

**Jorge González Aguilera
Alan Mario Zuffo
(Organizadores)**

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4



Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

(Organizadores)

Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	Ciências exatas e da terra e a dimensão adquirida através da evolução tecnológica 4 [recurso eletrônico] / Organizadores Jorge González Aguilera, Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida Através da Evolução Tecnológica; v. 4) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-475-7 DOI 10.22533/at.ed.757191107 1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. 2. Tecnologia. I. Aguilera, Jorge González. II. Zuffo, Alan Mario CDD 509.81
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Ciências Exatas e da Terra e a Dimensão Adquirida através da Evolução Tecnológica vol. 4*” aborda uma publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 22 capítulos, conhecimentos tecnológicos e aplicados as Ciências Exatas e da Terra.

Este volume dedicado à Ciência Exatas e da Terra traz uma variedade de artigos que mostram a evolução tecnológica que vem acontecendo nestas duas ciências, e como isso tem impactado a vários setores produtivos e de pesquisas. São abordados temas relacionados com a produção de conhecimento na área da matemática, química do solo, computação, geoprocessamento de dados, biodigestores, educação ambiental, manejo da água, entre outros temas. Estas aplicações visam contribuir no aumento do conhecimento gerado por instituições públicas e privadas no país.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos nas Ciências Exatas e da Terra, os agradecimentos dos Organizadores e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para a área da Física, Matemática, e na Agronomia e, assim, contribuir na procura de novas pesquisas e tecnologias que possam solucionar os problemas que enfrentamos no dia a dia.

Jorge González Aguilera

Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA DE CÉLULAS DE CARCINOMA DE CÂNCER CANINO APÓS IRRADIAÇÃO COM EQUIPAMENTO DE COBALTO	
Paula de Sanctis Brunno Felipe Ramos Caetano Luis Maurício Montoya Flórez Valéria Barbosa de Souza Luís Fernando Barbisan Marco Antônio Rodrigues Fernandes Ramon Kaneno Rogério Antônio de Oliveira Willian Fernando Zambuzzi Noeme Sousa Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.7571911071	
CAPÍTULO 2	15
AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DE INTERAÇÕES ENTRE AS PROTEÍNAS M E M2-1 DO VÍRUS SINCICIAL RESPIRATÓRIO HUMANO (HRSV) E RIBAVIRINA	
Ernesto Tavares Neto Leandro Cristante de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.7571911072	
CAPÍTULO 3	23
ENCAPSULAMENTO DE NANOPARTÍCULAS FERROMAGNÉTICAS EM MATRIZ EPOXÍDICA PARA O TRATAMENTO DE HEPATOCARCINOMA	
Bruno de Vasconcellos Averaldo Hangai Alexandre Zirpoli Simões	
DOI 10.22533/at.ed.7571911073	
CAPÍTULO 4	38
ESTUDO QUÍMICO DO EXTRATO CLOROFÓRMICO DAS FOLHAS DA <i>Annona muricata</i> L.	
Maria Luiza da Silva Pereira Karoline Pereira Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.7571911074	
CAPÍTULO 5	48
MÉTODO SIMPLIFICADO PARA CALCULAR A ROTAÇÃO DO SOL	
Matheus Leal Castanheira Dietmar Willian Foryta	
DOI 10.22533/at.ed.7571911075	
CAPÍTULO 6	55
MONITORAMENTO AMBIENTAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS NO ESTADO DE ALAGOAS PARA OS ANOS DE 2015 E 2016	
Esdras de Lima Andrade Whendel Cezar Silva de Couto Daniel Nivaldo da Conceição Alex Nazário Silva Oliveira Elizangela Lima de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.7571911076	

CAPÍTULO 7	64
MONITORAMENTO DE IMPACTOS AMBIENTAIS PÓS-IMPLANTAÇÃO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS E AÇÕES CORRELATAS DO ÓRGÃO AMBIENTAL FISCALIZADOR	
Poliana Arruda Fajardo	
DOI 10.22533/at.ed.7571911077	
CAPÍTULO 8	74
OSCILADOR HARMÔNICO: MODELO PARA A DESCRIÇÃO DE SISTEMAS FÍSICOS EM EQUILÍBRIO ESTÁVEL SOFRENDO PEQUENAS OSCILAÇÕES	
Pedro Henrique Ferreira de Oliveira João Philipe Macedo Braga	
DOI 10.22533/at.ed.7571911078	
CAPÍTULO 9	86
PALAVRAS CRUZADAS: UMA FERRAMENTA LÚDICA NO ENSINO DE MATEMÁTICA E DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA	
Osmar Luís Nascimento Gotardi Andréa Martini Ribeiro Fernanda Marchiori Grave Letícia Cristiane Malakowski Heck Mario Victor Vilas Boas	
DOI 10.22533/at.ed.7571911079	
CAPÍTULO 10	102
QUANTIFICAÇÃO DE P-FENILENODIAMINA (PPD) EM FORMULAÇÃO DE CORANTE PERMANENTE DE CABELO	
Maria Letícia Mendes Soares Thamiris Costa dos Santos Carolina Venturini Uliana Mariele Mucio Pedroso Hideko Yamanaka	
DOI 10.22533/at.ed.75719110710	
CAPÍTULO 11	111
RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DIRETO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	
Mariana Basolli Borsatto Beatriz Garcia Silva Paulo César Lodi Rogério Custódio Azevedo Souza Bruna Rafaela Malaghini Caio Henrique Buranello dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.75719110711	

CAPÍTULO 12	121
SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO SEGURO DE BIOPROCESSOS	
Milson dos Santos Barbosa Lays Carvalho De Almeida Isabelle Maria Duarte Gonzaga Aline Resende Dória Luma Mirely Souza Brandão Isabela Nascimento Souza Débora da Silva Vilar Juliana Lisboa Santana Priscilla Sayonara de Sousa Brandão	
DOI 10.22533/at.ed.75719110712	
CAPÍTULO 13	129
SÍNTESE DOS NÍVEIS INTERPRETANTES DAS ESTAÇÕES DO ANO APRESENTADOS POR FUTUROS PROFESSORES DE CIÊNCIAS	
Daniel Trevisan Sanzovo Carlos Eduardo Laburú	
DOI 10.22533/at.ed.75719110713	
CAPÍTULO 14	140
SISTEMA DE CONTROLE EMPREGANDO TECNOLOGIA RFID	
Felipe de Carvalho Forti Alexandre César Rodrigues da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.75719110714	
CAPÍTULO 15	150
TÉCNICAS DE MEDIÇÃO BASEADAS NA FUNÇÃO DE RESPOSTA EM FREQUÊNCIA PARA DETECÇÃO DE DANO BASEADA NA IMPEDÂNCIA ELETROMECAÂNICA	
Guilherme Silva Bergamim Caio Henrique Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.75719110715	
CAPÍTULO 16	164
TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO APLICADAS À MINERAÇÃO NA REGIÃO SEMIÁRIDA DO SERIDÓ POTIGUAR	
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.75719110716	
CAPÍTULO 17	180
UM ESTUDO SOBRE ANÉIS LOCAIS	
Brendol Alves Oliveira Gomes Eliris Cristina Rizzioli	
DOI 10.22533/at.ed.75719110717	
CAPÍTULO 18	192
UMA VISÃO GERAL DE FRAMEWORKS PHP POPULARES PARA PROGRAMAÇÃO WEB	
Lilian N A Lazzarin Leandro do Nascimento dos Anjos João Florentino da Silva Junior	
DOI 10.22533/at.ed.75719110718	

CAPÍTULO 19	202
UM PANORAMA DA QUALIDADE DA INTERNET BANDA LARGA NA REGIÃO DO MATO GRANDE	
Igor Augusto De Carvalho Alves	
Hellen Adélia Oliveira Da Cruz	
Maria De Lourdes Assunção Soares Dantas Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.75719110719	
CAPÍTULO 20	216
USO DE SUPPORT VECTOR MACHINE EM AMBIENTE SUBTERRÂNEO: APLICAÇÃO EM POÇO DE MONITORAMENTO PARA REGRESSÃO DE DADOS DE NÍVEL DE ÁGUA	
Thiago Boeno Patricio Luiz	
Guilherme de Freitas Gaiardo	
José Luiz Silvério da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.75719110720	
CAPÍTULO 21	229
UTILIZAÇÃO DA DIFRAÇÃO DE RAIOS X NA CARACTERIZAÇÃO DO HIDRÓXIDO DUPLO LAMELAR (HDL) MG/AL E SEU EFEITO MEMÓRIA	
Victor De Aguiar Pedott	
Elton Luis Hillesheim	
Iemedelais Bordin	
Rogério Marcos Dallago	
Marcelo Luís Mignoni	
DOI 10.22533/at.ed.75719110721	
CAPÍTULO 22	237
UTILIZAÇÃO DE SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA ESTUDO DE ONDAS OCEÂNICAS	
Matheus José de Deus	
Mateus das Neves Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.75719110722	
SOBRE OS ORGANIZADORES	242

SAÚDE E SEGURANÇA DO TRABALHO PARA O DESENVOLVIMENTO SEGURO DE BIOPROCESSOS

Milson dos Santos Barbosa

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Lays Carvalho De Almeida

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Isabelle Maria Duarte Gonzaga

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Aline Resende Dória

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Luma Mirely Souza Brandão

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Isabela Nascimento Souza

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Débora da Silva Vilar

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Juliana Lisboa Santana

Universidade Tiradentes
Aracaju – Sergipe

Priscilla Sayonara de Sousa Brandão

Universidade Federal do Vale do São Francisco
Petrolina – Pernambuco

RESUMO: Processos biotecnológicos se tornaram uma excelente alternativa para substituição total ou parcial de processos químicos convencionais. Embora tenham sido implementados em grande escala em alguns países, a segurança de tais processos ainda não foi plenamente analisada. Os riscos dos processos biotecnológicos implicam na necessidade de planejar e desenvolver bioprocessos seguros, com alta segurança para todos os trabalhadores envolvidos. Os objetivos desta abordagem são enfatizar a importância de considerar e controlar os potenciais riscos adversos dos bioprocessos, a fim de desenvolver suas capacidades e benefícios de forma segura. A principal área de preocupação é o potencial impacto negativo sobre os trabalhadores, uma vez que podem estar diretamente expostos aos riscos e perigos potenciais dos processos biocatalíticos. Muitos países analisam a legislação existente para verificar sua adequação e criar normas específicas para bioprocessos. Muitas organizações internacionais também estão se envolvendo e, de forma otimista, os regulamentos que estão sendo desenvolvidos e podem ser aplicados de forma adequada. Essas demandas levam ao consenso que formas de proteção aos trabalhadores de bioprocessos devem ser avaliadas caso a caso.

PALAVRAS-CHAVE: Bioprocessos. Segurança do trabalho. Riscos.

ABSTRACT: Biotechnological processes are becoming an excellent alternative for total or partial replacement of conventional chemical processes. Although they have been implemented on a large scale in some countries, the safety of such processes has not yet been fully analyzed. The hazards of biotechnological processes imply the need to plan and develop safe bioprocesses with high safety for all workers involved. The objectives of this approach are to emphasize the importance of considering and controlling the potential adverse risks of bioprocesses in order to develop their capabilities and benefits safely. The main area of concern is the potential negative impact on workers, since they may be directly exposed to the potential risks and hazards of biocatalytic processes. Many countries review existing legislation to verify their suitability and to create specific standards for bioprocesses. Many international organizations are also getting involved and, optimistically, the regulations that are being developed and can be applied properly. These demands lead to consensus that forms of protection for bioprocess workers should be evaluated on a case-by-case basis.

KEYWORDS: Bioprocesses, work safety, risks.

1 | INTRODUÇÃO

Bioprocessos são etapas de transformação que ocorrem por meio de agentes biológicos como enzimas, micro-organismos ou células animais e vegetais. São conhecidos e utilizados pelo homem há milhares de anos, porém nas últimas décadas vêm ganhando destaque como alternativas sustentáveis e soluções inovadoras para a indústria (DORAN, 1995; SHULER *et al.*, 2017). Com intuito de minimizar a dependência dos combustíveis fósseis e problemas ao meio ambiente, esforços científicos e tecnológicos têm buscado o desenvolvimento de bioprocessos para desenvolver ou modificar processos e produtos, tendo como princípio fundamental o uso de sistemas biológicos. Neste cenário, nos últimos 20 anos, os bioprocessos tornaram-se mais comuns e encontraram aplicação na produção de produtos químicos e combustíveis, além de produtos de alto valor, como produtos de química fina, produtos farmacêuticos e seus intermediários (NEUBAUER *et al.*, 2013; TAKORS, 2012).

Apesar disso, a ênfase nas engenharias de processos é a implementação rápida de processos biotecnológicos rentáveis, em vez do seu desenvolvimento seguro. Os bioprocessos são frequentemente justificados como processos com impacto ambiental potencialmente menor do que em tecnologias químicas convencionais. As principais operações em bioprocessos incluem fermentação, catálise microbiana e catálise enzimática (OLSO *et al.*, 2012). O processamento de alguns bioprodutos pode incluir grandes quantidades de solventes orgânicos para extração a partir de soluções aquosas. Nestes casos, tanto os micro-organismos quanto os solventes orgânicos requerem processamento, reciclagem, controle e, em última análise, descarte seguro. No entanto, apesar dos bioprodutos serem comumente processados de forma semelhante a outros produtos químicos, as matérias-primas utilizadas e as condições

de processos são distintas. Isso implica dizer que restrições específicas de saúde e segurança do trabalho devem ser mensuradas, posto que os riscos estão diretamente relacionados aos meios e às condições em que as operações ocorrem (MORENO e CAZZONI, 2018).

Os trabalhadores são as primeiras pessoas expostas aos perigos potenciais de qualquer nova tecnologia, incluindo os bioprocessos, uma vez que estão envolvidos na pesquisa, desenvolvimento, fabricação, produção, uso, reciclagem e eliminação de bioprodutos (QUINLAN *et al.*, 2001). Os trabalhadores frequentemente têm a maior exposição, o que pode ocorrer no início do desenvolvimento de uma tecnologia quando os perigos e os riscos são incertos. Se a exposição prejudica os trabalhadores, os bioprocessos não estão sendo desenvolvidos de forma responsável. Ademais, antecipar e prevenir danos ao meio ambiente também faz parte do desenvolvimento responsável e seguro de bioprodutos, como forma de não afetar negativamente a sociedade (ARONSSON, 1999; VISCUSI, 1993).

Com o crescente número de países que adotaram tecnologias de bioprocessos em suas atividades de pesquisa e de desenvolvimento industrial, as questões de higiene e segurança estão ganhando importância para garantir a segurança dos trabalhadores e do meio ambiente. No entanto, com o rápido avanço e uso generalizado dos bioprocessos, tem crescido o quantitativo de problemas decorrentes da falta de conhecimento e conscientização dos sistemas de gerenciamento de riscos para a mitigação dos riscos (KUMAR, 2015; FROMMER, 1990).

Reconhecendo a necessidade de regulamentos mais específicos para contenção, detecção, diagnóstico e tratamento dos riscos associados às atividades de pesquisa e desenvolvimento de bioprocessos, o presente estudo relata a situação atual da saúde e segurança em processos biotecnológicos, ressaltando a importância de analisar e controlar os potenciais riscos, a fim de desenvolver bioprocessos de forma segura.

2 | METODOLOGIA

Foram realizadas buscas sistemáticas em importantes bases de dados bibliográficos nacionais e internacionais sobre saúde e segurança do trabalho em bioprocessos e áreas afins. As referências levantadas são estudos científicos, como artigos e livros, publicados em periódicos indexados e especializados no contexto abordado. Além disso, teve-se como suporte a legislação vigente, expressa pela Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) e composta por uma série de Normas Regulamentadoras (NR), dentre as quais englobam os trabalhos realizados em processos biocatalíticos, a exemplo: NR 9 – Programa de Prevenção de Riscos Ambientais; NR 12 – Máquinas e Equipamentos; NR 15 – Atividades e operações insalubres; NR 16 – Atividades e operações perigosas; e NR 25 – Resíduos Industriais.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento seguro de bioprocessos, que imprime a segurança dos trabalhadores durante o desenvolvimento de processos enzimáticos e fermentativos, pode proporcionar benefícios as indústrias, empresas, trabalhadores e a população em geral. Os benefícios sociais e comerciais estão relacionados com a difusão dos bioprocessos, que podem incluir bons empregos de alta remuneração, aproveitamento de resíduos e produtos inovadores que abordam problemas sociais críticos em materiais, saúde, transporte, energia e poluição. Além dos ganhos sociais, a segurança do trabalho também se beneficia com o interesse em processos industriais mais seguros, com sensores habilitados para a detecção de agentes perigosos, equipamentos de proteção apropriados e mais específicos que os utilizados em processos tradicionais (BARAM, 2009).

Para que isso ocorra, medidas de precauções rigorosas de segurança devem ser implementadas. Visto que em bioprocessos podem existir altos níveis de incerteza sobre o potencial risco para a saúde, até que dados consistentes estejam disponíveis. Para que os insumos e produtos baseados em processos biotecnológicos sejam promovidos e seus benefícios possam ser aproveitados, é necessário provar que quaisquer riscos para a saúde associados à exposição a bioprocessos podem ser minimizados. Não pode haver desenvolvimento responsável de bioprocessos se os trabalhadores forem prejudicados. Manter a saúde e a segurança do trabalho enquanto desenvolve-se bioprocessos é uma tarefa difícil, mas como esses dois aspectos estão vinculados, essa combinação deve ser promovida como um critério importante para o desenvolvimento seguro de qualquer processo industrial.

O desenvolvimento responsável e seguro em bioprocessos exige que todos os envolvidos compreendam questões complexas de riscos, perigos, exposição, dose e controle, bem como o potencial de impacto dos produtos obtidos no mercado. As empresas, o governo, o trabalho e outras organizações devem investir na conformidade com a orientação preventiva para proteger os trabalhadores envolvidos, e assim, contribuir para o desenvolvimento seguro de processos biotecnológicos. Além disso, após esse investimento, é importante que todos os empregadores avaliem se seus empregados estão expostos a riscos inerentes aos processos.

A avaliação das exposições no local de trabalho é responsabilidade do empregador, no entanto, incumbe às agências governamentais e outras organizações avaliarem continuamente até que ponto as exposições dos trabalhadores são controladas. A exposição é um fator crítico que impulsiona o risco e, portanto, os esforços contínuos para identificar perigos e determinar as exposições no local de trabalho são necessários para desenvolver e atualizar a orientação de gerenciamento de risco (NAUTA *et al.*, 2012). A fim de minimizar as exposições, os empregadores precisam saber e devem avaliar com que frequência as exposições realmente ocorrem, bem como a sua magnitude. Para definir adequadamente a exposição ocupacional

aos bioprocessos, as informações obtidas pelo monitoramento no local de trabalho podem ser complementadas por estratégias de monitoramento biológico que avaliam a exposição por todas as rotas.

A avaliação da exposição é de extrema importância por estar diretamente relacionado ao desenvolvimento responsável dos bioprocessos. Isso inclui a identificação dos riscos, tanto em termos de exposição real quanto ao potencial de exposição com os efeitos adversos. Os dados de avaliação da exposição também podem servir como um quadro de amostragem para a formação de registros de exposição que podem ser usados como base em futuros treinamentos relacionados aos processos de forma mais específica (SCARPONI *et al.*, 2015). Os dados de avaliação da exposição também podem ser utilizados na avaliação de riscos e na definição de limites de exposição ocupacional. Não basta apenas avaliar os riscos, é importante que os empregadores, agências governamentais e outras organizações fomentadoras de segurança e saúde do trabalho comuniquem o que se sabe sobre os riscos. Assim, a divulgação adequada dos dados de exposição aos riscos de cada processo biológico possibilita a tomada de decisões iniciais de gerenciamento de risco, ao mesmo tempo que identifica e reconhece as incertezas relacionadas à processos biotecnológicos (HAAS *et al.*, 1999).

Embora os empregadores sejam responsáveis pela gestão dos riscos, eles geralmente só cumprem esse seu papel que são orientados pelas autoridades governamentais. Isto é especialmente verdadeiro para bioprocessos, para os quais a complexidade de riscos inerentes é elevada e a base de conhecimento direcionado à segurança é limitada. Atualmente, a orientação geral das autoridades tem sido estar ciente de onde os bioprocessos são aplicados e, como medida de precaução, controlar as exposições quando possível. Via de regra, compete a empresa utilizar a melhor orientação para o controle de exposições no local de trabalho (incluindo treinamento de trabalhadores), e, cabe aos trabalhadores a responsabilidade de cooperar com os empregadores na implementação de processos de gerenciamento de risco (CAGNO *et al.*, 2002).

Vários trabalhos discutiram a necessidade de regulamentação de procedimentos seguros voltados à bioprocessos, semelhante à regulamentação de outros riscos e perigos associados a processos convencionais (CASKEY *et al.*, 2010; MORENO e CAZZONI, 2016). Ainda que alguns regulamentos gerais existentes possam atender aos requisitos dos processos biológicos e afins, os órgãos regulamentadores insistem na implementação de boas práticas de gestão de risco para a promoção do desenvolvimento responsável de processos biotecnológicos. Em suma, esses trabalhos relatam alguns critérios globais para a prática segura envolvendo bioprocessos, são elas (FROMMER, 1990; OLSO *et al.*, 2012; MORENO e CAZZONI, 2018):

- A saúde dos trabalhadores não deve ser prejudicada em trabalhos envolvendo bioprocessos;

- A transparência e a rastreabilidade são essenciais para informar aos empregadores e trabalhadores e os riscos e perigos associados à bioprocessos;
- As avaliações de riscos devem ser realizadas para informar as decisões de limites de exposição para bioprocessos aos quais os trabalhadores podem estar expostos;
- Os bioprocessos devem aplicar os princípios de “tecnologias seguras” a materiais e em processos combinados, como prática recomendada para proteger os trabalhadores e o meio ambiente;
- Sistemas de alerta precoce e equipamentos de proteção individuais e coletivos específicos precisam ser desenvolvidos para monitorar a saúde dos trabalhadores;
- Práticas de higiene industrial bem estabelecidas são apropriadas para enfrentar riscos e perigos de bioprocessos;
- Programas de gerenciamento de riscos (como por exemplo, avaliação de exposições, implementação de controles de exposição, treinamento, fiscalização frequente) para bioprocessos devem ser vistos como parte de um programa geral de segurança e saúde ocupacional para qualquer empresa ou local de trabalho produzindo ou usando bioprodutos.

De forma geral, os riscos associados à bioprocessos podem ser reduzidos e controlados pela aplicação correta de procedimentos internacionalmente reconhecidos, como técnicas microbiológicas apropriadas, aparelhos adequados de contenção, instalações adequadas, barreiras de proteção e treinamentos especializados dos trabalhadores envolvidos. Para evitar danos ocupacionais, é necessário conhecimento sobre procedimentos e técnicas microbiológicas padronizados e o uso de dispositivos de contenção, instalações e barreiras de proteção. Treinamento e educação sobre epidemiologia, patogenicidade, e os riscos biológicos e químicos dos micro-organismos e solventes orgânicos envolvidos podem prevenir ou diminuir os efeitos adversos. Desta forma, a comunidade científica e industrial pode se beneficiar das lições aprendidas no passado para antecipar futuros problemas.

4 | CONCLUSÕES

Bioprocessos são excelentes alternativas para processos industriais e já foram implementados para a produção em grande escala. Apesar da sua importância, a segurança de tais processos ainda não foi sistematicamente analisada e estudada. Os riscos dos processos biotecnológicos envolvem tanto riscos de processos químicos convencionais quanto riscos biológicos relacionados à presença de micro-organismos. Os métodos existentes para a avaliação dos riscos ligados aos bioprocessos consistem em etapas similares às aplicadas comumente na avaliação de riscos químicos, tais como: identificação e caracterização dos riscos biológicos; estimativa da exposição e suas consequências; e mitigação do risco. Em bioprocessos, a etapa de identificação

de riscos desempenha um papel crítico, já que todos os riscos não identificados levam a riscos não gerenciados e, portanto, descontrolados. Portanto, é crucial reconhecer os riscos específicos dos bioprocessos industriais para assegurar sua expansão e desenvolver operações seguras. Embora os bioprocessos sejam geralmente percebidos como tecnologias mais seguras, tendo um impacto menor do que os processos químicos convencionais, acidentes recentes afetaram esse setor industrial. Tais acidentes podem ser considerados como avisos antecipados de uma questão de risco emergente e, a partir de então, o desenvolvimento seguro de bioprocessos como nova alternativa ou como complemento dos métodos existentes de produção de produtos químicos é uma realidade que vem crescendo cada vez mais.

REFERÊNCIAS

ARONSSON, G. **Contingent workers and health and safety**. *Work, employment and society*, v. 13, n. 3, p. 439-459, 1999.

BARAM, M. **Biotechnological research on the most dangerous pathogens: Challenges for risk governance and safety management**. *Safety science*, v. 47, n. 6, p. 890-898, 2009.

CAGNO, E.; CARON, F.; MANCINI, M. **Risk analysis in plant commissioning: the Multilevel Hazop**. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 77, n. 3, p. 309-323, 2002.

CASKEY, S. A.; GAUDIOSO, J. M.; SALERNO, R. M.; WAGNER, S. M.; SHIGEMATSU, M.; RISI, G.; PRAT, E. **Biosafety risk assessment methodology**. Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States), 2010.

DORAN, P. M. **Bioprocess engineering principles**. Academic press, 1995.

FROMMER, W. **Safety aspects in biotechnology**. *Food Biotechnology*, v. 4, n. 1, p. 611-624, 1990.

HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBA, C. P. **Quantitative microbial risk assessment**. John Wiley & Sons, 1999.

KUMAR, S. **Biosafety and biosecurity issues in biotechnology research**. *Biosafety*, v. 4, n. 01, p. 153, 2015.

MORENO, V. C.; COZZANI, V. **Integrated hazard identification within the risk management of industrial biological processes**. *Safety Science*, v. 103, p. 340-351, 2018.

MORENO, V. C.; GIACOMINI, E.; COZZANI, V. **Identification of Major Accident Hazards in Industrial Biological Processes**. *Chemical Engineering*, v. 48, 2016.

NAUTA, M.; LINDQVIST, R.; ZWIETERING, M. **Tools for Microbiological risk assessment**. 2012.

NEUBAUER, P.; CRUZ, N.; GLAUCHE, F.; JUNNE, S.; KNEPPER, A.; RAVEN, M. **Consistent development of bioprocesses from microliter cultures to the industrial scale**. *Engineering in Life Sciences*, v. 13, n. 3, p. 224-238, 2013.

OLSON, D. G.; MCBRIDE, J. E.; SHAW, A. J.; LYND, L. R. **Recent progress in consolidated bioprocessing**. *Current opinion in biotechnology*, v. 23, n. 3, p. 396-405, 2012.

QUINLAN, M.; MAYHEW, C.; BOHLE, P. **The global expansion of precarious employment, work disorganization, and consequences for occupational health: a review of recent research.** International journal of health services, v. 31, n. 2, p. 335-414, 2001.

SCARPONI, G. E.; GUGLIELMI, D.; MORENO, C. V.; COZZANI, V. **Risk assessment of a biogas production and upgrading plant.** Chem Eng Trans, v. 43, p. 1921-1926, 2015.

SHULER, M. L.; KARGI, F.; DELISA, M. **Bioprocess engineering: basic concepts.** Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2017.

TAKORS, R. **Scale-up of microbial processes: impacts, tools and open questions.** Journal of biotechnology, v. 160, n. 1-2, p. 3-9, 2012.

VISCUSI, W. K. **The value of risks to life and health.** Journal of economic literature, v. 31, n. 4, p. 1912-1946, 1993.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Jorge González Aguilera: Engenheiro Agrônomo (Instituto Superior de Ciências Agrícolas de Bayamo (ISCA-B) hoje Universidad de Granma (UG)), Especialista em Biotecnologia pela Universidad de Oriente (UO), CUBA (2002), Mestre em Fitotecnia (UFV/2007) e Doutorado em Genética e Melhoramento (UFV/2011). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no Campus Chapadão do Sul. Têm experiência na área de melhoramento de plantas e aplicação de campos magnéticos na agricultura, com especialização em Biotecnologia Vegetal, atuando principalmente nos seguintes temas: pre-melhoramento, fitotecnia e cultivo de hortaliças, estudo de fontes de resistência para estres abiótico e biótico, marcadores moleculares, associação de características e adaptação e obtenção de vitroplantas. Tem experiência na multiplicação “on farm” de insumos biológicos (fungos em suporte sólido; Trichoderma, Beauveria e Metharrizum, assim como bactérias em suporte líquido) para o controle de doenças e insetos nas lavouras, principalmente de soja, milho e feijão. E-mail para contato: jorge.aguilera@ufms.br

Alan Mario Zuffo: Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-475-7

