.* Desenvolvimento e implementação de biocombustíveis inócuos ao meio ambiente e saúde pública, protegendo-os de efeitos deletérios, agudos, ou crônicos, seriam, portanto, perspectivas (RUTZ; JANSSEN; KHAWAJA, 2014).

Tecnologias para otimização de produtividade e qualidade

Granulagem, decorticação, floculação a vapor e extrusão de fluido supercrítico são alternativas à remoção de barreiras físicas e, ou, mecânicas que impedem o acesso de enzimas hidrolíticas à holocelulose, proporcionando-lhes, então, condições dignas à decomposição de padrões organizacionais fibrosos em sacarose e, ou, glicose, substratos de (co)fermentação alcoólica por estirpes bacterianas e, ou, fungos filamentosos, principalmente, leveduras. Maltagem, reatores metálicos exóticos, enzimas exógenas, tolerância a inibidores de hidrolisados, sacarificação avançada e fermentação por supergravidade complementariam, ocasionalmente, a lista de tecnologias.

Granulagem

O tamanho de partícula é importantíssimo ao processo de bioconversão de amido em etanol. Adequá-lo, aplicando-se granulagem, seria, portanto, perpicaz à oferta de superfície de contato ótima ao desempenho de microrganismos hidrolíticos e, ou, fermentativos. Granulometrias grosseiras limitam eficiência de fermentação, devido à incompatibilidade de área superficial e investimento de energia metabólica para degradá-las e acessá-las, efetivamente (MAHASUKHONTHACHAT; SOPADE; GIDLEY, 2010; WANG *et al.*, 2008).

Decorticação

Praticada, comercialmente, por moinhos em batelada, a decorticação, é utilíssima à remoção de pericarpo, aleurona e endosperma periférico, tecidos de baixa digestibilidade que representam 10 a 30 % do total de massa de grão. Separam-se grãos decorticados de farelo por aspiração de ar, ou peneiramento, classificando-os e moendo-os, posteriormente, para remoção de fibra, lipídeos e compostos fenólicos, impurezas à concentração de amido. O processo possui ótima relação custo/benefício (ALVAREZ; PÉREZ-CARRILLO; SERNA-SALDÍVAR, 2010).

Floculação a vapor

O floco de vapor é, amplamente, aplicado a confinamentos. Em relação ao processamento de produtos de sorgo sacarino, emprega-se floculação a vapor ao rompimento de endosperma: Ajuste de teor de água de grão e adição de lecitina, surfactante natural, asseguram formação de flocos integrais e minimizam perdas. O método retorna satisfatório rendimento produtivo de bioetanol, pois, otimiza fermentação de amido pré-gelatinizado (CHUCK-HERNANDEZ; PEREZ-CARRILLO; SERNA-SALDIVAR, 2009).

Extrusão de fluido supercrítico

A extrusão, tecnologia termoplástica econômica, caracterizada por constância de força de cisalhamento, é habitual ao processamento industrial de culturas cerealíferas. Estruturação proteica e melhoria de densidade molecular e digestibilidade de amido, redução de viscosidade de substrato de fermentação e otimização de açúcares livres e dextrinas são vantagens de extrusão, aplicável à bioconversão de grãos de sorgo sacarino em etanol. Alternativa à convencionalidade, a extrusão de fluido supercrítico substitui água, agente de expansão, por de dióxido de carbono. Indistinguível, em relação aos estados, líquido e gasoso, o dióxido de carbono supercrítico é, efusivamente, efetivo à ruptura de ligações entre matriz proteica e grânulos de amido, desconectando-os, eficazmente; a melhoria de disponibilidade de substrato traduz intensificação de produtividade e qualidade de bioetanol (ZHAN *et al.*, 2006).

Maltagem

A maltagem, processo de indução de germinação de grãos por umedecimento, economiza tempo de fermentação e incrementa rendimento produtivo de etanol, devido à ação de enzimas que hidrolisam proteínas e amido (YAN *et al.*, 2010).

Reatores metálicos exóticos

Reatores metálicos exóticos alternativas ao manejo de corrosividade e toxicidade de subprodutos de pré-tratamento ácido de biomassa. Compatível a tecnologia, o ácido fosfórico, particularmente, além proporcionar razoável rendimento de etanol, 27 % m m⁻¹, elimina necessidade de separação de fibra e desintoxicação, operações que oneram custo total de produção. Cepas de *E. coli* adaptadas a hidrolisados de ácido fosfórico biotransformam, tranquilamente, açúcares hemicelulósicos em álcool por sacarificação e co-fermentação, processos que ocorrem em único recipiente, simultaneamente. Reatores metálicos exóticos, inoxidáveis, permitem, inclusive, seguramente: pré-tratamento de matérias-primas recalcitrantes por aplicação de sulfito e impregnação de dióxido de enxofre, compostos, extremamente, nocivos ao meio ambiente e saúde humana. Segundo Tian *et al.*, 2010), sulfito aumentou, significativamente, produção de açúcar de madeira macia, de 57 para 88 %, comparado ao ácido sulfúrico, devido ao eficiente controle de inibidores de hidrolisados de *S. cerevisiae*.

Enzimas exógenas

O rendimento produtivo de bioetanol é dependente de digestibilidade de proteínas estruturais, que, associadas à lignina, dificultam o acesso de enzimas à holocelulose. Há antagonismo de reticulação ligno-proteica à solubilidade de matéria-prima, potencial indicador de qualidade em biorrefinarias de sorgo sacarino. A aplicação exógena de proteases, isolada, ou integrada à decorticação de grãos, anteriormente, à liquefação e gelatinização, otimiza hidrólise enzimática de amido por α -amilase, produtividade de álcool etílico e economia de energia elétrica, pois, reduz tempo de retenção hidráulica de fermentação, comparado a rotas tecnológicas convencionais (ALVAREZ; PÉREZ-CARRILLO; SERNA-SALDÍVAR, 2010; PÉREZ-CARRILLO *et al.*, 2008; WU *et al.*, 2007).

Desenvolvimento de tolerância a inibidores de hidrolisados

Furfural e 5-hidrometilfurfural de desidratação de açúcares hemicelulósicos, acetato e produtos solúveis de lignina são os principais inibidores de hidrolisados de pré-tratamento ácido diluído. Há microrganismo capazes de decompô-los a álcoois atóxicos, genuinamente. todavia, enzimas nativas são, tecnicamente, inconstantes. O silenciamento de oxidoredutases, trans-hidrogenases e enzimas dependentes de NADH permite que cepas de *E. coli* etanologênica e *Z. mobilis* tolerem furanos (MILLER *et al.*, 2009; TURNER *et al.*, 2011).

Sacarificação avançada

Melhoria de desempenho microbiano; economia de custos de produção de enzimas exógenas, controle de desintoxicação de hidrolisados e titulação de etanol; redução de consumo de água; simplificação e consolidação de bioprocessamento são os principais objetivos de sacarificação avançada. Pesquisas científicas focam, portanto: melhoramento genético de celulasas; desenvolvimento de biocatalisadores hábeis à fermentação simultânea de pentoses e hexoses, como cepas recombinantes de *B. coagulans* e *S. cerevisiae*; e aplicação de cloreto de cetilpiridínio, brometo de cetril-trimetilamônio,

Ca⁺² e Mg⁺², surfactantes que facilitam bioconversão de amido em açúcares simples; há, interessantemente, substâncias que potencializam eficiência de sacarificação em, aproximadamente, 35 % (HEMME *et al.*, 2010; MAKI; LEUNG; QIN, 2009; PEREIRA *et al.*, 2011; TU *et al.*, 2009; WEN; SUN; ZHAO, 2010).

Fermentação por supergravidade

Avanço crítico em tecnologia de fermentações, a supergravidade relativiza alta densidade de células e hidrolisados lignocelulósicos à produção econômica de etanol em escala mecânica. O método promove melhorias em eficiência biológica de microrganismos fermentativos, titulação e controle de contaminantes, e redução de custos operacionais pela readequação de volume de mosto e otimização de dimensões de biorreator. Necessidade de leveduras de alto rendimento, tolerantes a tensões osmóticas, térmicas e hidrodinâmicas, e ciclos de fermentação recirculativa é, todavia, desvantagem; a técnica de mutação por irradiação ultravioleta é capaz de atendê-los, perfeitamente. A osmotolerância é função de genótipo, concentração inicial de carboidratos, temperatura e pressão de fluidos. Normalmente, microrganismos filamentosos fermentativos osmotolerantes toleram concentrações de álcool inferiores a 16,5 % v v⁻¹. Há, todavia, possibilidade de obtenção de produtos de alto teor alcoólico, desde que, implementem-se oxigenação e suplementação nitrogenadas, estratégias compensativas. Complementarmente, em relação a substrato, concentrações de açúcares solúveis superiores a 15 a 20 % m v⁻¹ inibem, completamente, fermentação de caldo sob condição de supergravidade. Entretanto, existem espécies fúngicas e bacterianas, como *S. cerevisiae*, *E. coli* e *Z. mobilis*, que toleram, impressionantemente, 40 % m v⁻¹, e desempenham, satisfatoriamente, a 20° Platão, com eficiência de conversão de 95 % e rendimento de etanol de 70 g L⁻¹. Triá-las, a fim de aplicá-las a processos industriais hostis, em termos de pressão osmótica, seria, portanto, útil à biorrefinaria de sorgo sacarino (ALVAREZ; PÉREZ-CARRILLO; SERNA-SALDÍVAR, 2010; BLIECK *et al.*, 2007; SUMARI; HOSEA; MAGINGO, [s.d.]; WU *et al.*, 2010).

Biotecnologia

Organismos geneticamente modificados

Interações entre genótipo, condições edafoclimáticas e práticas de manejo, determinantes à relação amido/proteína/taninos, qualidade de lignocelulose e expressão de enzimas decompositoras de carboidratos solúveis e insolúveis, e condições operacionais, principalmente, em relação a pré-tratamento e fermentação, condicionam produtividade e qualidade de etanol de caldo, grãos ou bagaço e, ou, palha. O melhoramento genético de cultura de sorgo sacarino e microrganismos fermentativos é estratégia para otimizá-los. Linhagens de sorgo sacarino de altos teores de lisina e proteínas digestíveis, competitivas à cultura de milho, são vantajosas ao biorrefino, pois, desenvolvem grânulos de amido sensíveis à sacarificação e, inclusive, ótimos à formulação de rações para animais ruminantes e monogástricos. Híbridos de alto rendimento de amido, tolerantes a agentes de estresse abióticos e bióticos, como seca, salinidade, calor, insetos-praga e fitopatógenos, são pretensões de programas de melhoramento genético ao mercado de biocombustíveis

de sorgo sacarino. Em relação a microrganismo, melhoram-se espécies de *Saccharomyces sp.*, *Zymomonas sp.* e *Escherichia sp.*, metabolicamente, para taxa de crescimento específico e multiplica celular, eficiência de fermentação, e tolerância a altas concentrações de açúcares, etanol e inibidores. Há mutantes de *S. cerevisiae* que produzem etanol em meios de concentração de glicose equivalente a 300 g L⁻¹, devido à superexpressão de gene codificador de aquagliceroporina, constituinte de membrana plasmáticas que determina tolerância a moléculas de álcool pelo controle efluxo de glicerol. Abordagens genômicas são, complementarmente, aplicadas à bioengenharia de adaptação de cepas ao furfural, 5-hidrometilfurfural e vanilina, inibidores de hidrolisados; encapsulamento e microencapsulamento, técnicas de imobilização celular que permitem fermentação por supergravidade; e auto-floculação ou floculação espontânea, características que facilita recuperação de células sedimentadas de meio de cultivo, reciclando-as à linha de produção; fusão de *S. cerevisiae* e *Schizosaccharomyces sp.* é caso de sucesso de desenvolvimento de materiais genéticos auto-floculantes (ANDRIETTA; STECKELBERG; ANDRIETTA, 2008; APPELS *et al.*, 2008, 2011; ARGUESO *et al.*, 2009; DOMINGUES *et al.*, 2000; HEER; SAUER, 2008; NEVOIGT, 2008; PURWADI; BRANDBERG; TAHERZADEH, 2007; ROGERS *et al.*, 2007; TEIXEIRA *et al.*, 2009; VERBELEN *et al.*, 2006; WANG *et al.*, 2008; WARD *et al.*, 2008; WEI; CHEN; CHEN, 2007; ZHAO; BAI, 2009).

Aspectos de sustentabilidade

A partir da Revolução Industrial, fato cataclísmico ao desenvolvimento socioeconômico-demográfico federativo, a demanda global de energia primária progride, vertiginosamente: urbanização e superpopulação, fenômenos correlatos, são inegociáveis agentes propulsores. Petróleo, gás natural e carvão mineral são, desde então, as principais fontes energéticas de origem fóssil empregadas à questionável produção de bens e serviços. Relevantíssimos à ordem de economias emancipadas e emergentes, derivados de indústria petroquímica são, todavia, axiomáticos à sustentabilidade do planeta Terra: crises de mercado internacional de petróleo afetam, irrevogavelmente, dinâmica de relações, acordos e transações comerciais; há, complementarmente, possibilidade de inflação de preços de combustíveis correlatos e alimentos, desvalorização de moedas, e repudiáveis conflitos de interesse, em relação à monopolização de reservas naturais georreferenciadas a regiões de instabilidade político-religiosa. O ritmo de exploração de petróleo é, abismalmente, superior à taxa de reposição natural. À extinção de jazidas, prospectam-se, otimistamente: cinquenta a sessenta anos. Matrizes energéticas dependentes de fontes insustentáveis estariam, contextualmente, fadadas ao insucesso. Diversificá-las, reestruturando-as, gradativamente, seria, portanto, emergencial. Em 2040, especificamente, ofertar-se-ão, aproximadamente, 105,7 quadrilhões de BTU, acrônimo de *British thermal unit*. Em 2050, recursos sustentáveis, incluindo-se biomassa vegetal, consolidar-se-ão, finalmente, à produção mundial de bicombustíveis sólidos, líquidos e gasosos, estima, entusiasmadamente, a Agência Internacional de Energia. Atóxico e biodegradável, o bioetanol é alternativa renovável à resolução de crise energética mundial e minimização de emissões de hidrocarbonetos octânicos, especialmente, aromáticos policíclico e éter metil-ter-butílico, derivados de combustão imparcial de matéria orgânica, extremamente, nocivos à natureza e saúde pública (BAJWA *et al.*, 2018; CANCELA *et al.*,

2019; FERNANDEZ-ANEZ *et al.*, 2018; GARCIA *et al.*, 2019; GLUSHKOV *et al.*, 2019; IFTIKHAR *et al.*, 2019; SAQIB; BAROUTIAN; SARMAH, 2018).

Meio ambiente e sociedade

A sustentabilidade ambiental preconiza manutenção de ecossistemas funcionais a gerações futuras. A natureza é protagonista e deve ser considerada ao planejamento, implementação e monitoramento de cadeias de suprimento de biocombustíveis, avaliadas pelo balanço energético. Emissões de gases de efeito estufa, degradantes a recursos naturais e saúde pública, são elemento-chave de balanço energético. Preconizam-se, portanto, biocombustíveis capazes de mitigar descarga de particulados nocivos à atmosfera. A Lei de Independência e Segurança Energética regulamenta o Padrão de Combustíveis Renováveis, programa federal estadunidense que prediz 136,3 bilhões de litros de biocombustíveis atóxicos para 2022. O pré-requisito volumétrico agregado inclui: 60,6 bilhões de litros de biocombustíveis celulósicos, cujo ciclo de emissões de gases de efeito estufa é 60 % daquele relativo à gasolina. Nos Estados Unidos, particularmente, a indústria de bioetanol utiliza, majoritariamente, grãos de milho para produzi-lo. Todavia, há alternativas, técnica e economicamente, viáveis, destacando-se: palhas de arroz, cana-de-açúcar e trigo, e recursos florestais. Há possibilidade de redução de 60 a 94 % de emissões de gases de efeito estufa, desde que, combustíveis fósseis sejam substituídos por biocombustíveis (HIGHINA; BUGAJE, 2014; HOLMA *et al.*, 2013).

Os balanços energéticos líquidos de culturas de sorgo sacarino, granífero e milho são, respectivamente: 3,63; 1,50 e 1,53. O cultivo de sorgo sacarino economizaria, aproximadamente, 22 kg de equivalentes de CO₂. Em Moçambique, África do Sul, há registro de poupança total de 1203,5 a 1515,9 eq CO₂ t⁻¹ de energia elétrica de processamento industrial de sorgo sacarino. Produção e combustão de recursos energéticos de sorgo sacarino restringem 50 % do potencial de aquecimento global. Complementarmente, há possibilidade de redução de esgotamento de jazidas naturais de petróleo, eutrofização e ecotoxicidade. Embora o sorgo retorne menos bioetanol por unidade de substrato, comparado à cultura de cana-de-açúcar, inferioridade de custos de produção e exigências de água e fertilizantes minerais é compensativa, econômica, ambiental e socialmente (DEMIRBAS, 2008; FARRELL *et al.*, 2006; LUO; VAN DER VOET; HUPPES, 2010; THOMSEN, 2005).

Economia

A produção global de bioetanol progrediu, exponencialmente, de 13.123 para 27.023 galões, em período de 2007 a 2016. Macroeconomicamente, EUA, Brasil e União Europeia, referências em programas de promoção de biocombustíveis, são os principais produtores mundiais de bioetanol. A sustentabilidade econômica é essencial à identificação de estratégias que garantam regularidade de oferta a longo prazo, acessibilidade de preços de comercialização e racionalidade de uso de bioetanol (BALAT; BALAT, 2009; DEMIRBAS, 2007, 2008; HAMELINCK; HOOIJDONK; FAAIJ, 2005).

Política e comércio

Políticas socioeconômicas de produção, acordos e transações intra e intercontinentais e popularização de consumo de biocombustíveis são elementos-chave ao fortalecimento de cadeia de suprimento de bioetanol. A participação de bioetanol em comércio global de recursos energéticos renováveis e sustentáveis, impulsionado, principalmente, pelos EUA, Brasil, China e Índia, é, relativamente, representativa: em 2002, registram-se, oficialmente, 8 %, que progrediram para 20 %, em 2016.

EUA

A demanda de biocombustíveis pelo setor de transportes estadunidense é, relativamente, inexpressiva. O programa federal, Padrão Combustível Renovável, estabelecido pela Lei de Política Energética, não prevê obrigatoriedade legal à produção de bioetanol. A indústria de bioetanol de grãos de cultura de milho é, inclusive, articulação governamental ao reaproveitamento de excedente de setores correlatos, valorizando-o, comercialmente, ao invés de descartá-lo, negligentemente, à natureza, degradando-a, irre recuperavelmente. O Padrão Combustível Renovável, supervisionado pela Agência de Proteção Ambiental, entidade regulatória de créditos de negociação e capacidade de renúncia, pretende ofertar 36 bilhões de galões de biocombustíveis renováveis, em 2022 (Bramcourt, 2016).

Brasil

O consumo anual doméstico de bioetanol é, aproximadamente, 4 bilhões de galões. Adicionalmente, exportações brasileiras de biocombustíveis representam, aproximadamente, 45 % do comércio global. Embora haja subsídios regionais à equilíbrio de custos de produção, armazenamento e transporte, em 2015, especificamente, momento de retração econômica, inexistiu apoio financeiro pelo governo federal. Entretanto, incentivos fiscais garantiram que a alíquota de tributação de veículos *flex* fosse inferior, comparada àquela de automóveis a gasolina. Políticas incentivam adição de etanol à gasolina, a fim de popularizá-lo ao mercado consumidor: aproximadamente, 60 % dos carros são propelidos por mistura de 24 % de etanol e 76 % de gasolina, cuja volatilidade de preços influencia oferta e demanda de biocombustíveis.

União Europeia

Diretrizes do Plano Europeu sobre Mudanças Climáticas exigem: em 2020, 20 % do consumo energético global deverá ser renovável. A Diretiva de Energia Renovável, conjunto de medidas estabelecidas pelos EUA e União Europeia, preconiza, complementarmente: valorização de biocombustíveis líquidos, mitigação de emissões de gases de efeito estufa e gestão de bens e serviços sociais, ambientais e econômicos. A Comissão Europeia estabeleceu, em 2015, corte de 7 % em produção de biocombustíveis de primeira geração, dilemáticos à produção de alimentos. A fim de atender meta continental de 5 %, prospectada para 2017, Estados-membro deveriam, portanto, desenvolver e implementar tecnologias de segunda e terceira gerações, como etanol celulósico e biodiesel microalgal. Os principais importadores de bioetanol são: Holanda, Alemanha e Reino Unido, nações

que protegem indústrias emergentes pelo estabelecimento de barreiras tributárias à comercialização internacional de biocombustíveis (BABCOCK, 2012).

China

O vertiginoso progresso de demanda energética impulsiona a expansão econômica chinesa. Globalmente, a República Popular da China é o segundo maior mercado de energia. A implementação de programas de biocombustíveis desfavoreceu continuidade de produção de biocombustíveis, tradicionalmente, obtidos por processamento industrial de grãos: concluído, em 2015, o 12º Plano Quinquenal pretendia produzir 4 milhões de toneladas de bioetanol. Há, inclusive, mandato para produzir 10 e 2 Mt de bioetanol e biodiesel de segunda e terceira gerações, em 2020, respectivamente. Complementarmente, há previsão de desenvolvimento de estratégias de misturas de fontes energéticas renováveis e exauríveis e monitoramento sistemático de emissões de gases de efeito estufa, principalmente, dióxido de carbono. Em 2030, a demanda doméstica de energia primária será 3819 Mtep, prospecta a Associação Internacional de Energia. A organização internacional prevê, complementarmente: A china será responsável por, aproximadamente, 30 % do aumento de utilização global de petróleo. Historicamente, a nação oriental costumava satisfazer necessidades energéticas por fontes internas; a partir de 2001, tornou-se, todavia, extremamente, dependente de recursos de importação. Em 2002, especificamente, a China estabeleceu programa de promoção de etanol. O setor, regulamentado e gerenciado, rigorosamente, expandiu-se, impressionantemente, graças à provisão de subsídios e incentivos fiscais pelo governo central, regulador de preços (AHMAD DAR *et al.*, 2018).

Índia

O governo indiano iniciou, em 2003, o Programa de Petróleo misturado ao Etanol, que, sugestivamente, incentiva comercialização de *blends* de gasolina e etanol, e biodiesel de óleos impróprios ao consumo e diesel mineral. Inexequível, a iniciativa de valorização e popularização de recursos sustentáveis prosseguiu até 2009, momento histórico de implementação de Política Nacional absoluta de Biocombustíveis, formulada pelo Ministério de Fontes Novas e Renováveis de Energia. Em 2009, regulamentou-se, inclusive, utilização de biocombustíveis em meios de transporte, almejando-se substituição de 20 % do total de combustíveis derivados de petróleo. Em 2017, a União deveria cumprir meta de 20 % de mistura, segundo o 12º Plano Quinquenal. O sucesso de mercado de biocombustíveis depende de acordos entre produtores e processadores de matérias-primas, intermediados pelas entidades governamentais regulatórias. Há, declaradamente, demanda pela cultura de sorgo sacarino (AHMAD DAR *et al.*, 2018).

Análise de viabilidade

Globalmente, dinâmica de oferta e demanda, capacidade de atuação como substrato alternativo e modelo de unidade industrial, centralizado ou descentralizado, são as principais áreas de análise de viabilidade econômica de fabricação de etanol de sorgo sacarino; VPL (valor presente líquido), TIR (taxa interna de retorno) e análise de

sensibilidade são estimativas que permitem defini-la. Considera-se o VPL, passível de modelagem estocástica por simulação Monte Carlo, à tomada de decisão de investimentos a longo prazo. A taxa interna de retorno representa desconto hipotético que, aplicado a fluxo de caixa, iguala valores de despesas e retornos de investimentos: TIR superior à taxa de juros caracteriza projeto viável. A análise de sensibilidade possibilidade avaliação de riscos, em relação ao cálculo de VPL e TIR. Custo de matéria-prima, rendimento de processo e valor de mercado de produto são, reconhecidamente, sensibílimos (BASAVARAJ *et al.*, 2013; BROWN; BROWN, 2013; TAHERZADEH; NIKLASSON, 2004).

Bennett e Anex (2009) aplicaram simulações Monte Carlo a opções de processamento de sorgo sacarino para produção de bioetanol. Os autores afirmaram: carboidratos fermentescíveis de sorgo, recém-colhido e processado, sazonalmente, superaram derivados de milho, em termos de competitividade de custos. Modelo probabilístico Monte Carlos comprovou 67 e 41 % de viabilidade econômica de conversão de etanol celulósica via hidrólise e pirólise, com VPL de 33 e 35 milhões de dólares, respectivamente, sem subsídio de governo estadunidense (MONGE *et al.*, 2014). Os autores consideram as seguintes variáveis estocásticas: rendimento de matéria-prima, hipoteticamente, colhida em raio de 30 milhas e transportada sob silagem para instalações de processamento, e preços de biocombustíveis e subprodutos. Gnansounou, Dauriat e Wyman (2005) sugeriram instalação de biorrefinaria flexível, para atender mercados de açúcar e etanol. Os autores calcularam VPL de 4,4 a 208,7 milhões de dólares e TIR de 8,3 a 14,8 % para os cenários de conversão: caldo em etanol, caldo e bagaço em etanol; caldo em açúcar; caldo em etanol e bagaço em etanol, e concluíram que era melhor utilizar bagaço para produção de etanol celulósico que cogeração de bioeletricidade.

Basavaraj *et al.* (2013) analisaram economia de processamento de sorgo sacarino para produção de etanol de primeira geração sob unidade centralizada. Os autores, fundamentados em preço administrativo de etanol de US\$ 0,43 L⁻¹, declarado pelo governo indiano, reportaram: preço de desembarque de matéria-prima de US\$ 19,35 t⁻¹ e taxa média de recuperação de produto de 45 L t⁻¹ de caule resultaram relação custo/benefício nula e valor presente líquido de projeto negativo, provavelmente, devido ao atraso de extração de sacarose, associado a entrega de matéria-prima por produtores e problemas técnicos de funcionamento de caldeiras e desfibradores, justificaram. A fim de superar deficiências de centralização, Basavaraj, Rao e Reddy (2013) propuseram unidade descentralizada, conceito que permite extração de caldo próximo ao ambiente de cultivo, transportado, posteriormente, à indústria de produção de etanol. Retorno bruto e custo total de produção de sorgo sacarino corresponderam a US\$ 155,96 ha⁻¹ e US\$ 399,72 ha⁻¹; o déficit líquido, equivalente a US\$ 243,75 ha⁻¹, deveu-se ao custo de produção de xarope, US\$ 0,41 kg⁻¹, superior àquele, normalmente, pago por destilarias, US\$ 0,16 kg⁻¹; otimização de armazenamento e bioconversão de xarope em álcool etílico representaram as principais vantagens do modelo, argumentaram os autores. Contextualmente, estudo de viabilidade técnico-econômica, realizado pelo Centro Nacional de Pesquisa em Sorgo, reportou: custo de produção de etanol de sorgo sacarino, US\$ 13,11 L⁻¹, é inferior, comparado ao de cana-de-açúcar, US\$ 14,98 L⁻¹; adaptabilidade fisiográfica a ambientes hostis, inexpressivos requerimentos de água e fertilizantes minerais sintéticos e curto ciclo comercial são fatores de economia.

Custos de produção agrícola

Custos de produção agrícola de sorgo sacarino incluem: locação territorial, aquisição de insumos, operações de preparo de solo por aração e gradagem, aplicação de fertilizantes e produtos fitossanitários, colheita e juros de empréstimos de bens e serviços gerais (Tabela 5). Práticas de manejo, tipo, estado de fertilidade de solo, variáveis climáticas, especialmente, precipitação pluviométrica e temperatura, são incertezas que influenciam custos (Monge *et al.*, 2014).

Item/operação	Custo (US\$ ha ⁻¹)		
	Variável	Fixo	Total
Maquinários de pré-colheita	6,68	7,33	14,01
Disco de grade de 17', trator de 105 HP	5,34 – 5,94	4,54 – 7,20	10,49 – 12,54
Cultivador de 21', trator de 105 HP	4,58 – 11,28	4,47 – 12,22	9,04 – 23,50
Semeadora de 8 linhas, trator de 105 HP	6,20 – 9,53	5,60 – 12,01	11,79 – 21,54
Pulverizador, trator de 75 HP	1,21 – 11,86	1,59	2,81 – 14,01
Aplicação de fertilizantes líquidos	6,68 – 11,12	7,33	11,12 – 11,86
Sementes, produtos químicos	37,07	-	37,07
Nitrogênio, nitrato de amônio	30,64 – 45,47	-	30,64 – 45,47
Fósforo (P ₂ O ₅)	54,86 – 74,13	-	54,86 – 74,13
Potássio (K ₂ O)	34,10 – 40,03	-	34,10 – 40,03
Atrazina	15,37	-	15,37
Dipel	21,05	-	21,05
Calcário	17,30	-	17,30
Aplicação de herbicida	79,07	-	79,07
Seguro de colheita	17,30	-	17,30
Pós-colheita	17,69 – 24,71	-	17,69 – 24,71
Diversidades	24,71	-	24,71
Implementos	-	-	35,76
Tratores	-	-	3,76
Capital	-	-	331,38
Aluguel de terra	-	244,63	244,63
Produção	275,40 – 398,66	337,10 – 349,35	634,74 – 735,76

Tabela 5. Custos de produção de sorgo sacarino

Adaptado de Taherzadeh e Niklasson, 2004, Bennet e Anex, 2009 e Linton *et al.*, 2011

Simulações Monte Carlos e análise de sensibilidade de produção agrícola de sorgo sacarino, conduzidas por Bennet e Anex (2009), estimaram custos líquidos de US\$ 6,9 a 24 t⁻¹ de biomassa, influenciados pelo cenário de colheita mecanizada. Liu *et al.* (2015) realizaram análise econômica de produção agrícola de sorgo sacarino para fins bioenergéticos em províncias chinesas. Os autores reportaram: o custo de produção, em Wudi, foi inferior, comparado à Wuyuan, devido a economias de 33, 16 e 14 % em mão-de-obra, máquinas e diesel, respectivamente; conseqüentemente, registrou-se relação

custo/benefício equivalente a 2,36. Em ambas as localidades, atividades de semeadura, desbaste, capina e colheita constituíram trabalhos manuais.

Custos de transporte

O trajeto de matéria-prima, do campo à unidade de processamento de bioetanol, define transporte. Biorrefinarias centralizadas são, extremamente, sensíveis a custos de transporte, determinados por carga e descarga, distância e capacidade volumétrica de meio, e propriedades físico-químicas de biomassa, principalmente, em relação à homogeneidade de partículas, teor de água e densidade aparente (CAFFREY; VEAL; CHINN, 2014). Bennet e Anex (2009), ao analisarem transporte de materiais para planta de capacidade anual de produção de 100 milhões de galões, estimaram custos de 39 e US\$ 71 t⁻¹ para ensilagem de 16 e 30 % de água, respectivamente. Linton *et al.* (2011), fundamentados em projeções orçamentárias, que estimam custos, receitas e rentabilidade de projeto agrícola, e rendimento experimental, reportaram: transportes de sorgo sacarino e cana-de-açúcar, de fazenda ao pátio industrial, distanciados a 64,37 km, custou 0,226 e US\$ 1,100 t⁻¹ km⁻¹, respectivamente; os autores reportaram, complementarmente: houve relação direta entre teor de umidade de matéria-prima e custo de transporte.

Custos de moagem

O objetivo de moagem de grãos é fragmentá-los, mecanicamente, condicionando-os, então, à sacarificação por hidrólise enzimática e fermentação. Bennet e Anex (2009) estimaram capital de US\$ 27 milhões para equipamento de moagem de capacidade de produção diária de etanol de 182 milhões de litros; o custo total de instalação e manutenção de caldeira de 6860 kW, destinada à combustão de combustível sólido de teor de água de 50 %, equivaleu-se a US\$ 1,6 milhões, complementarmente os autores.

Custos de bioconversão

O'Hara (2013) realizaram análise tecno-econômica de produção de bioetanol de grãos e bagaço de sorgo sacarino. Aplicaram-se os conceitos, VPL (valor presente líquido) e TIR (taxa interna de retorno), ao balanço de massa e energia, e suposições de receita e custo operacional. Concluída a extração de caldo, converteu-se biomassa em etanol celulósico pelo pré-tratamento de vapor ácido diluído, hidrólise enzimática, fermentação e destilação. Os valores de VPL de etanol de grãos e bagaço se equivaleram a 413 e US\$ 415, respectivamente; os autores concluíram: o bagaço, fração sólida, qualificou-se à produção sustentável de etanol celulósico. Caffrey, Veal e Chinn (2014) modelaram e analisaram viabilidade econômica de cenários de biorrefinaria de sorgo sacarino: processamento de bioetanol em fazenda; geração de calor por combustão de bagaço; fermentação de caldo em fazenda e transporte para usina para industrialização de bioetanol, e reaproveitamento de bagaço como ração animal; concentração de caldo em xarope e transporte para usina para industrialização de bioetanol; ensilagem de biomassa em fazenda e transporte para usina para industrialização de etanol celulósico; e transporte de biomassa in natura para biorrefinaria. Os autores assumiram distância de transporte de 80,5 km e reportaram: custo total de produção agrícola variou de 1645 a US\$ 2055 ha⁻¹ para produção de etanol celulósico de 1292 a 2255 L kg⁻¹; o preço de venda de *breakeven* de etanol oscilou de 0,54

a US\$ 1,07 L⁻¹.

Estado e quota de mercado de bioetanol

Estados Unidos e Brasil são os principais produtores mundiais de bioetanol (Figura 9). Os norte-americanos destinam considerável parcela matéria-prima de sorgo sacarino à produção de biocombustíveis. Em 2015, O Departamento de Agricultura sancionou US\$ 100 milhões para infraestrutura de setor, a fim de atender demanda de misturas de etanol e gasolina pelo mercado consumidor. À época, financiaram-se instalação de, aproximadamente, 5000 bombas em 1400 postos de abastecimento estadunidenses; os Estados, Texas e Kansas, particularmente, receberam US\$ 18,3 milhões, quantia que beneficiou indústria etanol de sorgo sacarino (AHMAD DAR *et al.*, 2018).

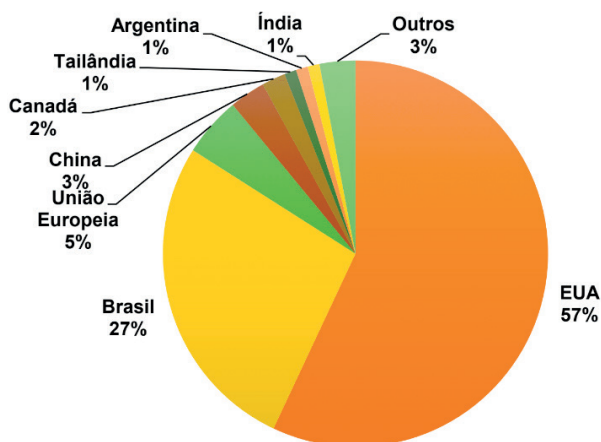


Figura 9. Quota de mercado de países produtores de bioetanol

Adaptado de Ahmad Dar *et al.*, 2018.

Em 2016, os EUA exportaram, aproximadamente, 1 bilhão de galões de etanol. Brasil e Canadá eram os principais importadores de etanol estadunidense: tais nações receberam, conjuntamente, 50 % do total de remessas (Figura 10). À época, o Brasil importou etanol, atipicamente, devido à inflação de preços de substratos de fabricação de açúcar, fator que determinou, negativamente, demanda doméstica de biocombustível etanólico. Houve, inclusive, embarques ao mercado chinês, engajado em mitigação de poluição de ar urbano por emissões de combustíveis fósseis (AHMAD DAR *et al.*, 2018).

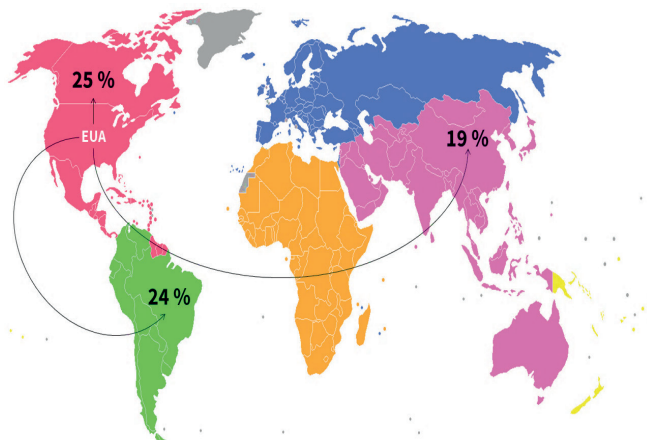


Figura 10. Principais destinos de bioetanol estadunidense

Adaptado de Ahmad Dar *et al.*, 2018.

Biogás

O biogás, biocombustível atóxico e biodegradável, é mistura de CH_4 , CO_2 , H_2O , HS^- , N_2 , O_2 e H_2 , produzida por processos de digestão anaeróbia, biogásificação ou biometanização de matéria orgânica, intermediados por bactérias hidrolíticas, acidogênicas, acetogênicas e metanogênicas, psicrófilas, mesófilas e, ou, termófilas (APPELS *et al.*, 2008, 2011; SINGH; GU, 2010; TAMBONE *et al.*, 2009; WARD *et al.*, 2008).

Híbridos de sorgo sacarino, bioenergia e granífero geram resíduos, tecnicamente, viáveis à produção de biogás de qualidade superior, com ótima biodegradabilidade anaeróbia e rendimentos de metano de 0,40; 0,36 e 0,27 L g^{-1} , respectivamente, reportaram (JERGER; CHYNOWETH; ISAACSON, 1987). Contextualmente, Mahamood *et al.* (2013) avaliaram composição química de biomassa e potencial de produção de metano de cultivares de sorgo. Os autores afirmaram: os rendimentos de biometano dos materiais genéticos, Supersile 20, Branko, Maja, Lussi e KSH 6301, equipararam-se ao de milho, qualificando-se, portanto, como substitutos imediatos à geração bioenergética. O estudo científico de caules de sorgo sacarino como substrato para produção de biogás, realizado por Matsakas, Rova e Christakopoulos (2014), reportou: rendimento produtivo de metano correspondeu a 296 mL g^{-1} . A digestão anaeróbia em estado sólido de caules de sorgo, co-digerido com esterco bovino, resultou produção de biogás de 478 mL g^{-1} . Os rendimentos energéticos bruto e líquido de biogás de matérias-primas agrícolas dependem de espécie, composição físico-química e condições operacionais de biodigestão (Tabela 6) (PARK *et al.*, 2010).

Matéria-prima	Rendimento bruto de H ₂ (MJ ha ⁻¹)	Rendimento bruto de CH ₄ (MJ ha ⁻¹)	Rendimento bruto (MJ ha ⁻¹)	Investimento (MJ ha ⁻¹)	Rendimento líquido (MJ ha ⁻¹)
Sorgo sacarino	22.685	219.642	242.327	18.399	223.928
Beterraba	18.853	112.017	130.871	18.247	112.624
Forragem de milho	13.429	125.723	139.152	17.630	121.522
Batata sacarina	7.259	27.737	35.027	48.200	-13.163
Biomassa de trigo	3.351	81.081	84.432	21.894	62.538
Capim-colonião	2.338	73.180	75.519	75.519	69.190

Tabela 6. Balanço energético de biogás de matérias-primas agrícolas

Adaptado de Park *et al.*, 2010

EXPERIMENTOS REGIONAIS

À avaliação de qualidade tecnológica, rendimento e valor nutricional de biomassa de caldo de cultivares de sorgo sacarino por aplicação de maturadores químicos e, ou, fertilizante, conduziram-se experimentos regionais, de 2012/13 a 2018/19.

BIOMATRIX 535

Conduziu-se a experimentação, na Usina Cerradinho S/A, Catanduva, São Paulo, Brasil. A topografia e solo de área é semiplana e Latossolo Vermelho eutrófico, respectivamente.

Delineou-se o experimento em parcelas subdivididas, combinando-se doses de maturadores, controle, metil-sulfometuron a 5, 10 e 20 g ha⁻¹, glifosato a 0,10; 0,20 e 0,40 L ha⁻¹ e etil-trinexapac a 0,20; 0,40 e 0,80 L ha⁻¹, e épocas de amostragem, 15, 22, 37 e 44 dias após aplicação, com quatro repetições por tratamento.

Ao preparo de solo, realizou-se aração, gradagem, calagem e adubação, convencionalmente, conforme recomendações técnicas de Raij *et al.* (1996). Em 10 de dezembro de 2012, semeou-se o cultivar, Biomatrix 535, distribuindo-se 14 a 17 sementes por metro de linhas de 5 m, espaçadas a 0,7 m. Conduziram-se tratos culturais, conforme recomendações técnicas para cultura de sorgo.

Em 15 de fevereiro de 2013, aproximadamente, setenta dias após semeadura, momento fenológico coincidente ao florescimento, aplicaram-se os maturadores por pulverizador costal pressurizado a CO₂, caracterizado por barra de 4 m de comprimento e conjunto de pontas AXI 11002, espaçadas a 0,5 m, operando-o, manualmente, à pressão de 40 libras pol⁻² e vazão de 200 L ha⁻¹, durante o período matutino de 7:00 às 11:00 h, especificamente. Não houve precipitação pluviométrica após tratamento químico, efetuado à temperatura de 27,5 ± 2,5 °C e umidade relativa de ar de 70 ± 10 %.

À avaliação técnica, colheram-se plantas de linhas centrais de parcela, respeitando-se as épocas de amostragem. Concluído o desponte, moeram-se caules, em prensa hidráulica, para extração de caldo, recuperando-se, simultaneamente, bagaço. Em laboratório, analisaram-se: teores de sólidos solúveis totais, sacarose, açúcares redutores e fibra, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, conforme procedimentos descritos pelo Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo (Consecana, 2006).

À análise estatística de conjunto de dados, realizada *R*, *software* para computação gráfica, aplicaram-se, formalmente, os testes frequentistas: análise de variância e Tukey.

CMSXS 646 E CMSXS 647

Conduziu-se a experimentação, na APTA (Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio), Andradina, São Paulo, Brasil.

Delineou-se o experimento em blocos casualizados, esquema fatorial 2 x 7, correspondente aos cultivares, CMSXS 646 e CMSXS 647 509, e maturadores químicos,

controle, etefom a 0,7 L ha⁻¹, etil-trinexapac a 0,8 L ha⁻¹, glifosato a 0,4 L ha⁻¹, e metil-sulfometuron a 0,02 kg ha⁻¹, com quatro repetições por tratamento.

Ao preparo de solo, realizou-se aração, gradagem, calagem e adubação, convencionalmente, adotando-se recomendações técnicas de Rajj *et al.* (1996). Em 5 de dezembro de 2014, semearam-se os cultivares, distribuindo-se 14 a 17 sementes por metragem de linhas de 10 m de comprimento, espaçadas a 0,5 m. Conduziram-se tratamentos culturais, conforme recomendações técnicas para cultura de sorgo.

Em 15 de fevereiro de 2015, aproximadamente, setenta dias após semeadura, momento fenológico coincidente ao florescimento, aplicaram-se os maturadores por pulverizador costal pressurizado a CO₂, caracterizado por barra de 4 m de comprimento e conjunto de pontas AXI 11002, espaçadas a 0,5 m, operando-o, manualmente, à pressão de 40 libras pol⁻² e vazão de 200 L ha⁻¹, durante o período matutino de 8:00 às 11:00 h, especificamente. Não houve precipitação pluviométrica após tratamento químico, efetuado à temperatura de 25 ± 2,5 °C e umidade relativa de ar de 70 ± 5 %.

À avaliação técnica, colheram-se plantas de linhas centrais de parcela, trinta e cinco dias após tratamento químico. Concluído o desponte, moeram-se caules, em prensa hidráulica, para extração de caldo, recuperando-se, simultaneamente, bagaço. Em laboratório, analisaram-se: teores de sólidos solúveis totais, sacarose, açúcares redutores e fibra, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, conforme procedimentos descritos pelo Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo (Consecana, 2006).

À análise estatística de conjunto de dados, realizada *R*, *software* para computação gráfica, aplicaram-se, formalmente, os testes frequentistas: análise de variância e Tukey.

BRS 508 E BRS 509

Conduziu-se a experimentação, na APTA (Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio), Andradina, São Paulo, Brasil.

Delineou-se o experimento em blocos casualizados, esquema fatorial 2 x 5, correspondente aos cultivares, BRS 508 e BRS 509, e maturadores químicos, controle, etefom a 0,7 L ha⁻¹, etil-trinexapac a 0,8 L ha⁻¹, glifosato a 0,4 L ha⁻¹, e metil-sulfometuron a 0,02 kg ha⁻¹, com quatro repetições por tratamento. Os materiais genéticos, caracterizados por ciclos comerciais de 110 a 120 dias, pertencem à Embrapa.

Ao preparo de solo, realizou-se aração, gradagem, calagem e adubação, convencionalmente, adotando-se recomendações técnicas de Rajj *et al.* (1996). Em 10 de dezembro de 2015, semearam-se os cultivares, distribuindo-se 14 a 17 sementes por metragem de linhas de 5 m de comprimento, espaçadas a 0,7 m. Conduziram-se tratamentos culturais, conforme recomendações técnicas para cultura de sorgo.

Em 20 de fevereiro de 2016, aproximadamente, setenta dias após semeadura, momento fenológico coincidente ao florescimento, aplicaram-se os maturadores por pulverizador costal pressurizado a CO₂, caracterizado por barra de 4 m de comprimento e conjunto de pontas AXI 11002, espaçadas a 0,5 m, operando-o, manualmente, à pressão

de 40 libras pol^{-2} e vazão de 200 L ha^{-1} , durante o período matutino de 7:00 às 11:00 h, especificamente. Não houve precipitação pluviométrica após tratamento químico, efetuado à temperatura de 25 °C e umidade relativa de ar de 55 ± 5 %.

À avaliação técnica, colheram-se plantas de linhas centrais de parcela, quarenta dias após tratamento químico. Concluído o desponte, moeram-se caules, em prensa hidráulica, para extração de caldo, recuperando-se, simultaneamente, bagaço. Em laboratório, analisaram-se: teores de sólidos solúveis totais, sacarose, açúcares redutores e fibra, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, conforme procedimentos descritos pelo Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo (Consecana, 2006).

À análise estatística de conjunto de dados, realizada *R*, *software* para computação gráfica, aplicaram-se, formalmente, os testes frequencistas: análise de variância e Tukey.

80007 E 80147

Conduziu-se a experimentação, na APTA (Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio), Andradina, São Paulo, Brasil.

Delinearam-se os experimentos do cultivares, 80007 e 80147, em parcelas subdivididas, constituídas por combinações entre maturadores químicos, controle, etefom a 0,66 L ha^{-1} , thidiazuron a 0,15 L ha^{-1} e metil-sulfometuron a 7,5 g ha^{-1} , e épocas de amostragem, 0, 15, 22 e 37 dias após aplicação, com quatro repetições por tratamento.

Ao preparo de solo, realizou-se aração, gradagem, calagem e adubação, convencionalmente, adotando-se recomendações técnicas de Rajj *et al.* (1996). Em 10 de dezembro de 2016, semearam-se os cultivares, distribuindo-se 14 a 17 sementes por metragem de linhas de 10 m de comprimento, espaçadas a 0,5 m. Conduziram-se tratamentos culturais, conforme recomendações técnicas para cultura de sorgo.

Em 15 de fevereiro de 2017, aproximadamente, setenta dias após semeadura, momento fenológico coincidente ao florescimento, aplicaram-se os maturadores por pulverizador costal pressurizado a CO_2 , caracterizado por barra de 4 m de comprimento e conjunto de pontas AXI 11002, espaçadas a 0,5 m, operando-o, manualmente, à pressão de 40 libras pol^{-2} e vazão de 200 L ha^{-1} , durante o período matutino de 7:00 às 11:00 h, especificamente. Não houve precipitação pluviométrica após tratamento químico, efetuado à temperatura de $22,5 \pm 2,5$ °C e umidade relativa de ar de $70,5 \pm 5,5$ %.

À avaliação técnica, colheram-se plantas de linhas centrais de parcela, respeitando-se as épocas de amostragem. Concluído o desponte, moeram-se caules, em prensa hidráulica, para extração de caldo, recuperando-se, simultaneamente, bagaço. Em laboratório, analisaram-se: teores de sólidos solúveis totais, sacarose, açúcares redutores e fibra, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, conforme procedimentos descritos pelo Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo (Consecana, 2006).

À análise estatística de conjunto de dados, realizada *R*, *software* para computação gráfica, aplicaram-se, formalmente, os testes frequencistas: análise de variância e Tukey.

BRS 508

Conduziu-se a experimentação, na FEPE (Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão), da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Unesp, Selvíria, Mato Grosso do Sul, Brasil. O clima regional é Aw, com médias anuais de temperatura, umidade relativa de ar e precipitação pluviométrica de 23 °C, 66 % e 1322 m, respectivamente.

Delineou-se o experimento em blocos casualizados, esquema fatorial 4 x 5, correspondente a doses de etefom, 0; 0,33; 0,66 e 1,32 L ha⁻¹, e doses de fósforo, 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹, com quatro repetições por tratamento.

Ao preparo de solo, realizou-se aração, gradagem, calagem e adubação, convencionalmente, adotando-se recomendações técnicas de Raji *et al.* (1996). Em 20 de dezembro de 2018, semearam-se os cultivares, distribuindo-se 10 a 12 sementes por metragem de linhas de 5 m de comprimento, espaçadas a 0,45 m. Conduziram-se tratamentos culturais, conforme recomendações técnicas para cultura de sorgo.

Em 15 de fevereiro de 2019, aproximadamente, sessenta dias após semeadura, momento fenológico coincidente ao florescimento, aplicaram-se os maturadores por pulverizador costal pressurizado a CO₂, caracterizado por barra de 4 m de comprimento e conjunto de pontas AXI 11002, espaçadas a 0,5 m, operando-o, manualmente, à pressão de 40 libras pol⁻² e vazão de 200 L ha⁻¹, durante o período matutino de 7:00 às 10:00 h, especificamente. Não houve precipitação pluviométrica após tratamento químico, efetuado à temperatura de 27,5 ± 2,5 °C e umidade relativa de ar de 70 ± 10 %.

À avaliação técnica, colheram-se plantas de linhas centrais de parcela, sessenta dias após tratamento químico. Concluído o desponte, moeram-se caules, em prensa hidráulica, para extração de caldo, recuperando-se, simultaneamente, bagaço. Em laboratório, analisaram-se: altura de planta, massa fresca e seca, e produtividade de biomassa; teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre; e teores de sólidos solúveis totais, sacarose, açúcares redutores e fibra, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, conforme procedimentos descritos pelo Conselho dos Produtores de cana-de-açúcar, Açúcar e Etanol do Estado de São Paulo (Consecana, 2006).

À análise estatística de conjunto de dados, realizada *R*, *software* para computação gráfica, aplicou-se metodologia de superfície de resposta e correlação linear de Pearson.

MODELAGEM DE RELAÇÃO CULTIVAR-MATURADOR

À compreensão global de relação entre maturadores e finalidade(s) econômica(s) de cultivares de sorgo sacarino, aplicaram-se as estatísticas exploratórias: teste de correlação linear de Pearson e componentes principais.

RESULTADOS

QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DO CULTIVAR, BIOMATRIX 535, POR NATUREZA E DOSE DE MATURADOR, E ÉPOCA DE COLHEITA

Não houve interação entre as fontes de variação (Tabela 7). Maturador, isoladamente, influenciou, significativamente, todas as variáveis de qualidade de caldo. Glifosato a 0,2 L ha⁻¹ proporcionou os maiores valores de Brix e Pol, aumentando-os em 3,40 e 2,25 pontos percentuais, respectivamente, em relação ao controle; além de otimizar teores de sacarose e sólidos solúveis totais, o herbicida sistêmico, aplicado a 0,4 L ha⁻¹, aumentou, significativamente, rendimento de açúcares teóricos recuperáveis e teor de fibras em 21,60 kg t⁻¹ e 1,40 pontos percentuais, respectivamente. Etil-trinexapac a 0,4 e 0,8 L ha⁻¹ produziu os caldos mais puros, com proporção de sacarose e sólidos solúveis totais semelhante àquela relativa ao controle. Apesar de insignificância, houve tendência de decréscimos em teores de sólidos solúveis e sacarose, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, à medida que época de amostragem progrediu de 15 para 44 dias após aplicação.

Fonte de variação	Variável					
	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	AR (%)	ATR (kg t ⁻¹)	Fibra (%)
Maturador						
Metil-sulfometuron, 5 g ha ⁻¹	12,05 ^d	3,40 ^e	32,30 ^c	2,10 ^{ab}	48,40 ^e	12,70 ^e
Metil-sulfometuron, 10 g ha ⁻¹	12,05 ^d	3,10 ^{de}	29,70 ^c	2,20 ^a	46,60 ^e	12,45 ^e
Metil-sulfometuron, 20 g ha ⁻¹	14,05 ^c	4,70 ^{de}	35,95 ^c	1,95 ^{ab}	59,50 ^{de}	13,30 ^e
Glifosato, 0,1 L ha ⁻¹	16,40 ^b	5,60 ^{cd}	39,80 ^{bc}	1,85 ^b	66,65 ^{cd}	14,15 ^{cd}
Glifosato, 0,2 L ha ⁻¹	15,10 ^{bc}	4,50 ^{de}	34,15 ^c	2,05 ^{ab}	58,10 ^{de}	13,30 ^{de}
Glifosato, 0,4 L ha ⁻¹	19,95 ^a	8,35 ^a	49,50 ^{ab}	1,55 ^c	90,55 ^a	16,05 ^a
Etil-trinexapac, 0,2 L ha ⁻¹	16,75 ^b	6,95 ^{abc}	49,40 ^{ab}	1,55 ^c	77,70 ^{abc}	15,30 ^{abc}
Etil-trinexapac, 0,4 L ha ⁻¹	16,30 ^b	7,40 ^{ab}	52,95 ^a	1,50 ^c	81,40 ^{ab}	14,95 ^{abc}
Etil-trinexapac, 0,8 L ha ⁻¹	16,95 ^b	7,70 ^{ab}	55,15 ^a	1,40 ^c	83,30 ^a	15,75 ^{ab}
Controle	13,55 ^{cd}	6,10 ^{bcd}	52,90 ^a	1,45 ^c	68,95 ^{bcd}	14,65 ^{bcd}
Época						
15 dias após aplicação	15,50 ^a	5,90 ^a	43,55 ^a	1,75 ^a	69,30 ^a	14,30 ^a
22 dias após aplicação	14,90 ^a	5,70 ^a	43,15 ^a	1,75 ^a	67,40 ^a	13,95 ^a
37 dias após aplicação	15,80 ^a	5,95 ^a	43,75 ^a	1,75 ^a	69,60 ^a	14,55 ^a
44 dias após aplicação	15,05 ^a	5,55 ^a	42,20 ^a	1,80 ^a	66,10 ^a	14,20 ^a
Maturador	36,40 ^{**}	26,80 ^{**}	21,50 ^{**}	26,30 ^{**}	25,75 ^{**}	20,10 ^{**}
Época	2,45	1,10	0,35	0,50	1,15	2,20
Maturador <i>versus</i> Época	1,30	1,75	1,25	1,60	0,90	0,25
CV _{parcela} (%)	10,70	24,50	19,50	13,70	17,40	7,90
CV _{subparcela} (%)	11,50	19,90	16,70	12,05	14,15	7,40

Letras sobrescritas por letras idênticas minúsculas, em linha, e maiúsculas, em coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade;

códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05;

CV (coeficiente de variação).

Tabela 7. Efeitos de maturador e época de amostragem em qualidade de caldo e lignocelulose de sorgo sacarino cv. Biomatrix 535

QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DOS CULTIVARES, CMSXS 646 E CMSXS 647, POR NATUREZA DE MATURADOR

Houve interação entre as fontes de variação, cultivar e maturador, para todas variáveis de qualidade de caldo e lignocelulose (Tabela 8). Os cultivares, CMSXS 646 e CMSXS 647, *in natura* e sob tratamento químico de etefom e etil-trinexapac, associaram-se aos maiores valores de Brix. Glifosato e metil-sulfometuron restringiram, todavia, significativamente, 3,2 e 2,9 pontos percentuais, em CMSXS 646, respectivamente, comparado ao controle (Tabela 9). Em relação ao teor de sacarose, etefom, etil-trinexapac, metil-sulfometuron e glifosato o incrementaram, insignificativamente, em CMSXS 646, porém, o reduziram, significativamente, em CMSXS 647, em relação aos controles: circunstancialmente, houve decréscimos de 0,90 a 5,00 pontos percentuais. Os maiores valores de pureza se associaram ao caldo de CMSXS 647, *in natura* e tratado com etefom; tal ingrediente ativo o aumentou em absolutos 1,75 pontos percentuais; em relação aos maturadores remanescentes, estes surtiram efeito negativo em pureza, limitando-a em impressionantes 6,25 a 18,15 pontos percentuais. Situação oposta ocorreu ao cultivar, CMSXS 646, pois, etefom, glifosato e metil-sulfometuron aumentaram, significativamente, pureza em 6,50; 7,10 e 3,00 pontos percentuais, respectivamente, em relação ao controle.

Fonte de variação	Variável					
	Brix	Pol	Pureza	AR	ATR	Fibra
	F-valor					
Cultivar	112,75 *	96,60 *	314,75 *	270,45 *	65,40 *	1,65
Maturador	42,40 *	19,75 *	25,95 *	28,40 *	34,60 *	50,90 *
Cultivar <i>versus</i> Maturador	10,50 *	14,35 *	23,60 *	24,50 *	25,80 *	12,30 *
Coeficiente de variação (%)	1,90	6,05	4,05	5,60	4,30	2,35

Códigos de significância: ** $p < 0,01$ e * $p < 0,05$.

Tabela 8. Efeitos de genótipo e maturador em qualidade de caldo e lignocelulose de sorgo sacarino

Cultivar	Maturador				
	Controle	Etefom	Etil-trinexapac	Glifosato	Metil-sulfometuron
	Brix (%)				
CMSXS 646	20,85 ^{aA}	19,70 ^{bB}	19,80 ^{bB}	17,95 ^{bC}	17,65 ^{bC}
CMSXS 647	21,25 ^{aA}	20,60 ^{aAB}	20,60 ^{aAB}	20,10 ^{aB}	20,15 ^{aB}
	Pol (%)				
CMSXS 646	10,50 ^{bA}	11,80 ^{bA}	11,50 ^{bA}	10,45 ^{aA}	10,60 ^{aA}
CMSXS 647	15,80 ^{aA}	14,90 ^{aA}	12,80 ^{aB}	10,80 ^{aBC}	11,95 ^{aC}
	Pureza (%)				
CMSXS 646	50,25 ^{bC}	56,75 ^{bAB}	57,35 ^{bA}	51,90 ^{bBC}	53,25 ^{bABC}
CMSXS 647	74,95 ^{aA}	76,70 ^{aA}	63,90 ^{aB}	56,80 ^{aC}	68,70 ^{aB}
	AR (%)				
CMSXS 646	1,90 ^{aA}	1,75 ^{aAB}	1,65 ^{aC}	1,85 ^{aA}	1,75 ^{aAB}

CMSXS 647	1,10 ^{bc}	1,05 ^{bc}	1,45 ^{bb}	1,75 ^{aa}	1,30 ^{bb}
ATR (kg t ⁻¹)					
CMSXS 646	86,25 ^{bc}	97,50 ^{ba}	95,95 ^{ab}	87,20 ^{abc}	92,10 ^{abc}
CMSXS 647	117,80 ^{aa}	117,80 ^{aa}	97,85 ^{ab}	81,95 ^{ac}	96,40 ^{ab}
Fibra (%)					
CMSXS 646	20,55 ^{aa}	17,95 ^{ac}	18,85 ^{bbc}	19,20 ^{bb}	18,30 ^{abc}
CMSXS 647	19,80 ^{bb}	17,05 ^{bd}	19,80 ^{ab}	20,90 ^{aa}	18,20 ^{ac}

Letras sobrescritas por letras idênticas minúsculas, em linha, e maiúsculas, em coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Tabela 9. Efeito interativo de genótipo de natureza de maturador em qualidade tecnológica de caldo de sorgo sacarino

A respeito de teor de açúcares redutores, houve significativos incrementos de 0,35; 0,65 e 0,20 pontos percentuais, em CMSXS 647, tratado com etil-trinexapac, glifosato e metil-sulfometuron, porém, decréscimos de 0,25; 0,05 e 0,15 pontos percentuais, em CMSXS 646 sob circunstâncias parelhas, respectivamente, em relação aos controles. O cultivar, CMSXS 647, *in natura* e tratado com etefom, liberador de etileno, associou-se aos maiores valores de rendimento de açúcares teóricos recuperáveis. Etil-trinexapac, glifosato e metil-sulfometuron o aumentaram em 9,70; 0,95 e 5,85, em CMSXS 646, porém, o reduziram em consideráveis 19,95; 35,85 e 21,40 kg t⁻¹, respectivamente. Finalmente, em relação a fibra, houve maiores teores em CMSXS 647, tratado com glifosato, e CMSXS 646, *in natura*; etefom e metil-sulfometuron o limitaram em 2,60 e 2,25 pontos percentuais, em CMSXS 646, e 2,75 e 1,60 pontos percentuais, em CMSXS 647, respectivamente.

QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DOS CULTIVARES, BRS 508 E BRS 509, POR NATUREZA DE MATURADOR

As fontes de variação influenciaram teores de sólidos solúveis totais e fibra, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, interativamente. Adicionalmente, cultivar e maturador, isoladamente, influenciaram, significativamente, teores de sacarose e açúcares redutores (Tabela 10).

Fonte de variação	Variável					
	Brix	Pol	Pureza	AR	ATR	Fibra
	F-valor					
Cultivar	27,10 **	19,20 **	0,30	0,60	2,60	145,90 **
Maturador	69,20 **	93,50 **	17,45 **	17,45 **	231,90 **	37,95 **
Cultivar <i>versus</i> Maturador	69,60 **	1,30	33,45 **	5,60	49,95 **	55,60 **
Coeficiente de variação (%)	1,30	1,30	1,65	5,60	0,95	1,40

Códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05.

Tabela 10. Efeitos de genótipo e natureza de maturador em qualidade de caldo e lignocelulose de sorgo sacarino

Os cultivares, BRS 508 e BRS 509, sob tratamento químico de metil-sulfometuron e etil-trinexapac, associaram-se aos maiores valores de Brix; tais maturadores aumentaram, significativamente, teor de sólidos solúveis totais em exatos 2,10 e 3,10 pontos percentuais, respectivamente, em relação às referências. Controversamente, glifosato restringiu Brix em 0,80 e 0,40 pontos percentuais, em BRS 508 e BRS 509, respectivamente, comparado aos controles (Tabela 11). Em relação ao teor de sacarose, condicionante ao Brix, etefom, etil-trinexapac e metil-sulfometuron possibilitaram aos cultivares, BRS 508 e BRS 509, os maiores valores de Pol, estatisticamente, similares àqueles de matéria-prima *in natura*. Persistentemente, glifosato limitou, significativamente, teor de sacarose em 2,05 pontos percentuais, em BRS 508, comparado ao controle. Os maiores valores de pureza, estabelecida pela relação de sacarose e sólidos solúveis totais, associaram-se ao caldo de BRS 508, *in natura* e tratado com etil-trinexapac; tal ingrediente ativo o aumentou, significativamente, em 4,55 pontos percentuais.

Cultivar	Maturador				
	Controle	Etefom	Etil-trinexapac	Glifosato	Metil-sulfometuron
Brix (%)					
BRS 508	23,50 ^{aC}	24,40 ^{aB}	22,85 ^{bD}	22,70 ^{aD}	25,60 ^{aA}
BRS 509	22,30 ^{bC}	23,55 ^{bB}	25,40 ^{aA}	21,90 ^{bC}	23,30 ^{bB}
Pol (%)					
BRS 508	19,70 ^{aA}	20,20 ^{aA}	20,15 ^{aA}	17,65 ^{bB}	19,95 ^{aA}
BRS 509	18,50 ^{bC}	19,70 ^{bB}	20,40 ^{aA}	18,45 ^{aC}	18,80 ^{bC}
Pureza (%)					
BRS 508	83,80 ^{aB}	82,75 ^{aB}	88,35 ^{aA}	77,80 ^{bC}	77,90 ^{bC}
BRS 509	82,50 ^{aAB}	83,80 ^{aA}	80,25 ^{bB}	84,40 ^{aA}	80,85 ^{aB}
AR (%)					
BRS 508	0,75 ^{aB}	0,80 ^{aB}	0,60 ^{bC}	0,95 ^{aA}	0,95 ^{aA}
BRS 509	0,80 ^{aAB}	0,75 ^{aB}	0,90 ^{aA}	0,75 ^{bB}	0,90 ^{bA}
ATR (kg t ⁻¹)					
BRS 508	135,60 ^{aC}	144,35 ^{aA}	138,30 ^{bB}	128,95 ^{aD}	143,90 ^{aA}

BRS 509	136,40 ^{aC}	144,75 ^{aB}	149,30 ^{aA}	126,40 ^{bD}	137,60 ^{bC}
Fibra (%)					
BRS 508	23,20 ^{aA}	21,30 ^{aB}	22,95 ^{aA}	20,90 ^{bB}	21,20 ^{aB}
BRS 509	19,80 ^{bB}	19,90 ^{bB}	20,25 ^{bB}	23,55 ^{aA}	20,40 ^{bB}

Letras sobrescritas por letras idênticas minúsculas, em linha, e maiúsculas, em coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Tabela 11. Efeito interativo de genótipo e natureza de maturador em qualidade tecnológica de caldo de sorgo sacarino

Os maturadores, glifosato e metil-sulfometuron, associados ao cultivar, BRS 508, resultaram os maiores valores de AR, incrementando-os, significativamente, em 0,20 pontos percentuais, em relação ao controle. Associados a resultados expressivos de Brix e Pol, etefom, etil-trinexapac e metil-sulfometuron condicionaram os cultivares, BRS 508 e BRS 509, aos maiores valores de rendimento de açúcares teóricos recuperáveis: os produtos o incrementaram, significativamente, em 8,75; 12,90 e 8,30 kg t⁻¹; controversamente, glifosato, restritivo ao Brix e Pol, o reduziu em 6,65 e 10,00 kg t⁻¹, respectivamente. Finalmente, em relação a fibra, houve maiores teores em BRS 508, *in natura* e tratado com etil-trinexapac, e BRS 509 sob pulverização de glifosato, o qual, particularmente, o incrementou em expressivos 3,75 pontos percentuais.

QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DOS CULTIVARES, 80007 E 80147, POR NATUREZA DE MATURADOR

Houve interação entre as fontes de variação, maturador e época de amostragem, para todas as variáveis de caldo de sorgo sacarino cv. 80007, exceto teor de fibra, influenciado, apenas, por natureza de ingrediente ativo (Tabela 12).

Fonte de variação	Variável					
	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	AR (%)	ATR (kg t ⁻¹)	Fibra (%)
	F-valor					
Maturador	53,55 *	78,95 *	53,05 *	60,85 *	68,05 *	5,95 *
Época	83,75 *	104,45 *	70,45 *	80,95 *	92,65 *	2,65
Maturador <i>versus</i> Época	6,55 *	10,35 *	8,50 *	9,30 *	8,60 *	1,40
CV _{parcela} (%)	7,05	13,75	10,90	7,50	9,55	17,45
CV _{subparcela} (%)	5,55	12,35	9,75	6,75	8,45	16,80

Códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05;

CV (coeficiente de variação).

Tabela 12. Efeitos de natureza de maturador e época de amostragem em qualidade de caldo e lignocelulose de sorgo sacarino cv. 80007

Plantas sob tratamento de metil-sulfometuron, amostradas 22 e 37 dias após

aplicação, associaram-se aos maiores valores de Brix; o maturador o aumentou, significativamente, em 6,45 e 3,65 pontos percentuais, respectivamente, em relação ao controle (Tabela 13). Em relação ao Pol, houve padrão similar, pois, o ingrediente ativo em questão incrementou o teor de sacarose em 5,85 e 6,25 pontos percentuais, em amostras de 22 e 37 dias após aplicação, comparado à referência. Complementarmente, plantas sob tratamento de etefom, amostradas 22 dias após aplicação, produziram teor de sacarose, estatisticamente, similar aos referenciados: o maturador o aumentou, significativamente, em 6,20 pontos percentuais, em relação ao controle. Previsivelmente, amostras de 22 e 37 dias após aplicação de etefom e metil-sulfometuron produziram os caldos mais puros: os produtos químicos aumentaram, significativamente, pureza em 33,15 e 30,55 pontos percentuais, respectivamente.

Época	Maturador			
	Controle	Etefom	Thidiazuron	Metil-sulfometuron
Brix (%)				
0 dias após aplicação	9,95 ^{bB}	10,90 ^{bAB}	9,25 ^{bB}	11,25 ^{dA}
15 dias após aplicação	13,15 ^{aA}	14,90 ^{aA}	13,20 ^{aA}	14,95 ^{cA}
22 dias após aplicação	13,15 ^{aC}	16,05 ^{aB}	11,95 ^{aC}	19,60 ^{aA}
37 dias após aplicação	13,15 ^{aB}	15,10 ^{aA}	12,95 ^{aB}	16,80 ^{bA}
Pol (%)				
0 dias após aplicação	2,70 ^{bA}	4,10 ^{dA}	2,90 ^{cA}	3,75 ^{cA}
15 dias após aplicação	4,40 ^{aB}	6,20 ^{cA}	4,30 ^{bcB}	6,65 ^{bA}
22 dias após aplicação	4,40 ^{aB}	10,60 ^{aA}	5,50 ^{bB}	10,25 ^{aA}
37 dias após aplicação	4,40 ^{aC}	8,80 ^{bB}	7,60 ^{aB}	10,65 ^{aA}
Pureza (%)				
0 dias após aplicação	27,15 ^{aB}	37,70 ^{bA}	30,65 ^{cAB}	33,35 ^{cAB}
15 dias após aplicação	33,20 ^{aB}	41,15 ^{bAB}	32,45 ^{cB}	44,25 ^{bA}
22 dias após aplicação	33,20 ^{ac}	66,35 ^{aA}	45,60 ^{bB}	52,10 ^{bB}
37 dias após aplicação	33,20 ^{aB}	57,90 ^{aA}	58,50 ^{aA}	63,75 ^{aA}
Açúcares redutores (%)				
0 dias após aplicação	2,30 ^{aA}	2,00 ^{aB}	2,20 ^{aAB}	2,10 ^{aAB}
15 dias após aplicação	2,10 ^{aA}	1,85 ^{aB}	2,15 ^{aA}	1,75 ^{bB}
22 dias após aplicação	2,10 ^{aA}	1,10 ^{bD}	1,75 ^{bB}	1,50 ^{cC}
37 dias após aplicação	2,10 ^{aA}	1,35 ^{bB}	1,40 ^{cB}	1,15 ^{dB}
ATR (kg t ⁻¹)				
0 dias após aplicação	40,05 ^{bA}	49,70 ^{dA}	41,30 ^{cA}	47,50 ^{cA}
15 dias após aplicação	52,85 ^{aB}	65,00 ^{cA}	52,30 ^{bcB}	68,70 ^{bA}

22 dias após aplicação	52,85 ^{aB}	93,45 ^{aA}	59,05 ^{bB}	93,60 ^{aA}
37 dias após aplicação	52,85 ^{aC}	81,20 ^{bB}	74,10 ^{aB}	93,90 ^{aA}

Letras sobrescritas por letras idênticas minúsculas, em linha, e maiúsculas, em coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Tabela 13. Efeito interativo de natureza de maturador e época de amostragem em qualidade de caldo e lignocelulose de sorgo sacarino cv. 80007

Plantas *in natura* e tratadas thidiazuron, amostradas, imediatamente, e 15 dias após aplicação, associaram-se aos maiores teores de açúcares redutores; em contrapartida, plantas sob tratamento de etefom e metil-sulfumeturon, amostradas 22 e 37 dias após aplicação, produziram os menores: tais maturadores o reduziram, significativamente, em 1,00 e 0,95 pontos percentuais, respectivamente, comparado ao controle. Em relação ao rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, etefom e metil-sulfumeturon, associadas aos mais expressivos resultados de Brix, Pol e pureza, o aumentaram, significativamente, em 40,60; 40,75 e 41,05 kg t⁻¹, em amostras de 22 e 37 dias após aplicação, respectivamente, comparado ao controle. Finalmente, quanto a fibra, houve, persistentemente, maiores teores em plantas tratadas com etefom e metil-sulfumeturon, os quais o aumentaram em 4,10 e 3,25 pontos percentuais, respectivamente (Tabela 14).

Maturador	Fibra (%)
Controle	15,95 ^c
Etefom	20,05 ^a
Thidiazuron	16,90 ^{bc}
Metil-sulfumeturon	19,20 ^{ab}
Época	
0 dias após aplicação	12,20 ^a
15 dias após aplicação	12,60 ^a
22 dias após aplicação	13,70 ^a
37 dias após aplicação	13,60 ^a

Tabela 14. Efeitos de natureza de maturador e época de amostragem em teor de fibra de lignocelulose de sorgo sacarino cv. 80007

Não houve interação entre as fontes de variação. Isoladamente, todavia, maturador influenciou, significativamente, teores de sólidos solúveis, sacarose e fibra, e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis de sorgo sacarino cv. 80147, enquanto, época de amostragem influenciou todas as variáveis de qualidade tecnológica de caldo (Tabela 15).

Fonte de variação	Variável					
Maturador	Brix (%)	Pol (%)	Pureza (%)	AR (%)	ATR (kg t ⁻¹)	Fibra (%)
Glifosato	13,70 ^{ab}	6,20 ^{ab}	44,90 ^a	1,75 ^a	67,45 ^{ab}	13,35 ^b
Etil-trinexapac	15,20 ^a	7,60 ^a	48,75 ^a	1,60 ^a	76,30 ^a	14,65 ^a
Metil-sulfometuron	13,20 ^b	5,60 ^b	41,80 ^a	1,85 ^a	62,40 ^b	12,95 ^b
Controle	13,90 ^{ab}	5,70 ^b	40,70 ^a	1,85 ^a	67,00 ^{ab}	13,25 ^b
Época						
0 dias após aplicação	8,90 ^d	2,60 ^c	29,00 ^c	2,25 ^a	39,45 ^c	11,55 ^c
15 dias após aplicação	13,35 ^c	6,15 ^b	45,70 ^b	1,75 ^b	63,95 ^b	12,80 ^b
30 dias após aplicação	17,20 ^a	4,65 ^b	27,75 ^c	2,20 ^a	74,20 ^{ab}	13,65 ^b
37 dias após aplicação	15,70 ^{ab}	8,70 ^a	55,10 ^{ab}	1,40 ^{bc}	80,20 ^a	14,90 ^a
52 dias após aplicação	14,90 ^{bc}	9,30 ^a	62,60 ^a	1,20 ^c	83,65 ^a	14,90 ^a
Maturador	3,10 [*]	4,60 [*]	2,15	2,90	5,40 [*]	12,55 [*]
Época	35,30 [*]	34,05 [*]	31,70 [*]	35,05 [*]	40,70 [*]	37,80 [*]
Maturador <i>versus</i> Época	0,15	0,80	0,65	0,70	0,95	0,95
CV _{parcela} (%)	15,30	30,40	25,05	18,10	16,30	6,90
CV _{subparcela} (%)	14,90	27,85	22,75	17,95	14,90	8,35

Letras sobreescritas por letras idênticas minúsculas, em linha, e maiúsculas, em coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade;

códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05;

CV (coeficiente de variação).

Tabela 15. Efeitos de natureza de maturador e época de amostragem em qualidade de caldo e lignocelulose de sorgo sacarino cv. 80147

Etil-trinexapac proporcionou os maiores valores de Brix, Pol, pureza, fibra e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis: o maturador, reconhecido pela eficiência de maturação de cultura de cana-de-açúcar, os incrementaram em 1,3, 1,9, 8,75 e 1,4 pontos percentuais, e 9,30 kg t⁻¹, respectivamente, comparado ao controle, estatisticamente, similar ao tratamentos remanescentes, inclusive, em relação ao teor de açúcares redutores. A respeito de época de amostragem, plantas colhidas 30, 37 e 52 dias após aplicação produziram os maiores valores de Brix, Pol, pureza, fibra e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis; comparadas à amostragem realizada, imediatamente, após aplicação, tais condições os incrementaram em 6,00 a 8,30; 2,05 a 6,70; 26,10 a 33,60 e 2,10 a 3,35 pontos percentuais, e 34,75 a 44,2^o kg t⁻¹, respectivamente.

RENDIMENTO E VALOR NUTRICIONAL DE BIOMASSA, E QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO DO CULTIVAR, BRS 508, SOB MANEJO INTEGRADO DE ETEFOM E FÓSFORO

Inexistiu interação entre as fontes de variação (Tabelas 16, 17 e 18). Em relação ao efeito de dose de fertilizante, estimaram-se coeficientes negativos ao número de plantas, produtividade de biomassa; teor de enxofre; e teores de sólidos solúveis totais, açúcares redutores e fibra, porém, positivos à massa fresca e seca; teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio; teor de sacarose, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis. Complementarmente, a respeito de efeito de dose de maturador, houve estimativas positivas ao número de plantas, massa fresca e seca, produtividade de biomassa; teores de nitrogênio e potássio; teores de sólidos solúveis totais, açúcares redutores e fibra, porém, positivas aos teores de fósforo, cálcio, magnésio e enxofre; teor de sacarose, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis.

Embora, relativamente, inexpressivos, valores de erro padrão não refletiram, necessariamente, qualidade de ajuste aos modelos polinomiais quadráticos, associada à magnitude de coeficiente de determinação ajustado. Globalmente, estimaram-se pontos estacionários incompatíveis aos intervalos fontes de variação. Circunstancialmente, integrando-se doses de maturador e fertilizante de 0,80 mL ha⁻¹ e 73,40 kg ha⁻¹, respectivamente, haveria possibilidade de otimização de rendimento produtivo de biomassa, enquanto, 0,75 mL ha⁻¹ e 69,90 kg ha⁻¹, maximizaria pureza; extremos implicariam, portanto, improdutividade de lignocelulose e impropriedade de caldo de sorgo sacarino cv. BRS 508, desqualificando-o, portanto, à industrialização sustentável de biocombustíveis líquidos e cogeração de calor para cocção de açúcar e eletricidade (Figuras 11–25).

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p > t	R _{adj} ²	Ponto estacionário
		Número de plantas				
β_0 , intercepto	10,10	0,80	12,20	<0,01**	0,20	
β_x , fósforo	-0,025	0,015	-1,40	0,15		-0,0015
β_y , etefom	1,90	2,10	0,90	0,40		0,50
$\beta_x\beta_y$	0,01	0,0095	1,30	0,20		
β_x^2	0,0000065	0,000095	0,65	0,50		
β_y^2	-1,95	1,35	-1,45	0,15		
		Massa fresca (g)				
β_0 , intercepto	0,35	0,04	8,85	<0,01**	0,25	
β_x , fósforo	0,001	0,0008	1,40	1,15		0,03
β_y , etefom	0,095	0,10	0,95	0,30		2,15
$\beta_x\beta_y$	-0,0006	0,00045	-1,35	0,15		
β_x^2	-0,000003	0,0000045	-0,65	0,50		
β_y^2	-0,02	0,065	-0,35	0,75		
		Produtividade de massa seca (t ha ⁻¹)				
β_0 , intercepto	42,70	6,20	6,90	<0,01**	0,15	

β_x , fósforo	-0,030	-0,10	-0,20	0,80	73,40
β_y , etefom	23,35	15,60	1,50	0,15	0,80
$\beta_{x\beta_y}$	-0,015	0,070	-0,20	0,85	
β_x^2	-0,00025	0,00075	0,35	0,75	
β_y^2	-14,55	10,20	-1,40	0,15	

Códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05.

Tabela 16. Qualidade de ajuste de modelos de rendimento produtivo de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 pelo manejo integrado de etefom e fertilizante

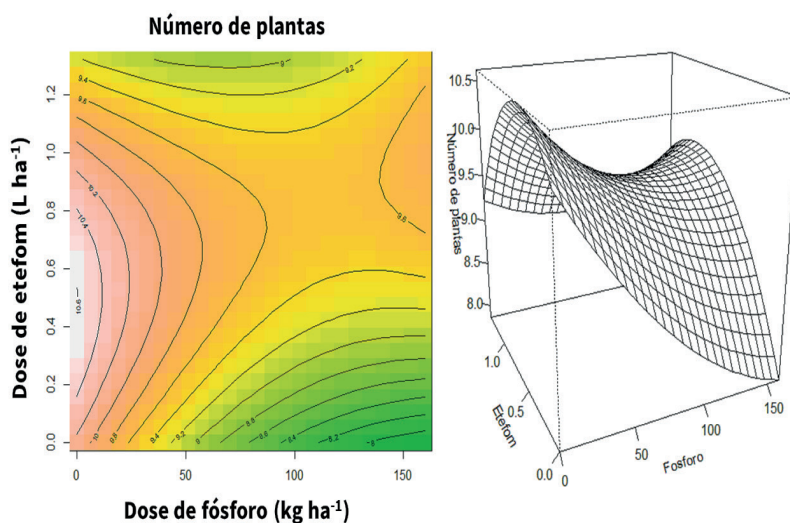


Figura 11. Modelagem de número de plantas de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

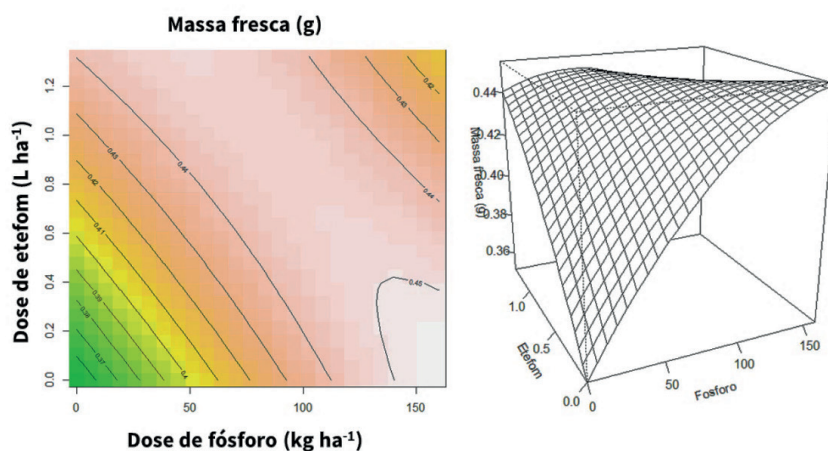


Figura 12. Modelagem de massa fresca de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

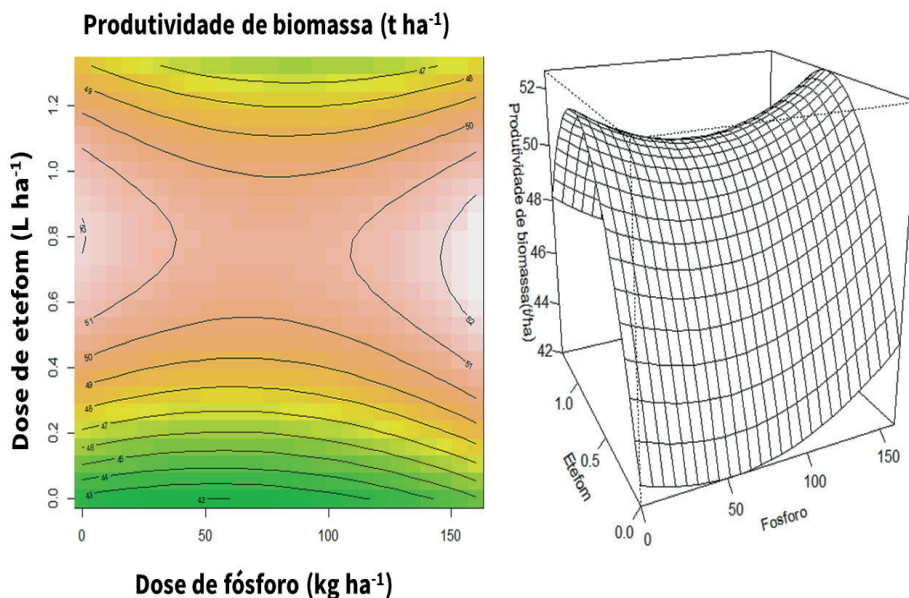


Figura 13. Modelagem de produtividade de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p > t	R _{adj} ²	Ponto estacionário
β_0 , intercepto	31,90	1,05	30,60	<0,01**	0,20	
β_x , fósforo	0,05	0,02	1,50	0,15		25,30
β_y , etefom	-1,05	2,60	-0,40	0,70		-0,45
$\beta_x\beta_y$	0,04	0,01	3,30	0,15		
β_x^2	-0,0003	0,0001	-2,60	0,01*		
β_y^2	-0,035	1,70	-0,20	0,95		
P (g kg ⁻¹)						
β_0 , intercepto	3,70	0,15	26,40	<0,01**	0,30	
β_x , fósforo	0,002	0,003	0,80	0,45		0,002
β_y , etefom	0,04	0,35	0,10	0,90		0,06
$\beta_x\beta_y$	0,002	0,0015	1,35	0,20		
β_x^2	0,000004	0,00002	0,20	0,80		
β_y^2	-0,30	0,20	-1,35	0,20		
K (g kg ⁻¹)						
β_0 , intercepto	15,10	0,50	29,20	<0,01**	0,10	
β_x , fósforo	0,005	0,01	0,45	0,65		0,007
β_y , etefom	-0,60	1,30	-0,45	0,60		-1,50

$\beta_x\beta_y$	0,002	0,006	0,30	0,75
β_x^2	-0,00008	0,00006	-1,25	0,20
β_y^2	-0,20	0,85	-0,25	0,80

Códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05.

Tabela 17a. Qualidade de ajuste de modelos de rendimento produtivo de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 pelo manejo integrado de etefom e fertilizante (Parte I)

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p > t	R_{adj}^2	Ponto estacionário
β_0 , intercepto	4,50	0,50	9,10	<0,01**	0,05	
β_x , fósforo	0,004	0,01	0,40	0,70		0,02
β_y , etefom	0,05	1,25	0,40	0,70		2,25
$\beta_x\beta_y$	-0,001	0,006	-0,25	0,80		
β_x^2	-0,00005	0,00006	-0,90	0,40		
β_y^2	-0,10	0,80	-0,15	0,90		
Mg (g kg ⁻¹)						
β_0 , intercepto	4,55	0,40	11,45	<0,01**	0,05	
β_x , fósforo	0,005	0,008	0,60	0,60		0,01
β_y , etefom	0,70	1,10	0,70	0,50		2,60
$\beta_x\beta_y$	-0,001	0,004	-0,30	0,80		
β_x^2	-0,00005	0,00005	-1,05	0,30		
β_y^2	-0,10	0,65	-0,20	0,85		
S (g kg ⁻¹)						
β_0 , intercepto	2,90	0,15	22,30	<0,01**	0,20	
β_x , fósforo	-0,01	0,003	-3,70	<0,01**		0,0004
β_y , etefom	0,40	0,30	1,30	0,20		0,65
$\beta_x\beta_y$	-0,004	0,001	-0,30	0,75		
β_x^2	0,00005	0,00001	3,10	<0,01**		
β_y^2	-0,30	0,20	-1,50	0,15		

Códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05.

Tabela 17b. Qualidade de ajuste de modelos de rendimento produtivo de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 pelo manejo integrado de etefom e fertilizante (Parte II)

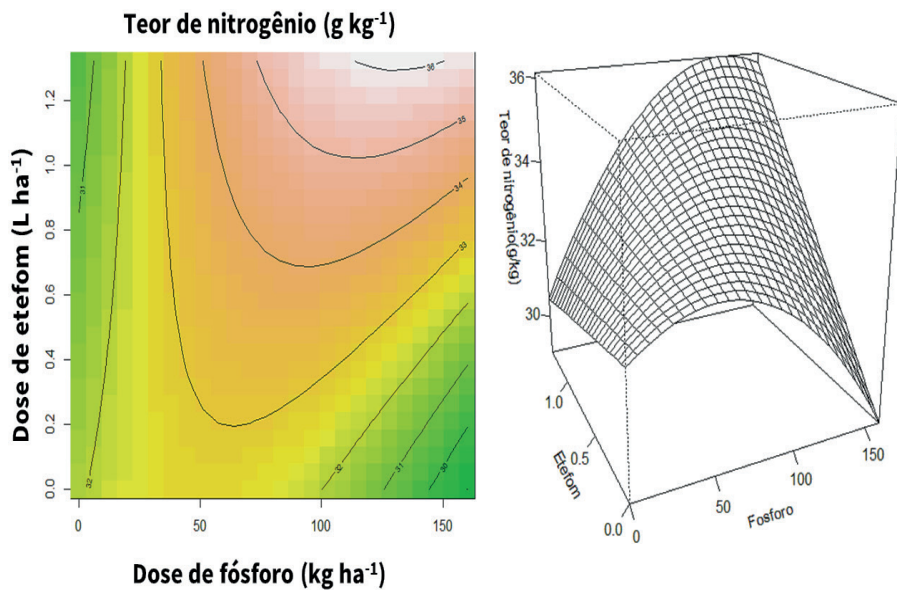


Figura 14. Modelagem de teor de nitrogênio de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

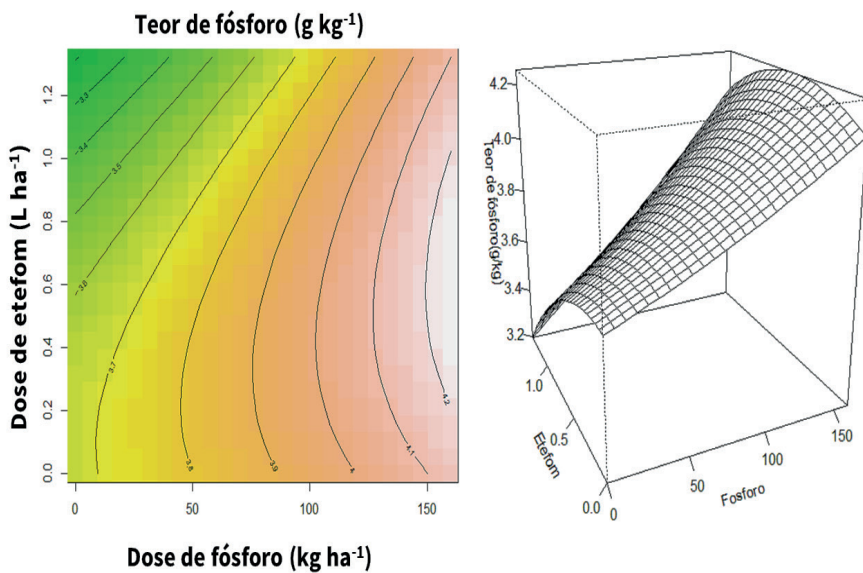


Figura 15. Modelagem de teor de fósforo de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

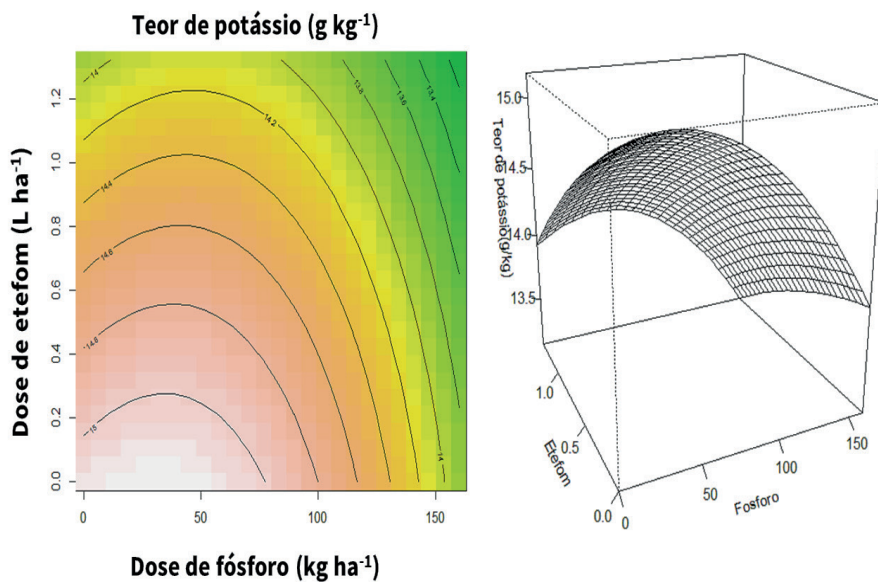


Figura 16. Modelagem de teor de potássio de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

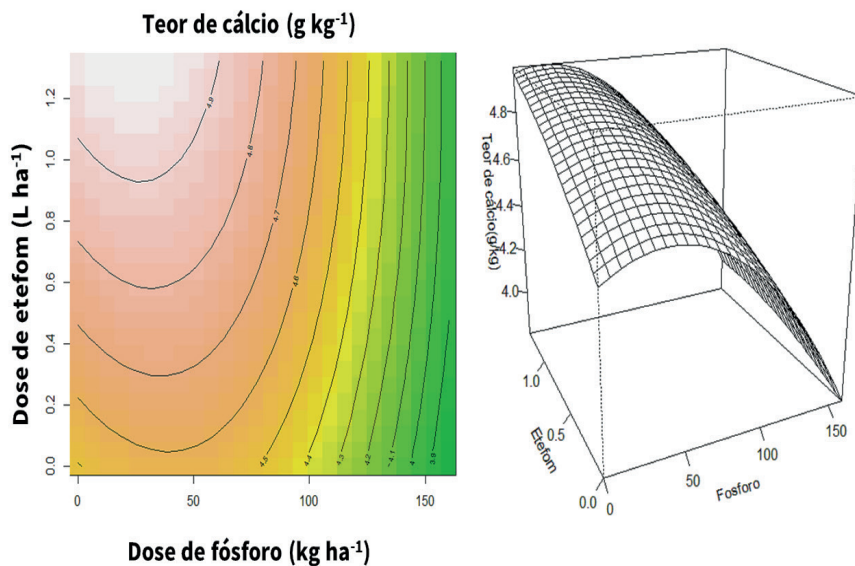


Figura 17. Modelagem de teor de cálcio de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

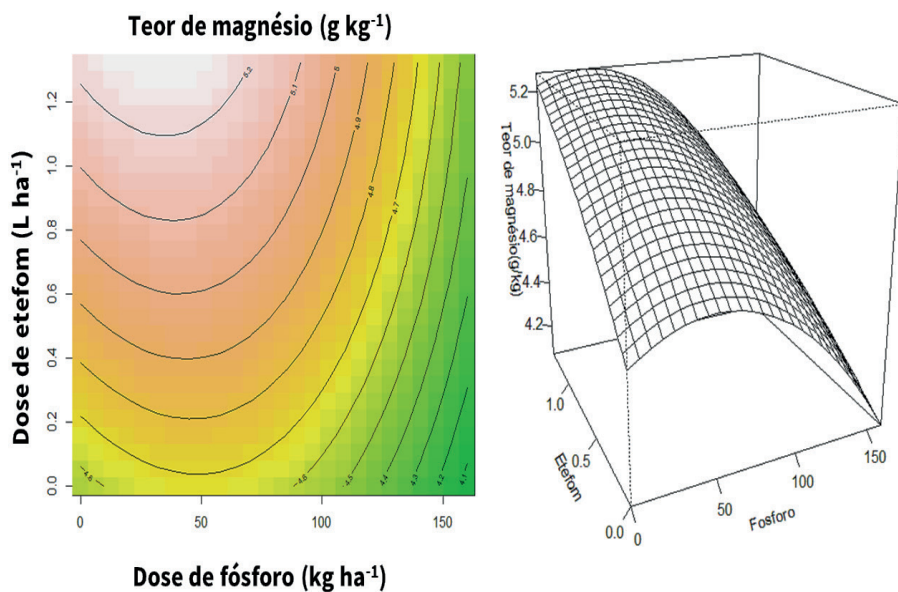


Figura 18. Modelagem de teor de magnésio de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

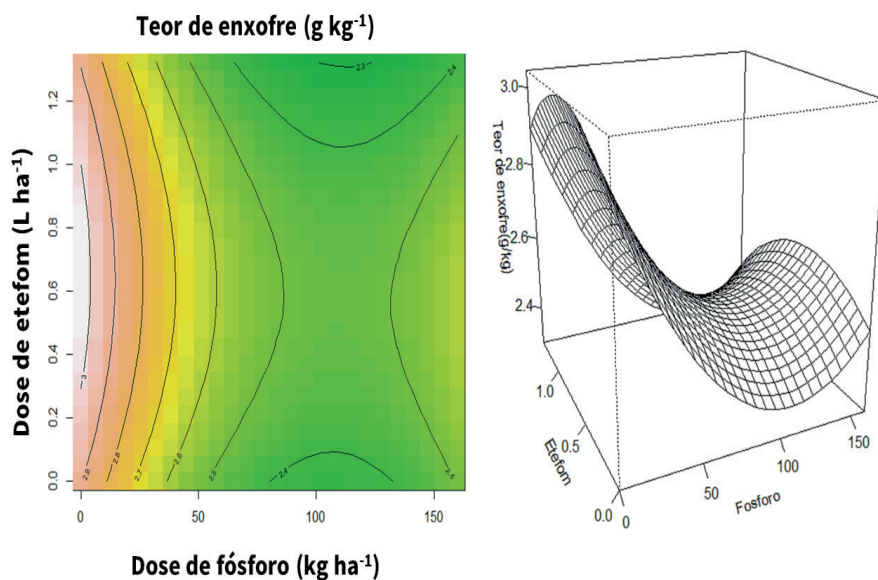


Figura 19. Modelagem de teor de enxofre de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p > t	R _{adj} ²	Ponto estacionário
β_0 , intercepto	20,50	0,40	52,30	<0,01**	0,05	
β_x , fósforo	-0,009	0,008	-1,15	0,25		0,000002
β_y , etefom	-1,60	0,95	-1,65	0,10		0,80
$\beta_x\beta_y$	-0,000006	0,004	-0,10	1,10		
β_x^2	0,00008	0,00005	1,70	0,10		
β_y^2	1,10	0,65	1,55	0,15		
Pol (%)						
β_0 , intercepto	15,80	0,30	54,70	<0,01**	0,05	
β_x , fósforo	0,0006	0,006	0,10	0,95		0,001
β_y , etefom	0,10	0,70	0,15	0,90		0,20
$\beta_x\beta_y$	0,004	0,003	1,10	0,30		
β_x^2	-0,00002	0,00003	-0,45	0,65		
β_y^2	-0,30	0,50	-0,65	0,50		
Pureza (%)						
β_0 , intercepto	76,90	1,55	49,80	<0,01**	0,10	
β_x , fósforo	0,04	0,03	1,10	0,30		69,90
β_y , etefom	6,70	3,90	1,70	0,10		0,75
$\beta_x\beta_y$	0,02	0,02	0,95	0,30		
β_x^2	-0,0003	0,0002	-1,90	0,05*		
β_y^2	-5,30	2,55	-2,10	0,05*		

Códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05.

Tabela 18a. Qualidade de ajuste de modelos de rendimento produtivo de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 pelo manejo integrado de etefom e fertilizante (Parte I)

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	t-valor	p > t	R_{adj}^2	Ponto estacionário
	Açúcares redutores (%)					
β_0 , intercepto	1,10	0,05	18,90	<0,01**	0,10	
β_x , fósforo	-0,001	0,001	-1,10	0,30		-0,001
β_y , etefom	-0,25	0,15	-1,70	0,10		0,65
$\beta_x\beta_y$	-0,0006	0,0006	-0,95	0,35		
β_x^2	0,00001	0,000006	1,95	0,05*		
β_y^2	0,20	0,09	2,10	0,05*		
ATR (kg t ⁻¹)						
β_0 , intercepto	117,20	2,10	58,40	<0,01**	0,05	
β_x , fósforo	0,007	0,04	0,15	0,90		-0,004
β_y , etefom	1,50	5,05	0,30	0,80		0,75
$\beta_x\beta_y$	0,01	0,02	0,50	0,60		
β_x^2	-0,0001	0,0002	-0,40	0,70		
β_y^2	-1,05	3,30	-0,30	0,75		
Fibra (%)						
β_0 , intercepto	20,35	0,40	50,30	<0,01**	0,05	
β_x , fósforo	-0,005	0,008	-0,60	0,60		305,20
β_y , etefom	-0,95	1,02	-0,95	0,35		-3,90
$\beta_x\beta_y$	0,004	0,005	0,85	0,40		
β_x^2	0,00003	0,00005	0,70	0,50		
β_y^2	0,03	0,65	0,04	0,95		

Códigos de significância: ** p < 0,01 e * p < 0,05.

Tabela 18b. Qualidade de ajuste de modelos de rendimento produtivo de biomassa de sorgo sacarino cv. BRS 508 pelo manejo integrado de etefom e fertilizante (Parte II)

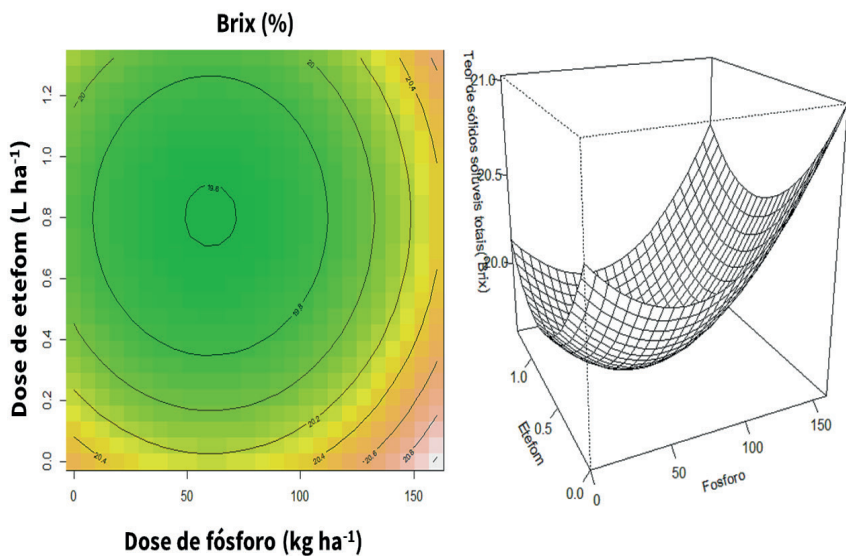


Figura 20. Modelagem de teor de sólidos solúveis totais de caldo de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

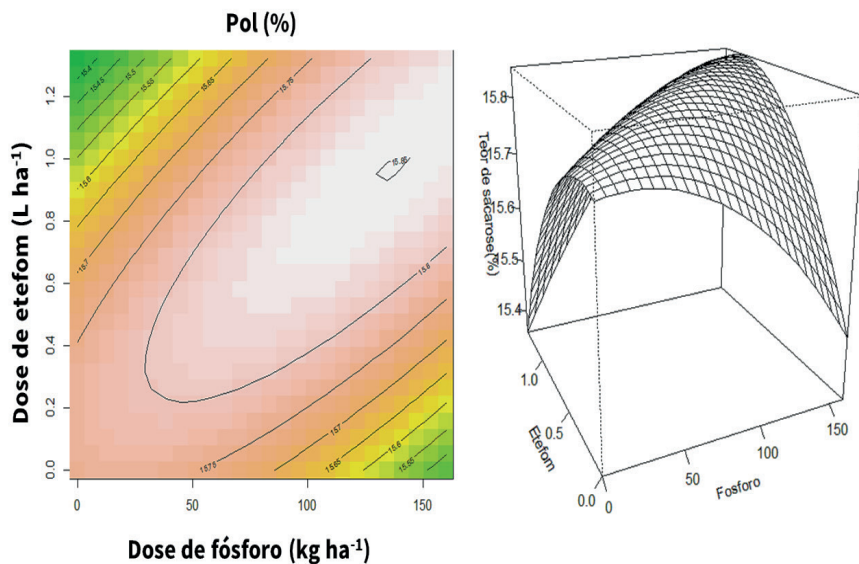


Figura 21. Modelagem de teor de sacarose de caldo de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

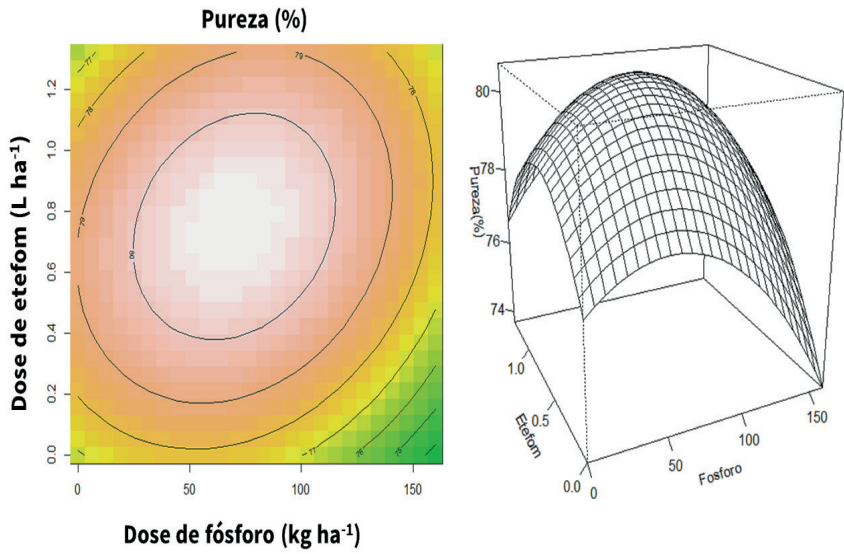


Figura 22. Modelagem de pureza de caldo de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

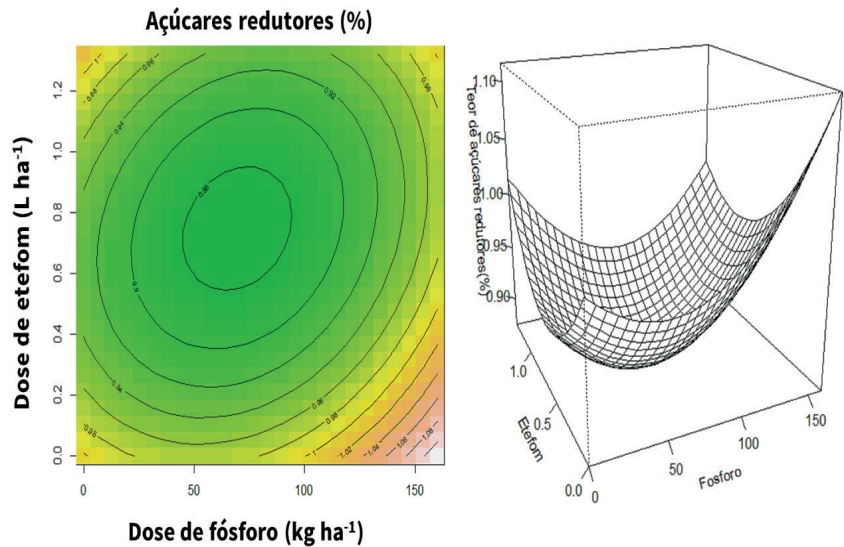


Figura 23. Modelagem de teor de açúcares redutores de caldo de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

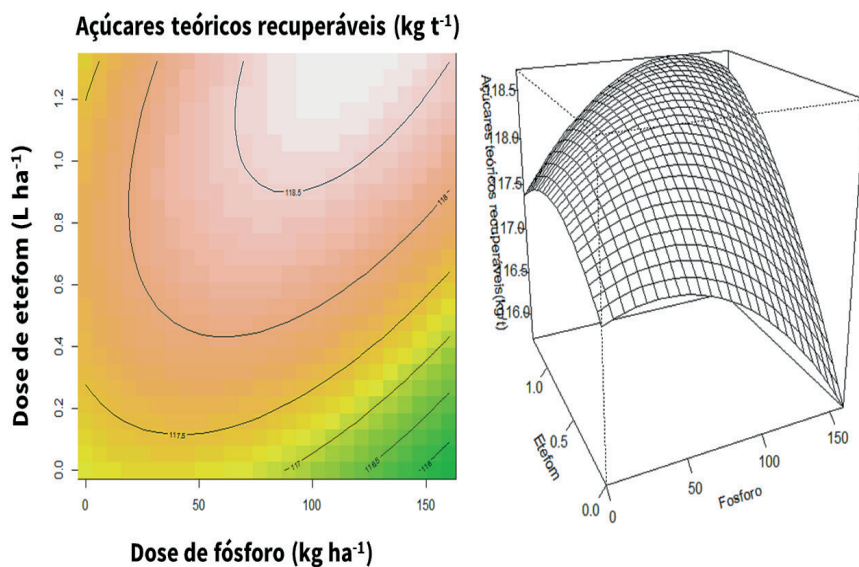


Figura 24. Modelagem de rendimento de açúcares teóricos recuperáveis de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

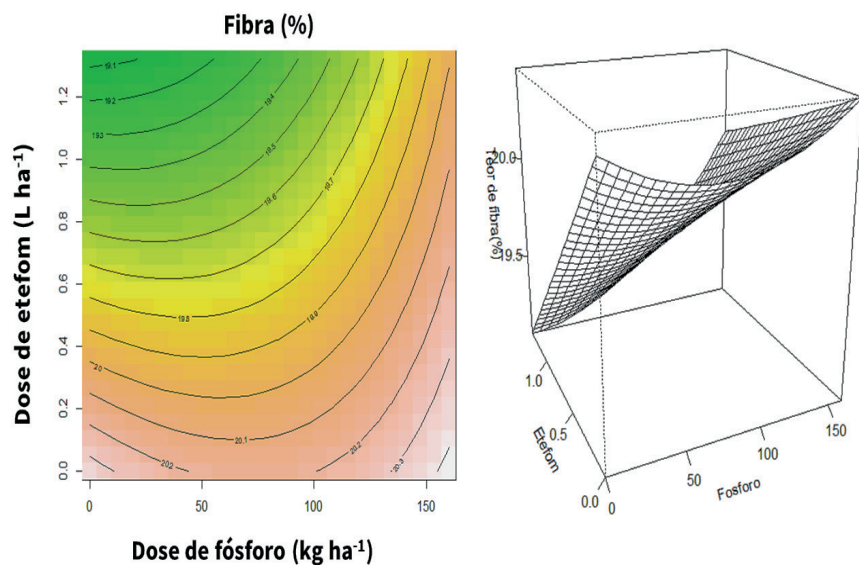


Figura 25. Modelagem de teor de fibra de lignocelulose de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

Previsivelmente, as variáveis, número de plantas, massa fresca e seca, e produtividade de biomassa, correlacionaram-se, positivamente. O teor de fósforo se correlacionou, negativamente, aos teores de cálcio e magnésio, convergentes. Houve associações lineares positivas entre teores de sólidos solúveis totais, sacarose e

rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, correlacionado, inclusive, positivamente, à pureza; complementarmente, teores de água e fibra se associaram, negativamente. Finalmente, houve correlação positiva entre dose de etefom e teor de nitrogênio, porém, negativa entre dose de fósforo e teor de enxofre (Figura 26).

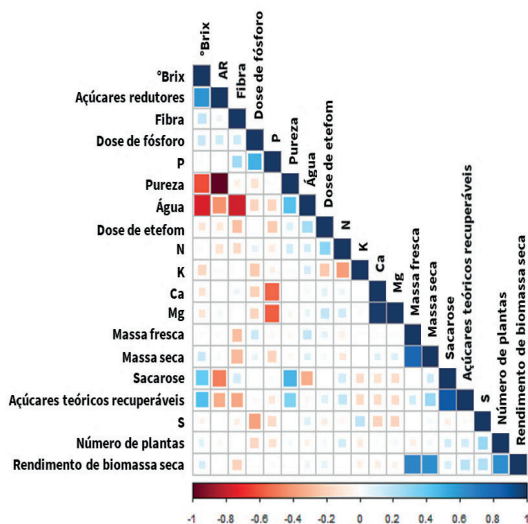


Figura 26. Associações lineares significativas entre variáveis de rendimento e valor nutricional de biomassa, e qualidade de caldo de sorgo sacarino cv. BRS 508 sob manejo integrado de etefom e fertilizante fosfatado.

PERCEPÇÕES EM QUALIDADE TECNOLÓGICA DE CALDO

Associações lineares

Previsivelmente, Brix se correlacionou, positivamente, ao teor de sacarose, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, porém, negativamente, ao teor de açúcares redutores (Figura 27). O teor de sacarose se correlacionou, positivamente, à pureza e rendimento de açúcares, porém, negativamente, ao teor de açúcares redutores. Houver, obviamente, associação linear positiva entre pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis. Finalmente, o teor de açúcares redutores se correlacionou, negativamente, à pureza.

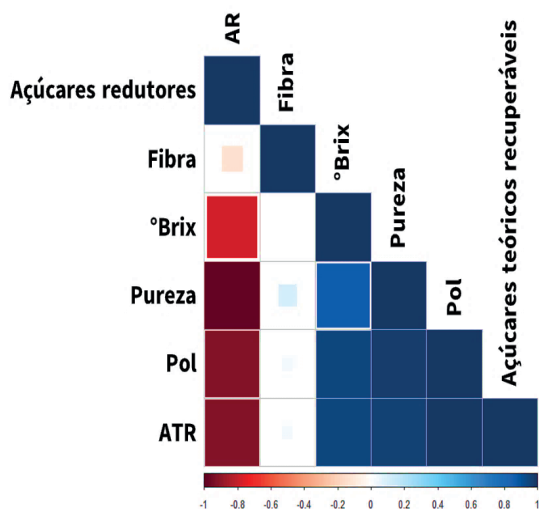


Figura 27. Associações lineares significativas entre variáveis de qualidade tecnológica de caldo de cultivares de sorgo sacarino sob manejo de maturadores químicos.

Variáveis explicativas

Os subconjuntos, CP_I e CP_{II} , associados a autovalores superiores à unidade, retiveram, conjuntamente, significativa parcela de variância de qualidade de caldo e lignocelulose dos cultivares de sorgo sacarino, BRS 508, BRS 509, 80007, 80147, Biomatrix 535, CMSXS 646 e CMSXS 647, tratados com os maturadores químicos, etefom, etil-trinexapac, glifosato, metil-sulfometuron e thidiazuron (Tabela 19).

Variável/índice	Teste de esfericidade de Bartlett	
Chi-quadrado	819,40	
Grau de liberdade	15	
p-valor	<0,01 *	
	Teste de Kaiser-Meyer-Olkin	
	Componente	
	CP_I	CP_{II}
Autovalor	4,75 *	1,10 *
Percentual de variância	78,75	16,85
Percentual cumulativo de variância	78,75	95,60
	Teste de correlação de Pearson	
°Brix	0,90 *	-0,10
Pol	0,95 *	-0,05
Pureza	0,95 *	0,05
Açúcares redutores	-0,90 *	-0,10
Açúcares teóricos recuperáveis	0,95 *	-0,05
Fibra	0,10	0,95 *

	Percentual de contribuição	
°Brix	18,35	0,90
Pol	20,95	0,25
Pureza	20,60	0,15
Açúcares redutores	19,10	0,60
Açúcares teóricos recuperáveis	20,95	0,25
Fibra	0,05	98,10
	Qualidade de caldo	Qualidade de lignocelulose

Códigos de significância: ** $p < 0,01$ e * $p < 0,05$.

Tabela 19. Variáveis explicativas de qualidade tecnológica de caldo de cultivares de sorgo sacarino sob manejo de maturadores químicos

O componente primário, interpretado como qualidade tecnológica de caldo, correlacionou-se, positivamente, aos teores de sólidos solúveis totais, sacarose, pureza e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis, porém, negativamente, ao teor de açúcares redutores. Brix, Pol e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis representaram as maiores contribuições à variabilidade, estatisticamente, interpretável de CP_1 . O componente secundário, interpretado como qualidade de lignocelulose, correlacionou-se, positivamente, ao teor de fibras, variável indispensável à distinção de finalidade econômica de matéria-prima (Figura 28).

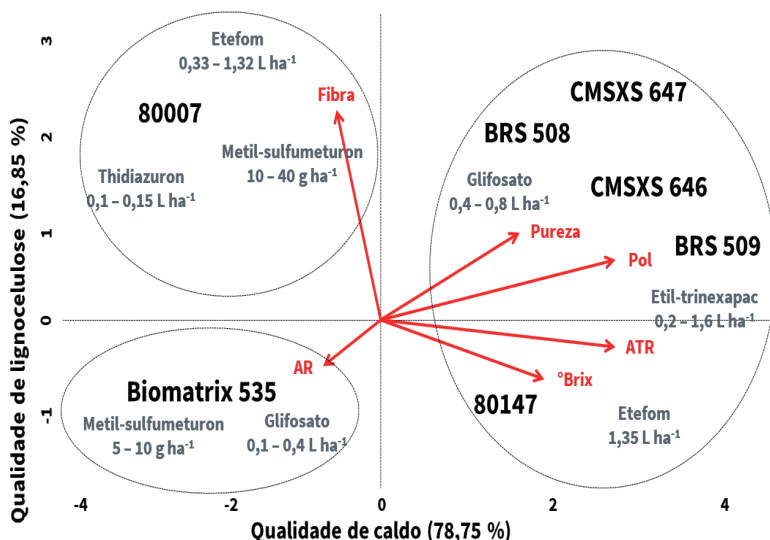


Figura 28. Mapeamento fatorial de relações entre cultivares de sorgo sacarino e maturadores químicos, e finalidades energéticas de caldo e lignocelulose.

A cultivar, 80007, sob tratamentos de etefom a 0,33 a 1,32 L ha⁻¹, metil-sulfometuron a 10 a 40 g ha⁻¹ e thidiazuron a 0,10 a 0,15 L ha⁻¹, caracterizou-se pelo teor de fibras,

enquanto, Biomatrix 535, tratada com glifosato a 0,10 a 0,40 L ha⁻¹ e metil-sulfometuron a 5 a 10 g ha⁻¹, particularizou-se pelo teor de açúcares redutores; 80147, BRS 508, BRS 509, CMSXS 646 e CMSXS 647, tratadas com etefom a 1,35 L ha⁻¹, etil-trinexapac a 0,20 a 1,60 L ha⁻¹ e glifosato a 0,40 a 0,80 L ha⁻¹, diferenciaram-se pelos teores de sólidos solúveis totais e sacarose, pureza, e rendimento de açúcares teóricos recuperáveis.

DISCUSSÃO

O Brix é, indiscutivelmente, fundamental à qualidade de caldo e sustentabilidade de industrialização de sorgo sacarino. Definida pela disponibilidade de sólidos solúveis totais, incluindo-se elementos orgânicos e minerais, a variável é critério à sistematização de massa para fabricação de açúcar e, ou, bioetanol. Avaliá-lo é, portanto, obrigatório à determinação de viabilidade técnica de aplicação de agentes de maturação. O estudo de comportamento biológico de cultura de sacarino sob densidades populacionais para produção de bioetanol, conduzido por Pereira Filho *et al.* (2013), afirmou: houve linhagens com potencial de fornecimento de caldo de 14,30 a 23,10 °Brix, coerente à faixa de teor de sólidos solúveis totais dos cultivares, BRS 508, BRS 509, 80007, 80147, Biomatrix 535, CMSXS 646 e CMSXS 647, *in natura*. Kawahigashi *et al.* (2013), autores do estudo científico de sólidos solúveis totais e açúcares fermentescíveis em *Sorghum sp.*, declararam, incisivamente: caldo com teor de sólidos solúveis totais superior a 15,0 °Brix garantiriam, pelo menos, 75 % de sacarose à usina. Contextualmente, Lozano *et al.* (2018), autores do estudo científico de efeito de inibidores de florescimento de cultura de sorgo sacarino, reportaram: tratamento de etefom produziu caldo de 16,60 a 19,10 °Brix, relativamente, similar aos resultados deste artigo. Além de natureza e dose de maturador, genótipo, fertilidade de solo, precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar e fotoperíodo são fatores que governam processo natural de maturação fisiológica de cultura de sorgo sacarino e, obviamente, estoque de sólidos solúveis totais, principalmente, em relação a açúcares fermentescíveis, enfatizam Crusciol *et al.* (2017). No setor sucroenergético, realiza-se colheita mecanizada de lavoura de cana-de-açúcar, ou sorgo sacarino, desde que, o teor de sólidos solúveis de caldo seja de 15,50 a 16,50 °Brix (INOUE *et al.*, 2015). A cultivar, Biomatrix 535, tratada com glifosato a 0,4 L ha⁻¹ e etil-trinexapac a 0,2; 0,4 e 0,8 L ha⁻¹, especificamente, permitiria, portanto, colheita sustentável, pois, sob tais circunstâncias, produziu caldo com teor de sólidos solúveis convergente à faixa relatada em literatura; em relação à época de colheita, poder-se-ia efetua-la, racionalmente, 15 a 37 dias após aplicação; realizá-la 42 dias após tratamento químico, independentemente de maturador, seria contraindicado, pois, neste intervalo, houve razoável declínio em °Brix, provavelmente, devido à degradação de qualidade de caldo por exposição prolongada de plantas a agentes estressantes promotores de inversão de sacarose, convertendo-a, elementarmente, em glicose e frutose. Em relação aos cultivares, CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508 e BRS 509, todos possibilitariam teores de sólidos solúveis, tecnicamente, viáveis à colheita mecanizada, tanto *in natura*, quanto tratados com etefom a 0,7 L ha⁻¹, etil-trinexapac a 0,8 L ha⁻¹, glifosato a 0,4 L ha⁻¹ e metil-sulfometuron a 0,02 kg ha⁻¹, setenta dias anteriores ao estágio fenológico de florescimento, controlando-o pela reordenação de balanço hormonal, determinante ao equilíbrio de vegetação e reprodução.

Correlacionado, positivamente, ao Brix, o Pol é elementar ao rendimento e qualidade de etanol (THANI; LAOPAIBOON; LAOPAIBOON, 2017; WU *et al.*, 2010). Recomenda-se colheita mecanizada de lavouras de cana-de-açúcar e sorgo sacarino, somente, quando o teor de sacarose de caldo atinge, pelo menos, 14,00 %; caso contrário, há real possibilidade de improdutividade de fermentação alcoólica e prolongamento de período industrial útil, fator antieconômico. Em culturas de cana-de-açúcar e sorgo sacarino, invertases ácidas

e alcalinas, e sintase de fosfato, governam síntese de sacarose. Invertases ácidas, particularmente, hidrolisam sacarose, convertendo-a em monômeros de glicose e frutose, reversíveis. Invertases alcalinas previnem translocação de sacarose, de caule para folhas e estruturas reprodutivas, como panícula e grãos, concentrando-a em parênquimas parenquimatosos, tecidos especializados em reserva de polissacarídeos (CHANDRA; TAKEUCHI; HASEGAWA, 2012; LEITE *et al.*, 2015). O estudo científico de enzimas de síntese de sacarose em variedades de cana-de-açúcar, conduzido por Crusciol *et al.* (2017), relatou: houve associações lineares positivas entre atividade específica de invertases alcalinas e teor de sacarose de caldo. Segundo Chandra *et al.* (2012) e Leite *et al.* (2015), subdoses de etil-trinexapac e glifosato restringem, notavelmente, atividade específica de invertases ácidas, impedindo-as de hidrolisarem sacarose, acumulando-a em toda a estrutura de caule, inclusive, internódios. Os significativos incrementos de teor de sacarose em cultivares de sorgo sacarino, principalmente, Biomatrix 535, CMSXS 647, e BRS 508 e BRS 509, tratados com glifosato a 0,4 L ha⁻¹, etefom a 0,33 L ha⁻¹ e etil-trinexapac a 0,7 L ha⁻¹, respectivamente, sugeriria, portanto, antagonismo de tais maturadores à atividade específica de invertases ácidas. Genótipo, condições edafoclimáticas e tratos culturais, incluindo-se aplicação de reguladores de crescimento vegetal, condicionam dinamismo de invertases (Crusciol *et al.*, 2017). Sob a perspectiva de Oliveira Filho *et al.* (2016), etefom, etil-trinexapac, metil-sulfometuron e nitrato de potássio suprimem crescimento e desenvolvimento de plantas de cana-de-açúcar e sorgo sacarino por inibição química de síntese de auxinas e giberilinas; em virtude de não florescimento, há intensa translocação de fotoassimilados, de estruturas fotossintéticas ao caule, concentrando-o em sacarose e, automaticamente, sólidos solúveis totais. Considerando-se a referência, controle hormonal de auxinas e giberilinas por indução de eventos de estresse oxidativo seria, portanto, argumento adicional ao incremento de teor de sacarose de caldos de BRS 508, BRS 509, 80007, 80147, Biomatrix 535, CMSXS 646 e CMSXS 647 sob tratamentos de etefom, etil-trinexapac, glifosato, metil-sulfometuron e thidiazuron, absolutamente, qualificados ao manejo de maturação fisiológica de cultura de sorgo sacarino. Os ingredientes ativos seriam, inclusive, opções à otimização de planejamento de colheita, extremamente, dependente de ciclo comercial, agravante técnico de produção comercial de sorgo.

Determinada pela relação Pol/Brix, a pureza é o principal indicador de qualidade de caldo de sorgo sacarino. Partículas coloidais de solo, materiais vegetais remanescentes de colheita são sujidades que a comprometem. Matérias-primas ideais à industrialização de etanol devem possuir, pelo menos, 70 % de pureza; caso contrário, depreciam qualidade e valor de produto, e oneram custos operacionais, segundo Oliveira Filho *et al.* (2016). Independentemente de dose, etil-trinexapac, glifosato e metil-sulfometuron seriam impraticáveis ao tratamento químico do cultivar, Biomatrix 535, pois, não lhe proporcionaram pureza requerida pelo setor sucroenergético, apesar de otimizarem a relação Pol/Brix. Apesar de insatisfatoriedade técnica, recomendar-se-ia aplicá-los em circunstâncias que desfavorecem maturação, pois, mesmo que o objetivo de tratamento não fosse alcançado, plenamente, seria possível obter pureza aceitável. Em contrapartida, não haveria problema, em relação ao cultivar, CMSXS 647, *in natura* e tratado com etefom. Efetividade de maturador à melhoria de qualidade de qualidade tecnológica de caldo de sorgo sacarino é, evidentemente, dependente de genótipo e condições edafoclimáticas.

Em produção comercial de açúcar cristal e etanol de primeira geração, excesso de açúcares redutores prejudica rendimento e qualidade de produtos, conferindo-lhes, eventualmente, coloração indesejável aos padrões mercadológicos. Etil-trinexapac a 0,7 L ha⁻¹, associado a expressivos incrementos de Brix, Pol e pureza, seria alternativa a problemas industriais de açúcares redutores, pois, reduziu, consideravelmente, os teores de glicose e frutose em cultivares de sorgo sacarino, principalmente, BRS 508 e CMSXS 646. A glicose, particularmente, é substrato de etanol celulósico. Otimizá-la seria, portanto, interessante à indústria. Os cultivares, Biomatrix 535 e 80007, tratados com metil-sulfometuron a 5 e 10 kg ha⁻¹ e glifosato a 0,2 L ha⁻¹, e thidiazuron a 0,15 L ha⁻¹, respectivamente, seriam as melhores opções à segunda geração de etanol, pois, associaram-se, aos maiores teores de açúcares redutores (CHOHNAN *et al.*, 2011; ROHOWSKY *et al.*, 2013). Correlacionado, positivamente, ao Brix e Pol, porém, negativamente, ao teor de açúcares redutores, o rendimento de açúcares teóricos recuperáveis determina o preço de matéria-prima: quanto maior o valor, maior a bonificação ao produtor. Associados aos mais expressivos rendimentos de açúcares teóricos recuperáveis, etefom, etil-trinexapac e glifosato seriam alternativas ao tratamento dos cultivares, CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508, BRS 509 e 80147, para fornecimento de matéria-prima à fabricação de etanol de primeira geração. Dentre os materiais genéticos, recomendar-se-iam, inquestionavelmente: CMSXS 647 e BRS 509 (TAKAKI *et al.*, 2015).

Nezarat *et al.* (2018) conduziram o estudo científico de resposta de sorgo sacarino à fertilização mineral e remoção de ponteiro e reportaram: etefom e magnésio, administrado em dose intermediária, aumentaram rendimento de açúcares, provavelmente, devido à supressão de crescimento vegetativo por auxinas e giberelinas, estimulação à transcrição de genes fotossintéticos, energização de rotas bioquímicas e fisiológicas e intensificação de translocação floemática e acúmulo de sacarose em parênquimas lacunosos de caule, concentrando-os. Os autores discutiram: superdoses de maturador e nutriente restringiram, consideravelmente, qualidade de caldo e, posteriormente, produtividade de etanol por fermentação convencional, devido à fitotoxicidade, argumento plausível às superfícies de respostas convexas ajustadas aos efeitos de doses de etefom e fósforo em teor de sacarose. Superdoses de etefom e fósforo seriam, inclusive, inoportunas à produção comercial de sorgo sacarino cv. BRS 508 para fins energéticos e pecuários, pois, restringiriam, correlatamente, rendimento e qualidade nutricional de biomassa, especialmente, em relação ao teor de nitrogênio, tornando-a, eventualmente, inapropriada ao abastecimento de biorrefinarias e fabricação de ração para animais ruminantes e monogástricos. O nitrogênio é essencial à palatabilidade, tragabilidade e digestibilidade de forragem e silagem (CALVANO *et al.*, 2011; CARLOTO *et al.*, 2011; NANTES *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2016).

CONSIDERAÇÕES

A cultura de sorgo sacarino é multifuncional: caldo, grãos, palha e bagaço são versáteis à industrialização de alimentos, biocombustíveis e ração animal, elementarmente. Considerando-se, perspicazmente, o mapeamento fatorial de cultivares e maturadores, CMSXS 646, CMSXS 647, BRS 508, BRS 509 e 80147, tratadas com etefom a 1,35 L ha⁻¹, etil-trinexapac a 0,2 a 1,6 L ha⁻¹ e glifosato a 0,4 a 0,8 L ha⁻¹, particularmente, seriam apropriadas à produção de etanol de primeira geração, devido à incomparável qualidade de caldo, enquanto, Biomatrix 535, tratada com glifosato a 0,1 a 0,4 L ha⁻¹ e metil-sulfometuron a 5 a 10 g ha⁻¹, caracterizada pelo excelente teor de glicose, desempenharia excelente papel de matéria-prima para industrialização de açúcar líquido; finalmente, em relação a 80007, tratada com etefom a 0,33 a 1,32 L ha⁻¹, metil-sulfometuron a 10 a 40 g ha⁻¹ e thidiazuron a 0,10 a 0,15 L ha⁻¹, proporcionaria ao setor sucroenergético, considerável rendimento de fibra, substrato de cogeração de calor para cocção de açúcar e eletricidade.

REFERÊNCIAS

- ABOOD, N. M. Exogenous application of ethephon effects on some growth and yield characteristics of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). **ANBAR Journal of agricultural sciences**, v. 15, n. 2, p. 1–13, 2017.
- AHMAD DAR, R.; AHMAD DAR, E.; KAUR, A.; GUPTA PHUTELA, U. Sweet sorghum—a promising alternative feedstock for biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 4070–4090, 2018.
- AHMAD, I.; KAMRAN, M.; MENG, X.; ALI, S.; BILEGJARGAL, B.; CAI, T.; LIU, T.; HAN, Q. Effects of Plant Growth Regulators on Seed Filling, Endogenous Hormone Contents and Maize Production in Semiarid Regions. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 38, n. 4, p. 1467–1480, 2019.
- AL KHALASI, S. S.; MAHGOUB, O.; KADIM, I. T.; AL-MARZOUQI, W.; AL-RAWAHI, S. Health and performance of Omani sheep fed salt-tolerant sorghum (*Sorghum bicolor*) forage or Rhodes grass (*Chloris gayana*). **Small Ruminant Research**, Special Issue: Potential use of halophytes and other salt-tolerant plants in sheep and goat feeding. v. 91, n. 1, Special Issue: Potential use of halophytes and other salt-tolerant plants in sheep and goat feeding, p. 93–102, 2010.
- ALI, A. Y. A.; IBRAHIM, M. E. H.; ZHOU, G.; NIMIR, N. E. A.; JIAO, X.; ZHU, G.; ELSIDDIG, A. M. I.; ZHI, W.; CHEN, X.; LU, H. Ameliorative Effects of Jasmonic Acid and Humic Acid on Antioxidant Enzymes and Salt Tolerance of Forage Sorghum under Salinity Conditions. **Agronomy Journal**, v. 0, n. 0, p. 0, 2019.
- ALVAREZ, M. E. Salicylic acid in the machinery of hypersensitive cell death and disease resistance. In: LAM, E.; FUKUDA, H.; GREENBERG, J. (Eds.). **Programmed Cell Death in Higher Plants**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. p. 185–198.
- ALVAREZ, M. M.; PÉREZ-CARRILLO, E.; SERNA-SALDÍVAR, S. O. Effect of decortication and protease treatment on the kinetics of liquefaction, saccharification, and ethanol production from sorghum. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 85, n. 8, p. 1122–1129, 2010.
- AMADUCCI, S.; MONTI, A.; VENTURI, G. Non-structural carbohydrates and fibre components in sweet and fibre sorghum as affected by low and normal input techniques. **Industrial Crops and Products**, 5th European Symposium on Industrial Crops and Products and the 3rd International Congress and Trade Show GreenTech 2002. v. 20, n. 1, 5th European Symposium on Industrial Crops and Products and the 3rd International Congress and Trade Show GreenTech 2002, p. 111–118, 2004.
- AMORIM, H. V. De; BASSO, L. C.; LOPES, M. L. Sugar cane juice and molasses, beet molasses and sweet sorghum: composition and usage. **The alcohol textbook: a reference for the beverage, fuel and industrial alcohol industries**, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001802797>>. Acesso em: 28 dez. 2019.
- AMORIM, H. V.; LOPES, M. L.; DE CASTRO OLIVEIRA, J. V.; BUCKERIDGE, M. S.; GOLDMAN, G. H. Scientific challenges of bioethanol production in Brazil. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 91, n. 5, p. 1267, 2011.
- ANDRIETTA, S. R.; STECKELBERG, C.; ANDRIETTA, M. da G. S. Study of flocculent yeast performance in tower reactors for bioethanol production in a continuous fermentation process with no cell recycling. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 8, p. 3002–3008, 2008.
- ANWAR, S.; LEI, H.; KUAI, J.; KHAN, S.; FAHAD, S.; ZHOU, G. Soaking seeds of winter rapeseed with Quinalofop-P-Ethyl alters plant growth and improves yield in a rice-rapeseed cropping system. **Field Crops Research**, v. 208, p. 11–17, 2017.

APPELS, L.; BAEYENS, J.; DEGRÈVE, J.; DEWIL, R. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 6, p. 755–781, 2008.

APPELS, L.; LAUWERS, J.; DEGRÈVE, J.; HELSEN, L.; LIEVENS, B.; WILLEMS, K.; VAN IMPE, J.; DEWIL, R. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 9, p. 4295–4301, 2011.

APRILL, W.; SIMS, R. C. Evaluation of the use of prairie grasses for stimulating polycyclic aromatic hydrocarbon treatment in soil. **Chemosphere**, v. 20, n. 1, p. 253–265, 1990.

ARGUESO, J. L.; CARAZZOLLE, M. F.; MIECZKOWSKI, P. A.; DUARTE, F. M.; NETTO, O. V. C.; MISSAWA, S. K.; GALZERANI, F.; COSTA, G. G. L.; VIDAL, R. O.; NORONHA, M. F.; DOMINSKA, M.; ANDRIETTA, M. G. S.; ANDRIETTA, S. R.; CUNHA, A. F.; GOMES, L. H.; TAVARES, F. C. A.; ALCARDE, A. R.; DIETRICH, F. S.; MCCUSKER, J. H.; PETES, T. D.; PEREIRA, G. A. G. Genome structure of a *Saccharomyces cerevisiae* strain widely used in bioethanol production. **Genome Research**, v. 19, n. 12, p. 2258–2270, 2009.

ASHRAF, M.; ATHAR, H. R.; HARRIS, P. J. C.; KWON, T. R. Some Prospective Strategies for Improving Crop Salt Tolerance. In: **Advances in Agronomy**. Academic Press, 2008. v. 97p. 45–110.

AUSTIN, R. B. Yield of Wheat in the United Kingdom: Recent Advances and Prospects. **Crop Science**, v. 39, n. 6, p. 1604–1610, 1999.

BABCOCK, B. A. The impact of US biofuel policies on agricultural price levels and volatility. **China Agricultural Economic Review**, v. 4, n. 4, p. 407–426, 2012.

BACILIERI, F. S.; LIMA, L. C. De; LANA, R. M. Q.; GUIMARÃES, D. S. N.; CLEMENTE, M. A. Efficacy of a plant growth regulator in the culture of coffee. **Bioscience Journal**, v. 32, n. 2, 2016. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/29820>. Acesso em: 28 dez. 2019.

BAJWA, D. S.; PETERSON, T.; SHARMA, N.; SHOJAEIARANI, J.; BAJWA, S. G. A review of densified solid biomass for energy production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 96, p. 296–305, 2018.

BAKER, C. J.; STERLING, M.; BERRY, P. A generalised model of crop lodging. **Journal of Theoretical Biology**, v. 363, p. 1–12, 2014.

BALAT, M.; BALAT, H. Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel. **Applied Energy**, v. 86, n. 11, p. 2273–2282, 2009.

BALLESTEROS, I.; OLIVA, J. M.; NEGRO, M. J.; MANZANARES, P.; BALLESTEROS, M. Enzymic hydrolysis of steam exploded herbaceous agricultural waste (*Brassica carinata*) at different particle sizes. **Process Biochemistry**, v. 38, n. 2, p. 187–192, 2002.

BAN, J.; YU, J.; ZHANG, X.; TAN, T. Ethanol production from sweet sorghum residual. **Frontiers of Chemical Engineering in China**, v. 2, n. 4, p. 452–455, 2008.

BASAVARAJ, G.; PARTHASARATHY RAO, P.; BASU, K.; REDDY, C. R.; KUMAR, A. A.; SRINIVASA RAO, P.; REDDY, B. V. S. Assessing viability of bio-ethanol production from sweet sorghum in India. **Energy Policy**, v. 56, p. 501–508, 2013.

BASAVARAJ, G.; RAO, P. P.; RAVINDER REDDY, C. SWOT analysis of sweet sorghum ethanol value chain. In: **Developing a Sweet Sorghum Ethanol Value Chain**. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, 2013. p. 197–200.

BASHRI, G.; PRASAD, S. M. Exogenous IAA differentially affects growth, oxidative stress and antioxidants system in Cd stressed *Trigonella foenum-graecum* L. seedlings: Toxicity alleviation by up-regulation of ascorbate-glutathione cycle. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 132, p. 329–338, 2016.

BENNETT, A. S.; ANEX, R. P. Production, transportation and milling costs of sweet sorghum as a feedstock for centralized bioethanol production in the upper Midwest. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 4, p. 1595–1607, 2009.

BERRY, P. M.; SPINK, J. Predicting yield losses caused by lodging in wheat. **Field Crops Research**, v. 137, p. 19–26, 2012.

BERRY, P. M.; STERLING, M.; SPINK, J. H.; BAKER, C. J.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; MOONEY, S. J.; TAMS, A. R.; ENNOS, A. R. Understanding and Reducing Lodging in Cereals. In: **Advances in Agronomy**; Elsevier, 2004. v. 84p. 217–271.

BILLA, E.; KOULLAS, D. P.; MONTIES, B.; KOUKIOS, E. G. Structure and composition of sweet sorghum stalk components. **Industrial Crops and Products**, v. 6, n. 3, p. 297–302, 1997.

BLIECK, L.; TOYE, G.; DUMORTIER, F.; VERSTREPEN, K. J.; DELVAUX, F. R.; THEVELEIN, J. M.; DIJCK, P. V. Isolation and Characterization of Brewer's Yeast Variants with Improved Fermentation Performance under High-Gravity Conditions. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 73, n. 3, p. 815–824, 2007.

BROWN, T. R.; BROWN, R. C. A review of cellulosic biofuel commercial-scale projects in the United States. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 7, n. 3, p. 235–245, 2013.

CAFFREY, K. R.; VEAL, M. W.; CHINN, M. S. The farm to biorefinery continuum: A techno-economic and LCA analysis of ethanol production from sweet sorghum juice. **Agricultural Systems**, v. 130, p. 55–66, 2014.

CALVANO, M. P. C. A.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; LEMPP, B.; DIFANTE, G. dos S.; FLORES, R. S.; GALBEIRO, S. Tillering and forage accumulation in Marandu grass under different grazing intensities. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 781–789, 2011.

CANCELA, A.; PÉREZ, L.; FEBRERO, A.; SÁNCHEZ, A.; SALGUEIRO, J. L.; ORTIZ, L. Exploitation of *Nannochloropsis gaditana* biomass for biodiesel and pellet production. **Renewable Energy**, v. 133, p. 725–730, 2019.

CARLOTO, M. N.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; LEMPP, B.; DIFANTE, G. dos S.; PAULA, C. C. L. De. Desempenho animal e características de pasto de capim-xaraés sob diferentes intensidades de pastejo, durante o período das águas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 1, p. 97–104, 2011.

CASSINA, L.; TASSI, E.; MORELLI, E.; GIORGETTI, L.; REMORINI, D.; CHANEY, R. L.; BARBAFIERI, M. Exogenous cytokinin treatments of a hyper-accumulator, *Alyssum murale*, grown in a serpentine soil: implications for phytoextraction. **International Journal of Phytoremediation**, v. 13, n. sup1, p. 90–101, 2011.

CATHEY, G. W.; MEREDITH, W. R. Cotton Response to Planting Date and Mepiquat Chloride. **Agronomy Journal**, v. 80, n. 3, p. 463–466, 1988.

CHANDLER, J. W.; COLE, M.; FLIER, A.; WERR, W. BIM1, a bHLH protein involved in brassinosteroid signaling, controls Arabidopsis embryonic patterning via interaction with DORNROSCHEN and DORNROSCHEN-LIKE. **Plant Molecular Biology**, v. 69, n. 1, p. 57–68, 2009.

- CHANDRA, R.; TAKEUCHI, H.; HASEGAWA, T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 3, p. 1462–1476, 2012.
- CHAROENCHAI, C.; FLEET, G. H.; HENSCHKE, P. A. Effects of Temperature, pH, and Sugar Concentration on the Growth Rates and Cell Biomass of Wine Yeasts. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 49, n. 3, p. 283–288, 1998.
- CHATTHA, M. U.; SANA, M. A.; MUNIR, H.; ASHRAF, U.; ZAMIR, S. I.; UL-HAQ, I. Exogenous application of plant growth promoting substances enhances the growth, yield and quality of maize (*Zea mays* L.). **Plant Knowledge Journal**, v. 4, n. 1, p. 1, 2015.
- CHOHNAN, S.; NAKANE, M.; RAHMAN, M. H.; NITTA, Y.; YOSHIURA, T.; OHTA, H.; KURUSU, Y. Fuel ethanol production from sweet sorghum using repeated-batch fermentation. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 111, n. 4, p. 433–436, 2011.
- CHUCK-HERNANDEZ, C.; PEREZ-CARRILLO, E.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Production of bioethanol from steam-flaked sorghum and maize. **Journal of Cereal Science**, v. 50, n. 1, p. 131–137, 2009.
- CLAASSEN, P. A. M.; DE VRIJE, T.; BUDDE, M. A. W.; BOX, P. O.; WAGENINGEN, A. BIOLOGICAL HYDROGEN PRODUCTION FROM SWEET SORGHUM BY THERMOPHILIC BACTERIA. p. 5, 2004.
- COOK, D. R.; KENNEDY, C. W. Early Flower Bud Loss and Mepiquat Chloride Effects on Cotton Yield Distribution. **Crop Science**, v. 40, n. 6, p. 1678–1684, 2000.
- CREELMAN, R. A.; MULLET, J. E. Jasmonic acid distribution and action in plants: regulation during development and response to biotic and abiotic stress. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 92, n. 10, p. 4114–4119, 1995.
- CRUSCIOL, C. A. C.; LEITE, G. H. P.; DE SIQUEIRA, G. F.; DE ALMEIDA SILVA, M. Response of application of growth inhibitors on sugarcane productivity and sucrose accumulation in the middle of cropping season in Brazil. **Sugar Tech**, v. 19, n. 2, p. 155–164, 2017.
- CUNHA, J. P. A. R. Da; ALVES, G. S.; MARQUES, R. S. Tensão superficial, potencial hidrogeniônico e condutividade elétrica de caldas de produtos fitossanitários e adjuvantes. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 261–270, 2017.
- DAHLBERG, J.; BERENJI, J.; SIKORA, V.; LATKOVIĆ, D. Assessing sorghum [*Sorghum bicolor* (L) Moench] germplasm for new traits: food, fuels & unique uses. **Maydica**, v. 56, n. 2, 2012. Disponível em: <https://journals-crea.4science.it/index.php/maydica/article/view/688>. Acesso em: 27 dez. 2019.
- DAVIES, P. J. Regulatory Factors in Hormone Action: Level, Location and Signal Transduction. In: DAVIES, P. J. (Ed.). **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 16–35.
- DEMIRBAS, A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy Conversion and Management**, v. 49, n. 8, p. 2106–2116, 2008.
- DEMIRBAS, A. Producing and Using Bioethanol as an Automotive Fuel. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, v. 2, n. 4, p. 391–401, 2007.
- DEMIRBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 7, p. 1746–1760, 2009.

- DING, J.; HUANG, X.; ZHANG, L.; ZHAO, N.; YANG, D.; ZHANG, K. Tolerance and stress response to ethanol in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 85, n. 2, p. 253, 2009.
- DIVI, U. K.; KRISHNA, P. Brassinosteroid: a biotechnological target for enhancing crop yield and stress tolerance. **New Biotechnology**, Special issue on Biocatalysis and Agricultural Biotechnology: number 2. v. 26, n. 3, Special issue on Biocatalysis and Agricultural Biotechnology: number 2, p. 131–136, 2009.
- DOMICIANO, D.; CARVALHO, P. A. Ethrel stimulant increases the activity of soluble invertase isoforms in rubber tree (*Hevea brasiliensis*) bark tissues. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 99, 2018.
- DOMINGUES, L.; VICENTE, A. A.; LIMA, N.; TEIXEIRA, J. A. Applications of yeast flocculation in biotechnological processes. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**, v. 5, n. 4, p. 288–305, 2000.
- EASSON, D. L.; WHITE, E. M.; PICKLES, S. J. The effects of weather, seed rate and cultivar on lodging and yield in winter wheat. **The Journal of Agricultural Science**, v. 121, n. 2, p. 145–156, 1993.
- ELHASSAN, H. E.; ELKHEIR, E. M. S.; DIAB, E. E. E.; OSMAN, G. A. M. Salicylic acid enhanced phytoremediation of lead by maize (*Zea mays*) plant. **International Journal of Engineering Research**, v. 2, n. 1, p. 7, 2016.
- ELLIS, M. C. B.; TUCK, C. R.; MILLER, P. C. H. The effect of some adjuvants on sprays produced by agricultural flat fan nozzles. **Crop Protection**, v. 16, n. 1, p. 41–50, 1997.
- FAHAD, S.; HUSSAIN, S.; SAUD, S.; HASSAN, S.; IHSAN, Z.; SHAH, A. N.; WU, C.; YOUSAF, M.; NASIM, W.; ALHARBY, H.; ALGHABARI, F.; HUANG, J. Exogenously applied plant growth regulators enhance the morpho-physiological growth and yield of rice under high temperature. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016.
- FAHAD, S.; HUSSAIN, S.; SAUD, S.; KHAN, F.; HASSAN, S.; AMANULLAH; NASIM, W.; ARIF, M.; WANG, F.; HUANG, J. Exogenously applied plant growth regulators affect heat-stressed rice pollens. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 202, n. 2, p. 139–150, 2016.
- FAHMY, A. A.; YOUSSEF, K. M.; EL SHAER, H. M. Intake and nutritive value of some salt-tolerant fodder grasses for sheep under saline conditions of South Sinai, Egypt. **Small Ruminant Research**, v. 91, n. 1, p. 110–115, 2010.
- FANG, S.; GAO, K.; HU, W.; WANG, S.; CHEN, B.; ZHOU, Z. Foliar and seed application of plant growth regulators affects cotton yield by altering leaf physiology and floral bud carbohydrate accumulation. **Field Crops Research**, v. 231, p. 105–114, 2019.
- FARRELL, A. E.; PLEVIN, R. J.; TURNER, B. T.; JONES, A. D.; O'HARE, M.; KAMMEN, D. M. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. **Science**, v. 311, n. 5760, p. 506–508, 2006.
- FERNANDEZ-ANEZ, N.; SLATTER, D. J. F.; SAEED, M. A.; PHYLLAKTOU, H. N.; ANDREWS, G. E.; GARCIA-TORRENT, J. Ignition sensitivity of solid fuel mixtures. **Fuel**, v. 223, p. 451–461, 2018.
- FILHO, I. A. P.; PARRELLA, R. A. D. C.; MOEREIRA, J. A. A.; MAY, A.; SOUZA, V. F. D.; CRUZ, J. C. Avaliação de cultivares de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] em diferentes densidades de semeadura visando a características importantes na produção de etanol. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 2, p. 118–127, 2013.

FITRI, S. N. A.; BERNAS, S. M.; SODIKIN, E.; WIJAYA, A.; APRIADI, F. the influence of phosphate fertilizer and plant growth regulators on the growth and yield of ratoon rice (*Oryza sativa* L.) grown on swampland. **Journal of Tropical Soils**, v. 23, n. 2, p. 73–80, 2019.

FLEET, G. M. Yeasts-growth during fermentation. **WQine Microbiology & Biotechnology**, p. 27–54, 1993.

FLINTHAM, J. E.; BÖRNER, A.; WORLAND, A. J.; GALE, M. D. Optimizing wheat grain yield: effects of Rht (gibberellin-insensitive) dwarfing genes. **The Journal of Agricultural Science**, v. 128, n. 1, p. 11–25, 1997.

FOLLIARD, A.; TRAORÉ, P. C. S.; VAKSMANN, M.; KOURESSY, M. Modeling of sorghum response to photoperiod: a threshold–hyperbolic approach. **Field Crops Research**, v. 89, n. 1, p. 59–70, 2004.

FORGHANI, A. H.; ALMODARES, A.; EHSANPOUR, A. A. Potential objectives for gibberellic acid and paclobutrazol under salt stress in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench cv. Sofra). **Applied Biological Chemistry**, v. 61, n. 1, p. 113–124, 2018.

GANGWAR, S.; SINGH, V. P.; SRIVASTAVA, P. K.; MAURYA, J. N. Modification of chromium (VI) phytotoxicity by exogenous gibberellic acid application in *Pisum sativum* (L.) seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 4, p. 1385–1397, 2011.

GARCIA, D. P.; CARASCHI, J. C.; VENTORIM, G.; VIEIRA, F. H. A.; DE PAULA PROTÁSIO, T. Assessment of plant biomass for pellet production using multivariate statistics (PCA and HCA). **Renewable Energy**, v. 139, p. 796–805, 2019.

GEORGE, E. F.; HALL, M. A.; KLERK, G.-J. D. Plant Growth Regulators I: Introduction; Auxins, their Analogues and Inhibitors. In: GEORGE, E. F.; HALL, M. A.; KLERK, G.-J. D. (Eds.). **Plant Propagation by Tissue Culture: Volume 1. The Background**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2008. p. 175–204.

GILROY, S.; JONES, R. L. Gibberellic acid and abscisic acid coordinately regulate cytoplasmic calcium and secretory activity in barley aleurone protoplasts. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 89, n. 8, p. 3591–3595, 1992.

GLUSHKOV, D.; PAUSHKINA, K.; SHABARDIN, D.; STRIZHAK, P.; GUTAREVA, N. Municipal solid waste recycling by burning it as part of composite fuel with energy generation. **Journal of Environmental Management**, v. 231, p. 896–904, 2019.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A.; WYMAN, C. E. Refining sweet sorghum to ethanol and sugar: economic trade-offs in the context of North China. **Bioresource Technology**, v. 96, n. 9, p. 985–1002, 2005.

GROSSMAN, S.; LESHEM, Y. Y. Lowering of endogenous lipoxygenase activity in *Pisum sativum* foliage by cytokinin as related to senescence. **Physiologia Plantarum**, v. 43, n. 4, p. 359–362, 1978.

GROSSMANN, K. Induction of leaf abscission in cotton is a common effect of urea- and adenine-type cytokinins. **Plant Physiology**, v. 95, n. 1, p. 234–237, 1991.

GROSSMANN, K.; JUNG, J. influence of new terpenoid analogues of abscisic acid on stomatal movement and leaf senescence. **Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau = Journal of agronomy and crop science**, 1984. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302050047>. Acesso em: 26 dez. 2019.

- GUO, X.; WANG, L.; CHANG, X.; LI, Q.; ABBASI, A. M. Influence of plant growth regulators on key-coding genes expression associated with phytochemicals biosynthesis and antioxidant activity in soybean (*Glycine max* (L.) Merr) sprouts. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 54, n. 3, p. 771–779, 2019.
- GWATHMEY, C. O.; CLEMENT, J. D. Alteration of cotton source–sink relations with plant population density and mequiquat chloride. **Field Crops Research**, v. 116, n. 1, p. 101–107, 2010.
- HAÇ-WYDRO, K.; SROKA, A.; JABŁOŃSKA, K. The impact of auxins used in assisted phytoextraction of metals from the contaminated environment on the alterations caused by lead (II) ions in the organization of model lipid membranes. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 143, p. 124–130, 2016.
- HAGEL, J. M.; FACCHINI, P. J. Dioxygenases catalyze the O-demethylation steps of morphine biosynthesis in opium poppy. **Nature Chemical Biology**, v. 6, n. 4, p. 273–275, 2010.
- HAMAYUN, M.; KHAN, S. A.; KHAN, A. L.; SHIN, J.-H.; AHMAD, B.; SHIN, D.-H.; LEE, I.-J. Exogenous gibberellic acid reprograms soybean to higher growth and salt stress tolerance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, n. 12, p. 7226–7232, 2010.
- HAMELINCK, C. N.; HOOIJDONK, G. Van; FAAIJ, A. P. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 4, p. 384–410, 2005.
- HARDE, S. M.; BANKAR, S. B.; OJAMO, H.; GRANSTRÖM, T.; SINGHAL, R. S.; SURVASE, S. A. Continuous lignocellulosic ethanol production using *Coleus forskohlii* root hydrolysate. **Fuel**, v. 126, p. 77–84, 2014.
- HARPAZ-SAAD, S.; YOON, G. M.; MATTOO, A. K.; KIEBER, J. J. the formation of ACC and competition between polyamines and ethylene for SAM. In: **Annual Plant Reviews online: American Cancer Society**, 2018. p. 53–81.
- HEER, D.; SAUER, U. Identification of furfural as a key toxin in lignocellulosic hydrolysates and evolution of a tolerant yeast strain. **Microbial Biotechnology**, v. 1, n. 6, p. 497–506, 2008.
- HEERDEN, P. D. R. Van; EGGLESTON, G.; DONALDSON, R. A. Ripening and postharvest deterioration. In: **Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology**: John Wiley & Sons, Ltd, 2013. p. 55–84.
- HEMME, C. L.; MOUTTAKI, H.; LEE, Y.-J.; ZHANG, G.; GOODWIN, L.; LUCAS, S.; COPELAND, A.; LAPIDUS, A.; RIO, T. G. Del; TICE, H.; SAUNDERS, E.; BRETTIN, T.; DETTER, J. C.; HAN, C. S.; PITLUCK, S.; LAND, M. L.; HAUSER, L. J.; KYRPIDES, N.; MIKHAILOVA, N.; HE, Z.; WU, L.; NOSTRAND, J. D. V.; HENRISSAT, B.; HE, Q.; LAWSON, P. A.; TANNER, R. S.; LYND, L. R.; WIEGEL, J.; FIELDS, M. W.; ARKIN, A. P.; SCHADT, C. W.; STEVENSON, B. S.; MCINERNEY, M. J.; YANG, Y.; DONG, H.; XING, D.; REN, N.; WANG, A.; HUHNKE, R. L.; MIELENZ, J. R.; DING, S.-Y.; HIMMEL, M. E.; TAGHAVI, S.; LELIE, D. Van der; RUBIN, E. M.; ZHOU, J. Sequencing of multiple clostridial genomes related to biomass conversion and biofuel production. **Journal of Bacteriology**, v. 192, n. 24, p. 6494–6496, 2010.
- HERNÁNDEZ, L.; KAFAROV, V. Use of bioethanol for sustainable electrical energy production. **International Journal of Hydrogen Energy**, 4th Dubrovnik Conference. v. 34, n. 16, 4th Dubrovnik Conference, p. 7041–7050, 2009.
- HIGHINA, B. K.; BUGAJE, I. M. A REVIEW ON SECOND GENERATION BIOFUEL: A COMPARISON OF ITS CARBON FOOTPRINTS. v. 2, n. 2, p. 9, 2014.

HOLMA, A.; KOPONEN, K.; ANTIKAINEN, R.; LARDON, L.; LESKINEN, P.; ROUX, P. Current limits of life cycle assessment framework in evaluating environmental sustainability – case of two evolving biofuel technologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 215–228, 2013.

IFTIKHAR, M.; ASGHAR, A.; RAMZAN, N.; SAJJADI, B.; CHEN, W. Biomass densification: Effect of cow dung on the physicochemical properties of wheat straw and rice husk-based biomass pellets. **Biomass and Bioenergy**, v. 122, p. 1–16, 2019.

INOUE, M. H.; CAPPELLESO, E. J. de S.; MENDES, K. F.; BEN, R.; CONCIANI, P. A. Eficiência do bispyribac-sodium como maturador na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 80–88, 2015.

ISRAR, M.; SAHI, S. V. Promising role of plant hormones in translocation of lead in *Sesbania drummondii* shoots. **Environmental Pollution**, v. 153, n. 1, p. 29–36, 2008.

JERGER, D. E.; CHYNOWETH, D. P.; ISAACSON, H. R. Anaerobic digestion of sorghum biomass. **Biomass**, v. 14, n. 2, p. 99–113, 1987.

JI, P.; TANG, X.; JIANG, Y.; TONG, Y.; GAO, P.; HAN, W. Potential of gibberellic acid 3 (GA3) for enhancing the phytoremediation efficiency of *Solanum nigrum* L. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 95, n. 6, p. 810–814, 2015.

JIN, H.; LIU, R.; HE, Y. Kinetics of Batch Fermentations for Ethanol Production with Immobilized *Saccharomyces cerevisiae* Growing on Sweet Sorghum Stalk Juice. **Procedia Environmental Sciences**, v. 12, p. 137–145, 2012.

JORDAN, D. L.; BEAM, J. B.; JOHNSON, P. D.; SPEARS, J. F. Peanut response to prohexadione calcium in three seeding rate–row pattern planting systems. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 1, p. 232–236, 2001.

JORDAN, D. L.; NUTI, R. C.; BEAM, J. B.; LANCASTER, S. H.; LANIER, J. E.; LASSITER, B. R.; JOHNSON, P. D. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivar response to prohexadione calcium. **Peanut Science**, v. 35, n. 2, p. 101–107, 2008.

KANMANI, E.; RAVICHANDRAN, V.; SIVAKUMAR, R.; SENTHIL, A.; KRISHNA SURENDAR, K.; BOOMINATHAN, P. Influence of plant growth regulators on physiological traits under salinity stress in contrasting rice varieties (*Oryza sativa* L.). **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 5, p. 1654–1661, 2017.

KARMOLLACHAAB, A.; BAKHSHANDEH, A.; MORADI TELAVAT, M. R.; MORADI, F.; SHOMEILI, M. Sugarcane yield and technological ripening responses to chemical ripeners. **Sugar Tech**, v. 18, n. 3, p. 285–291, 2016.

KAWAHIGASHI, H.; KASUGA, S.; OKUIZUMI, H.; HIRADATE, S.; YONEMARU, J. Evaluation of brix and sugar content in stem juice from sorghum varieties. **Grassland Science**, v. 59, n. 1, p. 11–19, 2013.

KERBY, T. A.; HAKE, K.; KEELEY, M. Cotton fruiting modification with mepiquat chloride. **Agronomy Journal**, v. 78, n. 5, p. 907–913, 1986.

KHANUM, S. A.; HUSSAIN, H. N.; HUSSAIN, M.; ISHAQ, M. Digestibility studies in sheep fed sorghum, sesbania and various grasses grown on medium saline lands. **Small Ruminant Research**, v. 91, n. 1, p. 63–68, 2010.

KIM, M.; DAY, D. F. Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 7, p. 803–807, 2011.

- KURIAN, J. K.; ASHOK, M. K.; BANERJEE, A.; N, K. V. V. Bioconversion of hemicellulose hydrolysate of sweet sorghum bagasse to ethanol by using *Pichia stipitis* NCIM 3497 and *Debaryomyces hansenii*. **BioResources**, v. 5, n. 4, p. 2404–2416, 2010.
- LACOTE, R.; GABLA, O.; OBOUYEBA, S.; ESCHBACH, J. M.; RIVANO, F.; DIAN, K.; GOHET, E. Long-term effect of ethylene stimulation on the yield of rubber trees is linked to latex cell biochemistry. **Field Crops Research**, v. 115, n. 1, p. 94–98, 2010.
- LATIF KHAN, A.; AHMED HALO, B.; ELYASSI, A.; ALI, S.; AL-HOSNI, K.; HUSSAIN, J.; AL-HARRASI, A.; LEE, I.-J. Indole acetic acid and ACC deaminase from endophytic bacteria improves the growth of *Solarium lycopersicum*. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 19, n. 3, p. 58–64, 2016.
- LEITE, G. H. P.; ALEXANDRE, C.; CRUSCIOL, C.; SIQUEIRA, G. F. De; SILVA, M. de A. Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar no início da safra. **Ciência Rural**, v. 45, n. 10, p. 1788–1794, 2015.
- LEÓN, J.; SÁNCHEZ-SERRANO, J. J. Molecular biology of jasmonic acid biosynthesis in plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 37, n. 5, p. 373–380, 1999.
- LIN, Z.-X.; ZHANG, H.-M.; JI, X.-J.; CHEN, J.-W.; HUANG, H. hydrolytic enzyme of cellulose for complex formulation applied research. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 164, n. 1, p. 23–33, 2011.
- LINTON, J. A.; MILLER, J. C.; LITTLE, R. D.; PETROLIA, D. R.; COBLE, K. H. Economic feasibility of producing sweet sorghum as an ethanol feedstock in the southeastern United States. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 3050–3057, 2011.
- LUCENA, B. T.; DOS SANTOS, B. M.; MOREIRA, J. L.; MOREIRA, A. P. B.; NUNES, A. C.; AZEVEDO, V.; MIYOSHI, A.; THOMPSON, F. L.; DE MORAIS, M. A. Diversity of lactic acid bacteria of the bioethanol process. **BMC Microbiology**, v. 10, n. 1, p. 298, 2010.
- LUO, L.; VAN DER VOET, E.; HUPPES, G. Biorefining of lignocellulosic feedstock – Technical, economic and environmental considerations. **Bioresource Technology**, Special issue on lignocellulosic bioethanol: Current status and perspectives. v. 101, n. 13, p. 5023–5032, 2010.
- LÜTHEN, H. What we can learn from old auxinology. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 702–707, 2015.
- MACEDO, W. R.; ARAÚJO, D. K.; SANTOS, V. M.; CASTRO, P. R. de C. E.; FERNANDES, G. M. Plant growth regulators on sweet sorghum: physiological and nutritional value analysis. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 170–174, 2017.
- MAHASUKHONTHACHAT, K.; SOPADE, P. A.; GIDLEY, M. J. Kinetics of starch digestion in sorghum as affected by particle size. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 1, p. 18–28, 2010.
- MAKI, M.; LEUNG, K. T.; QIN, W. The prospects of cellulase-producing bacteria for the bioconversion of lignocellulosic biomass. **International Journal of Biological Sciences**, v. 5, n. 5, p. 500–516, 2009.
- MAMMA, D.; CHRISTAKOPOULOS, P.; KOULLAS, D.; KEKOS, D.; MACRIS, B. J.; KOUKIOS, E. An alternative approach to the bioconversion of sweet sorghum carbohydrates to ethanol. **Biomass and Bioenergy**, v. 8, n. 2, p. 99–103, 1995.
- MARCH, S. R.; MARTINS, D.; MCELROY, J. S. Growth inhibitors in turfgrass. **Planta Daninha**, v. 31, n. 3, p. 733–747, 2013.

MARUMO, S.; KATAYAMA, M.; KOMORI, E.; OZAKI, Y.; NATSUME, M.; KONDO, S. Microbial Production of Abscisic Acid by *Botrytis cinerea*. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 46, n. 7, p. 1967–1968, 1982.

MATSAKAS, L.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P. **Evaluation of Dried Sweet Sorghum Stalks as Raw Material for Methane Production**. Research article. 2014. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/731731/abs/>. Acesso em: 28 dez. 2019.

MATTHEW, C.; HOFMANN, W. A.; OSBORNE, M. A. Pasture response to gibberellins: A review and recommendations. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 52, n. 2, p. 213–225, 2009.

MCINTOSH, S.; VANCOV, T. Enhanced enzyme saccharification of *Sorghum bicolor* straw using dilute alkali pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 17, p. 6718–6727, 2010.

MENG, H.; HUA, S.; SHAMSI, I. H.; JILANI, G.; LI, Y.; JIANG, L. Cadmium-induced stress on the seed germination and seedling growth of *Brassica napus* L., and its alleviation through exogenous plant growth regulators. **Plant Growth Regulation**, v. 58, n. 1, p. 47–59, 2009.

METWALLY, A.; FINKEMEIER, I.; GEORGI, M.; DIETZ, K.-J. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. **Plant Physiology**, v. 132, n. 1, p. 272–281, 2003.

MILLER, E. N.; JARBOE, L. R.; TURNER, P. C.; PHARKYA, P.; YOMANO, L. P.; YORK, S. W.; NUNN, D.; SHANMUGAM, K. T.; INGRAM, L. O. furfural inhibits growth by limiting sulfur assimilation in ethanologenic *Escherichia coli* strain ly180. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 19, p. 6132–6141, 2009.

MOHAMMED, A. R.; TARPLEY, L. Chapter 34 - Rice Responses and Tolerance to Ultraviolet-B (UV-B) Radiation: Plant Growth Regulators Provide a Management Option. In: HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M.; NAHAR, K.; BISWAS, J. K. (Eds.). **Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance**: Woodhead Publishing, 2019. p. 709–724.

MOHD AZHAR, S. H.; ABDULLA, R.; JAMBO, S. A.; MARBAWI, H.; GANSAU, J. A.; MOHD FAIK, A. A.; RODRIGUES, K. F. Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. **Biochemistry and Biophysics Reports**, v. 10, p. 52–61, 2017.

MONGE, J. J.; RIBERA, L. A.; JIFON, J. L.; SILVA, J. A. Da; RICHARDSON, J. W. Economics and uncertainty of lignocellulosic biofuel production from energy cane and sweet sorghum in South Texas. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 46, n. 4, p. 457–485, 2014.

NANTES, N. N.; EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; LEMPP, B.; BARBOSA, R. A.; GOIS, P. O. De. Desempenho animal e características de pastos de capim-piatã submetidos a diferentes intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 114–121, 2013.

NELJUBOW, D. Über die horizontale nutation der Stengel von *Pisum sativum* und einiger anderen Pflanzen. **Bot. Centralbl. Beih.**, v. 10, p. 128–139, 1901.

NEVOIGT, E. Progress in Metabolic Engineering of *Saccharomyces cerevisiae*. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 72, n. 3, p. 379–412, 2008.

NEZARAT, S.; GHOLAMI, A.; ASGHARI, H. R.; BARADARAN FIROUZABADI, M. Sweet sorghum response to magnesium fertilization and top removal. **Sugar Tech**, v. 20, n. 3, p. 305–311, 2018.

NICKELL, L. G. **Plant Growth Regulating Chemicals**: CRC Press, 2018.

NIMIR, N. E. A.; LU, S.; ZHOU, G.; GUO, W.; MA, B.; WANG, Y. Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defence system of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) under salinity and temperature stresses. **Crop and Pasture Science**, v. 66, n. 2, p. 145–157, 2015.

OLUKOYA, I. A.; BELLMER, D.; WHITELEY, J. R.; AICHELE, C. P. Evaluation of the environmental impacts of ethanol production from sweet sorghum. **Energy for Sustainable Development**, v. 24, p. 1–8, 2015.

ORGERON, A. J.; GRIFFIN, J. L.; LEGENDRE, B. L.; GRAVOIS, K. A.; MILLER, D. K.; PONTIF, M. J. Trinexapac-ethyl. will it increase early season sugar accumulation? **Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists**, v. 32, p. 83–84, 2012.

ORTIZ-MUÑOZ, B.; CARVAJAL-ZARRABAL, O.; TORRESTIANA-SANCHEZ, B.; AGUILAR-USCANGA, M. G. Kinetic study on ethanol production using *Saccharomyces cerevisiae* ITV-01 yeast isolated from sugar cane molasses. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 85, n. 10, p. 1361–1367, 2010.

OTIE, V.; PING, A.; JOHN, N. M.; ENEJI, A. E. Interactive effects of plant growth regulators and nitrogen on corn growth and nitrogen use efficiency. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 11, p. 1597–1609, 2016.

OWENS, L. D.; LIEBERMAN, M.; KUNISHI, A. Inhibition of ethylene production by rhizobitoxine. **Plant Physiology**, v. 48, n. 1, p. 1–4, 1971.

PARK, J.-Y.; CHOI, S.-A.; JEONG, M.-J.; NAM, B.; OH, Y.-K.; LEE, J.-S. Changes in fatty acid composition of *Chlorella vulgaris* by hypochlorous acid. **Bioresource Technology**, v. 162, p. 379–383, 2014.

PARK, M. J.; JO, J. H.; PARK, D.; LEE, D. S.; PARK, J. M. Comprehensive study on a two-stage anaerobic digestion process for the sequential production of hydrogen and methane from cost-effective molasses. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, n. 12, p. 6194–6202, 2010.

PARSEH, I.; TEIRI, H.; HAJIZADEH, Y.; EBRAHIMPOUR, K. phytoremediation of benzene vapors from indoor air by *Schefflera arboricola* and *Spathiphyllum wallisii* plants. **Atmospheric Pollution Research**, v. 9, n. 6, p. 1083–1087, 2018.

PEREIRA, L. T. C.; PEREIRA, L. T. C.; SPOSINA SOBRAL TEIXEIRA, R.; PINTO DA SILVA BON, E.; PEREIRA FREITAS, S. Sugarcane bagasse enzymatic hydrolysis: rheological data as criteria for impeller selection. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 8, p. 901–907, 2011.

PÉREZ-CARRILLO, E.; LUISA CORTÉS-CALLEJAS, M.; SABILLÓN-GALEAS, L. E.; MONTALVO-VILLARREAL, J. L.; CANIZO, J. R.; GEORGINA MORENO-ZEPEDA, M.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Detrimental effect of increasing sugar concentrations on ethanol production from maize or decorticated sorghum mashes fermented with *Saccharomyces cerevisiae* or *Zymomonas mobilis*. **Biotechnology Letters**, v. 33, n. 2, p. 301–307, 2011.

PÉREZ-CARRILLO, E.; SERNA-SALDÍVAR, S. O.; ALVAREZ, M. M.; CORTES-CALLEJAS, M. L. Effect of Sorghum Decortication and Use of Protease Before Liquefaction with Thermoresistant α -Amylase on Efficiency of Bioethanol Production. **Cereal Chemistry**, v. 85, n. 6, p. 792–798, 2008.

PETRY, W.; RADEMACHER, I.; KÜHBAUCH, W. Messung und dokumentation mikromorphologischer veränderungen in pflanzen am beispiel ccc-behandelten sommerweizens mit hilfe der quantitativen bildanalyse. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 162, n. 2, p. 73–80, 1989.

- PINO-HERRERA, D. O.; PECHAUD, Y.; HUGUENOT, D.; ESPOSITO, G.; VAN HULLEBUSCH, E. D.; OTURAN, M. A. Removal mechanisms in aerobic slurry bioreactors for remediation of soils and sediments polluted with hydrophobic organic compounds: An overview. **Journal of Hazardous Materials**, v. 339, p. 427–449, 2017.
- PIOTROWSKA, A.; BAJGUZ, A.; GODLEWSKA-ŻYŁKIEWICZ, B.; CZERPAK, R.; KAMIŃSKA, M. Jasmonic acid as modulator of lead toxicity in aquatic plant *Wolffia arrhiza* (Lemnaceae). **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 3, p. 507–513, 2009.
- POSCHENRIEDER, C.; GUNSE, B.; CORRALES, I.; BARCELÓ, J. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. **Science of The Total Environment**, v. 400, n. 1, p. 356–368, 2008.
- PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T.; FONSECA, I. C. D. B.; PRICINOTTO, L. F.; ZUCARELI, C.; FERREIRA, A. S.; SPOLAOR, L. T.; FONSECA, I. C. D. B. YIELD AND BIOMETRIC CHARACTERISTICS OF MAIZE SUBMITTED TO PLANT POPULATION AND TRINEXAPAC-ETHYL DOSES. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 667–678, 2019.
- PURWADI, R.; BRANDBERG, T.; TAHERZADEH, M. J. A possible industrial solution to ferment lignocellulosic hydrolyzate to ethanol: continuous cultivation with flocculating yeast. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 8, n. 9, p. 920–932, 2007.
- QUINTERO, J. A.; MONTOYA, M. I.; SÁNCHEZ, O. J.; GIRALDO, O. H.; CARDONA, C. A. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. **Energy**, v. 33, n. 3, p. 385–399, 2008.
- RADEMACHER, W. GROWTH RETARDANTS: Effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 51, n. 1, p. 501–531, 2000.
- RADEMACHER, W. Plant growth regulators: backgrounds and uses in plant production. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 34, n. 4, p. 845–872, 2015.
- RADEMACHER, W.; BRAHM, L. Plant Growth Regulators. In: **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**: American Cancer Society, 2010.
- RADEMACHER, W.; GRAEBE, J. E. Gibberellin A4 produced by *Sphaceloma manihoticola*, the cause of the super elongation disease of cassava (*Manihot esculenta*). **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 91, n. 1, p. 35–40, 1979.
- RAMESH, R.; RAMPRASAD, E. Effect of Plant Growth Regulators on Morphological, Physiological and Biochemical Parameters of Soybean (*Glycine max* L. Merrill). In: KUMAR, A. (Ed.). **Biotechnology and Bioforensics: New Trends**. Springer Briefs in Applied Sciences and Technology Singapore: Springer, 2015. p. 61–71.
- RAMOS, A. Effect of paclobutrazol treatment on some leaf physiological and biochemical characteristics of rejuvenated coffee (*Coffea arabica* L.) trees. **Annals of Tropical Research**, p. 74–82, 2016.
- RAO, S. P.; RAO, S. S.; SEETHARAMA, N.; UMAKATH, A. V.; REDDY, P. S.; REDDY, B. V. S.; GOWDA, C. L. L. **Sweet Sorghum for Biofuel and Strategies for its Improvement**. Monograph. 2009. Disponível em: <http://oar.icrisat.org/1354/>. Acesso em: 27 dez. 2019.
- REDDY, B. V. S.; RAVINDER REDDY, C.; KUMAR, A. A. **Sweet Sorghum Crop Production and Management Practices. Information Bulletin No. 91**. Patancheru, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics., 2012. a. Disponível em: <http://oar.icrisat.org/5924/>. Acesso em: 27 dez. 2019.

REDDY, N.; YANG, Y. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. **Trends in Biotechnology**, v. 23, n. 1, p. 22–27, 2005.

ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; DONALDSON, R. A.; INMAN-BAMBER, N. G.; WOOD, A. W. Estimating the risk associated with drying-off strategies for irrigated sugarcane before harvest. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 50, n. 1, p. 65–78, 1999.

ROGERS, P. L.; JEON, Y. J.; LEE, K. J.; LAWFOORD, H. G. *Zymomonas mobilis* for fuel ethanol and higher value products. In: Olsson, L. (Ed.). **Biofuels**. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology Berlin, Heidelberg: Springer, 2007. p. 263–288.

ROHOWSKY, B.; HÄSSLER, T.; GLADIS, A.; REMMELE, E.; SCHIEDER, D.; FAULSTICH, M. Feasibility of simultaneous saccharification and juice co-fermentation on hydrothermal pretreated sweet sorghum bagasse for ethanol production. **Applied Energy**, v. 102, p. 211–219, 2013.

ROONEY, W. L.; BLUMENTHAL, J.; BEAN, B.; MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, n. 2, p. 147–157, 2007.

ROSILLO-CALLE, F.; WALTER, A. Global market for bioethanol: historical trends and future prospects. **Energy for Sustainable Development**, v. 10, n. 1, p. 20–32, 2006.

ROSTAMI, S.; AZHDARPOOR, A. The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. **Chemosphere**, v. 220, p. 818–827, 2019.

ROSTAMI, S.; AZHDARPOOR, A.; ROSTAMI, M.; SAMAEI, M. R. The effects of simultaneous application of plant growth regulators and bioaugmentation on improvement of phytoremediation of pyrene contaminated soils. **Chemosphere**, v. 161, p. 219–223, 2016.

ROSTAMI, S.; AZHDARPOOR, A.; SAMAEI, M. R. Removal of pyrene from soil using phytobioremediation (*Sorghum Bicolor-Pseudomonas*). **Health Scope**, v. 6, n. 4, 2017. Disponível em: <http://jhealthscope.com/en/articles/62153.html>. Acesso em: 27 dez. 2019.

RUTZ, D.; JANSSEN, R.; KHAWAJA, C. Socio-economic impacts of sweet sorghum value chains in temperate and tropical regions. In: RUTZ, D.; JANSSEN, R. (Eds.). **Socio-Economic Impacts of Bioenergy Production**. Cham: Springer International Publishing, 2014. p. 111–130.

SALASSI, M. E.; DELIBERTO, M. A.; LINScombe, S. D.; WILSON, C. E.; WALKER, T. W.; MCCAULEY, G. N.; BLOUIN, D. C. Impact of harvest lodging on rough rice milling yield and market price. **Agronomy Journal**, v. 105, n. 6, p. 1860–1867, 2013.

SANKH, S. N.; DESHPANDE, P. S.; ARVINDEKAR, A. U. Improvement of ethanol production using *Saccharomyces cerevisiae* by enhancement of biomass and nutrient supplementation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 164, n. 8, p. 1237–1245, 2011.

SANTOS, D. de C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V. B.; FRANÇA, A. F. de S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 233, p. 16–24, 2016.

SAQIB, N. U.; BAROUTIAN, S.; SARMAH, A. K. Physicochemical, structural and combustion characterization of food waste hydrochar obtained by hydrothermal carbonization. **Bioresource Technology**, v. 266, p. 357–363, 2018.

SARWAR, M.; SALEEM, M. F.; ULLAH, N.; RIZWAN, M.; ALI, S.; SHAHID, M. R.; ALAMRI, S. A.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. Exogenously applied growth regulators protect the cotton crop from heat-induced injury by modulating plant defense mechanism. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–15, 2018.

SARWAR, N.; ATIQUE-UR-REHMAN; FAROOQ, O.; MUBEEN, K.; WASAYA, A.; NOUMAN, W.; ZAFAR ALI, M.; SHEHZAD, M. Exogenous application of gibberellic acid improves the maize crop productivity under scarce and sufficient soil moisture condition. **Cercetari Agronomice in Moldova**, v. 50, n. 4, p. 65–73, 2017.

SAYED, S. A. Effects of lead and kinetin on the growth, and some physiological components of safflower. **Plant Growth Regulation**, v. 29, n. 3, p. 167–174, 1999.

SENARATNA, T.; TOUCHELL, D.; BUNN, E.; DIXON, K. Acetyl salicylic acid (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. **Plant Growth Regulation**, v. 30, n. 2, p. 157–161, 2000.

SEREK, M.; SISLER, E. C.; REID, M. S. Novel gaseous ethylene binding inhibitor prevents ethylene effects in potted flowering plants. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 6, p. 1230–1233, 1994.

SERRANI, J. C.; SANJUÁN, R.; RUIZ-RIVERO, O.; FOS, M.; GARCÍA-MARTÍNEZ, J. L. Gibberellin regulation of fruit set and growth in tomato. **Plant Physiology**, v. 145, n. 1, p. 246–257, 2007.

SHAKIROVA, F. M.; SAKHABUTDINOVA, A. R.; BEZRUKOVA, M. V.; FATKHUTDINOVA, R. A.; FATKHUTDINOVA, D. R. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. **Plant Science**, v. 164, n. 3, p. 317–322, 2003.

SHEN, F.; LIU, R. Research on solid-state ethanol fermentation using dry sweet sorghum stalk particles with active dry yeast. **Energy & Fuels**, v. 23, n. 1, p. 519–525, 2009.

SIDDIQUEE, M. N.; ROHANI, S. Lipid extraction and biodiesel production from municipal sewage sludges: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 1067–1072, 2011.

SIDDIQUI, M. H.; AL-WHAIBI, M. H.; BASALAH, M. O. Interactive effect of calcium and gibberellin on nickel tolerance in relation to antioxidant systems in *Triticum aestivum* L. **Protoplasma**, v. 248, n. 3, p. 503–511, 2011.

SIDDIQUI, M. H.; KHAN, M. N.; MOHAMMAD, F.; KHAN, M. M. A. Role of nitrogen and gibberellin (GA3) in the regulation of enzyme activities and in osmoprotectant accumulation in *Brassica juncea* L. under salt stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, n. 3, p. 214–224, 2008.

SINGH, G.; SHARMA, G.; SANCHITA; KALRA, P.; BATISH, D. R.; VERMA, V. Role of alkyl silatranes as plant growth regulators: comparative substitution effect on root and shoot development of wheat and maize. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 13, p. 5129–5133, 2018.

SINGH, J.; GU, S. Biomass conversion to energy in India—A critique. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 5, p. 1367–1378, 2010.

SIPOS, B.; RÉCZEY, J.; SOMORAI, Z.; KÁDÁR, Z.; DIENES, D.; RÉCZEY, K. Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 153, n. 1, p. 151–162, 2009.

SISLER, E. C.; BLANKENSHIP, S. M. **Method of counteracting an ethylene response in plants**, US5518988A, 1996.

SOLOMON, B. D.; BARNES, J. R.; HALVORSEN, K. E. Grain and cellulosic ethanol: History, economics, and energy policy. **Biomass and Bioenergy**, v. 31, n. 6, p. 416–425, 2007.

SPAUNHORST, D. J.; TODD, J. R.; HALE, A. L. Sugarcane cultivar response to glyphosate and trinexapac-ethyl ripeners in Louisiana. **PLoS One**, v. 14, n. 6, p. e0218656, 2019.

SPONSEL, V. M.; HEDDEN, P. Gibberellin Biosynthesis and Inactivation. In: DAVIES, P. J. (Ed.). **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 63–94.

STANISZEWSKI, M.; KUJAWSKI, W.; LEWANDOWSKA, M. Ethanol production from whey in bioreactor with co-immobilized enzyme and yeast cells followed by pervaporative recovery of product – Kinetic model predictions. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 4, p. 618–625, 2007.

STELLMAN, J. M.; STELLMAN, S. D.; CHRISTIAN, R.; WEBER, T.; TOMASALLO, C. the extent and patterns of usage of agent orange and other herbicides in Vietnam. **Nature**, v. 422, n. 6933, p. 681–687, 2003.

STEWART, G. R.; LEE, J. A. The role of proline accumulation in halophytes. **Planta**, v. 120, n. 3, p. 279–289, 1974.

SUMAYO, M. S.; SON, J.-S.; GHIM, S.-Y. Exogenous application of phenylacetic acid promotes root hair growth and induces the systemic resistance of tobacco against bacterial soft-rot pathogen *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*. **Functional Plant Biology**, v. 45, n. 11, p. 1119–1127, 2018.

SUO, H. C. Plant growth regulators in seed coating agent affect seed germination and seedling growth of sweet corn. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 15, n. 4, p. 829–839, 2017.

SZABADOS, L.; SAVOURÉ, A. Proline: A multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science**, v. 15, n. 2, p. 89–97, 2010.

TAHERZADEH, M. J.; NIKLASSON, C. Ethanol from lignocellulosic materials: Pretreatment, acid and enzymatic hydrolyses, and fermentation. In: **Lignocellulose Biodegradation**. ACS Symposium Series: American Chemical Society, 2004. v. 889p. 49–68.

TAKAKI, M.; TAN, L.; MURAKAMI, T.; TANG, Y.-Q.; SUN, Z.-Y.; MORIMURA, S.; KIDA, K. Production of biofuels from sweet sorghum juice via ethanol–methane two-stage fermentation. **Industrial Crops and Products**, v. 63, p. 329–336, 2015.

TAMBONE, F.; GENEVINI, P.; D'IMPORZANO, G.; ADANI, F. Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 12, p. 3140–3142, 2009.

TASSI, E.; POUGET, J.; PETRUZZELLI, G.; BARBAFIERI, M. The effects of exogenous plant growth regulators in the phytoextraction of heavy metals. **Chemosphere**, v. 71, n. 1, p. 66–73, 2008.

TEIRI, H.; POURZAMANI, H.; HAJIZADEH, Y. Phytoremediation of VOCs from indoor air by ornamental potted plants: A pilot study using a palm species under the controlled environment. **Chemosphere**, v. 197, p. 375–381, 2018.

TEIXEIRA, M. C.; RAPOSO, L. R.; MIRA, N. P.; LOURENÇO, A. B.; SÁ-CORREIA, I. Genome-wide identification of *saccharomyces cerevisiae* genes required for maximal tolerance to ethanol. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 75, n. 18, p. 5761–5772, 2009.

THANI, A.; LAOPAIBOON, P.; LAOPAIBOON, L. Improvement of a continuous ethanol fermentation from sweet sorghum stem juice using a cell recycling system. **Journal of Biotechnology**, v. 251, p. 21–29, 2017.

THOMAS, J. C.; PERRON, M.; LAROSA, P. C.; SMIGOCKI, A. C. Cytokinin and the regulation of a tobacco metallothionein-like gene during copper stress. **Physiologia Plantarum**, v. 123, n. 3, p. 262–271, 2005.

THOMSEN, M. H. Complex media from processing of agricultural crops for microbial fermentation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 68, n. 5, p. 598–606, 2005.

TIAN, S.; LUO, X. L.; YANG, X. S.; ZHU, J. Y. Robust cellulosic ethanol production from SPORL-pretreated lodgepole pine using an adapted strain *Saccharomyces cerevisiae* without detoxification. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 22, p. 8678–8685, 2010.

TILHOU, N. W.; NAVE, R. L. G. Improving nutritive value of native warm-season grasses with the plant growth regulator trinexapac-ethyl. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1836–1842, 2018.

TU, M.; ZHANG, X.; PAICE, M.; MCFARLANE, P.; SADDLER, J. N. Effect of surfactants on separate hydrolysis fermentation and simultaneous saccharification fermentation of pretreated lodgepole pine. **Biotechnology Progress**, v. 25, n. 4, p. 1122–1129, 2009.

TUDZYNSKI, B.; HÖLTER, K. Gibberellin biosynthetic pathway in *Gibberella fujikuroi*: evidence for a gene cluster. **Fungal Genetics and Biology**, v. 25, n. 3, p. 157–170, 1998.

TUNA, A. L.; KAYA, C.; DIKILITAS, M.; HIGGS, D. The combined effects of gibberellic acid and salinity on some antioxidant enzyme activities, plant growth parameters and nutritional status in maize plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 1–9, 2008.

TURNER, P. C.; MILLER, E. N.; JARBOE, L. R.; BAGGETT, C. L.; SHANMUGAM, K. T.; INGRAM, L. O. YqhC regulates transcription of the adjacent *Escherichia coli* genes yqhD and dkgA that are involved in furfural tolerance. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 38, n. 3, p. 431–439, 2011.

URANGA, C. C.; BELD, J.; MRSE, A.; CÓRDOVA-GUERRERO, I.; BURKART, M. D.; HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, R. Fatty acid esters produced by *Lasiodiplodia theobromae* function as growth regulators in tobacco seedlings. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 472, n. 2, p. 339–345, 2016.

VAN HEERDEN, P. D. R.; MBATHA, T. P.; NGXALIWE, S. Chemical ripening of sugarcane with trinexapac-ethyl (Moddus®) — Mode of action and comparative efficacy. **Field Crops Research**, v. 181, p. 69–75, 2015.

VÁZQUEZ, M. N.; GUERRERO, Y. R.; GONZÁLEZ, L. M.; NOVAL, W. T. Brassinosteroids and plant responses to heavy metal stress: An Overview. **Open Journal of Metal**, v. 03, n. 02, p. 34–41, 2013.

VEEN, H.; VAN DE GEIJN, S. C. Mobility and ionic form of silver as related to longevity of cut carnations. **Planta**, v. 140, n. 1, p. 93–96, 1978.

VERBELEN, P. J.; DE SCHUTTER, D. P.; DELVAUX, F.; VERSTREPEN, K. J.; DELVAUX, F. R. Immobilized yeast cell systems for continuous fermentation applications. **Biotechnology Letters**, v. 28, n. 19, p. 1515–1525, 2006.

VIANA, R. D. S.; VELINI, E. D.; LISBOA, L. A. M.; ASSUMPÇÃO, A. C. N. D.; FIGUEIREDO, P. A. M.; VIANA, R. D. S.; VELINI, E. D.; LISBOA, L. A. M.; ASSUMPÇÃO, A. C. N. D.; FIGUEIREDO, P. A. M. Application of chemical ripeners mixtures the technological quality and agricultural productivity of sugarcane. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 541–550, 2017.

WANG, F.-Z.; SHEN, W.; RAO, Z.-M.; FANG, H.-Y.; ZHAN, X.-B.; ZHUGE, J. Construction of a flocculating yeast for fuel ethanol production. **Biotechnology Letters**, v. 30, n. 1, p. 97–102, 2008.

- WARD, A. J.; HOBBS, P. J.; HOLLIMAN, P. J.; JONES, D. L. Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 17, p. 7928–7940, 2008.
- WEI, Q.-K.; CHEN, T.-R.; CHEN, J.-T. Using of *Lactobacillus* and *Bifidobacterium* to product the isoflavone aglycones in fermented soymilk. **International Journal of Food Microbiology**, v. 117, n. 1, p. 120–124, 2007.
- WEN, F.; SUN, J.; ZHAO, H. yeast surface display of trifunctional minicellulosomes for simultaneous saccharification and fermentation of cellulose to ethanol. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 4, p. 1251–1260, 2010.
- WERNER, T.; MOTYKA, V.; STRNAD, M.; SCHMÜLLING, T. Regulation of plant growth by cytokinin. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, n. 18, p. 10487–10492, 2001.
- WU, X.; STAGGENBORG, S.; PROPHETER, J. L.; ROONEY, W. L.; YU, J.; WANG, D. Features of sweet sorghum juice and their performance in ethanol fermentation. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 1, p. 164–170, 2010.
- WU, X.; ZHAO, R.; BEAN, S. R.; SEIB, P. A.; MCLAREN, J. S.; MADL, R. L.; TUINSTRA, M.; LENZ, M. C.; WANG, D. Factors impacting ethanol production from grain sorghum in the dry-grind process. **Cereal Chemistry**, v. 84, n. 2, p. 130–136, 2007.
- YAN, S.; WU, X.; DAHLBERG, J.; BEAN, S. R.; MACRITCHIE, F.; WILSON, J. D.; WANG, D. Properties of field-sprouted sorghum and its performance in ethanol production. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 3, p. 374–380, 2010.
- YANG, S. F. Ethylene evolution from 2-chloroethylphosphonic acid. **Plant Physiology**, v. 44, n. 8, p. 1203–1204, 1969.
- YIM, K.-O.; KWON, Y. W.; BAYER, D. E. Growth responses and allocation of assimilates of rice seedlings by paclobutrazol and gibberellin treatment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 16, n. 1, p. 35–41, 1997.
- YOSHINAGA, S. Improved Lodging Resistance in Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivated by Submerged Direct Seeding Using a Newly Developed Hill Seeder. **Japan Agricultural Research Quarterly: JARQ**, v. 39, n. 3, p. 147–152, 2005.
- YU, J.; XUZHANG; TAN, T. Ethanol production by solid state fermentation of sweet sorghum using thermotolerant yeast strain. **Fuel Processing Technology**, v. 89, n. 11, p. 1056–1059, 2008.
- ZABED, H.; FARUQ, G.; SAHU, J. N.; AZIRUN, M. S.; HASHIM, R.; NASRULHAQ BOYCE, A. **Bioethanol Production from Fermentable Sugar Juice**. Research article. 2014. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/957102/abs/>. Acesso em: 27 dez. 2019.
- ZAHARIA, L. I.; WALKER-SIMMON, M. K.; RODRÍGUEZ, C. N.; ABRAMS, S. R. Chemistry of abscisic acid, abscisic acid catabolites and analogs. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 24, n. 4, p. 274–284, 2005.
- ZHAN, X.; WANG, D.; BEAN, S. R.; MO, X.; SUN, X. S.; BOYLE, D. Ethanol production from supercritical-fluid-extrusion cooked sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 23, n. 3, p. 304–310, 2006.
- ZHANG, J.; ZHANG, S.; CHEN, L.; WEI, C. Alleviation of seeding chlorosis by plant growth regulators in drip-irrigated rice. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, v. 67, n. 2, p. 184–190, 2017.

ZHAO, X. Q.; BAI, F. W. Yeast flocculation: New story in fuel ethanol production. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 6, p. 849–856, 2009.

ZHU, G.; AN, L.; JIAO, X.; CHEN, X.; ZHOU, G.; MCLAUGHLIN, N.; ZHU, G.; AN, L.; JIAO, X.; CHEN, X.; ZHOU, G.; MCLAUGHLIN, N. Effects of gibberellic acid on water uptake and germination of sweet sorghum seeds under salinity stress. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 79, n. 3, p. 415–424, 2019.

ZHU, X. F.; JIANG, T.; WANG, Z. W.; LEI, G. J.; SHI, Y. Z.; LI, G. X.; ZHENG, S. J. Gibberellic acid alleviates cadmium toxicity by reducing nitric oxide accumulation and expression of IRT1 in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Hazardous Materials**, v. 239–240, p. 302–307, 2012.

SOBRE OS AUTORES

BRUNO RAFAEL DE ALMEIDA MOREIRA - Mestre em Agronomia (Sistemas de produção), FEIS/Unesp Ilha Solteira; Doutorando em Agronomia (Produção vegetal), LAMMA (Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola), FCAV/Unesp Jaboticabal; Linhas de pesquisa: análise estatística multivariada, manejo de ambiente, e valorização de resíduos em biocombustíveis e bioprodutos.

RONALDO DA SILVA VIANA - Graduado em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal do Espírito Santo -(UFES) (2005) Campus Alegre - ES. Concluiu mestrado em agronomia, Área de concentração em produção vegetal pela Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho -(UNESP) (2007) Campus Jaboticabal - SP, doutorado em Agricultura pela Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho - (UNESP)(2011) Campus Botucatu -SP. Pós - Doutorado em agronomia pela Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho - (UNESP)(2013) campus Ilha solteira- SP. Docente da Faculdade de tecnologia de Araçatuba (FATEC) Campus Araçatuba -SP de 2008 à 2015. Coordenador do curso de agronomia da Fundação Educacional de Penápolis -SP de janeiro de 2015 à julho de 2015. Atualmente é Professor da Universidade Estadual Paulista - Júlio de Mesquita Filho -(UNESP) Campus Dracena nas áreas de Agroenergia, Tecnologia do açúcar e álcool e Biocombustíveis. Tem experiência em diversas na área da Agronomia e Biocombustíveis com ênfase na Tecnologia do açúcar e processos fermentativos, produção de cana de açúcar, produção de sorgo sacarino atuando principalmente nos seguintes temas: Fisiologia da maturação, Germinação de espécies cultivadas, Estresse biótico e abiótico de plantas cultivadas, Biorrefinarias, Produção de bioenergia a partir de biomassa, produção de biocombustíveis. Desde janeiro de 2018 é membro permanente no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Unesp de Ilha Solteira.:<https://orcid.org/0000-0001-6819-5092>, Líder do grupo de pesquisas: Culturas bioenergéticas e tecnologias de conversão e produção de biocombustíveis. dgp.cnpq.br/dgp/espelhorh/0403331768010158

PAULO ALEXANDRE MONTEIRO DE FIGUEIREDO - Engenheiro Agrônomo formado pela UFLA ? Universidade Federal de Lavras - MG, em 1989. Até 1993, foi Supervisor Agrícola da USINA GOIASA, situada em Goiatuba-GO. Concluiu o curso de Mestrado em Agronomia pela UFLA em 1995; e Doutorado em Agronomia pela UFLA em 2000. Realizou o Pós Doutorado em Agronomia pela UFV - Universidade Federal de Viçosa ? MG, tendo concluído em 2002. Em 2003, além da docência e da pesquisa, foi Coordenador de Implantação na FCAT ? Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Unesp de Dracena ? SP. É Livre-Docente desde 2011. Exerceu a função de Diretor Geral da FCAT até dezembro de 2019. Ministra disciplinas nas seguintes áreas: ?Cultura da Cana-de-açúcar?; "Fisiologia Vegetal?; e "Morfofisiologia Vegetal". Desde janeiro de 2018, é membro permanente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Unesp de Ilha Solteira, orientando nas seguintes áreas: Cultura da Cana-de-Açúcar e Fisiologia Vegetal.

SÉRGIO BISPO RAMOS - Possui graduação em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Lavras, especialização em "Solos e o Meio Ambiente", também pela Universidade Federal de Lavras e mestrado e doutorado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de

Mesquita Filho, Campus de Jaboticabal-SP. Tem experiência na área de Recursos Naturais e Agronomia. Atualmente é professor nos Cursos de Engenharia Agrônômica e Zootecnia pela FCAT-Unesp, Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Dracena-SP. nas disciplinas Manejo de Bacias Hidrográficas, Deontologia e Legislação e Certificação Ambiental

MARCELO CARVALHO MINHOTO TEIXEIRA FILHO - Possui Graduação (2006), Mestrado (2008) e Doutorado (2011) em Agronomia pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Realizou estágio de curta duração (2017) como Professor Visitante no Plant Nutrition Group, ETH Zürich, Suíça. É Professor Assistente Doutor desde 2013, em RDIDP (Referência MS-3.2) junto ao Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos (DEFERS) da Faculdade de Engenharia da UNESP- Campus de Ilha Solteira e ministra as disciplinas de Nutrição de Plantas e de Adubos e Adubação no curso de Graduação e de Nutrição de Plantas na Pós-Graduação em Agronomia. Desde julho de 2018 é Editor Chefe da Revista Cultura Agrônômica. Membro associado da Associação Brasileira de Editores Científicos (ABEC) e da Research Data Alliance (RDA). Foi presidente da Comissão Permanente de Pesquisa (CPP) da FEIS - UNESP. Desde setembro de 2020 é Coordenador do curso de Engenharia Agrônômica da UNESP - Campus de Ilha Solteira. Líder do grupo de pesquisa "Nutrição de plantas com manejo eficiente e sua importância no solo, processo produtivo e sustentabilidade do agroecossistema". Atua principalmente nos seguintes temas: nutrição de plantas, adubação, fertilidade do solo, fertilizantes de eficiência aprimorada, bactérias promotoras de crescimento de planta associado a redução da adubação, *Azospirillum brasilense*, trigo, milho, soja, cana-de-açúcar e eucalipto.




ANDRÉ MAY - Possui graduação em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (1997), mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2001) e doutorado em Agronomia (Produção Vegetal) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2006). Tem experiência na área de Agronomia/Fitotecnia, com ênfase em Manejo e Tratos Culturais de plantas. Atualmente, é pesquisador A da Embrapa Meio Ambiente na área de sistemas de produção sustentáveis.

VICTOR HUGO CRUZ - Bacharel em Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas (UNESP) - Câmpus de Dracena; durante a graduação desenvolveu projetos experimentais com as culturas de eucalipto, soja e milho; no ramo da agroenergia, corroborou com pesquisas destinada a produção de biocombustíveis sólidos e microalgas. Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) - "Sistema de Produção", pela Faculdade de Engenharia (UNESP) - Câmpus de Ilha Solteira.

PAULO RENATO MATTOS LOPES - Graduado em Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual Paulista, sendo membro do PRH-05 (MCT/FINEP/ANP/Unesp-Rio Claro). Concluiu o aperfeiçoamento em Ciências Ambientais Aplicadas ao Setor de Petróleo & Gás (PRH-05). Especialista em Gerenciamento Ambiental pela Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). Mestre e Doutor em Ciências Biológicas - Microbiologia Aplicada (IB/Unesp, câmpus de Rio Claro). Atualmente, é

docente da Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena - FCAT/Unesp. Coordenador do GAIA - Grupo de Ação em Impactos Ambientais e membro permanente do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Sistema de Produção (FEIS/Unesp, câmpus de Ilha Solteira). Tem experiência em Microbiologia Aplicada e Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: biorremediação, ecotoxicologia terrestre e manejo de resíduos. ResearcherID: H-1058-2015. Scopus Author ID: 25650367000. ORCID: orcid.org/0000-0003-4886-5292.

QUALIDADE TECNOLÓGICA DO SORGO SOB MANEJO DE MATURADORES QUÍMICOS

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



QUALIDADE TECNOLÓGICA DO SORGO SOB MANEJO DE MATURADORES QUÍMICOS

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br




Ano 2021