



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANDRÉ MOREIRA MAIA NETO

RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS APLICADOS À PRODUÇÃO DE
BIOSURFACTANTES: UMA REVISÃO

FORTALEZA - CE

2021

ANDRÉ MOREIRA MAIA NETO

**RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS APLICADOS À PRODUÇÃO DE
BIOSSURFACTANTES: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França.

FORTALEZA - CE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M184r Maia Neto, André Moreira.
Resíduos agroindustriais aplicados à produção de biossurfactantes : uma revisão / André Moreira Maia Neto. – 2021.
55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Alimentos, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França.

1. Biossurfactantes. 2. Biotransformação. 3. Resíduos agroindustriais. I. Título.

CDD 664

ANDRÉ MOREIRA MAIA NETO

**RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS APLICADOS À PRODUÇÃO DE
BIOSSURFACTANTES: UMA REVISÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dra. Larissa Morais Ribeiro da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Tiago Lima de Albuquerque
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a todos que me acompanharam até aqui, muito obrigado!

Aos meus pais que sempre me apoiaram. A Andréa e Adriana pelas risadas e momentos. A André Luiz que traz mais alegria aos dias.

A Diana, Monalisa, Mariana, Laiza e Tiago por todos os momentos durante esses anos. E a todos os colegas de curso, muito obrigado.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof^a. Dra. Larissa Moraes Ribeiro da Silva e Dr. Tiago Lima de Albuquerque pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao Prof. Dr. Ítalo Waldimiro Lima de França pela ótima orientação.

“... o mais importante e bonito, do mundo, é isto: que as pessoas não estão sempre iguais, ainda não foram terminadas – mas que elas vão sempre mudando..”

João Guimarães Rosa

RESUMO

Biossurfactantes são compostos sintetizados por microrganismos que possuem propriedades semelhantes aos surfactantes químicos. Por serem moléculas anfifílicas, ou seja, possuem uma parte polar e uma apolar em sua cadeia e, portanto, têm a propriedade de reduzir a tensão superficial e formar emulsões. Além de apresentar a vantagem de serem mais estáveis a uma maior faixa de pH e temperatura, possui menor toxicidade, maior especificidade e biodegradabilidade quando comparados aos surfactantes químicos, porém sua produção ainda não se mostra competitiva em relação aos custos, uma vez que o meio utilizado e as etapas de recuperação do produto representam um elevado custo para produção. Os mais diversos resíduos são empregados para a biotransformação desses compostos (bagaço de cana, melão da cana e da soja, milhocina, manipueira, bagaço de abacaxi e batata) por bactérias, fungos e leveduras, visando alternativas para produção com um maior rendimento e custos reduzidos. Com um substrato adequado e condições operacionais otimizadas, a produção de biossurfactante pode ter um grande impacto no setor industrial, incluindo a indústria alimentícia e a agroindústria. O objetivo desse trabalho foi revisar a aplicação de resíduos agroindustriais na produção desses compostos.

Palavras-chave: Biossurfactantes. Resíduos agroindustriais. Biotransformação.

ABSTRACT

Biosurfactants are compounds synthesized by microorganisms that have properties similar to chemical surfactants. Because they are amphiphilic molecules, that is, they have a polar and an apolar part in their chain and, therefore, have the property of reducing surface tension and forming emulsions. In addition to having the advantage of being more stable at a higher pH and temperature range, having less toxicity, greater specificity and biodegradability when compared to chemical surfactants, however their production is not yet competitive in terms of costs, since the environment used and the product recovery steps represent a high cost for production. The most diverse residues are used for the biotransformation of these compounds (sugarcane bagasse, cane and soy molasses, corn steep licor, cassava wastewater, pineapple and potato bagasse) by bacteria, fungi and yeasts, aiming at alternatives for production with higher yields and reduced costs. With an adequate substrate and optimized operating conditions, the production of biosurfactant can have a major impact on the industrial sector, including the food industry and the agribusiness. This work aimed to review the use of agro-industrial residues as substrates for biosurfactant production.

Keywords: Biosurfactant. Agro-industrial residues. Biotransformation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Surfactantes químicos	18
Figura 2 - Variação da tensão superficial pela concentração de biossurfactante	19
Figura 3 - Esquema das forças resultantes em moléculas da superfície e do interior de um fluido	20
Figura 4 - Estrutura química da surfactina	21
Figura 5 - Estrutura química de alguns biossurfactantes.	23

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Palavras-chaves utilizadas durante a pesquisa	17
Quadro 2 - Tipo de biossurfactantes e microrganismos produtores	24
Quadro 3 - Resíduo utilizado para produção de biossurfactante, composto sintetizado e suas propriedades (redução da tensão superficial e CMC), e parâmetros de estabilidade do composto.	35
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens da utilização de resíduos de baixo custo na produção de biossurfactantes.	36
Quadro 5 - Processo de recuperação de biossurfactante e composto recuperado, e principais vantagens do processo.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CIM	Concentração inibitória mínima
CMC	Concentração micelar crítica
rpm	Rotações por minuto
vvm	Volume de ar por volume de meio por minuto

LISTA DE SÍMBOLOS

L	litro
m	metro
M	mola
N	Newton
psi	Libra força por polegada quadrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVO.....	16
3 METODOLOGIA.....	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1 Surfactantes.....	18
4.2 Tensão superficial.....	19
4.3 Biossurfactantes.....	20
4.3.1 Classificação.....	21
4.3.2 Propriedades.....	24
4.4 Aplicação dos biossurfactantes.....	26
4.5 Microrganismos produtores.....	28
4.6 Fatores que afetam a produção.....	29
4.6.1 Fonte de carbono.....	30
4.6.2 Fonte de nitrogênio.....	31
4.6.3 Fatores ambientais.....	32
4.7 Resíduos agroindustriais aplicados à produção de biossurfactantes.....	33
4.8 Recuperação dos biossurfactantes.....	36
4.9 Perspectivas da produção em larga escala.....	38
4 CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

Os surfactantes, também conhecidos como tensoativos, constituem um importante grupo de compostos químicos amplamente utilizados na indústria química, alimentícia, têxtil e agricultura. São moléculas anfipáticas constituídas por uma parte apolar, geralmente uma cadeia de hidrocarbonetos, e uma porção polar que pode ser iônica (catiônica e aniônica), não-iônica ou anfotérica (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

Devido ao seu caráter anfifílico, os surfactantes particionam na interface entre fluidos com diferentes polaridades. Essa característica confere a capacidade de reduzir a tensão superficial e interfacial, e a formação de microemulsão (DESAI e BANAT, 1997). Suas propriedades proporcionam sua aplicação industrial envolvendo: emulsificação, detergência, capacidade espumante, molhabilidade e dispersão de fases (BEZERRA, 2012).

Apesar de sua ampla aplicabilidade, o uso do surfactante é limitado por questões ambientais, já que a maioria dos surfactantes disponíveis comercialmente é sintetizada a partir do petróleo e seus derivados. No entanto, a crescente preocupação com a questão ambiental aliada com novas legislações ambientais levou à busca de surfactantes naturais (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

Os biosurfactantes são compostos sintetizados por microrganismos – bactérias, fungos filamentosos e leveduras, e que possuem propriedades surfactantes (ARAÚJO, FREIRE e NITSCHKE, 2013). Esses compostos possuem diversas vantagens quando comparados aos surfactantes químicos, dentre elas: baixa toxicidade, elevada redução da tensão superficial, biodegradabilidade, estabilidade térmica, estabilidade quanto a valores extremos de pH, sendo produzido a partir de fontes renováveis (COLLA e COSTA, 2007).

A aplicabilidade dos biosurfactantes é vasta devido a sua baixa toxicidade e degradabilidade, podendo ser aplicada na indústria de alimentos, farmacêutica e cosmética, e na agricultura (AQUINO, 2011). No entanto, sua produção não consegue competir economicamente com a dos surfactantes, devido ao elevado custo (COLLA e COSTA, 2007).

Uma alternativa para reduzir os custos e tornar a produção de biosurfactantes mais competitiva é a utilização de resíduos agroindustriais como meio de cultivo, visto que o meio de cultivo representa um custo em torno de 30% do valor final para a produção desse composto (NAGY, 2018). Além da redução dos custos, a aplicação desses resíduos tem como outras vantagens a disponibilidade de quantidade e variedade de matéria prima, não ser prejudicial ao microrganismo e ser biodegradável (BANAT et al, 2014).

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica sobre a utilização de resíduos agroindustriais para a produção de biossurfactantes.

2 OBJETIVO

Geral

- Apresentar uma revisão de literatura da aplicação de resíduos agroindustriais para a produção de biossurfactantes;

Específicos:

- Conceituar, caracterizar e mostrar as propriedades dos biossurfactantes;
- Apresentar aplicações dos biossurfactantes nas diferentes indústrias;
- Revisar na literatura nos últimos 5 anos a aplicação dos resíduos agroindustriais para a produção de biossurfactantes;
- Apresentar uma perspectiva da produção a partir de resíduos agroindustriais em larga escala.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado por meio de pesquisa utilizando a ferramenta GOOGLE SCHOLAR. Foram selecionados cerca de 100 trabalhos científicos (artigos, trabalhos de conclusão de curso, capítulo de livro, teses e dissertações) entre o período de janeiro e março de 2021.

O quadro abaixo mostra as palavras-chaves utilizadas durante a pesquisa. Na revisão da aplicação de resíduos agroindustriais para produção de biossurfactantes foi dada prioridade a trabalhos publicados nos últimos 5 anos, nos demais tópicos foram utilizadas publicações de diversos anos.

Quadro 1 - Palavras-chaves utilizadas durante a pesquisa.

Palavras-chaves				
Surfactantes	Biossurfactantes	Recuperação	Aplicações biossurfactantes	
Recuperação biossurfactantes		Classificação	Propriedades	Agroindustrial wastes
Biosurfactants	Microrganismos	Bactérias		Tensão superficial
Resíduos agroindustriais	Fungos	Fatores ambientais		Fonte de carbono
Fonte de nitrogênio		Indústrias	Condições de produção	

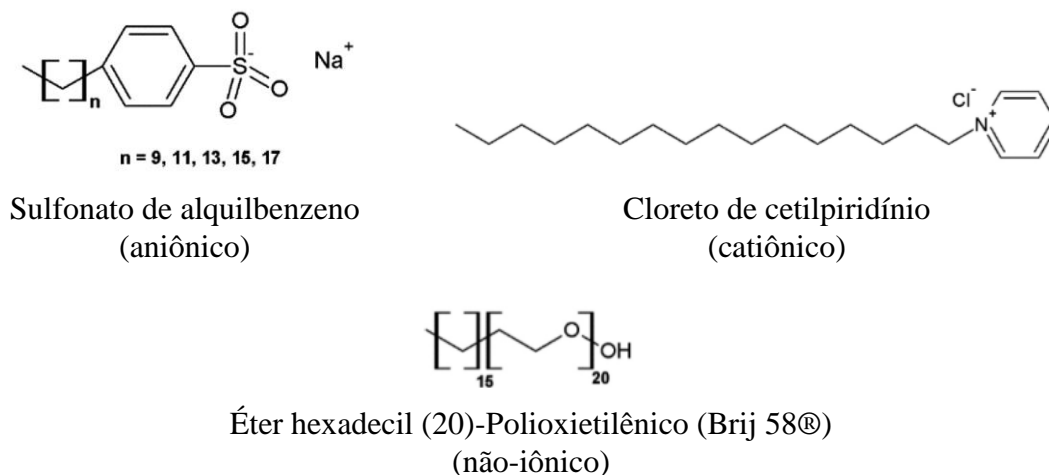
Fonte: Autor, 2021.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Surfactantes

O termo surfactante vem da contração do termo em inglês *surface active agent* (agente de atividade superficial). São compostos anfipáticos que apresentam em sua estrutura uma parte polar e outra apolar (VON RYBINSKI, 2001). A parte apolar do surfactante geralmente tem como origem uma cadeia carbônica, seja ela linear, ramificada ou com partes cíclicas. Já a porção polar pode apresentar grupo iônicos (ânions e cátions), não-iônicos e anfotéricos (DALTIM, 2011).

Figura 1 - Surfactantes químicos.



Fonte: Adaptado Oliveira (2017).

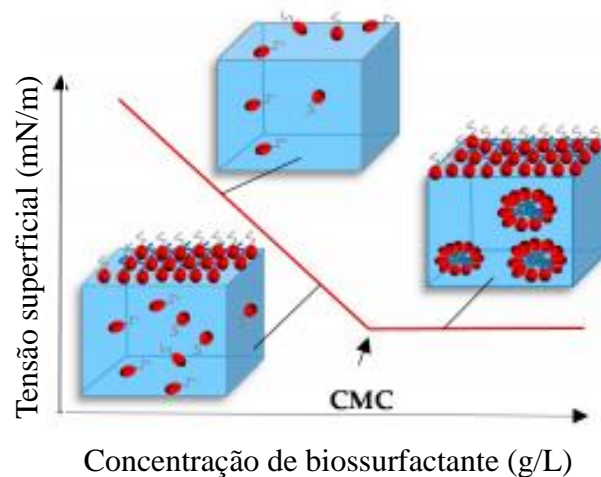
Devido à presença do grupo lipofílico (apolar), os surfactantes, ou tensoativos, quando em solução, ocupam preferencialmente a superfície do líquido causando a diminuição das forças de coesão no solvente, o que acarreta na diminuição da tensão superficial (BEHRING et al, 2004). Essa propriedade faz com que a aplicação industrial dos surfactantes seja ampla, dentre elas: capacidade de emulsificação, detergência, solubilização e dispersão de fase, capacidade molhante e lubrificante (RIVERA et al, 2019).

A adição de mais moléculas de tensoativo, quando ocorre a saturação entre a superfície da fase polar e apolar, não irá causar uma diminuição da tensão superficial. Essas moléculas adicionais irão interagir entre si formando as micelas, podendo ser tanto na fase polar quanto na apolar. A concentração na qual se inicia o processo de formação de micelas é

chamada de concentração micelar crítica (CMC). Essa propriedade é intrínseca para cada surfactante e afetada pela temperatura, natureza dos grupos químicos que compõem a molécula, força iônica e presença de eletrólitos (OLIVEIRA, 2017).

A figura a seguir mostra a relação entre a concentração do tensoativo e a tensão superficial, e a formação das micelas a partir da CMC.

Figura 2 - Variação da tensão superficial pela concentração de biossurfactante.



Fonte: Santos et al (2016)

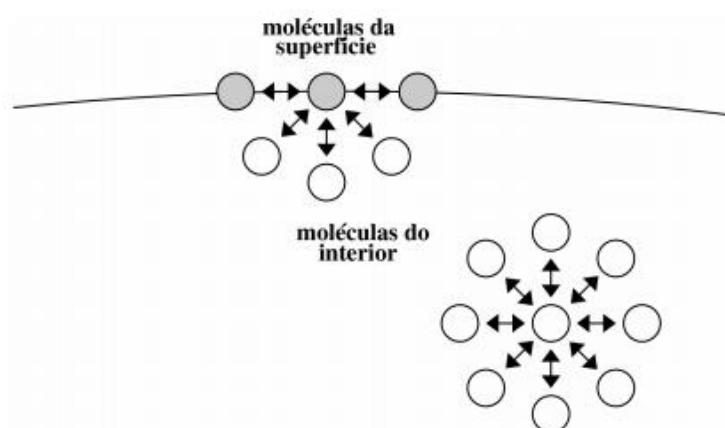
Apesar de suas propriedades e aplicações, a maioria dos surfactantes são sintetizados a partir de derivados do petróleo, resultando em compostos tóxicos para o meio ambiente e não-biodegradáveis. Existe uma tendência crescente para a substituição de surfactantes sintéticos pelos biossurfactantes. A motivação dessa substituição se dá pela busca de composto biodegradáveis, mais brandos e com uma maior especificidade do produto (NITSCHKE e PASTORE, 2002). Aliado a isso, a preocupação ambiental por parte dos consumidores e novas legislações ambientais favorecem a pesquisa desses compostos (SANTOS, 2017).

4.2 Tensão superficial

A tensão superficial surge quando há um desequilíbrio das forças que agem sobre as moléculas que se encontram na superfície daqueles que estão no interior da solução (BEHRING et al, 2004).

As moléculas que estão abaixo da superfície são atraídas em todas as suas direções, sem que haja uma tendência de ser atraída em direção específica. Já as moléculas que estão na superfície são atraídas pelas moléculas que estão ao lado e pelas que estão abaixo, porém não há nenhuma força atuando em cima, o que resulta na atração da molécula da superfície para o interior, essa tendência acaba minimizando a área superficial do líquido. As gotas dos líquidos assumem um formato esférico na tentativa de diminuir sua área superficial, o mesmo ocorre na formação do menisco (HEWITT, 2015; BEHRING et al, 2004).

Figura 3 - Esquema das forças resultantes em moléculas da superfície e do interior de um fluido



Fonte: Oliveira, 2002

A adição de soluto altera a tensão superficial de um líquido. Caso o soluto se concentre na interface, a tensão superficial irá diminuir, se for o contrário a tensão superficial aumenta. Os solutos com capacidade de provocar a diminuição da tensão superficial são chamados de tensoativos ou surfactantes (FERREIRA, 2004).

4.3 Biosurfactantes

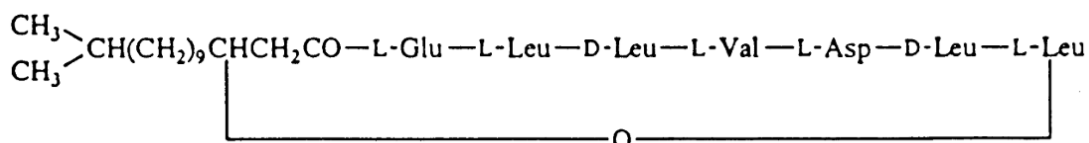
Surfactantes naturais são obtidos a partir de fontes naturais, seja de origem animal ou vegetal e os produtos obtidos podem ser separados por destilação, extração ou precipitação (VON RYBINSKI, 2001). Dentre os surfactantes naturais, os biosurfactantes constituem uma importante classe.

Biossurfactantes são definidos como compostos produzidos por células, principalmente os microrganismos, como: bactérias, fungos filamentosos e leveduras, com propriedades semelhantes aos surfactantes sintéticos, tendo como vantagem a variabilidade química dos compostos que conseguem se adaptar e aplicar a condições específicas. A produção desses compostos ocorre, na maioria dos casos, na fase estacionária de crescimento, fase na qual não há o aumento da população microbiana (VON RYBINSKI, 2001; RON e ROSENBERG, 2001).

Sua estrutura, assim como os surfactantes químicos, é formada por uma parte apolar que consiste em uma cadeia carbônica podendo ser saturada, insaturada, hidroxilada ou ácido graxo ramificado. Já a porção polar possui uma variedade, podendo ser aminoácidos, ácidos graxos, grupo carboxila ou partes dos fosfolipídios que contenham o grupo fosfato, ou um complexo de mo-, di-, polissacarídeos de glicolipídios (VON RYBINSKI, 2001).

A figura 4 representa a estrutura da surfactina, surfactante da classe dos lipopeptídeos.

Figura 4 - Estrutura química da surfactina.



Fonte: Von Rybinski (2001).

Em comparação com os surfactantes químicos, os biossurfactantes apresentam diversas vantagens: menor toxicidade, maior biodegradabilidade, alta seletividade e especificidade em condições extremas de temperatura, pH e salinidade, além de serem sintetizados a partir de fontes renováveis (DESAI e BANAT, 1997; SENERIZ *et al*, 2001).

4.3.1 Classificação

Diferente dos surfactantes sintéticos que são classificados de acordo com a natureza de seu grupo polar, os biossurfactantes são classificados quanto a sua composição química e a sua origem microbiana. Quanto a sua origem química, as principais classes são: glicolipídios, lipopeptídios e lipoproteínas, fosfolípideos e ácidos graxos, surfactantes poliméricos e particulados (DESAI e BANAT, 1997).

Os glicolípídios são carboidratos ligados a uma longa cadeia de ácido alifático ou ácido hidroxialifático. Dentre os glicolípídios os mais conhecidos são: trealolípídeos, soforolípídeos e ramnolípídeos, sendo este último o mais estudado (DESAI e BANAT, 1997). Esses compostos estão envolvidos na entrada de compostos de baixa polaridade na célula microbiana (BUENOS, 2008).

Os ramnolípídeos são constituídos por uma ou duas moléculas de ramoses ligadas a uma ou duas moléculas do ácido β -hidroxidecanóico (GAUTAM e TYAGI, 2006). A primeira descrição da produção desse composto por *Pseudomonas aeruginosa* ocorreu em 1949 Javis & Johnson (DESAI e BANAT, 1997, apud JAVIS e JOHNSON, 1949). Os principais glicolípídios produzidos por *Pseudomonas aeruginosa* são L-ramnosil- β -hidroxidecanoil- β -hidroxidecanoato e L-ramnosil-L-ramnosil- β -hidroxidecanoil- β -hidroxidecanoato que se referem ao ramnolípídeos 1 e 2 respectivamente. Já os ramnolípídeos do tipo 3 e 4 são formados a partir de um ácido β -hidroxidecanóico com uma ou duas ramoses (DESAI e BANAT, 1997).

A produção dos trealolípídeos ocorre por uma variedade de microrganismos, tais como: *Mycobacterium*, *Nocardia* e *Corynebacterium*. São formados pela ligação do dissacarídeo trelose com uma molécula de ácido hidrocarboxílico de cadeia longa e ramificada (BANAT *et al*, 2010).

Já os soforolípídeos são produzidos principalmente por leveduras (BANAT *et al*, 2010). Constituído a partir de uma suforose ligada através de uma ligação glicosídica a uma longa cadeia de um ácido graxo hidroxilado (ROY, 2018).

Os lipopetídeos ou lipoproteínas resultam da combinação de uma cadeia de um ácido graxo combinada com uma porção de peptídeo correspondendo a um grupo isoforme, que difere em seu comprimento da cadeia do ácido graxo, composição da fração peptídica e a ligação existente entre as duas partes (MNIF e GHRIBI, 2015). A surfactina, um dos componentes de maior destaque desse grupo, é constituída por uma cadeia sete aminoácidos e grupos carboxila e hidroxila de ácidos graxos ligados a suas extremidades (ROY, 2018).

Os fosfolípídeos e ácidos graxos são produzidos por várias espécies de bactérias e leveduras utilizando n-alcenos como fonte de carbono (DESAI e BANAT, 1997). São constituintes da membrana celular dos microrganismos, sendo formado por uma molécula de glicerol ligada, por uma ligação éster, a duas moléculas de ácidos graxos (BEZERRA, 2012).

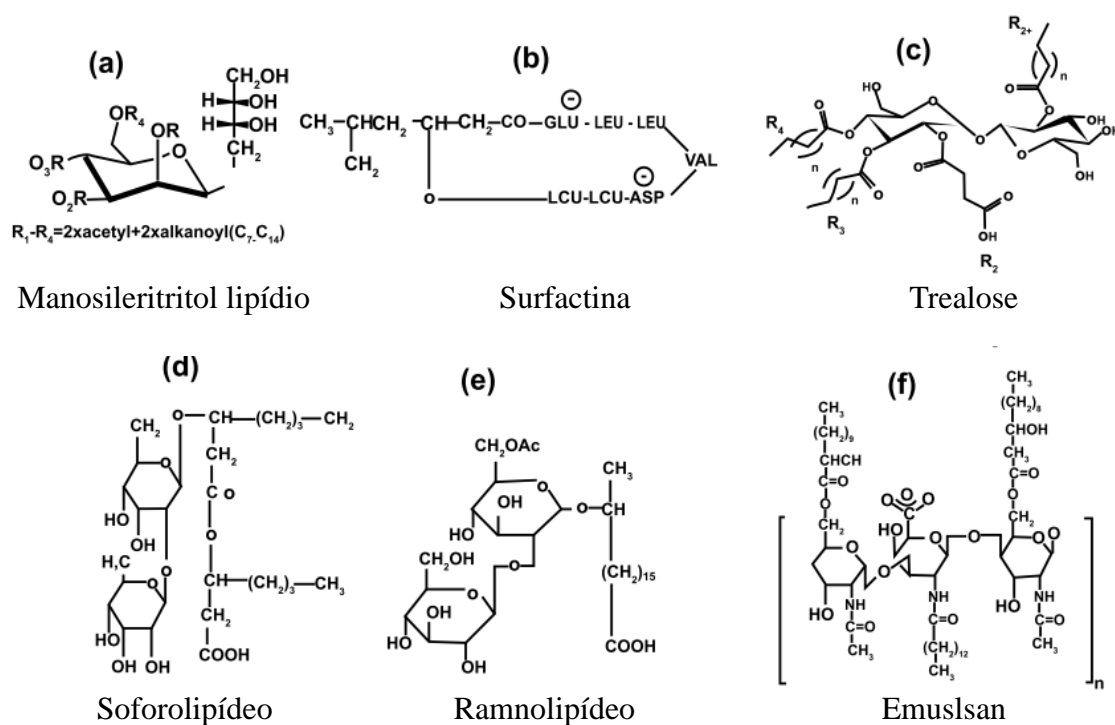
Os surfactantes poliméricos são biopolímeros com alto peso molecular constituído por proteínas, lipoproteínas, polissacarídeos, lipopolissacarídeos ou uma mistura desses compostos (RIVERA *et al*, 2019). Dentre eles os mais estudados são: emulsan, liposan,

lipomanan, alasan, manno proteína e complexo polissacarídeo-proteína (DESAI e BANAT, 1997).

Os biossurfactantes particulados têm como representantes as vesículas e células microbianas com atividade surfactante (NITSCHKE e PASTORE, 2002). São compostos essenciais para a absorção de alcanos pela célula microbiana (ROY, 2018).

A figura 5 apresenta a estrutura de alguns biossurfactantes.

Figura 5 – Estrutura química de alguns biossurfactantes.



Fonte: Adaptado Md (2012).

Quanto à origem microbiana, Desai e Banat (1997) descrevem os compostos e os microrganismos produtores (Quadro 2).

Sua classificação também pode ser feita a partir de sua massa molecular, sendo dividido em compostos que apresentam elevada massa molecular, que tem como principal propriedade a emulsificação, e de baixa massa molecular, sendo os glicolipídeos, lipopeptídeos e ácidos graxos seus representantes, que diminuem a tensão interfacial (RON e ROSENBERG, 2001).

Quadro 2 - Tipo de biossurfactantes e microrganismos produtores.

		Microrganismo produtor
Biossurfactante	Glicolipídeos	<i>Acinetobacter calcoaceticus, Alcanivorax borkumensis, Arthrobacter paraffineus, Arthrobacter sp., Candida antártica, Candida apícola, Candida batistae, Candida bogoriensis, Candida bombicola, Candida ishiwadae, Candida lipolytica, Lactobacillus fermentum, Nocardia sp., Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas sp., Rhodococcus erythropolis, Rhodotorula glutinus, Rhodotorula graminus, Serratia marcescens, Tsukamurella sp., Ustilago maydis</i>
	Lipolipídeos	<i>Acinetobacter sp., Bacillus licheniformis, Bacillus pumilus, Bacillus subtilis, Candida lipolytica, Gluconobacter cerinus, Pseudomonas fluorescens, Serratia marcescens, Streptomyces sioyaensis, Thiobacillus thiooxidans</i>
	Ácidos graxos	<i>Arthrobacter paraffineus, Capnocytophaga sp., Corynebacterium insidibasseosum, Corynebacterium lepus, Nocardia erythropolis, Penicillium spiculisporum, Talaramyces trachyspermus</i>
	Fosfolipídeos	<i>Acinetobacter sp. Aspergillus Corynebacterium lepus</i>
	Surfactante polimérico	<i>Acinetobacter calcoaceticus, Bacillus stearothermophilus, Candida lipolytica, Candida utilis, Halomonas eurihalina, Mycobacterium thermoautotrophium, Sphingomonas paucimobilis</i>
	Biossurfactantes particulados	<i>Acinetobacter calcoaceticus Cyanobacteria Pseudomonas marginalis</i>

Fonte: Santos et al (2016).

4.3.2 Propriedades

A produção de biossurfactante ocorre por uma variedade de microrganismos, e a síntese desse composto é de grande importância para o seu crescimento, visto que os

biossurfactantes tornam possível o acesso a substratos hidrofóbicos, aumentando assim a disponibilidade de nutrientes, e sua atividade antimicrobiana estimula a competitividade de sobrevivência desses microrganismos produtores (MULLIGAN et al., 2014). Por sua variedade de estrutura e microrganismo produtor, não é possível generalizar ou identificar propriedades que são comuns a todos os biossurfactantes (RON e ROSENBERG, 2001). Dentre as funções mais comuns dos biossurfactantes estão:

- **Atividade superficial e interfacial:** Quando comparados aos surfactantes convencionais, os biossurfactantes apresentam uma maior eficiência, já que reduzem a tensão superficial em menores concentrações (NITSCHKE e PASTORE, 2002). Um bom surfactante reduz a tensão superficial da água de 72 para 35mN/m e a tensão interfacial para <1mN/m entre água-hexadecano. E a CMC é de 10 - 40 vezes menor do que a dos surfactantes químicos, sendo necessária uma menor quantidade de biossurfactante para atingir o menor valor de tensão superficial (MUTHUSAMY et al, 2008).

- **Tolerância à temperatura, pH e força iônica:** vários biossurfactantes e sua atividade superficial não são afetadas por fatores ambientais, tais como pH e temperatura (MUTHUSAMY et al, 2008), podendo ser utilizado em ambientes de condições mais drásticas. Lipopeptídeos produzidos pela *B. licheniformes* são estáveis em temperaturas superiores a 75°C por até 140h e pH entre 5,5 e 12 (GEORGIU, LIN e SHARMA, 1992). Quanto a concentração de NaCl, os biossurfactantes suportam concentrações de 10%, enquanto que para os surfactantes químicos concentrações salinas de 2-3% são suficientes para inativá-los (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

- **Especificidade:** por serem moléculas compostas com grupos funcionais específicos, sua ação é específica (KOSARIC, 1992). Além disso, a possibilidade de modificação genética, química e biológica possibilita a criação de compostos para necessidades específicas (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

- **Baixa toxicidade:** essa propriedade permite a aplicação desses compostos na indústria de alimentos, cosmética e farmacêutica (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

- **Biodegradabilidade:** são compostos facilmente degradados no solo e na água, o que torna sua aplicação, nos casos de biorremediação e tratamento de resíduos, adequada (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

- **Disponibilidade de matérias-primas:** a produção de biossurfactantes pode ser feita a partir de matérias-primas de baixo custo e em grande quantidade. A fonte de carbono pode ser oriunda de um hidrocarboneto, carboidrato ou lipídeo, ou até mesmo uma combinação desses compostos (KOSARIC, 1992).

4.4 Aplicação dos biossurfactantes

Devido as suas propriedades, os biossurfactantes possuem uma gama de aplicações em diversas áreas, tais como: indústria de petróleo, farmacêutica, alimentos, têxtil, cosmética, agricultura, em processos de biorremediação de solos e tratamento de resíduos.

A indústria de petróleo é o maior mercado para os biossurfactantes. Sendo aplicado na produção, formulação, processos de biorremediação de derramamento de óleo e na recuperação melhorada do petróleo (NITSCHKE e PASTORE, 2002). Durante a produção, refino e transporte, resíduos oleosos se depositam no fundo dos tanques de armazenamento, também chamada de borra oleosa, sendo o processo de remoção muito oneroso. Lima (2003) alcançou resultados positivos na aplicação de biossurfactantes para o tratamento da borra oleosa. Santos (2017) simulou a degradação de óleo de motor pelo biossurfactante produzido pela *Candida lipolytica* UCP 0988, e os resultados indicaram que o composto tem grande potencial no tratamento de derramamento de óleos.

A recuperação melhorada do petróleo se dá pela utilização de microrganismo ou produtos de seu metabolismo que vão reduzir a tensão superficial óleo-rocha, promovendo o movimento do óleo pelos poros da rocha (NITSCHKE e PASTORE, 2002). Neste processo pode ser feita a injeção de microrganismos que irão produzir os biossurfactantes dentro do reservatório (*in situ*) ou a aplicação direta do biossurfactante no reservatório (KOSARIC, 1992). Batista (2008) obteve resultados positivos na recuperação melhorada de óleo pesado em núcleos porosos de areais a partir de biossurfactantes produzidos por cepas de *Bacillus subtilis*. Soares e Souza (2016) e Quintela (2018) avaliaram a aplicação de cepas de *Bacillus* spp, produtoras de biossurfactantes lipopeptídeos, para recuperação melhorada do petróleo.

Na área farmacêutica, a surfactina possui diversas aplicações, tais como: ação anticoagulante, atividade antimicrobiana, antitumoral e antiviral, e formação de canais iônicos em membranas (NITSCHKE e PASTORE, 2002). A ação antifúngica do biossurfactante produzido a partir *Pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIA foi verificada por Araújo et al (2018). Macedo (2007) avaliou a ação antifúngica da iturina, lipopeptídeo extraído do *Bacillus subtilis*, em pacientes imunodeprimidos.

Na indústria de alimentos a aplicação dos biossurfactantes se dá pela sua propriedade emulsificante que é de grande importância na formação de emulsões, estabilização da consistência e textura, solubilização de aromas e dispersão de fases. Influência nas características reológicas da farinha e emulsificação de gorduras proporciona sua aplicação na panificação e em produtos derivados de carnes (NITSCHKE e PASTORE, 2002). Campos,

Stamford e Sarubbo (2015) avaliaram a adição de biossurfactante para a estabilização de maionese. Na panificação e em sorvetes, os biossurfactantes são utilizados na formulação para retardar o envelhecimento, controlar a consistência e a solubilização de óleos aromáticos (MULLIGAN et al., 2014).

Devido a sua baixa toxicidade, os biossurfactantes podem ser utilizados na formulação de produtos de higiene e cosmética. Soforolipídeos, após esterificação, são aplicados em batons e creme hidratante para pele e cabelo (NITSCHKE e PASTORE, 2002). Farias (2019) propôs em seu trabalho a substituição dos surfactantes químicos pelos biossurfactantes em produtos de higiene oral, tendo como resultado produtos atóxicos e com ação semelhante aos produtos comerciais. Ferreira (2020) constatou a atividade antimicrobiana de biossurfactantes produzidos por fungos endofíticos contra patógenos da cavidade oral. A concentração inibitória mínima (CIM) do extrato de *F. decemcellulare* (FF17) contra *Streptococcus mutans* (ATCC25175) e *Lactobacillus casei* foi, respectivamente, 0,4 mg/mL e 1,5 mg/mL. Para *Diaporthe* sp. (FF36) a CIM foi de 2,4 mg/mL contra *S. mutans*. O extrato de micélio de *F. solani* (FF51) apresentou CIM de 1,8 mg/mL para *L. casei*.

Na agricultura os biossurfactantes são utilizados na produção de pesticidas e herbicidas devido a sua propriedade emulsificante, que torna possível a solubilização em água dos compostos ativos das formulações, uma vez que são compostos hidrofóbicos (NITSCHKE e PASTORE, 2002).

Garbino (2013) caracterizou e identificou microrganismos com capacidade de produzir biossurfactante para a biorremediação de solos contaminados por metais pesados. Os testes de remoção de cátions metálicos mostraram uma remoção de 99,3% de manganês, 99,2% de níquel e 99,4% de cromo. Araújo (2019) verificou a potencial aplicação de biossurfactantes produzidos por um consórcio de microrganismos para a biorremediação de solo contaminado por arsênio.

Outras aplicações dos biossurfactantes ocorrem na indústria têxtil, de tintas, de papel, processamento do urânio e cerâmica (CAMEOTRA, 2002).

4.5 Microrganismos produtores

Segundo Bezzera (2006), a escolha do microrganismo para qualquer processo fermentativo resulta no êxito ou fracasso do processo, já que devem ser levados em consideração critérios para que haja uma boa produção do produto desejado.

Os microrganismos de interesse industrial podem ser obtidos a partir de fontes naturais, o isolamento a partir dessas fontes é uma técnica muito importante na obtenção de novas linhagens; compra em coleções de culturas, sendo a mais conhecida: *Agricultural Research Service Culture Collection* (EUA); obtenção de mutantes naturais ou induzidos por técnicas convencionais e obtenção de microrganismos recombinantes (GASPAR, 2015).

Gaspar (2015) elenca, de maneira generalizada, as características desejáveis para os microrganismos de modo a permitir a sua aplicação industrial, sendo elas: não ser um microrganismo patogênico; possuir elevada taxa de conversão de substrato em produto, visto que as matérias-primas incidem diretamente no custo final do produto; rápida liberação e acúmulo do produto no meio de modo que a recuperação do produto seja facilitada, não exigir condições de processos muito complexas e meios de cultivo dispendiosos, estabilidade quanto ao comportamento fisiológico e produção minimizada de substâncias que não sejam compatíveis com o processo.

Os biossurfactantes são produzidos por uma variedade de microrganismos eucariontes e procariontes. Em alguns casos a produção ocorre apenas em substratos hidrofóbicos, *Rhodococcus* e *Corynebacterium* são exemplos desse grupo, e no outro grupo a produção pode ocorrer tanto em substratos hidrofóbicos quanto hidrofílicos, como verificado para *Pseudomonas aeruginosa* e *T. bombicola* (GAUTAM e TYAGI, 2006).

A produção de biossurfactantes por leveduras e fungos entra no status GRAS (*generally regarded as safe*), microrganismos com essa classificação podem ser utilizados na indústria de alimentos e farmacêutica, já que não apresentam risco de toxicidade e patogenicidade (BEZERRA, 2012).

Colla e Hemkemeier (2012) avaliaram a absorção de cádmio e a produção de biossurfactante por fungos filamentosos do gênero *Aspergillus ssp* e *Trichoderma sp*. Sena et al (2014) obtiveram biossurfactantes com capacidade de reduzir a tensão superficial em 33,3%, produzidos a partir de fungos amazônicos utilizando meio líquido acrescido de óleo de soja. A prospecção de novos microrganismos para a produção de biossurfactante foi proposta por Cavalcanti (2014), em sua busca foram avaliados 11 fungos filamentosos da Caatinga tendo como resultado uma potencial produção de biossurfactantes por esses microrganismos.

Em seu trabalho, Marcelino (2016) verificou a produção de biossurfactantes produzidos a partir de leveduras. Dentre as leveduras estudadas a que demonstrou resultados mais promissores foi a *Trichosporon mucoides* (SSS11). Leveduras da Antártica foram utilizadas para a produção de biossurfactantes, dentre as leveduras estudadas a *Cryptococcus adeliensis* (L95) se destacou com a produção de biomolécula com maior atividade tensoativa e emulsificante (CHAVES, 2017).

Dentre as bactérias produtoras de biossurfactantes destacam-se: *Pseudomonas aeruginosa*, *Corynebacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Arthrobacter paraffineys* dentre outras (CHRISTOFI e IVSHINA, 2002).

Roque et al (2015) utilizaram *Candida guilliermondii*, *Candida lipolytica*, *Pseudomonas cepacia*, *Pseudomonas* sp. e *Pseudomonas aeruginosa* para a produção de compostos tensoativos. Dentre os microrganismos utilizados a *Candida lipolytica* e *Pseudomonas aeruginosa* demonstraram uma maior redução da tensão superficial.

A prospecção de microrganismos produtores de biossurfactantes a partir de solos contaminados por agrotóxicos foi proposta por Kreischer e Silva (2017), dentre os microrganismos isolados destacou-se a produção por *Bacillus*, *Lysobacillus* e *Pseudomona*.

Vera (2017) produziu biossurfactantes por *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* CECT-4434, obtendo um composto com notável estabilidade térmica e a valores extremos de pH, além de suas propriedades antimicrobianas a antiadesiva, tendo uma inibição de mais de 90% para *Listeria monocytogenes* NADC 2045 e *Salmonella enterica* CECT-724. *Serratia marcescens* UCP 1549 demonstrou boa capacidade produtiva para biossurfactantes utilizando resíduos sólidos (TEIXEIRA et al, 2020).

4.6 Fatores que afetam a produção

A produção dos biossurfactantes é afetada por diversos fatores que vão além da condição de cultivo e crescimento do microrganismo. Dentre elas: origem da fonte de carbono, nitrogênio, proporção de nitrogênio e carbono, restrições nutritivas. Assim como os parâmetros físicos: pH, salinidade, circulação de ar e cátions presentes vão influenciar na produção e no tipo de polímero sintetizado pelo microrganismo (ROY, 2018).

A produção de biossurfactantes por microrganismos pode ocorrer de forma espontânea ou induzida por variações de pH, temperatura, aeração, presença de compostos

lipofílicos, ou em condições de estresse durante o crescimento celular (DESAI e BANAT, 1997).

4.6.1 Fonte de carbono

Os microrganismos produtores de biossurfactantes podem utilizar uma variedade de substâncias como fonte de carbono: diesel, petróleo, glicose, resíduos agroindustriais, óleos vegetais entre outros.

Castiglioni, Bertolin e Costa (2009), estudaram a produção de biossurfactantes a partir do *Aspergillus fumigatus* utilizando resíduos agroindustriais em diferentes condições de cultivo. Realizando a comparação entre produção no meio em que não foi adicionada uma fonte de carbono com meios em que foi adicionado óleo de soja ou óleo diesel na proporção de 1% (%v/v) como fonte adicional de carbono, verificou-se que o meio sem adição mostrou uma produção mais acentuada de biossurfactantes.

Bueno, Silva e Garcia-Cruz (2010) estudaram diversas fontes de carbonos: glicose, sacarose, manitol, caldo de cana, frutose e glicose + frutose, em diferentes concentrações, para a produção de biossurfactantes a partir do *Bacillus pumilus*. Obtendo como resultado uma melhor produção com a sacarose, seguida pelo caldo de cana, e que baixas concentrações da fonte de carbono conseguiram estimular uma alta produtividade de biossurfactante. A CMC do composto sintetizado a partir da sacarose foi de 27 mg/L, já para o caldo cana de açúcar foi de 37 mg/L, evidenciando assim que o biossurfactante a partir da sacarose possui melhores propriedades quando comparados com o do caldo da cana.

Sena (2014) avaliou a influência do óleo de soja, amido, sacarose, celulose, e xilose como fonte de carbono para síntese de biossurfactantes por fungos isolados do solo amazônico. Dentre as fontes, destacou-se a produção a partir do óleo de soja.

Morais (2015) comparou a produção de tensoativos em dois meios minerais, um adicionado de 1% (%v/v) de óleo diesel e o outro com adição de 1% (%v/v) de glicose. Os resultados mostram um índice de emulsificação semelhante para os dois meios, evidenciando assim a possibilidade de produção desses compostos a partir da glicose como fonte de carbono.

Avaliando o efeito da variação das concentrações de nutrientes, Barbosa (2017) utilizou óleo de soja, óleo de milho, glicerol e glicose como fontes de carbono em diferentes concentrações para formulação de meios. Das condições, a mais favorável para a produção de biossurfactantes para emulsificação de solução com hexano ocorreu no meio contendo 2,0%

de óleo de soja, 2,0% de óleo de milho, 20,0% de glicerol, 1,0% de glicose, no qual o índice de emulsificação foi de 23,30%. Já para a emulsificação de solução com tetracloreto de carbono, o meio que se destacou foi com e 0,2% de óleo de soja, 20,0% de óleo de milho, 2,0% de glicerol, 1,0% de glicose, com o índice de emulsificação de 62,20%.

Utilizando melaço de cana, suco de caju e suco de abacaxi para a síntese de tensoativos a partir da *Candida guilliermondii*, o melhor índice de emulsificação observado para o óleo de soja foi de 74,02% a partir do suco de abacaxi, já para óleo de motor o índice de emulsificação foi de 82,68% a partir do suco de caju (SANTOS et al, 2018).

Almeida et al (2020) utilizaram diferentes tipos de óleos – óleo de soja, óleo de fritura, óleo lubrificante novo e usado – para a produção de biossurfactantes pela *Lysinibacillus* sp. e *Bacillus* sp, tendo como resposta a maior produção a partir da síntese com o óleo de soja como fonte de carbono e a menor produção com óleo lubrificante usado.

4.6.2 Fonte de nitrogênio

A fonte de nitrogênio é fundamental para o crescimento e síntese de proteínas e enzimas microbianas. Diferentes fontes de nitrogênio são avaliadas para a produção de biossurfactantes: extrato de leveduras, sulfato de amônio, nitrato de amônio, nitrato de sódio e extrato de carne (ROY, 2018).

Decesaro et al (2013) verificaram o efeito da redução da concentração de nitrogênio no meio de cultivo para a síntese de biossurfactantes, utilizando como fonte o extrato de levedura com adição ou não do sulfato de amônio (1%) por *Pseudomonas* e *Bacillus*. Os melhores resultados foram obtidos com a ausência do sulfato de amônio no meio, concluindo que a limitação da fonte de nitrogênio possibilitou uma maior produção de biossurfactantes.

Em seu trabalho, Sena (2014) avaliou peptona, extrato de levedura, extrato de carne, nitrato de sódio e malte como fonte de nitrogênio para a síntese de biossurfactantes pelo *Penicillium* 8CC2. Dentre as fontes estudadas, o extrato de levedura obteve o maior índice de emulsificação do tolueno, 64,7%. As demais fontes apresentaram um índice de emulsificação superior a 50%, exceto para o nitrato de sódio que não apresentou atividade emulsificante para o tolueno.

Na produção de biossurfactantes a partir de bactérias isoladas da água do mar, Durval et al (2015) verificaram a influência de diferentes fontes de nitrogênio: cloreto de amônio, nitrato de sódio, ureia e peptona, na concentração de 0,12%. Dentre os microrganismos estudados, a maior produção e maior redução da tensão superficial ocorreram

com a peptona como fonte de nitrogênio, em que a tensão superficial foi de 50 mN/m para 29,6 mN/m.

Camargo (2020) analisou a influência da fonte de nitrogênio na produção de tensoativos a partir da bactéria *Rhodotorula mucilaginosa*. Dentre as fontes analisadas, o extrato de levedura e nitrato de amônio apresentaram o melhor índice de emulsificação, já para a redução da tensão superficial, destacaram-se o nitrato de amônio e a peptona.

Afonso (2020) avaliou o uso de resíduos agroindustriais como fonte de nitrogênio como alternativa a substituição do extrato de levedura para a produção de soforolípidios por *Starmerella bombicola*. Os resíduos avaliados foram: soro do leite, proteína de soja e milhocina. A partir do delineamento experimental, a produção otimizada de 35,22 g/L ocorreria com 1,5 g/L proteína de soja e 0,5 g/L de milhocina. Os resultados obtidos foram próximo do valor do modelo, sendo a produção de 36,13 g/L com 1,5 g/L de proteína de soja e 0,5 g/L de milhocina.

4.6.3 Condições operacionais

São fatores extremamente importantes para a produção de biossurfactantes, tanto para o rendimento como características do composto produzido. Para a obtenção de grande quantidade é necessário otimizar as condições de processo uma vez que mudanças na temperatura, pH, aeração e velocidade de agitação afetam a síntese desses compostos (MD, 2012; ROY, 2018).

Bueno, Silva e Garcia-Cruz (2010) estudaram a influência do pH em diferentes tempos de fermentação para a produção de biossurfactantes. A produção pelo *Bacillus pumilus* teve melhores resultados nos pHs de 5,0 e 7,0, no qual foi observado melhores índices de emulsificação e de redução da tensão superficial, no tempo de fermentação de 72h. Já a produção máxima por *Penicillium 8CC2* ocorreu num pH 6,0 no tempo de 9 dias de bioensaio (SENA, 2014).

Darvishi et al (2011) avaliaram a produção de biossurfactante por um consórcio microbiano em extremas condições de cultivo – pH, temperatura, salinidade e pressão. O consórcio foi capaz de produzir o composto na seguinte condição: 70°C, 6000psi, salinidade de 15% dentro de uma faixa de pH de 4 – 10. No entanto, a produção máxima de tensoativo ocorreu na temperatura de 40°C e pH 7,0. Khopade et al (2012) também verificaram uma máxima produção no pH 7,0 a partir do *Streptomyces* espécie B3, enquanto em um pH 5,0 a produção foi bastante afetada. Dentre as temperaturas analisadas, em 30°C obteve-se a melhor

produção. Já para a concentração de NaCl, em uma concentração de 4% foi obtida a máxima produção, no entanto, a maior atividade emulsificante ocorreu na concentração de 9%.

Virgibacillus salarius teve sua maior produção de biossurfactante em uma concentração de 4% (m/v) de NaCl, quando a concentração foi de 10% (m/v) a atividade do composto produzido. A faixa de temperatura da máxima produção ocorre entre 45 e 50°C. O pH ótimo da síntese foi de 9,0, quando o valor de pH ultrapassou 11 houve uma diminuição da produção (ELAZZAZY, ABDELMONEIM e ALMAGHRABI, 2015).

Em condição aeróbia de crescimento, *Bacillus amyloliquefaciens* conseguiu produzir biossurfactante numa faixa de temperatura de 25 a 40°C, pH entre 6,0 e 9,0, e salinidade menor que 50 g/L (m/v) de NaCl. Para *Pseudomonas aeruginosa* a produção ocorreu na faixa de temperatura 20 a 40°C, pH entre 6,0 e 9,0, e salinidade menor que 30 g/L (m/v) de NaCl. Em condição anaeróbia, os dois microrganismos tiveram sua capacidade de produção de biossurfactantes reduzida, principalmente para o *Bacillus amyloliquefaciens*. A mesma redução ocorre quando os microrganismos são submetidos a altas pressões (ZHAO et al, 2017).

As taxas de aeração e agitação são parâmetros importantes para produção de biossurfactante, já que facilitam a troca de oxigênio da fase gasosa para a fase líquida (Amaral et al, 2010). Silva (2009) verificou que a síntese de tensoativos a partir da *Pseudomonas aeruginosa* foi mais efetiva em uma agitação de 200 rpm, já para a aeração, a produção não foi afetada, tendo como resultado o mesmo rendimento nos valores testados. Bezerra et al (2012) demonstraram que a síntese de biossurfactantes por *Pseudomonas aeruginosa* LB1 foi mais expressiva em uma razão de aeração (razão entre o volume do meio de cultivo e volume do frasco) 0,4 e agitação de 100 rpm. Em seu estudo, Silva (2013), obteve uma melhor produção de surfactina a partir do *Bacillus* sp ITP-001 em uma taxa de agitação de 200 rpm e aeração de 1,0 vvm.

4.7 Resíduos agroindustriais aplicados à produção de biossurfactantes

O elevado preço para a síntese dos biossurfactantes ainda é uma desvantagem quando comparado aos surfactantes sintéticos, por isso há grandes esforços na busca de meios que possibilitem a redução nos custos da produção desses compostos. Portanto, a aplicação de resíduos agroindustriais nesse processo se mostra como uma alternativa viável.

Utilizando o melão de soja, coproduto gerado na produção do concentrado proteico de soja, Rodrigues (2016) verificou a produção de tensoativos a partir da *Pseudomonas aeruginosa*. Dentre as duas linhagens estudadas a *Pseudomonas aeruginosa* 10145 mostrou capacidade de síntese para biossurfactantes. A influência da concentração do melão de soja na obtenção desse composto teve melhores respostas quando a concentração foi de 100 e 130 g/L. O biossurfactante obtido teve uma redução da tensão superficial de 31,90 mN/m, no entanto sua CMC apresentou um elevado resultado, 80 mg/L.

Ribeaux (2016) observou a produção de biossurfactante polimérico por *Candida tropicalis* em meio contendo soro de leite, manipueira e óleo de soja pós-fritura. A seleção do melhor meio para produção foi obtida com 3% de soro de leite, 7% de manipueira e 10% óleo de soja pós-fritura. Nesse meio, a redução da tensão superficial do meio foi de 70 mN/m para 28,9 mN/m e uma CMC de 1,5%. O composto apresentou uma boa estabilidade quanto a variação de pH, na faixa de 2,0 a 12,0, quanto a temperatura, sendo estável nas temperaturas de 4, 70, 100 e 120°C e salinidade de 2 a 10%. Quanto a sua capacidade de emulsificação, o biossurfactante apresentou ótimos resultados na emulsificação de óleo diesel e biodiesel, valores acima de 70%.

Águas residuais da produção da farinha de mandioca, manipueira, foram utilizadas como substrato na produção de tensoativos pelo *Paenibacillus* sp. A redução da tensão superficial no meio foi de 26,83 mN/m. Foi avaliada a estabilidade do composto frente a variação de temperatura, pH e salinidade. O composto mostrou estabilidade quanto à redução da tensão superficial quando exposto a temperatura de 100°C. Além disso, o biossurfactante apresentou o melhor resultado com 10% de concentração salina no meio. Não houve grande variação da tensão superficial na faixa de pH de 2 a 12, mostrando que o composto apresenta ótima estabilidade (FERNANDES, 2016).

A utilização de soro de leite como meio de cultivo foi proposta por Vera (2017) para a produção de biossurfactantes a partir do *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* CECT-4434. Foram avaliados três meios: o meio MRS, soro de leite e soro de leite suplementado com vinhaça de uva, sacarose e extrato de levedura. Quando comparada a produção a partir do soro de leite, mesmo sem suplementação, com o meio sintético MRS, a produção foi 1,65 vezes maior. Avaliando a influência da quantidade do soro de leite, vinhaça, sacarose e extrato de levedura, foi observado que o soro de leite tem uma influência positiva na produção de biossurfactante, enquanto para a vinhaça a relação demonstrou-se negativa. Em uma concentração de 15% de soro de leite foi observado o melhor resultado para a síntese de biossurfactante, no qual houve uma redução da tensão superficial para 18,1 mN/m. Apesar de sua alta CMC, cerca de 30

mg/L, o biossurfactante produzido mostrou-se altamente estável numa faixa de pH de 2 a 12 e a numa faixa de temperatura de 4 a 80°C.

Rocha (2017) estudou a produção de surfactina utilizando o melaço da cana de açúcar pelo *Bacillus subtilis* UFPEDA 438. A produção desse composto atingiu valores satisfatórios, sendo sua produção de $199,45 \pm 0,13$ mg/L em 24 h, nas condições de 200 rpm, 36°C e aeração de 0,4. Também foi observada a produção de iturina em pequenas concentrações. O biossurfactante produzido mostrou-se eficaz uma vez que conseguiu reduzir a tensão superficial da água para 28,69 mN/m, tendo ainda uma baixa CMC de 20,73 mg/L.

A melhor condição verificada por Pele (2017) para a síntese de tensoativo pelo *Rhizopus arrhizus* UCP 1607 foi em um meio contendo 3% de glicerol residual e 5% de milhocina, no qual foi observada uma redução da tensão superficial de 28,8 mN/m, resultado alcançado com uma CMC de 1,7%. Análises mostraram que o composto possuía estabilidade na faixa de temperatura de 0 a 100°C, pH entre 2 e 12 e em concentrações de 2 a 10% de NaCl. Foi avaliada ainda a aplicação do biossurfactante na remoção de óleo diesel adsorvidos na areia, tendo como resultado uma remoção de 79,4%.

Biossurfactante produzido a partir de resíduos do processamento da casca de laranja por *Bacillus subtilis* mostraram capacidade de reduzir a tensão superficial em 25% quando o substrato utilizado estava diluído em 40%. O composto não apresentou boa atividade emulsificante, com valores inferiores a 30%, nem estabilidade quanto à variação de temperatura. No entanto, o biossurfactante mostrou-se estável a variação de pH próximas a neutralidade e para concentrações salinas de até 2,5% (ROVINA, 2018).

Das e Kumar (2018) avaliaram a produção de biossurfactante a partir de bagaço e cascas de batata em diferentes condições de cultivo por *Pseudomonas azotoformans* AJ15. A máxima produção com o melhor característica do composto produzido ocorreu no substrato contendo 2% de casca de batata em pó e 2% de bagaço de batata em pó otimizado com sais minerais numa faixa de temperatura entre 30 e 40°C, pH 7 e 180 rpm, na qual a redução da tensão superficial foi de 30,5 mN/m e CMC em torno de 500 mg/L. Estudos da estabilidade do composto mostraram que em temperatura de 90°C, variações de pH entre 3,5 e 12,5 e concentrações salinas de 1 a 5% de NaCl o composto manteve-se estável.

Experimentando diferentes concentrações de bagaço de cana de açúcar para síntese de tensoativos a partir *Bacillus safensis* J2, Das e Kumar (2019) encontraram uma máxima produção na concentração de 4% de bagaço de cana. Quando avaliaram a estabilidade do composto frente à variação de temperatura, pH e salinidade, o composto apresentou estabilidade a altas temperaturas e pH, mas quando submetido a baixas temperaturas e pH, o

composto não apresentou estabilidade. O efeito da concentração salina não alterou a propriedade de emulsificação do composto.

Candida tropicalis foi utilizada para a produção de biossurfactantes a partir de resíduos do processamento de abacaxi. Foi avaliada utilização de três substratos (glicose, cascas residuais de abacaxi e talos residuais de abacaxi) pela levedura. Comparando os valores de redução da tensão superficial a partir do talo e da casca como substrato, é possível notar que a maior redução foi proporcionada com o talo do abacaxi como meio, redução para 30 mN/m da tensão superficial. Para a CMC, o talo do abacaxi como substrato mostrou melhor resultado, tendo uma CMC entre 0,2 a 0,4 g/L (FERRASSOLI, 2019).

Stenotrophomonas maltophilia UCP 1601 sintetizou biossurfactante, com capacidade de reduzir a tensão superficial para 27,1 mN/m da água, a partir de meio mineral salino suplementado com 10% de óleo de soja pós-fritura. O composto formado apresentou um índice de emulsificação superior a 50% para óleo de motor queimado, soja, milho e diesel. Nos valores testados de pH e salinidade, o biossurfactante apresentou estabilidade, exceto em concentração salina de 2% de NaCl. Já para condições extremas de temperatura, 0 e 100°C, o composto não conseguiu estabilizar a emulsão (NOGUEIRA, 2019).

A produção de glicolipídios por *Saccharomyces cerevisiae* URM 6670 utilizando óleo de soja pós-fritura e milhocina foi observada por Ribeiro et al (2020). O composto sintetizado reduziu a tensão superficial para 26,5 mN/m e apresentou uma CMC de 0,8 g/L, sendo considerado um bom agente tensoativo.

Investigando diferentes fontes de carbono (glicose, melão de cana e óleo residual de fritura) e diferentes fontes de nitrogênio (extrato de levedura, milhocina e ureia) a produção de biossurfactante para aplicação na estabilização de molhos de salada, Lira (2020) observou que a síntese desse composto por *Candida guilhermodii* teve sua melhor produção no meio contendo 5,0% de melão de cana, 5,0% de milhocina e 5,0% de óleo residual e fritura. Nesse meio o rendimento foi de 21 g/L com uma redução da tensão superficial da água de 71 mN/m para 28 mN/m. O biossurfactante sintetizado ainda apresentou uma CMC de 0,7 g/L e uma boa capacidade de emulsificação, na qual conseguiu estabilizar, após 24h, emulsões de óleo de milho (50%), óleo de girassol (54%) e óleo de motor (71,4%). A aplicação do composto produzido com uma goma em molho do tipo maionese apresentou bons resultados na estabilização do produto.

Chandankere et al (2020) converteram substratos agroindustriais em ramnolipídeos por *Enterobacter* sp. UJS-RC. Os substratos analisados foram avaliados em diferentes concentrações, a máxima produção ocorreu em uma concentração de 6% de milhocina e 6%

de melação de cana. Além da composição do substrato, as condições foram analisadas. A otimização do processo ocorreu em: 40°C, pH 6 e 200 rpm. Nestas condições, a tensão superficial foi reduzida para 28,3 mN/m, e o composto apresentou uma CMC de 50 mg/L.

O quadro 3 apresenta o microrganismo e o resíduo utilizado para síntese do biossurfactante, classificação do composto sintetizado, temperatura da processo fermentativo, redução da tensão superficial e CMC, e valores de estabilidade para pH e temperatura dos trabalhos pesquisados.

Quadro 3 - Resíduo utilizado para produção de biossurfactante, composto sintetizado e suas propriedades (redução da tensão superficial e CMC), e parâmetros de estabilidade do composto.

Microrganismo produtor	Tipo de biossurfactante	Resíduo utilizado	Redução da tensão superficial (mN/m)	T(°C) de produção	CMC (mg/L)	Estabilidade		Referência
						pH	T(°C)	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> 10145	-	Melaço de soja	31,9	30	80	-	-	Rodrigues (2016)
<i>Candida tropicalis</i>	Polimérico	Soro de leite, manipueira e óleo de soja pós-fritura	30,8	28	1,5%	2 -12	4,70, 100 e 120	Ribeaux (2016)
<i>Paenibacillus</i> sp	-	Manipueira	26,83	31	-	2 - 12	100	Fernandes (2016)
<i>Lactococcus lactis</i> subsp. <i>lactis</i> CECT-4434	-	Soro de leite e vinhaça de uva	18,1	37	30,3	2 - 12	4 a 80	Vera (2017)
<i>Bacillus subtilis</i> UFPEDA 438	Surfactina	Melaço de cana	28,69	36	20,73	-	-	Rocha (2017)
<i>Rhizopus arrhizus</i> UCP 1607	-	Milhocina e glicerol residual	28,8	28	1,7%	2 -12	0 - 100	Pele (2017)
<i>Bacillus subtilis</i>	-	Resíduos da casca da laranja	48,95	37	-	6 - 7	Não estável a 100 e 121°C	Rovina (2018)
<i>Pseudomonas azotoformans</i> AJ15	Ramnolipídio	Bagaço e casca de batata	30,5	30 - 40	500	3,5 – 12,5	90	Das e Kumar (2018)
<i>Candida tropicalis</i>	-	Resíduos do processamento de abacaxi (talo e casca)	30 (talo) 37(casca)	30	0,2 a 0,4 g/L (talo) 1,8 a 2,0 g/L (casca)	-	-	Ferrassoli (2019)
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i> UCP 1601	-	Óleo de soja pós-fritura	27,1	30	-	2 -12	Não estável a condições extremas	Nogueira (2019)
<i>Bacillus safensis</i> J2	-	Bagaço de cana	-	30	35 - 100	7 -13	-	Das e Kumar (2019)
<i>Candida guilhermodii</i>	Glicolipídio	Melaço de cana, milhocina e óleo residual de fritura	28	28	0,7 g/L	-	-	Lira (2020)
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> URM 6670	Glicolipídio	Óleo de soja pós-fritura e milhocina	26,45	28	0,8 g/L	-	-	Ribeiro et al (2020)
<i>Enterobacter</i> sp. UJS-RC	Ramnolipídio	Melaço de cana e milhocina	28,3	40	50	-	-	Chandankere et al (2020)

Fonte: Autor, 2021.

A utilização de resíduos agroindustriais na produção de biossurfactantes tem várias vantagens, principalmente relacionadas a redução dos custos de produção e a disponibilidade de matérias-primas. No entanto, existem algumas desvantagens. O quadro 4 traz vantagens e desvantagens da utilização de substrato de baixo custo na produção de biossurfactantes.

Quadro 4 – Vantagens e desvantagens da utilização de resíduos de baixo custo na produção de biossurfactantes.

Vantagens	Desvantagens
Redução dos custos da produção comercial	O substrato contém compostos indesejáveis
Disponibilidade de uma variedade de substratos baratos e renováveis	Necessário realizar processamento ou tratamento do substrato para utilizá-lo como fonte de carbono, nitrogênio ou energia
Os substratos estão disponíveis em uma grande quantidade	O produto final obtém cor ou impurezas do substrato
Aumento do rendimento da produção de biossurfactante	Técnicas especiais de purificação devem ser empregadas para obter o produto puro, consequentemente aumentando o custo de produção
Propriedades funcionais do produto não mudam	Fornecimento de matéria-prima com mesma composição pode variar
Não é prejudicial para os microrganismos	Os substratos podem ser muito específicos para diferentes microrganismos
Todos os componentes são biodegradáveis e seguros	É essencial uma grande quantidade de substrato, o que pode ser difícil de obter o fornecimento contínuo para o processo industrial

Fonte: Banat et al (2014).

4.8 Recuperação dos biossurfactantes

O processo de recuperação e concentração de tensoativos a partir do meio fermentado representa uma elevada fração do custo da produção total desses compostos (LIMA, 2007).

A recuperação dos tensoativos depende de sua solubilidade em água, carga iônica e

sua localização, seja ele extracelular, intracelular ou ligado à célula (GAUTAM e TYAGI, 2006).

Uma variedade de solventes orgânicos é utilizada no processo de recuperação dos biossurfactantes, tais como: metanol, etanol, acetato de etila, pentano, acetona, clorofórmio e diclorometano, podendo ser usado separadamente ou combinados. Há uma busca crescente de técnicas que tenham um menor custo e uma menor toxicidade. Dentre os processos estão: a centrifugação, precipitação ácida, ultrafiltração, adsorção em carvão ativado e cromatografia de troca iônica (SANTOS, 2017).

O quadro 5 mostra o processo de recuperação utilizado, o biossurfactante recuperado e as vantagens do processo.

Matsuura (2004) observou que recuperando o biossurfactante produzido por *Planococcus citreus* com clorofórmio:metanol, o composto apresentou uma boa capacidade de redução da tensão superficial, já quando o composto foi precipitado com sulfato de amônio, o biossurfactante apresentou elevada atividade de emulsificação. O processo de precipitação ácida ou com adição de acetona não foi adequado para a recuperação do composto.

Utilizando dois métodos de recuperação: extração orgânica e coluna de adsorção, Lima (2007) observou que a coluna de adsorção foi o processo mais adequado para recuperação de ramnolipídeos produzido por *Pseudomonas aeruginosa*, já que foi obtida uma maior concentração do composto. A tensão superficial e a atividade emulsificante foi a mesma para os dois processos.

Mano (2008) mostrou resultados positivos na recuperação e purificação de biossurfactantes produzidos por *Bacillus subtilis* por processo de ultrafiltração e diafiltração. Damião (2012) utilizou o método de extração por solvente orgânico, clorofórmio:etanol, para recuperar ramnolipídeos sintetizado por *Pseudomonas aeruginosa*.

Biossurfactante produzido por *Bacillus subtilis* ATCC 21332 foi recuperado por meio de precipitação ácida pela adição de HCl 6M (DEBON, 2015).

Na recuperação de biossurfactante produzido por *Kluyveromyces marxianus* utilizando sulfato de amônio foi observado que são necessárias grandes concentrações do composto para o processo (PASA, 2019). O processo de fracionamento de coluna em bolhas e espuma mostrou-se adequado na recuperação de surfactina obtida a partir *Bacillus* sp ITP-001 (ALVES, 2020).

Quadro 5 - Processo de recuperação de biossurfactante e composto recuperado, e principais vantagens do processo.

	Processo	Tipo de biossurfactante	Vantagens
Modo batelada	Precipitação ácida	Surfactina	Custo reduzido, eficiente na recuperação de biossurfactantes na forma bruta
	Extração por solvente orgânico	Trealolípídeos Soforolípídeos Liposan	Eficiente na recuperação parcial ou total de biossurfactantes na forma bruta Natureza reutilizável
	Precipitação por sulfato de amônio	Emulsan Biodispersan Lipopeptídeos	Eficiente na recuperação total de alguns tipos de biossurfactantes poliméricos
Modo contínuo	Adsorção em carbono ativado	Raminolípídeos Lipopeptídeos Glicolípídeos	Biossurfactantes de elevada pureza, baixo custo, reutilizável, recuperação a partir de cultivo contínuo
	Adsorção em resinas de poliestireno	Raminolípídeos Lipopeptídeos Glicolípídeos	Biossurfactantes de elevada pureza, baixo custo, reutilizável, recuperação a partir de cultivo contínuo
	Centrifugação	Glicolípídeos	Reutilizável, eficiente na recuperação de biossurfactante bruto
	Cromatografia de troca iônica	Glicolípídeos	Elevada pureza, reutilizável, rápida recuperação
	Fracionamento de espuma	Surfactina	Recuperação a partir de cultivo contínuo, elevada pureza do produto, rápido, um único passo
	Ultrafiltração	Glicolípídeos	Alto grau de pureza, reutilizável

Fonte: Adaptado Santos (2017).

4.9 Perspectivas da produção em larga escala de biossurfactantes

O desenvolvimento de tecnologias visando a comercialização de biossurfactantes depende diretamente de ensaios em biorreatores, já que é possível o controle e a otimização

dos parâmetros que afetam o crescimento do microrganismo e a cinética de produção (SILVA et al, 2019).

O aumento da escala de produção começa com as etapas de testes em bancadas de laboratório, para que então possa seguir para os testes em escala piloto, antes de atingir a escala industrial. Segundo Sakato (1997), as etapas envolvidas no processo de aumento de escala para atingir o nível industrial são:

- Melhoria da cepa utilizada;
- Otimização do meio utilizado e das condições de processo (pH, temperatura, aeração, agitação);
- Seleção de sistema operacional para o cultivo;
- Avaliação dos parâmetros reológicos do caldo fermentativo;
- Modelagem e formulação de estratégias para o controle do processo;
- Sensores, biorreatores e outros equipamentos.

Os estudos da melhoria da cepa, condições de cultivo e otimização do meio utilizado podem ser realizados em laboratório no nível de bancada. Enquanto os demais itens envolvidos no processo de aumento de escala são determinados na escala piloto (BEZERRA, 2006).

O meio utilizado para a produção de composto por processos biotecnológicos corresponde a uma boa parcela do custo do processo, as matérias-primas correspondem entre 10 e 30% do custo total de produção. Outro fator de grande peso no custo é o processo de recuperação, chegando a custar até 60% do processo total de produção (MUKHERJEE, DAS e SEM, 2006). O meio de cultivo deve conter todos os nutrientes necessários para o crescimento e produção do composto, sendo esses fatores influenciados pelo tipo de fonte de carbono, fonte de nitrogênio e minerais do meio. A utilização de resíduos agroindustriais e processos de recuperação baratos e com bom rendimento tornaria a produção industrial de biossurfactantes competitiva em relação aos surfactantes químicos.

As condições operacionais do processo têm grande importância no rendimento e nas características do composto sintetizado. A otimização dessas condições é de grande importância para que haja a máxima produção e melhores características do composto produzido.

O sucesso do aumento da escala depende da determinação desses critérios. Outros parâmetros são investigados para o aumento de escala, dentre eles: número de Reynolds, coeficiente de transferência volumétrica de oxigênio, taxa de agitação, velocidade superficial do gás. (AMANI et al, 2010).

Um grande desafio da engenharia é a influência da morfologia na reologia do caldo fermentado e na transferência de massa, já que durante a síntese de biossurfactantes há um aumento da viscosidade do caldo causada pelo crescimento celular e mudança na morfologia das células e no acúmulo do produto formado. Essas mudanças na reologia do caldo vão influenciar a transferência de calor e massa no biorreator, assim como na tensão de cisalhamento e eficiência da mistura (LUFT et al, 2020).

Singh, Patil, Rale (2019) elencaram estratégias promissoras que possam tornar os biossurfactantes como compostos viáveis do ponto de vista comercialmente e econômico. O processo de fermentação em estado sólido seria estratégia importante para superar o problema de formação de espuma que ocorre comumente nas fermentações submersas. Modulação do meio para aumentar o rendimento específico, visto que os constituintes do meio têm papel importante no tipo e quantidade de biossurfactante produzido. Outra estratégia seria a coprodução de biossurfactante com outro produto economicamente importante em um único bioprocessos. E por último, a imobilização de células para o aumento do crescimento, já que um dos problemas do processo contínuo e recuperação dos biossurfactantes é a lavagem de células do reator e mudanças das condições do reator devido ao acúmulo de metabólitos indesejáveis durante o crescimento celular.

O interesse dos diversos setores industriais nos biossurfactantes tem apresentado constante aumento, e estas estratégias associadas a utilização de resíduos agroindustriais podem viabilizar e garantir gradualmente o espaço destas biomoléculas na indústria. Nos últimos anos, a demanda por novas formulações de alimentos priorizando a substituição de aditivos químicos por compostos naturais vêm ganhando força. A perspectiva da aplicação de biossurfactantes na indústria de alimentos ocorre devido as suas propriedades emulsificante, estabilizante, antimicrobiana, antibiofilme e antioxidante. Esses compostos são aplicados na estabilização de molhos de salada, melhoramento da reologia dos produtos de panificação, na formulação de sorvetes para a estabilização e melhoramento da textura, aumento da vida de prateleira dos produtos como agente antimicrobiano, retardante ou inibidor das reações de oxidações (RIBEIRO, GUERRA e SARUBBO, 2020).

4 CONCLUSÃO

A produção de biossurfactantes é de grande interesse industrial, visto que sua aplicação pode ser feita na indústria química, de alimentos, de cosméticos, farmacêutica, em processos de biorremediação de solo, tratamento de efluentes e na agricultura. Porém, sua produção ainda apresenta desvantagens em relação aos custos, principalmente relacionados ao meio utilizado para o cultivo e o processo de recuperação do composto, quando comparados aos surfactantes químicos.

A utilização de resíduos agroindustriais surge como uma alternativa para reduzir os custos de produção dos biossurfactantes. A partir da revisão foi possível observar que podem ser aplicados os mais diversos tipos de resíduos agroindustriais – bagaço da cana, melaço da cana e da soja, milhocina, soro do leite, bagaço de batata, manipueira, óleo de soja pós-fritura – para a síntese desses compostos. E que uma variedade de microrganismos pode ser utilizada no processo. Também foi observada a influência de vários fatores como: fonte de carbono, fonte de nitrogênio e fatores ambientais (temperatura, pH, aeração, agitação) na síntese de biossurfactantes.

Apesar das vantagens dos biossurfactantes (baixa toxicidade, biodegradabilidade e disposição de uma maior quantidade de matérias-primas) quando comparados aos surfactantes químicos, o aumento de escala de produção desses compostos ainda enfrenta desafios, principalmente relacionados aos custos. Sendo assim, a busca por estratégias que tornem os biossurfactantes um produto comercialmente econômico é de grande importância.

REFERÊNCIAS

AFONSO, Leandro *et al.* **Aplicação de subprodutos agroindustriais como fontes de nitrogênio para a produção de soforolipídios por *Starmerella bombicola***. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 14875-14887, Brazilian Journal of Development, 2020.

ALMEIDA, Grazieny Aparecida Mendes de *et al.* **Produção de biossurfactante por *Lysinibacillus sp.* e *Bacillus sp.* a partir de diferentes óleos como fonte de carbono**. Matéria (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 25, n. 4, p. 1-2, 2020.

ALVES, Anderson Philiply Cabral. **Concentração em coluna de bolhas e espuma de surfactina obtida a partir de bacillus sp itp – 001 isolado de solo contaminado por petróleo**. 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, Aracaju, 2013.

AMANI, Hossein *et al.* **Scale up and Application of Biosurfactant from *Bacillus subtilis* in Enhanced Oil Recovery**. Applied Biochemistry And Biotechnology, [S.L.], v. 162, n. 2, p. 510-523, 19 jan. 2010.

AMARAL, Priscilla FF *et al.* **Biosurfactants from yeasts: characteristics, production and application**. Biosurfactants, p. 236-249, 2010.

AQUINO, Pedro Luiz Mota. **Produção de biossurfactantes a partir de bacillus velezensis utilizando resíduos agroindustriais como substrato**. 2011. 82 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, 2011.

ARAUJO, Jaciara Silva *et al.* **Avaliação da ação antifúngica do biossurfactante produzido por *pseudomonas aeruginosa* AP029-GLVIIA**. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 22, 2018, São Paulo. Anais [...] . São Paulo: Cobeq, 2018.

ARAUJO, Larissa dos Santos Silva. **Produção de biossurfactante por consórcio microbiano e aplicação na remediação de solo contaminado com arsênio**. 2019. 126 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

ARAÚJO, Livia Vieira de; FREIRE, Denise Maria Guimarães; NITSCHKE, Márcia.

Biossurfactantes: propriedades anticorrosivas, antibiofilmes e antimicrobianas. Química Nova, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 848-858, 2013.

BANAT, Ibrahim M. *et al.* **Microbial biosurfactants production, applications and future potential.** Applied Microbiology And Biotechnology, [S.L.], v. 87, n. 2, p. 427-444, 28 abr. 2010.

BARBOSA, Franklin Willian. **Produção de biossurfactantes por Bacillus subtilis.** 2017. 33f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, 2017.

BASTOS, Reinaldo Gaspar. **Tecnologia das fermentações: fundamentos de bioprocessos.** São Carlos: Edufscar, 10p, 2010.

BATISTA, Fabiane de Mesquita. **Produção de biossurfactante por Bacillus subtilis com elevada eficiência na mobilização de óleo pesado.** 2008. 5f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BEHRING, João Lino *et al.* **Adaptação no método do peso da gota para determinação da tensão superficial: um método simplificado para a quantificação da cmc de surfactantes no ensino da química.** Química Nova, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 492-495, jun. 2004.

BEZERRA, Márcio Silva *et al.* **Produção de biotensoativo utilizando Pseudomonas aeruginosa (PA) e resíduo agroindustrial (manipueira) como substrato.** Holos, Rio Grande do Norte, v. 1, p. 14-27, mar. 2012.

BEZERRA, Marcio Silva. **Estudo da produção de biossurfactantes sintetizados por Pseudomonas aeruginosa AP029-GVVIIA utilizando manipueira como fonte de carbono.** 2012. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

BEZERRA, Márcio Silva. **Levantamento e avaliação de critérios para a ampliação de escala da produção de biossurfactantes utilizando melão como substrato**. 2006. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pesquisa e Desenvolvimento de Tecnologias Regionais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

BUENO, Silvia Messias. **Bactérias produtoras de biossurfactantes: isolamento, produção, caracterização e comportamento num sistema modelo**. 2008. 86 f. Tese (Doutorado) - Curso de Biociências, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2008.

BUENO, Silvia Messias; SILVA, Adriana Navarro da; GARCIA-CRUZ, Crispin Humberto. **Estudo da produção de biossurfactante em caldo de fermentação**. Química Nova, [S.L.], v. 33, n. 7, p. 1572-1577, 2010.

CAMARGO, Hugo Almeida. **Produção, purificação, caracterização e aplicação do biossurfactante produzido por rhodotorula mucilaginosa de ambiente antártico**. 2020. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

CAMEOTRA, R. M., S.. **An update on the use of unconventional substrates for biosurfactant production and their new applications**. Applied Microbiology and Biotechnology, 58(4), 428-434, 2002.

CAMPOS, J. M.; STAMFORD, T. L. Marara; SARUBBO, L. A. **Utilização de biossurfactante como substituto aos emulsificantes sintéticos em maioneses**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, [S.L.], fev. 2015. Editora Edgard Blücher..

CASTIGLIONI, Gabriel Luis; BERTOLIN, Telma Elita; COSTA, Jorge Alberto Vieira. **Produção de biossurfactante por Aspergillus fumigatus utilizando resíduos agroindustriais como substrato**. Química Nova, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 292-295, 2009. FapUNIFESP (SciELO).

CAVALCANTI, Rayza Morganna Farias. **Bioprospecção de biossurfactantes produzidos por fungos filamentosos da caatinga**. 2014. 63 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos, Universidade Federal de Campina Grande, Sume, 2014.

CHANDANKERE, Radhika *et al.* **Conversion of Agroindustrial Wastes to Rhamnolipid by Enterobacter sp. UJS-RC and Its Role against Biofilm-Forming Foodborne Pathogens**. Journal Of Agricultural And Food Chemistry, [S.L.], v. 68, n. 52, p. 15478-15489, 15 dez. 2020.

CHAVES, Flaviana da Silva. **Bioprospecção de leveduras da Antártica para a produção de biossurfactante a partir de hidrolisado hemicelulósico de palha de cana-de-açúcar**. 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia Industrial, Universidade de São Paulo, Lorena, 2017.

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.

COLLA, Luciane Maria Maria; HEMKEMEIER, Marcelo; GIL, Anelise Sertori Lopes. **Biossorção de cádmio e produção de biossurfactantes por fungos filamentosos em fermentação submersa**. Revista CIATEC-UPF, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2012.

COLLA, Luciane Maria; COSTA, Jorge Alberto Vieira. **Obtenção e aplicação de biossurfactantes**. Revista Vetor, Ria Grande, v. 13, n. 1, p. 85-104, out. 2007.

DALTIN, Decio. **Tensoativos: química, propriedades e aplicações**. Blucher, 321 p. 2011.

DAMIÃO, Aldinéia Oliveira. **Produção de biossurfactantes por Pseudomonas aeruginosa e a bioprospecção de genes relacionados com raminolipídeos**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

DARVISHI, Parviz *et al.* **Biosurfactant production under extreme environmental conditions by an efficient microbial consortium, ERCPPI-2**. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, v. 84, n. 2, p. 292-300, 2011.

DAS, Amar Jyoti; KUMAR, Rajesh. **Production of biosurfactant from agro-industrial waste by *Bacillus safensis* J2 and exploring its oil recovery efficiency and role in restoration of diesel contaminated soil.** Environmental Technology & Innovation, v. 16, nov. 2019.

DAS, Amar Jyoti; KUMAR, Rajesh. **Utilization of agro-industrial waste for biosurfactant production under submerged fermentation and its application in oil recovery from sand matrix.** Bioresource Technology, v. 260, p. 233-240, jul. 2018.

DEBON, Janaina. **Produção de biossurfactante por *Bacillus subtilis* ATCC 21332 em condição anaeróbia.** 2015. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

DECESARO, Andressa *et al.* **Produção de biossurfactantes por microrganismos isolados de solo contaminado com óleo diesel.** Química Nova, v. 36, n. 7, p. 947-954, 2013.

DESAI, J D; BANAT, I M. **Microbial production of surfactants and their commercial potential.** Microbiology And Molecular Biology Reviews: MMBR, v. 61, n. 1, p. 47-64, 1997.

DURVAL, Italo J.B. *et al.* **Produção de biossurfactante por bactérias isoladas da água do mar.** XX Simpósio Nacional de Bioprocessos, 6p, Fortaleza, 2015..

ELAZZAZY, Ahmed M.; ABDELMONEIM, T. S.; ALMAGHRABI, O. A. **Isolation and characterization of biosurfactant production under extreme environmental conditions by alkali-halo-thermophilic bacteria from Saudi Arabia.** Saudi Journal of Biological Sciences, v. 22, n. 4, p. 466-475, 2015.

FARIAS, Juliana Martins de. **Formulação de produtos de higiene oral à base de biossurfactante e quitosana fúngica.** 2019. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco, 2019.

FERNANDES, Ismael Silva. **Produção de biossurfactante por Paenibacillus sp utilizando como meio de cultura a manipueira**. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Biotecnologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

FERRASSOLI, Karina Peres. **Produção de biossurfactantes por Candida tropicalis utilizando resíduos do processamento do abacaxi (Ananas comosus) como substrato**. 2019. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2019.

FERREIRA, Francisca da Silva. **Biossurfactantes de fungos endofíticos isolados de Gustavia cf. hexapetala (Alb.) Sm. (Lecythidaceae) na Amazônia, contra patógenos da cavidade oral**. 140 f. Tese (Doutorado em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal - BIONORTE) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2020.

FERREIRA, J. P. M. **Tensão superficial – sua natureza e efeitos**. Boletim n° 93. Sociedade Portuguesa de Química, p. 43-48, 2004.

FONTES, Gizele Cardoso; AMARAL, Priscilla Filomena Fonseca; COELHO, Maria Alice Zarur. **Produção de biossurfactante por levedura**. Química Nova, v. 31, n. 8, p. 2091-2099, 2008.

GARBINO, Cristina Fernandes. **Caracterização e identificação de microrganismos produtores de biossurfactantes para biorremediação de cátions metálicos**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) - Centro Universitário La Salle, Canoas, 2013.

GAUTAM, K.K.; TYAGI, V.K. **Microbial Surfactants: a review**. Journal Of Oleo Science, v. 55, n. 4, p. 155-166, 2006.

GEORGIU, G., LIN, S.-C., SHARMA, M. M. **Surface–Active Compounds from Microorganisms**. Nature Biotechnology, 1992.

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**, 12ª edição. Ed. Bookman, 2015.

KHOPADE, Abhijit *et al.* **Production and characterization of biosurfactant from marine *Streptomyces* species B3.** Journal of colloid and interface science, v. 367, n. 1, p. 311-318, 2012.

KOSARIC, N. **Biosurfactants in industry.** Pure And Applied Chemistry, v. 64, n. 11, p. 1731-1737, 1992.

KREISCHER, Ana Carolina; SILVA, Luciano Procopio. **Bioprospecção de bactérias produtoras de biossurfactantes a partir de solo contaminado por agrotóxicos.** Revista Eletrônica Estácio Saúde, v. 6, n. 1, p. 35-47, 2017.

LIMA, Cristian Jacques Bolner de. **Produção de biossurfactante por *Pseudomonas Aeruginosa* empregando óleo de soja residual.** 2007. 190 f. Tese (Doutorado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

LIMA, Tânia Maria da Silva. **Produção de biossurfactantes visando ao tratamento de borra oleosa.** 2003. 69 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2003.

LIRA, Isabela Regina Alvares da Silva. **Produção e aplicação de biossurfactantes para uso em molhos para saladas.** 2020. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2020.

LUFT, Luciana *et al.* **An overview of fungal biopolymers: bioemulsifiers and biosurfactants compounds production.** Critical Reviews in Biotechnology, v. 40, n. 8, p. 1059-1080, 2020.

MACEDO, Danielle Patrícia Cerqueira. **Micoses em imunodeprimidos, atividade proteásica e espectro de ação da iturina - A frente aos agentes etiológicos.** 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Biologia de Fungos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

MANO, Mario Cezar Rodrigues. **Estudo da recuperação, concentração e purificação de biossurfactante produzido por *Bacillus subtilis***. 100p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP, 2008.

MARCELINO, Paulo Ricardo Franco. **Estudo da recuperação, concentração e purificação de biossurfactante produzido por *Bacillus subtilis***. 2016. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Microbiologia Aplicada, Universidade de São Paulo, Lorena, 2016.

MATSUURA, Ani Beatriz Jackisch. **Produção e caracterização de biossurfactantes visando a aplicação industrial e em processos de biorremediação**. 98 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

MD, Fakruddin. **Biosurfactant: production and application**. Journal Of Petroleum & Environmental Biotechnology, v. 03, n. 04, 2012.

MNIF, Inès; GHRIBI, Dhouha. **Review lipopeptides biosurfactants: mean classes and new insights for industrial, biomedical, and environmental applications**. Biopolymers, v. 104, n. 3, p. 129-147, maio 2015.

MORAIS, Kátia Andréa *et al.* **Produção de biossurfactante por *Bacillus sp.* em meio mínimo contendo glucose**. Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 22, 2015.

MUKHERJEE, Soumen; DAS, Palashpriya; SEN, Ramkrishna. **Towards commercial production of microbial surfactants**. TRENDS in Biotechnology, v. 24, n. 11, p. 509-515, 2006.

MULLIGAN, Catherine Nu *et al.* **Biosurfactants: Research Trends and Applications**. 30 p, 2014.

MUTHUSAMY, Krishnaswamy *et al.* **Biosurfactants: Properties, commercial production and application**. Jstor, v. 94, n. 6, p. 736-747, mar. 2008.

NAGY, Géssika Marçal. **Produção de biossurfactante de baixo custo a partir de resíduos agroindustriais**. 2018. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

NITSCHKE, Marcia; PASTORE, Gláucia Maria. **Biossurfactantes: propriedades e aplicações**. Química Nova, [S.L.], v. 25, n. 5, p. 772-776, set. 2002.

NOGUEIRA, Ianne Batista. **Conversão de resíduo agroindustrial na produção de bioemulsificante por *Stenotrophomonas maltophilia* UCP 1601 e aplicação na remoção de poluente hidrofóbico**. 2019. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2019.

OLEIVEIRA, Maria Luísa Bambozzi de. **FREEFLOW-AXI: um ambiente de simulação de escoamentos axissimétricos com superfícies livres**. 2002. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Matemáticas e de Computação, Usp, São Carlos, 2002.

OLIVEIRA, Felipe Lorena de; CÁSSIA, Dias Sandra de. **Surfactantes sintéticos e biossurfactantes: vantagens e desvantagens**. Química Nova na Escola, v. 39, n. 3, p. 3-4, 2017.

PASA, Kelli Cristina. **Recuperação de biossurfactante produzido por *Kluyveromyces marxianus***. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Francisco Beltrão, 2019.

QUINTELA, Bárbara Cibelle Soares Farias. **Biotecnologia aplicada à recuperação avançada de petróleo: injeção de biossurfactante**. 2018. 119 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

RIBEAUX, Daylin Rubio. **Potencial biotecnológico da nova linhagem de *Candida tropicalis* isolada de sedimentos de mangue na produção de biossurfactante**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

RIBEIRO, Beatriz G. *et al.* **Study of the Biosurfactant Production by Saccharomyces Cerevisiae Urm 6670 Using Agroindustrial Waste.** Chemical Engineering Transactions, [S.L.], v. 79, p. 61-66, abr. 2020.

RIBEIRO, Beatriz G.; GUERRA, Jenyffer MC; SARUBBO, Leonie A. **Biosurfactants: Production and application prospects in the food industry.** Biotechnology progress, v. 36, n. 5, p. e3030, 2020.

RIVERA, Ángeles Domínguez; URBINA, Miguel Ángel Martínez; Y LÓPEZ, Víctor Eric López. **Advances on research in the use of agro-industrial waste in biosurfactant production.** World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 35, n. 10, p. 1-18, 2019.

ROCHA, M. P. **Produção de surfactina por Bacillus subtilis UFPEDA 438 utilizando melão de cana como substrato.** 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

RODRIGUES, Marília Silva. **Produção de biosurfactantes utilizando melão de soja.** 2016. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

RON, Eliora Z.; ROSENBERG, Eugene. **Natural roles of biosurfactants.** Environmental Microbiology, [S.L.], v. 3, n. 4, p. 229-236, 2001.

ROQUE, BAC *et al.* **Produção de biosurfactantes e determinação de suas atividades de desemulsificação.** Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 2312-2319, 2015.

ROVINA, Fernanda. **Produção de biosurfactantes por Bacillus subtilis utilizando resíduos do processamento da casca da laranja e sua aplicação na remoção de óleo em solo contaminado.** 1 recurso online (80 p.). Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP, 2018.

ROY, Arpita. **A Review on the Biosurfactants: properties, types and its applications.** Journal of Fundamentals of Renewable Energy And Applications, [S.L.], v. 08, n. 01, 2018.

SAKATO, N. **Fermentation and biochemical engineering handbook – principles, process design and equipment**. Segunda edição. Noyes publications, USA, 1997.

SANTOS, D.K.; RUFINO, R.D.; LUNA, J.M.; SANTOS, V.A.; SARUBBO, L.A.

Biosurfactants: Multifuncional Biomolecules of the 21st Century. International Journal of Molecular Sciences, v.17, n.401, 31p, 2016.

SANTOS, Danyelle Khadydja Felix dos. **Produção de biosurfactante comercial por Candida lipolytica UCP 0998 cultivada em resíduos agroindustriais para aplicação na indústria de petróleo e metais pesados..** 223 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia (Renorbio)) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

SANTOS, Sharline Florentino de Melo *et al.* **Avaliação da produção de biosurfactante a partir de diferentes fontes de carbono por Candida guilliermondii**. Revista Saúde & Ciência Online, v. 7, n. 2, p. 413-425, 2018.

SENA, Hellen Holanda. **Produção de biosurfactantes por fungos isolados do solo amazônico**. 2014. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

SILVA, Maíra Taynara Santos da. **Produção e concentração integrada de surfactina a partir de bacillus sp ITP-001 em fracionamento com espuma em semi-batelada**. 79f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, Aracaju, 2013.

SILVA, Rita de Cássia Freire Soares da *et al.* **Production, formulation and cost estimation of a commercial biosurfactant**. Biodegradation, v. 30, n. 4, p. 191-201, 3 maio 2018.

SILVA, Selma Neide Rodrigues Lopes. **Glicerol como substrato para a produção de biosurfactante por Pseudomonas aeruginosa UCP0992**. 135 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Coordenação Geral de Pós-graduação. Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais. 2009.

SINERIZ, F. *et al.* **Production of biosurfactants**. Encyclopedia of Life Support Systems, v. 5, 2001.

SINGH, Pooja; PATIL, Yogesh; RALE, Vinaykumar. **Biosurfactant production: emerging trends and promising strategies**. Journal of applied microbiology, v. 126, n. 1, p. 2-13, 2019.

SOARES, Anne Karine de Souza Nascimento; SOUZA, Roberto Rodrigues. **Utilização de biosurfactante no escoamento de petróleo em campo maduro**. Scientia Plena, [S.L.], v. 12, n. 5, 2016.

TEIXEIRA, Laís Montenegro *et al.* **Utilização de gordura animal como substrato na produção de biosurfactante por *Serratia marcescens* UCP 1549 com potencial de aplicação na área ambiental**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 8, p. 54790-54801, 2020.

VERA, Ellen Cristina Souza. **Produção biotecnológica de biosurfactante por *Lactococcus lactis* CECT-4434 a partir de resíduos agroindustriais e avaliação de suas propriedades**. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Bioquímica Farmacêutica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

VON, Rybinski W. (2001). **Natural surfactants**. Current Opinion in Colloid and Interface Science, 6(2), 146–147.

ZHAO, Feng *et al.* **Biosurfactant production under diverse conditions by two kinds of biosurfactant-producing bacteria for microbial enhanced oil recovery**. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 157, p. 124-130, 2017.