

# Avanços Científicos e Tecnológicos em Bioprocessos

**Alberdan Silva Santos**  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

Alberdan Silva Santos  
(Organizador)

# Avanços Científicos e Tecnológicos em Bioprocessos

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
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  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A946 Avanços científicos e tecnológicos em bioprocessos [recurso eletrônico] / Organizador Alberdan Silva Santos. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-47-5

DOI 10.22533/at.ed.475180110

1. Bioprocessos. 2. Bioquímica. 3. Biotecnologia. I. Santos, Alberdan Silva.

CDD 553.7

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

2018

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.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Avanços Científicos e Tecnológicos em Bioprocessos é uma obra que reúne vinte e três capítulos com temas em pesquisas científicas realizadas no campo da biotecnologia, e que envolve agentes biológicos e bioquímicos na geração de produtos ou processos. Nesta obra se concentram diversos avanços descritos nas metodologias e nos resultados, distribuídos em quatro tópicos principais, envolvendo: processos químicos e biotecnológicos no aproveitamento de resíduos; produção de metabólitos e enzimas; métodos analíticos e de simulação; e biotratamentos envolvidos na geração de energias. Esta obra foi escrita por jovens pesquisadores brasileiros que estão desenvolvendo suas teses e/ou dissertações em instituições nacionais. Por este motivo, os aspectos inovadores e o alcance dos resultados apresentados podem ser um grande estímulo para aqueles que visam conhecer com maior amplitude alguns dos aspectos biotecnológicos estudados em algumas das instituições de nosso país.

Alberdan Silva Santos

## SUMÁRIO

### EIXO 1: PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS APLICADOS NA PRODUÇÃO DE ENZIMAS E PROTEÍNAS

#### **CAPÍTULO 1 ..... 1**

AMYLASES IN PROTEIN SECRETOME PROFILE FROM *Aspergillus sp* WITH POTENTIAL TO DECONSTRUCT INTEGRAL STARCH

Patrícia Suelene Silva Costa Gobira  
Rubens Menezes Gobira  
Ricardo Felipe Alexandre de Mello  
Hellen Kempfer Phillippsen  
Nelson Rosa Ferreira  
Alberdan Silva Santos

#### **CAPÍTULO 2 ..... 7**

PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO BIOQUÍMICA DE FRUTOSILTRANSFERASE EXTRACELULAR MICROBIANA PARA A SÍNTESE DE FRUTOOLIGOSSACARÍDEOS EM ESCALA LABORATORIAL

Rafael Firmani Perna  
Josivan de Sousa Cunha  
Sergio Andres Villalba Morales  
Michelle da Cunha Abreu Xavier  
Cristiane Angelica Ottoni  
Elda Sabino da Silva  
Alfredo Eduardo Maiorano

#### **CAPÍTULO 3 ..... 23**

ENZYMATIC COCKTAIL PRODUCED BY *Fusarium sp* WITH POTENTIAL TO DECONSTRUCT CRUDE CASSAVA STARCH (*Manihot esculenta Crantz*).

Patrícia Suelene Silva Costa Gobira  
Elaine Cristina Souza Medeiros  
Rubens Menezes Gobira  
Ricardo Felipe Alexandre de Mello  
Alberdan Silva Santos

#### **CAPÍTULO 4 ..... 28**

THE SYSTEMATIC INVESTIGATION OF L-ASPARAGINASE PRODUCED BY FILAMENTOUS FUNGI

Eliane Silva e Silva  
Alberdan Silva Santos  
Márcia Gleice da Silva Souza  
Rubens Menezes Gobira  
Maria Inez de Moura Sarquis

#### **CAPÍTULO 5 ..... 33**

EVALUATION OF METHYLOCYSTIS HIRSUTA GROWTH ON SUPPLEMENTED MINERAL MEDIA USING METHANE AS CARBON SOURCE

Rodrigo Pimentel Fernandes  
Ana Cristina Pantoja Simões  
Manuela Temtemples de Carvalho  
Camila Ruiz Lopes  
Nei Pereira Jr

**CAPÍTULO 6 ..... 37**

BIOTECHNOLOGICAL PRODUCTION OF ENZYMATIC EXTRACT WITH CELULOLYTICAL ACTIVITY FROM AGROINDUSTRY RESIDUES

Ivanilton Almeida Nery  
Karine Belo Rocha de Lima  
Marlon Castro da Silva  
Edmir Fernandes Ferreira

**EIXO 2: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS EM PROCESSOS BIOTECNOLÓGICOS E QUÍMICOS**

**CAPÍTULO 7 ..... 41**

VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA PALMA DE ÓLEO (*ELAEIS SP*) PARA PRODUÇÃO DE POLISSACARÍDEOS EXTRACELULARES POR *PLEUROTUS OSTREATUS*

Jhonatas Rodrigues Barbosa  
Maurício Madson dos Santos Freitas  
Marcos Enê Chaves Oliveira

**CAPÍTULO 8 ..... 50**

AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 E DA PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE UTILIZANDO RESÍDUOS DE FRUTAS COMO SUBSTRATOS

Camylla Carneiro Soares  
Adrielly Silva Albuquerque de Andrade  
Fábio Cirqueira da Silva  
Andréa Farias de Almeida  
Janice Izabel Druzian  
Ana Katerine de Carvalho Lima Lobato

**CAPÍTULO 9 ..... 65**

ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDÚSTRIA CACAUEIRA.

Rhuany de Oliveira Silva  
Iara Rebouças Pinheiro  
Isabela Nascimento Tavares Ferreira

**CAPÍTULO 10 ..... 70**

BIOPRODUCTS FROM *Trichoderma harzianum* AS INDUCER OF RESISTANCE TO ANTHRACNOSE IN BEANS

Emanuele Junges  
Marlove Fátima Brião Muniz  
Ângela Diniz Campos  
Thiarles Brun  
Cleudson José Michelin  
Marcio Antônio Mazutti

**CAPÍTULO 11 ..... 81**

ANALYSIS OF PRE-TREATMENT OF PINEAPPLE WASTE WITH HYDROGEN PEROXIDE IN THE OBTENTION OF TOTAL REDUCING SUGARS

Fernanda Ferreira Freitas  
Lorena Costa Vasconcelos Macedo

Carlos Alberto Galeano Suarez  
Araceli Aparecida Seolato  
Inti Doraci Cavalcanti-Montaño,  
Paula Rubia Ferreira Rosa

## **EIXO 3: MÉTODOS ANALÍTICOS, CINÉTICA, SIMULAÇÃO E MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS EM PROCESSOS**

### **CAPÍTULO 12 ..... 86**

USE OF LINEAR EQUATIONS FOR DETERMINATION OF APPARENT KINETIC PARAMETERS IN CELLULOLYTIC MEDIUM WITH *Trichoderma virens*

Nelson Rosa Ferreira  
Suelem Paixão da Silva  
Rubens Menezes Gobira  
Maria Inez de Moura Sarquis  
Alberdan Silva Santos

### **CAPÍTULO 13 ..... 92**

PRODUCTION OF COMMON ORANGE FERMENTED BEVERAGE: KINECTIC STUDY AND SENSORY ANALYSIS

Jacqueline de Moraes Campêlo  
Olga Martins Marques

### **CAPÍTULO 14 ..... 97**

MATHEMATICAL MODELING OF GLUCOSE ACCUMULATION DURING ENZYMATIC HYDROLYSIS OF CARRAGEENAN WASTE

Samuel Conceição Oliveira  
Fernando Roberto Paz Cedeno  
Fernando Masarin

### **CAPÍTULO 15 ..... 104**

PRODUÇÃO DE ESPOROS DE *Metarhizium anisopliae* POR CULTIVO SÓLIDO EM BIORREATOR DE TAMBOR ROTATIVO COM ROTAÇÃO INTERMITENTE: APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA PREDIÇÃO DE PERFIS DE TEMPERATURA

Érika Fernanda Rezendes Tada  
Lucas Portilho da Cunha  
João Cláudio Thoméo

### **CAPÍTULO 16 ..... 121**

DETERMINAÇÃO DO FATOR DE EFETIVIDADE PARA ENZIMAS IMOBILIZADAS USANDO MÉTODOS DE REGRESSÃO SIMBÓLICA VIA PROGRAMAÇÃO GENÉTICA

Félix Monteiro Pereira  
Luciano Eduardo Gomes Junior  
Fabrício Maciel Gomes  
Messias Borges Silva  
Samuel Conceição Oliveira

### **CAPÍTULO 17 ..... 133**

DEVELOPMENT OF ANALYTICAL METHOD, BY SPECTROSCOPY IN THE MIDINFRARED, AND MULTIVARIATE CALIBRATION FOR ETHANOL QUANTIFICATION IN THE FERMENTED MANGO

PULP (*Mangifera indica* L.) VARIETY BACURI.

Rubens Menezes Gobira  
Patrícia Suelene Silva Costa Gobira  
Ricardo Felipe Alexandre de Mello  
Graziela Cristiane Telles da Silva  
Sanclayton Geraldo Carneiro Moreira  
Alberdan Silva Santos

**CAPÍTULO 18 ..... 138**

MÉTODOS DE IMOBILIZAÇÃO PARA ESTABILIZAÇÃO DE ENZIMAS

Anderson dos Santos Barbosa  
Danyelle Andrade Mota  
Lays Carvalho de Almeida  
Juliana Lisboa Santana  
Nayára Bezerra Carvalho  
Sílvia Regina Soares Martins

**CAPÍTULO 19 ..... 156**

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DAS ANTOCIANINAS E DA CORDO EXTRATO DE *Eugênia involucrata* NA PRESENÇA E NA AUSÊNCIA DE AGENTES CONSERVANTES NA TEMPERATURA DE 90°C

Lauren Menegon de Oliveira  
Francine Antelo

**EIXO 4: BIOTRATAMENTOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA E BIOPRODUTOS**

**CAPÍTULO 20 ..... 163**

BIOTRATAMENTO DE VINHAÇA SINTÉTICA E GERAÇÃO DE ELETRICIDADE UTILIZANDO UMA CÉLULA A COMBUSTÍVEL MICROBIANA

Cristiane Angélica Ottoni  
Marta Filipa Simões  
Jonas Gomes dos Santos  
Luciana Peixoto  
Rodrigo Fernando Brambilla de Souza  
Almir Oliveira Neto  
António Guerreiro de Brito  
Alfredo Eduardo Maiorano

**CAPÍTULO 21 ..... 172**

RECUPERAÇÃO DE BIOPRODUTOS A PARTIR DA GASEIFICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO

Renan Barroso Soares  
Ricardo Franci Gonçalves

**CAPÍTULO 22 ..... 179**

BIOPROSPECTING CAROTENOIDS PRODUCTION IN THREE BRAZILIAN MICROALGAE SPECIES

Sabrina da Silva Mesquita  
Natália Guimarães Figueiredo  
Inaiã Costa Cutrim  
Simone Carvalho Chiapetta  
Cláudia Maria Luz Lapa Teixeira  
Eliana Flávia Camporese Sérvulo

**CAPÍTULO 23 ..... 184**

EFFECT OF TEMPERATURE AND SALINITY ON THE PRODUCTION OF CAROTENOIDS AND LIPIDS BY MARINE MICROALGA

Nicéia Chies Da Fré  
Alessandro de Oliveira Rios  
André Jablonski  
Rosane Rech  
Nilson Romeu Marcílio

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 193**

## AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 E DA PRODUÇÃO DE BIOSSURFACTANTE UTILIZANDO RESÍDUOS DE FRUTAS COMO SUBSTRATOS

### **Camylla Carneiro Soares**

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química  
Salvador – Bahia

### **Adrielly Silva Albuquerque de Andrade**

Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Biotecnologia  
João Pessoa – Paraíba

### **Fábio Cirqueira da Silva**

Universidade Salvador, Escola de Arquitetura, Engenharia e TI  
Salvador - Bahia

### **Andréa Farias de Almeida**

Universidade Federal da Paraíba, Departamento de Biotecnologia  
João Pessoa – Paraíba

### **Janice Izabel Druzian**

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química  
Salvador – Bahia

### **Ana Katerine de Carvalho Lima Lobato**

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química  
Universidade Salvador, Escola de Arquitetura, Engenharia e TI  
Salvador – Bahia

**RESUMO:** Os biossurfactantes são compostos de atividade superficial derivados de microrganismos e que oferecem diversas

vantagens quando comparados aos surfactantes sintéticos, como biodegradabilidade, baixa toxicidade e possibilidade de serem produzidos a partir de recursos renováveis. Entretanto, apesar dessas vantagens, o custo do processo de produção de biossurfactantes é elevado. Uma alternativa para isto é utilizar substratos com baixo valor agregado, como os resíduos agroindustriais, uma vez que os custos com substrato podem chegar a até 30% das despesas do processo. Neste estudo, resíduos de mamão e maracujá foram utilizados como substratos para a produção de biossurfactante por uma linhagem de *Bacillus subtilis*. A fermentação submersa foi realizada em agitador orbital a 37 °C e 200 rpm durante 96 h. A cepa se adaptou bem ao substrato utilizando resíduos de mamão com concentração máxima de 1,0660 g.L<sup>-1</sup>, redução da tensão superficial de 25,5% e índice de emulsificação de 61,54%. Estes resultados foram menores quando o resíduo do maracujá foi utilizado como substrato: concentração de biomassa de 0,1380 g.L<sup>-1</sup>, redução da tensão superficial de 17,4% e índice de emulsificação de 54%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biossurfactante, *Bacillus subtilis*, Fermentação submersa, Resíduos agroindustriais.

**ABSTRACT:** Biosurfactants are surface-active compounds derived from microorganisms

and offer several advantages when compared to synthetic surfactants, such as biodegradability, low toxicity and the possibility of being produced from renewable resources. However, despite these advantages, the cost of the biosurfactant production process is high. An alternative to this is to use substrates with low added value, such as agroindustrial waste, since substrate costs can reach up to 30% of the process costs. In this study, papaya and passion fruit wastes were used as substrates for the biosurfactant production by a *Bacillus subtilis* strain. The submerged fermentation was performed on an orbital shaker at 37 °C and 200 rpm for 96 h. The strain was well adapted to the substrate using papaya wastes with a maximum concentration of 1.0660 g.L<sup>-1</sup>, 25.5% of surface tension reduction and emulsification index of 61.54%. These results were lower when the passion fruit waste was used as substrate: biomass concentration of 0.1380 g.L<sup>-1</sup>, surface tension reduction of 17.4% and emulsification index of 54%.

**KEY WORDS:** Biosurfactant, *Bacillus subtilis*, Submerged fermentation, Agroindustrial wastes.

## 1 | INTRODUÇÃO

Surfactantes ou tensoativos são moléculas anfipáticas, constituídas por uma porção apolar (hidrofóbica) e uma porção polar (hidrofílica), onde a porção hidrofóbica é geralmente formada por uma ou duas cadeias carbônicas, enquanto a porção hidrofílica pode ser iônica, não-iônica ou anfotérica (EHRHARDT, 2015; ROCHA, 2017). Apesar de serem formados por duas regiões de solubilidades diferentes ligadas uma a outra, estas porções possuem distância suficiente para se comportarem de maneira independente.

A palavra surfactante se origina da expressão “surface active agent” (agente de atividade superficial) e devido a sua estrutura são capazes de reduzir as tensões interfaciais e superficiais ao se adsorverem nas interfaces líquido-líquido, líquido-gás e sólido-líquido, formando microemulsões (FERREIRA *et al.*, 2018). Essa característica permite tornar miscível duas fases imiscíveis, como água e óleo por exemplo, e possibilita a estes compostos uma ampla gama de aplicações industriais que envolvem detergência, emulsificação, lubrificação, capacidade espumante, capacidade umectante, solubilização e dispersão de fases (ROCHA, 2017).

As características dos surfactantes os tornam compostos químicos amplamente utilizados em produtos como detergentes, petroquímicos, cosméticos, tintas, cerâmica, alimentos, tratamento de couros e têxteis, formulações farmacêuticas, óleos lubrificantes, entre outros (DALVIN, 2011). No entanto, apesar dessas propriedades, 70-75% dos surfactantes químicos consumidos por países industrializados são de origem petroquímica, não são biodegradáveis e podem ser tóxicos para o ecossistema.

Em virtude da crescente preocupação ambiental, tem-se buscado por produtos mais brandos, biodegradáveis, com baixa ou nenhuma toxicidade e que possam ser

produzidos através de recursos renováveis. Os compostos de origem microbiana denominados biossurfactantes são excelentes alternativas a esta problemática uma vez que, além de possuírem essas características, exibem propriedades tensoativas com alta capacidade emulsificante e redução da tensão superficial (KAKINUMA *et al.*, 1969; SOO *et al.*, 2004).

Uma ampla variedade de biossurfactantes é atualmente conhecida e esta diversidade atribui-se ao fato de que cada microrganismo é capaz de produzir um surfactante diferente com características específicas. Em virtude dessa multiplicidade, os biossurfactantes são classificados de acordo com suas estruturas químicas ou pela origem microbiana diferente dos surfactantes sintéticos que são classificados de acordo com a natureza de seu grupo hidrofílico (EHRHARDT, 2015; MAIER, 2003). A Tabela 1 demonstra as principais classes de biossurfactantes e seus microrganismos produtores.

TIPO DE BIOSURFACTANTE	MICROORGANISMO
<b>Glicolipídios</b>	
-ramnolipídios	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
-soforolipídios	<i>Torulopsis bombicola</i>
	<i>T. apícola</i>
-trealolipídios	<i>Rhodococcus erythropolis</i>
	<i>Mycobacterium sp.</i>
<b>Lipopeptídios e lipoproteínas</b>	
-peptídio-lipídio	<i>Bacillus licheniformis</i>
-viscosina	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
-serraventina	<i>Serratia marcescens</i>
-subtilisina	<i>Bacillus subtilis</i>
-surfactina	<i>Bacillus subtilis</i>
-gramicidina	<i>Bacillus brevis</i>
-polimixina	<i>Bacillus polymyxa</i>
<b>Ácidos graxos, lipídios neutros e fosfolipídios</b>	
-ácidos graxos	<i>Corynebacterium lepus</i>
-lipídios neutros	<i>Nocardia erythropolis</i>
-fosfolipídios	<i>Thiobacillus thiooxidans</i>
<b>Surfactantes poliméricos</b>	
-emulsan	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
-biodispersan	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
-liposan	<i>Candida lipolytica</i>
-carboidrato-lipídio-proteína	<i>Pseudomonas fluorescens</i>
-manana-lipídio-proteína	<i>Candida tropicalis</i>

Surfactante particulados	
-vesículas	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>
-células	Várias bactérias

**Tabela 1.** Principais classes de biossurfactantes e microrganismos produtores.

Fonte: DESAI & BANAT (1997).

A capacidade dos biossurfactantes em reduzir a tensão superficial e interfacial utilizando baixas concentrações é talvez sua propriedade mais explorada (EHRHARDT, 2015; FARIA, 2010). Além disso, características como tolerância a temperatura, pH e força iônica também colocam os biossurfactantes em vantagem sobre os surfactantes sintéticos e também determinarão suas aplicações no setor industrial. Essas características permitem a utilização desses compostos em ambientes com condições mais drásticas e conseqüentemente possibilita uma ampliação do seu espectro de aplicações (EHRHARDT, 2015).

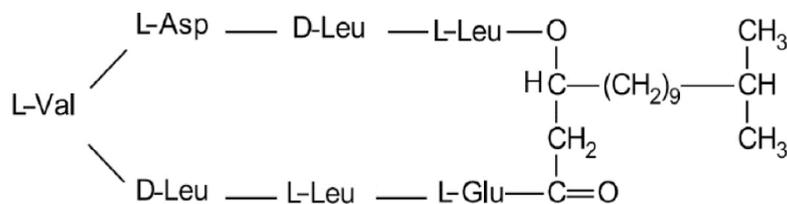
Em virtude da sua diversidade química, da característica anfifílica e de propriedades como biodegradabilidade, baixa toxicidade e compatibilidade ambiental, os biossurfactantes se destacam como moléculas aplicáveis em diferentes áreas das quais pode-se citar: biorremediação, recuperação melhorada do petróleo, medicina como agentes antivirais, antitumorais e antimicrobianos, dispersante na indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica, na nanotecnologia como agentes de superfície na dispersão de nanotubos de carbono e também podem interagir com metais pesados, contribuindo para uma melhora na degradação de contaminantes químicos (FARIA, 2010; SEN, 2010).

A composição e as propriedades físico-químicas dos biossurfactantes são influenciadas pela natureza do substrato, concentração de íons no meio de cultivo, além das condições e da idade da cultura (GEORGIU *et al.*, 1992; KRIEGER *et al.*, 2009). Algumas bactérias produtoras de biossurfactantes incluem: *Pseudomonas aeruginosa*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* e *Arthrobacter paraffineus*. Alguns fungos também têm capacidade de produzir biossurfactantes incluindo as leveduras *Torulopsis sp* e *Candida sp* (BUENO *et al.*, 2010; CHRISTOFI E IVSHINA, 2002).

Dentre as bactérias produtoras de surfactantes naturais encontra-se o *Bacillus subtilis* que é uma das principais espécies de microrganismos produtora de biossurfactantes lipoprotéicos como iturina, fengicina, liquenisina, micosubtilisina, bacilomicina e surfactina (BARROS *et al.*, 2007). A maioria dos biossurfactantes excretados por linhagens de *Bacillus subtilis* pertencem à classe dos lipopeptídios cíclicos, que geralmente são formados por um anel contendo sete aminoácidos e por uma cadeia de ácido graxo de conformação e tamanho de cadeia variável (BUGAY, 2009; ROCHA, 2017).

O *Bacillus subtilis* é responsável pela produção da surfactina, o biossurfactante

mais potente já caracterizado (EHRHARDT, 2015). A surfactina consiste em um heptapeptídeo cíclico unido a uma cadeia de ácido graxo contendo 12 a 16 átomos de carbono e possui propriedades surfactantes poderosas e uma excelente estabilidade frente a variações de pH, temperatura e força iônica (DESAI E BANAT, 1997). Estas características interessantes têm promovido o interesse em pesquisas com a surfactina e uma ampla variedade de isoformas e homólogos têm sido encontrados (BUGAY, 2009). A Figura 1 exibe a estrutura química da surfactina.



**Figura 1.** Estrutura química da surfactina (DESAI & BANAT, 1997).

De acordo com o relatório publicado pela “Grand View Research Incorporation” (2015), o mercado global de biossurfactantes atingiu cerca de 344.068,40 toneladas em 2013 e deverá chegar a 461.991,67 toneladas até 2020, crescendo a uma taxa anual composta de 4,3% entre os anos de 2014 e 2020. No entanto, apesar da expectativa no crescimento do mercado de biossurfactantes, estes compostos não competem economicamente com surfactantes sintéticos devido aos altos custos do processo associados a métodos ineficientes de recuperação do bioproduto e ao uso de substratos onerosos, que representam cerca de 10 a 30% do custo total da produção (LOBATO et al., 2013; ROCHA, 2017).

Uma alternativa para reduzir os custos referentes ao processo de produção dos biossurfactantes é utilizar substratos alternativos que tenham equilíbrio nutricional e que sejam capazes de fornecer condições eficientes de crescimento do microrganismo e de síntese do bioproduto de interesse. Nesse sentido, os subprodutos da atividade agroindustrial são ótimas fontes de substrato para a produção de biossurfactantes e seu uso pode diminuir os problemas ambientais causados pelo descarte inadequado, bem como os custos associados aos tratamentos de efluentes (GALLERT E WINTER, 2002; MAKKAR E CAMEOTRA, 2002; MUKHERJEE E DAS, 2005). Assim, a utilização de resíduos agroindustriais além de agregar valor a esses materiais, também contribui para a sustentabilidade de sua cadeia econômica (ROCHA, 2017).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de biossurfactante por uma cepa de *Bacillus subtilis* utilizando cascas de mamão e cascas de maracujá como substratos alternativos de baixo custo. A eficiência do processo foi avaliada pelo crescimento celular, pela redução da tensão superficial e pelo índice de emulsificação do biossurfactante produzido ao longo das 96h de fermentação.

## 2 | METODOLOGIA

### 2.1 Manutenção celular

A cepa de *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 utilizada neste estudo foi cedida pelo Departamento de Antibióticos da Universidade Federal do Pernambuco. A cepa foi mantida em meio de ágar Luria-Bertani (modificado). O meio modificado foi composto por 10,0 g.L<sup>-1</sup> de triptona; 5,0 g.L<sup>-1</sup> de extrato de levedura; 5,0 g.L<sup>-1</sup> de NaCl e 20,0 g.L<sup>-1</sup> de ágar. O pH do meio foi ajustado para 6,8 utilizando NaOH 1M ou HCl 1M e em seguida este foi esterilizado a 121°C por 15 minutos. A inoculação foi realizada em câmara de fluxo laminar em tubos inclinados que, em seguida, foram incubados a 37°C por 24 horas e armazenados a 4°C. Este procedimento foi repetido mensalmente para manutenção da cepa.

### 2.2 Pré-inóculo e inóculo

Os caldos utilizados como pré-inóculo e inóculo, proposto por Bugay (2009) modificado, apresentaram a mesma composição: 20,0 g.L<sup>-1</sup> de glicose; 3,0 g.L<sup>-1</sup> de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 7,0 g.L<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; 0,2 g.L<sup>-1</sup> de MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; 1,0 g.L<sup>-1</sup> de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 1,0 g.L<sup>-1</sup> de extrato de levedura. Em seguida, corrigiu-se o pH destes meios para 6,8 utilizando NaOH 1M ou HCl 1M. O pré-inóculo foi preparado através da transferência de três alçadas da cultura do tubo inclinado para um frasco Erlenmeyer de 125 mL contendo 30 mL de meio e depois levado a uma incubadora com agitação orbital a 37°C e 200 rpm durante 6 horas.

Para o inóculo, utilizou-se um Erlenmeyer de 250 mL contendo 50 mL de meio de cultura. Nesta etapa, retirou-se do pré-inóculo uma alíquota correspondente a 10% (v/v) do inóculo (5 mL) e transferiu-se para o Erlenmeyer que também foi incubado sob agitação orbital a 37 °C e 200 rpm para cerca de 16 horas.

### 2.3 Preparo do substrato

Os resíduos de mamão e de maracujá utilizados neste estudo foram obtidos da Brasfrut®, indústria de processamento de frutas localizada na cidade de Feira de Santana, Bahia. Os resíduos foram homogeneizados com água destilada em liquidificador doméstico de 2 L na concentração de 250 g.L<sup>-1</sup> conforme proposto por Souza *et al.*, 2012. Em seguida, filtrou-se e centrifugou-se a mistura obtida a 10.000 rpm e 25 °C por 10 minutos até a remoção de todas as partículas sólidas e obtenção do extrato aquoso (caldo), que foi utilizado neste estudo como substrato na fermentação. Utilizou-se Erlenmeyers de 250 mL contendo 50 mL de caldo, assim como no inóculo.

### 2.4 Produção de biossurfactante

A produção ocorreu em triplicata por fermentação submersa em incubadora

orbital a 37 °C e 200 rpm durante 96 horas. As amostras foram coletadas em intervalos regulares (12 em 12 horas) para monitoramento da concentração celular, da variação da tensão superficial e do índice de emulsificação. A medida que as amostras eram coletadas, estas eram centrifugadas a 10.000 rpm, 25 °C por 10 minutos para separar o *pellet* (que contém a biomassa, as células) do sobrenadante (que contém o biossurfactante).

## 2.5 Crescimento e produtividade celular

A concentração celular foi determinada pelo método da massa seca (TRÍBOLI, 1989). Neste método, transferiu-se 50 mL das amostras para tubos previamente pesados e depois centrifugou-se a 10.000 rpm, 25 °C por 10 minutos. O corpo de fundo formado (*pellet*) foi utilizado para determinar a concentração de células e o sobrenadante foi separado para análises posteriores. O *pellet* foi lavado com água destilada e centrifugado 3 vezes para remoção de resíduos solúveis do sobrenadante. Após a lavagem, as amostras foram colocadas em estufa para secagem a 65 °C por 24 horas até peso constante. Decorrido esse tempo, os tubos foram colocados em dessecador por 5 minutos e então pesados. A concentração celular (g.L<sup>-1</sup>), [X], foi expressa de acordo com a Equação 1.

$$[X] = \frac{m_{seco} - m_{vazio}}{50} \times 1000 \quad (1)$$

Onde:

$m_{seco}$  = massa do tubo contendo as células pós-secagem (g);

$m_{vazio}$  = massa do tubo vazio (g).

A produtividade celular (g.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>),  $P_X$ , foi determinada pela Equação 2 descrita por Schmidell *et al.* (2001).

$$P_X = \frac{X_m - X_o}{t_f} \quad (2)$$

Onde:

$X_m$  = concentração celular máxima (g.L<sup>-1</sup>);

$X_o$  = concentração inicial de células (g.L<sup>-1</sup>);

$t_f$  = tempo total da fermentação (h).

## 2.6 Tensão superficial

A tensão superficial do caldo fermentado isento de células foi monitorada a cada 12 horas pelo método do anel Du Noüy utilizando tensiômetro Kruss K20 a temperatura de ±25 °C (KUYUKINA *et al.*, 2001).

## 2.7 Índice de emulsificação

Os caldos fermentados isentos de células (sobrenadantes) foram misturados a compostos hidrofóbicos - óleo de soja, gasolina e diesel - em tubos de ensaio na proporção de 4:6, respectivamente, e homogeneizados em vórtex sob velocidade máxima durante 1 minuto. Os tubos foram então mantidos em repouso à temperatura ambiente durante 24 horas e no final do tempo foram medidas a altura da camada emulsionada e a altura total dos líquidos no tubo utilizando uma régua. O índice de emulsificação foi obtido pela Equação 3 descrita por Cooper e Goldenberg (1987).

$$IE_{24} (\%) = \frac{AE}{AT} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

$IE_{24}$  = índice de emulsificação após 24 h (%);

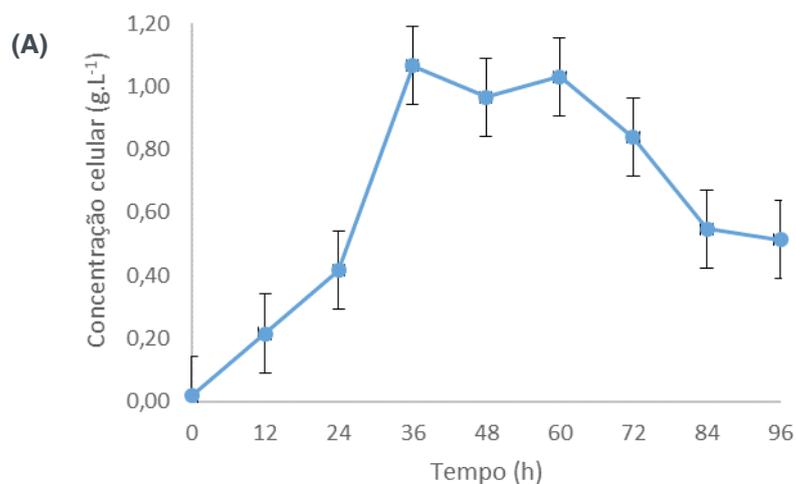
AE = altura da camada emulsionada (cm);

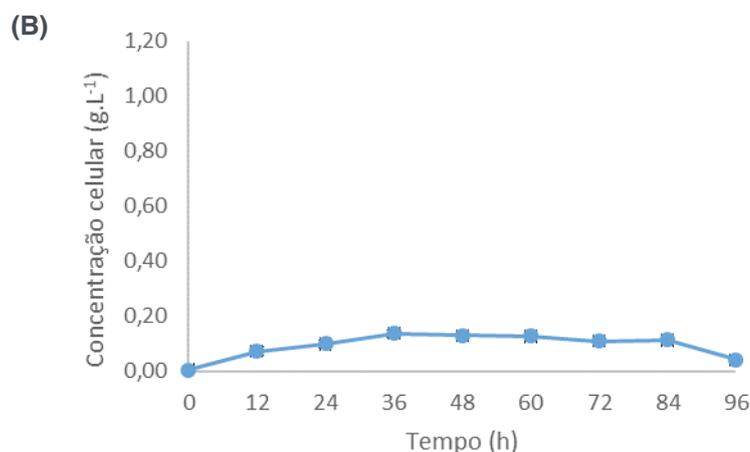
AT = altura total da camada de líquidos (cm).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Crescimento e produtividade celular

O *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 apresentou maior crescimento no meio utilizando o extrato aquoso da casca de mamão como substrato do que no meio utilizando o resíduo aquoso de maracujá, conforme ilustrado nas Figuras 2A e 2B.





**Figura 2.** Crescimento celular utilizando o caldo proveniente (A) das cascas do mamão e (B) das cascas do maracujá como substrato.

A concentração celular máxima para ambos os substratos ocorreu em 36h de cultivo, sendo 1,0660 g.L<sup>-1</sup> utilizando os resíduos do mamão e 0,1380 g.L<sup>-1</sup> para o caldo produzido a partir das cascas do maracujá. A produtividade utilizando as casca do mamão foi de 0,011 g.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> e para as cascas do maracujá foi de 0,001g.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Desta forma, o substrato produzido a partir dos resíduos de mamão demonstrou ser uma melhor fonte de carbono para o crescimento de *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 do que o substrato obtido a partir dos resíduos de maracujá.

Silva *et al.* (2015) estudaram o crescimento de *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 por 48h utilizando glicose e nitrato de sódio como fontes de carbono e nitrogênio, respectivamente, e obtiveram concentração celular máxima de 0,4 g.L<sup>-1</sup> e produtividade de 0,008 g.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos no presente estudo referente ao cultivo com a casca de mamão foram superiores ao da pesquisa mencionada, o que demonstra que a cepa utilizada se adequou bem ao meio complexo proposto. Os resultados obtidos para o substrato preparado a partir dos resíduos de maracujá foram inferiores ao obtido por Silva *et al.* (2015).

### 3.2 Tensão superficial

A medida da tensão superficial ao longo do tempo é um método indireto para monitorar a produção de biossurfactante sendo, desta forma, de grande importância no estudo desse bioproduto. À medida que o microrganismo cresce, o biossurfactante é sintetizado e excretado no meio, reduzindo a tensão superficial (LIMA *et al.*, 2016).

As Figuras 3A e 3B demonstram o comportamento da tensão superficial para os caldos preparados a partir dos resíduos do mamão e a partir dos resíduos do maracujá, respectivamente.

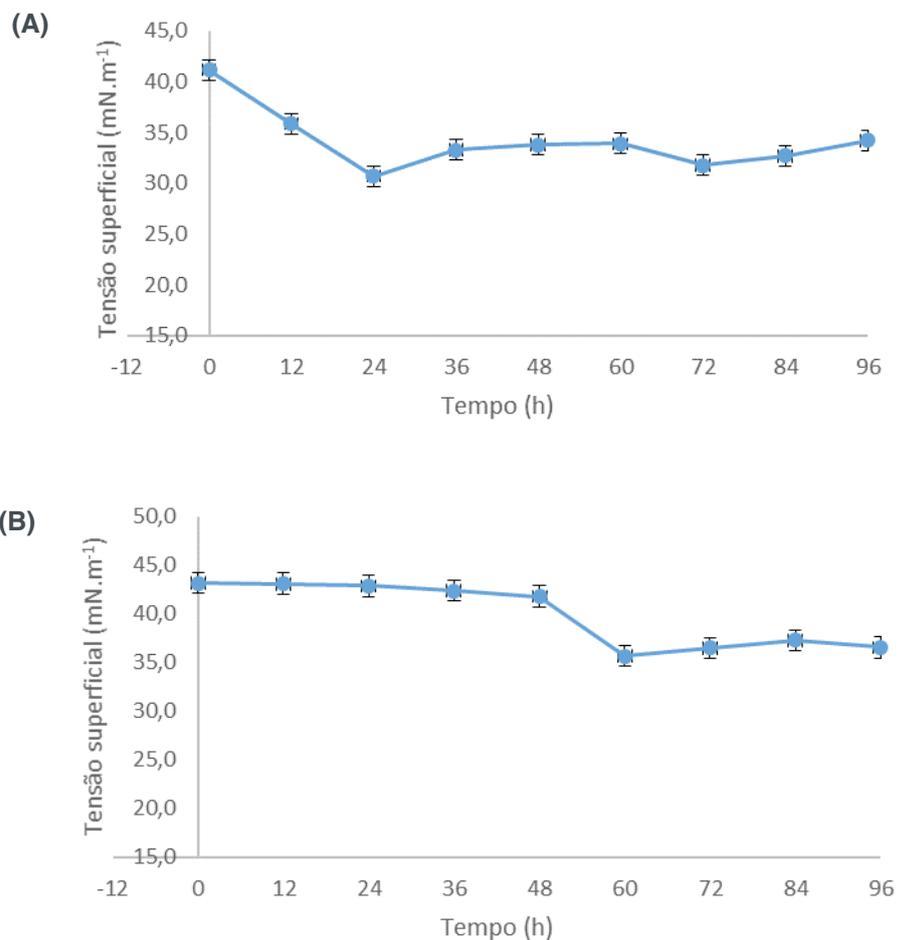


Figura 3. Curvas da tensão superficial ao longo das 96h de fermentação para os substratos preparados (A) a partir dos resíduos do mamão e (B) a partir dos resíduos do maracujá.

Analisando o comportamento da tensão superficial para a curva do mamão (Figura 3A), observou-se que houve uma diminuição de  $41,2 \text{ mN.m}^{-1}$  para  $30,7 \text{ mN.m}^{-1}$ , o que significa aproximadamente 25,5% de redução em 24h de cultivo. Quando observado o comportamento desta variável para a curva do maracujá (Figura 3B), observou-se uma diminuição de  $43,2 \text{ mN.m}^{-1}$  para  $35,7 \text{ mN.m}^{-1}$  em 60h de cultivo, o que significa uma redução de cerca de 17,4%. Estes valores indicam resultados favoráveis quando utilizado o substrato produzido a partir das cascas do mamão, uma vez que a literatura indica que os biossurfactantes efetivos devem reduzir a tensão superficial do meio em pelo menos 20% (EHRHARDT, 2015). Resultado semelhante não foi obtido para o substrato produzido a partir dos resíduos de maracujá.

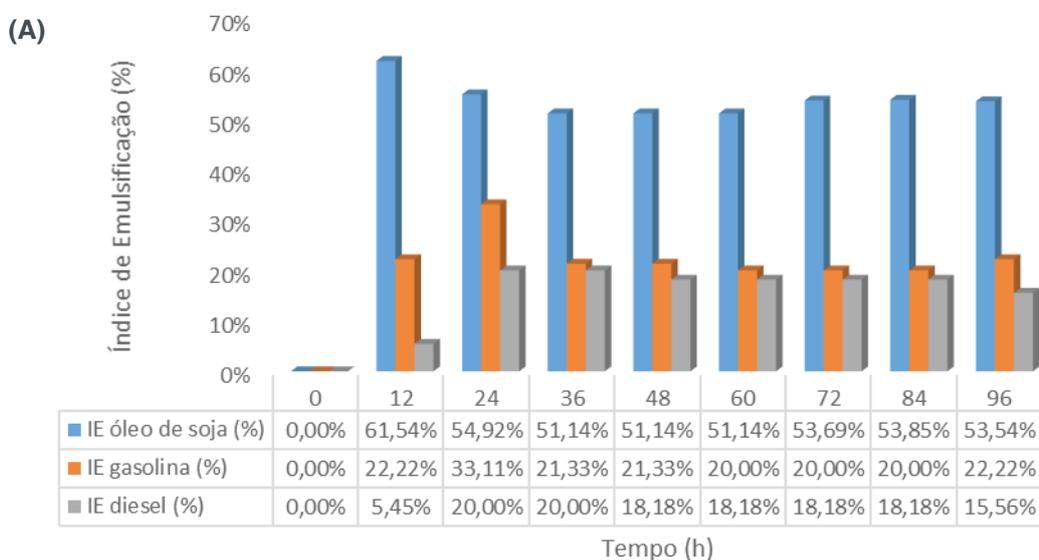
Um estudo realizado por Rocha (2007) utilizando uma cepa *Bacillus subtilis* (LAMI007) e caldo nutriente e suco de caju diluído a diferentes concentrações (10% a 50%) como substratos mostrou que não houve produção de biossurfactante, uma vez que não ocorreu crescimento celular e alteração da tensão superficial durante as 72h de fermentação, indicando que o meio utilizado necessita de suplementação para sintetizar o bioproduto. No presente estudo, o resíduo de mamão foi homogeneizado a uma concentração de 25% (m/v) e ocorreu crescimento celular e redução da tensão superficial, ou seja, o meio ofereceu nutrientes suficientes para a formação do

bioproduto. Rocha (2007) também realizou a suplementação do suco de caju diluído com fontes de nitrogênio e verificou que houve uma redução na tensão superficial de cerca de 11,94% após 48 h de cultivo, um valor menor do que o obtido no presente trabalho.

Estudos conduzidos por Ehrhardt (2015) utilizando uma linhagem de *Bacillus subtilis* e resíduos de abacaxi como substrato para produção de biossurfactante mostraram uma redução na tensão superficial de 64,54 mN.m<sup>-1</sup> para 48,25 mN.m<sup>-1</sup> após 24h, o que corresponde a uma diminuição de cerca de 25,2%, valor semelhante ao encontrado no presente estudo quando utilizado o resíduo do mamão como substrato. No entanto, mais uma vez, quando comparado ao resíduo do maracujá, a pesquisa realizada por Ehrhardt (2015) obteve melhor resultado.

### 3.3 Índice de emulsificação

O índice de emulsificação também prevê a formação de biossurfactante de forma indireta, fornecendo resultados bons e rápidos desta produção, além de permitir avaliar a estabilidade do biossurfactante quanto à manutenção da emulsão. As Figuras 4A e 4B demonstram o índice de emulsificação dos biossurfactantes produzidos durante as 96h de cultivo para os resíduos de mamão e maracujá, respectivamente, utilizando óleo de soja, gasolina e diesel como compostos hidrofóbicos.



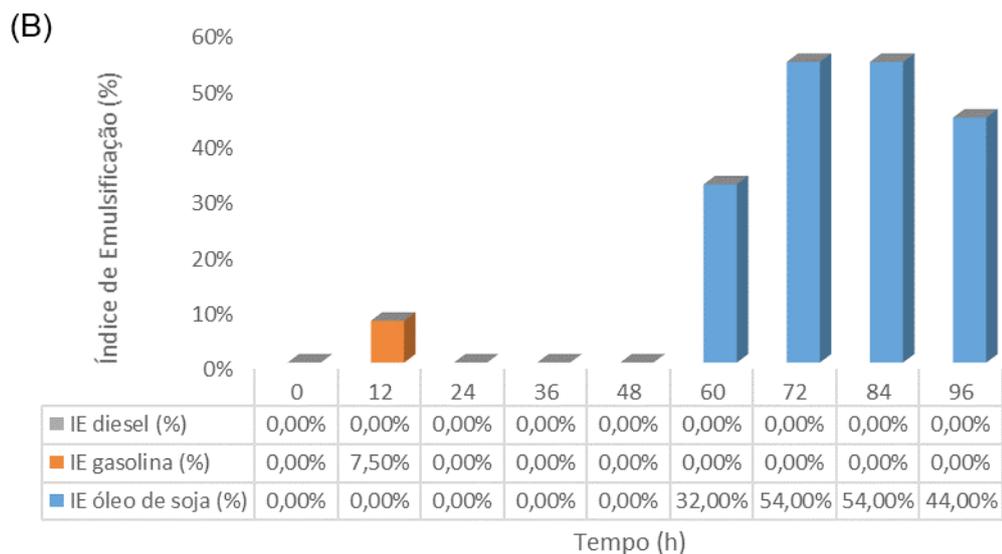


Figura 4. Índices de emulsificação para os substratos utilizando (A) resíduos do mamão e (B) resíduos do maracujá.

O valor máximo obtido dos índices de emulsificação para ambos os substratos foi com óleo de soja. Utilizando a casca de mamão foi obtido 61,54% em apenas 12h de cultura e com casca de maracujá foi obtido 54% após 72h de cultura. Essa boa emulsificação utilizando o óleo de soja sugere um potencial uso do biossurfactante produzido neste estudo na indústria alimentícia como agente emulsionante, conferindo a formação da consistência e a textura desejada dos alimentos, bem como a dispersão de fases (BANAT *et al.*, 2000).

Em ambos os casos, os índices de emulsificação foram maiores que o encontrado por Silva *et al.* (2015) que obteve um resultado de 34,5% em 24h de cultivo, utilizando óleo de girassol como composto hidrofóbico. Os índices de emulsificação obtidos estão em concordância com as tensões superficiais observadas nas Figuras 3A e 3B, uma vez que os maiores índices de emulsificação são observados quando existem quedas acentuadas nos valores das tensões superficiais, conforme esperado.

A diferença entre o comportamento do índice de emulsificação no diesel e na gasolina quando utilizado o substrato proveniente das cascas do mamão, pode sugerir uma melhor emulsificação do biossurfactante produzido com hidrocarbonetos de cadeia curta, conforme já explicitado por Barros *et al.* (2008), mas outros estudos são necessários para essa análise.

#### 4 | CONCLUSÕES

A cepa de *Bacillus subtilis* UFPEDA 86 obteve melhor resultado quando o mamão foi utilizado como substrato, com crescimento celular máximo de 1,0660 g.L<sup>-1</sup> e índice de emulsificação em óleo de soja de 61,54%. Utilizando a gasolina e o diesel foram obtidos 33,11% e 20% de emulsificação, respectivamente. O desempenho do

processo fermentativo foi avaliado pela produtividade em biomassa, obtendo 0,011 g.L<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup> para o substrato utilizando resíduos do mamão. Este valor foi cerca de 1,4 vezes maior do que o encontrado na literatura para a mesma linhagem. Além disso, o resíduo de mamão foi eficaz como fonte de substrato na produção de biossurfactante por *Bacillus subtilis* UFPEDA 86, uma vez que causou uma redução significativa na tensão superficial do meio.

Os valores obtidos para os resíduos de maracujá não foram significativos, uma vez que houve uma baixa redução da tensão superficial, 17,4%, um baixo crescimento celular, 0,1380 g.L<sup>-1</sup>, e um índice de emulsificação razoável somente após 72h de cultivo, tempo elevado para uma aplicação industrial.

Os resultados sugerem que o resíduo do mamão pode ser usado como substrato para a produção de biossurfactante por *Bacillus subtilis*. Além disso, a utilização desses resíduos traz uma oportunidade para reduzir a poluição ambiental causada por sua deposição inadequada no processamento industrial, bem como minimiza os custos dos processos com tratamento de efluentes.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, F. F. C.; QUADROS, C. P.; MARÓSTICA-JÚNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Surfactina: Propriedades Químicas, Tecnológicas e Funcionais para Aplicação em Alimentos. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 409-414, 2007.
- BARROS, F. F. C.; QUADROS, C. P.; PASTORE, G. M. Propriedades emulsificantes e estabilidade do biossurfactante produzido por *Bacillus subtilis* em manipueira. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 979-985, 2008.
- BUGAY, C. Biossurfactantes produzidos por *Bacillus* sp.: Estudos de produção e caracterização. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- BUENO, S. M.; SILVA, A. N.; GARCIA-CRUZ, C. H. Estudo da produção de biossurfactante em caldo de fermentação. **Química Nova**, v. 33; n. 7; p. 1572-1577, 2010.
- CHRISTOFI, N.; IVSHINA, I. B. Microbial Surfactants and Their Use in Field Studies of Soil Remediation. **Journal of Applied Microbiology**, v. 93, p. 915-929, 2002.
- COOPER, D. G.; GOLDENBERG, B. G. Surface-active agents from two *Bacillus* species. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 53, n. 2, p. 224-229, 1987.
- DALTIN, D. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. São Paulo: Blucher, 2011.
- DESAI, J. D.; BANAT, I. M. Microbial production of surfactants and their comercial potencial. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 61, p. 47-64, 1997.
- EHRHARDT, D. D. **Produção de biossurfactantes por *Bacillus subtilis* utilizando resíduo do processamento do abacaxi como substrato**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- FARIA, A. F. **Produção, purificação e caracterização química de biossurfactantes produzidos por *Bacillus subtilis* em glicerina residual**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) -

Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

FERREIRA, G. F. D.; SOUZA, D. R. Q.; LIMA, R.; LOBATO, A. K. C. L.; SILVA, A. C. M.; SANTOS, L. C. L. Novel glycerin-based microemulsion formulation for enhanced oil recovery. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 167, p. 674-681, 2018.

GALLERT, C.; WINTER, J. Solid and liquid residues as raw materials for biotechnology. **Review Article**, v. 89, p. 483-496, 2002.

GEORGIU, G.; LIN, S. C.; SHARMA, M. M. Surface-Active Compounds from Microorganisms. **Biotechnology**, v. 10, p. 60-65, 1992.

GRAND VIEW RESEARCH. **Biosurfactants Market Analysis By Product (Rhamnolipids, Sophorolipids, MES, APG, Sorbitan Esters, Sucrose Esters) And Segment Forecast To 2020**. 195 p. Relatório. São Francisco, CA, 2015.

KAKINUMA, A.; SUGINO, H.; ISONO, M.; TAMURA, G.; ARIMA, K. Determination of fatty acid in surfactin and elucidation of the total structure of surfactin. **Agricultural Biology and Chemistry**, v. 33, n. 6, p. 973-976, 1969.

KRIEGER, N.; CAMILIOS NETO, D.; MITCHELL, D. A. Production of microbial biosurfactants by solid-state cultivation. In: SEN, R. (Org) **Biosurfactants**. Georgetown: Lands Bioscience, 2009.

KUYUKINA M. S.; IVSHINA, I. B.; PHILP, J. C.; CHRISTOFI, N.; DUNBAR, S. A.; RITCHKOVA, M. I. Recovery of *Rhodococcus* biosurfactants using methyl tertiary-butyl ether extraction. **Journal of Microbiological Methods**, v. 46, n. 2, p. 149-156, 2001.

LIMA, J. M. S.; PEREIRA, J. O.; BATISTA, I. H.; NETO, P. Q. C.; SANTO, J. C.; ARAÚJO, S. P.; PANTOJA, M. C.; MOTA, A. J.; AZEVEDO, J. L. Potential biosurfactant producing endophytic and epiphytic fungi, isolated from macrophytes in the Negro River in Manaus, Amazonas, Brazil. **African Journal of Biotechnology**, v. 15, n. 24, p. 1217-1223, 2016.

LOBATO, A. K. C. L.; ALMEIDA, A. F.; BEZERRA, M. S.; JÚNIOR, L. M. B.; SANTOS, L. C. L.; MACEDO, G. R. Biosurfactant production from industrial residues using microorganisms isolated from oil wells. **International Review of Chemical Engineering**, v. 5, n. 4, p. 310-316, 2013.

MAIER, R. Biosurfactants: Evolution and diversity in bacteria. **Advances in Applied Microbiology**, v. 52, p. 101-116, 2003.

MAKKAR, R. S.; CAMEOTRA, S. S. An Update to the Use of Unconventional Substrates for Biosurfactant Production and their New Applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 58, p. 428-434, 2002.

MUKHERJEE, A. K.; DAS, L. K. Correlation between diverse cyclic lipopeptides production and regulation of growth and substrate utilization by *Bacillus subtilis* strains in a particular habitat. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 54, p. 479-489, 2005.

ROCHA, M. V. P. **Produção de biossurfactantes por fermentação submersa usando substrato não convencional**. 2007. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

ROCHA, P. M. Produção de surfactina por *Bacillus subtilis* UFPEDA 438 utilizando melão de cana como substrato. 2017. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

SEN, R. **Biosurfactants**. New York, NY: Springer-Verlag New York, 2010.

SCHIMIDELL, W; LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. *Biotecnologia industrial*. São Paulo, SP: Edgard Blucher, v. 2, 2001.

SILVA, R. K. P.; SANTOS, S. F. M.; ALMEIDA, A. F.; DIAS, P. V. S.; COSTA, M. H. J. Avaliação do crescimento e produção de biossurfactantes por *Bacillus subtilis* e *Bacillus pumilus*. In: I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2015, Campina Grande. **Resumos...** Campina Grande: III Workshop de Engenharia de Petróleo, 2015.

SOO, E. T.; SALLEH, A. B.; BASRI, M.; RAHMAN, R. N. Z. A.; KAMARUDDIN, K. Response surface methodological study on lipase – catalyzed synthesis of amino acid surfactants. **Process Biochemistry**, v. 39, n. 11, p. 1511-1518, 2004.

SOUZA, O.; SCHULZ, M. A.; FISCHER, G. A. A.; WAGNER, T. M.; SELLIN, N. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir da casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 915-921, 2012.

TRÍBOLI, E. P. D. R. **Métodos analíticos para o acompanhamento da fermentação alcoólica**. 52 f. Apostila – Laboratório de Bioquímica e Engenharia de Alimentos, Escola de Engenharia de Mauá, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 1989.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**ALBERDAN SILVA SANTOS** é Professor associado das faculdades de Química e Biotecnologia da UFPA; É Engenheiro Químico graduado pela UFPA; É Mestre em Química e Biotecnologia pelo Instituto de Química e Biotecnologia da UFPA; É Doutor em Bioquímica (Biotransformações com ênfase em oxidações microbiológicas) pelo Instituto de Química da UFRJ. Realizou Estágio pós-doutoral no Departamento de Biotecnologia do Instituto de Agroquímica e Tecnologia de Alimentos - IATA de Valencia, na Espanha. Atua no ensino de graduação e Pós-graduação no qual orienta Mestrandos e Doutorandos. Coordena projetos de cunho acadêmico-científico nos Laboratórios de Investigação Sistemática em Biotecnologia e Biodiversidade Molecular da UFPA, em áreas estratégicas como: Biotransformações; produção de enzimas; desenvolvimento de processos biotecnológicos no aproveitamento de resíduos agroindustriais para a produção de biomoléculas de interesse médico, cosméticas e farmacêutica; produção de biomoléculas a partir de cultivo de micro-organismos e cultivo de células vegetais. Aplica técnicas avançadas de Metabolômica e Lipidômica (CG/EM, LC/MS) na investigação metabólica de plantas e micro-organismos. Contribuiu na criação do curso de graduação e do programa de pós-graduação em Biotecnologia da UFPA. Foi o 1º Diretor da Faculdade de Biotecnologia da UFPA no período de 2009-2011. Atuou como vice-coordenador protempore do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da UFPA. Possui diversas publicações nas áreas da Química e Biotecnologia, assim como patentes. Recebeu a primeira Carta Patente na UFPA em dezembro de 2013. É pioneiro na otimização de processo de produção de metabólitos secundários e enzimas em cultura de células vegetais e de micro-organismos na Região Norte do Brasil.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-47-5

