



Fundação Educacional do Município de Assis  
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis  
Campus "José Santilli Sobrinho"

**LEANDRO ALVES DOS SANTOS**

## **PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS BIOSSURFACTANTES**

Assis

2012

LEANDRO ALVES DOS SANTOS

## PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS BIOSURFACTANTES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação

Orientador: Dr<sup>a</sup>. Mary Leiva de faria

Área de Concentração: Química

Assis

2012

## FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, Leandro

Propriedades e aplicações dos biossurfactantes / Leandro Alves Dos Santos. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA - - Assis, 2012.

53p.

Orientador: Dr<sup>a</sup>. Mary Leiva de Faria.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1.Biossurfactante. 2.Micelas. 3. Biodegradabilidade

CDD:660  
Biblioteca da FEMA

# PROPRIEDADES E APLICAÇÕES DOS BIODERIVADOS

LEANDRO ALVES DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação, analisado pela seguinte comissão examinadora:

Orientador: Dr<sup>a</sup>. Mary Leiva de faria

Analisador: Dr<sup>a</sup>. Silvia Maria Batista de Souza

Assis

2012

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus meus  
pais, irmãos e minha esposa

## AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora Aparecida por me proteger sempre e nunca me desamparar

À professora, Dr<sup>a</sup>. Mary Leiva de Faria, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido nas aulas e a amizade que construímos durante esse tempo de faculdade e que se tornará para sempre.

Aos amigos, que estiveram presentes comigo nesse tempo, estudando junto para as provas, aos amigos do trabalho com quem sempre desabafava os problemas da faculdade .

À minha esposa katia que nesses quatro anos esteve do meu lado me dando força e me acalmando nas horas de estresse não deixando as dificuldades e os problemas atrapalharem.

À minha mãe Sebastiana e meu pai Antônio pelo dom da vida e apoio incondicional, pela educação e formação de meu caráter e por nesses quatro anos em nenhum momento me deixaram desamparado sempre com uma palavra de conforto na hora certa.

Aos meus irmãos Cristina, Adriano, Fernando e Agnaldo pelo incentivo constante no prosseguimento dos meus estudos

A todos os professores pela dedicação para com os alunos durante esses quatro anos, tendo paciência e transmitindo da melhor forma seus conhecimentos para nós alunos.

À Fema pela infra-estrutura e o comprometimento fornecido para os alunos nesse tempo

À professora examinadora Silvia pelas valiosas sugestões fornecidas.

Ao professor Antonio Martins que nos ajudou muito durante o tempo em que estive na instituição e por motivos profissionais não está presente nesse momento.

A todos os alunos do quarto ano de química pela boa amizade construída ao longo desses quatro anos e que com certeza levarei comigo para sempre.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

O que sabemos é uma gota.  
O que ignoramos é um oceano.

Isaac Newton  
(1643-1727)

## RESUMO

Surfactantes de origem química e biológica são substâncias anfipáticas que se localizam nas interfaces, diminuem a tensão superficial e formam estruturas agregadas como as micelas. Possuem em sua estrutura porções polares e apolares conseguindo interagir bem com diferentes líquidos. A grande maioria dos surfactantes químicos são compostos obtidos através de derivados do petróleo, uma fonte não renovável. Contudo, a crescente preocupação ambiental levou à procura de surfactantes naturais, que por serem biodegradáveis, causam menos impacto ambiental. Os biossurfactantes consistem em subprodutos metabólicos de bactérias, fungos e levedura que possuem as mesmas características dos surfactantes sintéticos. São classificados em glicolipídeos, lipopeptídeos e lipoproteínas, biossurfactantes poliméricos, fosfolipídeos e ácidos graxos. Por serem produtos ecologicamente corretos, apresentam várias vantagens em relação ao sintético como: alta biodegradabilidade, baixa toxicidade, produção a partir de substratos renováveis, estabilidade em valores extremos de pH e temperatura, existe uma grande tendência para a substituição dos surfactantes sintéticos pelos de origem biológica nos países industrializados. Nesse contexto, esse trabalho teve por objetivo descrever as diversas propriedades e aplicações dos biossurfactantes. A grande diversidade química que apresentam, possibilita uma gama de aplicações tais como: biorremediação, limpeza de reservatórios de óleo, recuperação melhorada do petróleo, produtos de higiene e cosméticos, dentre outras. Do ponto de vista econômico os biossurfactantes ainda não são capazes de competir com surfactantes sintéticos devido ao seu alto custo de produção além de deficiências dos processos de purificação e recuperação. Entretanto, este problema pode ser em parte resolvido através do uso de fontes alternativas de nutrientes, de baixo custo e de fácil disponibilidade, como os subprodutos agrícolas ou de processamento industrial. Assim, a produção de biossurfactante depende muito dos esforços no desenvolvimento de novas tecnologias de aplicação, dos processos de produção e no melhoramento das linhagens.

**Palavras-chave:** Biossurfactantes, Micelas, Biodegradabilidade.

## ABSTRACT

Surfactants of chemical and biological origin are amphipatic substances which are located at the interfaces, reduce the surface tension and form aggregate structures as micelles. They have in their structure portions polar and apolar able to interact well with different liquids. The large majority of chemical surfactants are compounds obtained from petroleum derivatives, a nonrenewable resource. However, the increasing environmental concern led to the search of natural surfactants, that they are biodegradable, they cause less environmental impact. The biosurfactants consist in metabolic byproducts of bacteria, fungi and yeast that have the same features of synthetic surfactants. They are classified in glycolipids, lipopeptides and lipoproteins, polymeric biosurfactants, phospholipids and fatty acids. For being ecologically correct products, present several advantages compared to synthetic as: high biodegradability, low toxicity, production from renewable substrates, stability at extreme pH values and temperature, there is a large tendency to the substitution of synthetic surfactants for the biological origin in the industrialized countries. In this context, this paper had the goal to describe the various properties and applications of biosurfactants. The large chemical diversity that have, enables a range of applications such as bioremediation, cleaning of oil tanks, improved recovery of petroleum, hygiene products and cosmetics, and others. From an economic point of view the biosurfactants are not yet able to compete with synthetic surfactants due to its high cost of production as well as deficiencies in the processes of purification and recovery. However, this problem can be solved in part through using alternative sources of nutrients, low cost and easy availability, as the agricultural byproducts or the industrial processing. Thus, the biosurfactant production depends much on the efforts in the development of new application technologies, the production processes and improving the lineages.

**Keywords:** Biosurfactants; Micelles; Biodegradability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Estrutura do A dodecil sulfato de sódio (surfactante aniônico); B) cloreto de dodecilamônio (surfactante catiônico); e C) N-dodecil-N,N-dimetilbetaína (surfactante anfótero).....	18
Figura 2	– Ilustração das forças intermoleculares no interior e na superfície de um líquido.....	21
Figura 3	– Posicionamento das moléculas de surfactante em fase líquida: a) moléculas na interface ar-agua; b) formação de micelas.....	22
Figura 4	– Formação de micelas na CMC.....	23
Figura 5	– Estrutura química de alguns biossurfactantes.....	27
Figura 6	– Estrutura de biossurfactantes: a) monorrhamnolipídeo; b) dirhamnolipídeo.....	29
Figura 7	– Estrutura do lauril sulfato de sódio e do estereato de sódio	45
Figura 8	– a) representação esquemática de uma seção transversal de uma micela, b) representação de uma gota de óleo dissolvida no interior de uma micela.....	46
Figura 9	– hidrólise alcalina de óleos e gorduras.....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais classes de biossurfactantes e microrganismos produtores.....	24
Tabela 2- Principais aplicações comerciais dos biossurfactantes.....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
O/A	Emulsão óleo/água
MEOR	Recuperação melhorada do petróleo
IMESA	Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
FEMA	Fundação Educacional do Município de Assis
CMC	Concentração Miscelar Crítica

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>SURFACTANTE E BIOSSURFACTANTE.....</b>	<b>17</b>
2.1	SURFACTANTE.....	17
2.2	BIOSSURFACTANTE.....	19
2.3	TENSÃO SUPERFICIAL E CONCENTRAÇÃO MISCELAR CRÍTICA.....	20
<b>3.</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO E NATUREZA QUÍMICA DOS BIOSSURFACTANTES.....</b>	<b>24</b>
<b>4.</b>	<b>PRODUÇÃO DE BIOSSURFACTANTE.....</b>	<b>29</b>
4.1	PRODUÇÃO DE BIOSSURFACTANTE A PARTIR DE SUBSTRATOS ALTERNATIVOS.....	31
<b>5.</b>	<b>FUNÇÃO FISIOLÓGICA DOS BIOSSURFACTANTES</b>	<b>33</b>
<b>6.</b>	<b>PROPRIEDADES DOS BIOSSURFACTANTES.....</b>	<b>35</b>
<b>7.</b>	<b>APLICAÇÕES DOS BIOSSURFACTANTES.....</b>	<b>37</b>
7.1	BIORREMEDIAÇÃO.....	37
7.2	LIMPEZA DE RESERVATORIOS DE OLEOS.....	38
7.3	RECUPERAÇÃO MELHORADA DO PETROLEO (MEOR).....	38

7.4	BIOSSURFACTANTES NA AGRICULTURA.....	39
7.5	APLICAÇÕES TERAPÊUTICAS.....	40
7.6	PRODUTOS DE HIGIENE E COSMÉTICOS.....	40
7.7	INDUSTRIAS DE ALIMENTOS.....	41
7.8	OUTRAS APLICAÇÕES.....	41
<b>8.</b>	<b>SABÕES E DETERGENTES COMO TEMÁTICA PARA O ENSINO DE QUIMICA.....</b>	<b>43</b>
8.1	METODOLOGIA.....	44
<b>9.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS :.....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os surfactantes são compostos químicos, que por atuarem como dispersantes e/ou solubilizantes de compostos orgânicos, podem ser utilizados em diversos setores industriais como, na indústria de produtos de limpeza (sabões e detergentes), na indústria de petróleo e na indústria de cosméticos e produtos de higiene (NITSCHKE; PASTORE, 2002; GOUVEA et al., 2003). A estimativa de produção mundial ultrapassa 3 milhões de toneladas por ano, sendo empregado principalmente como matéria-prima na produção de detergentes de uso doméstico (CASTIGLIONI; BERTOLIN; COSTA, 2009; NITSCHKE; PASTORE, 2003).

A grande maioria dos surfactantes disponíveis no mercado é obtida a partir de derivados do petróleo. Contudo, a crescente preocupação ambiental aliada às novas legislações de controle do meio ambiente levou à procura de surfactantes naturais, que por serem biodegradáveis, causam menos impacto ambiental (BUENO; SILVA; GARCIA-CRUZ, 2010; NITSCHKE; PASTORE, 2002).

Os biossurfactantes são metabólitos microbianos que apresentam propriedades surfactantes, ou seja, diminuem a tensão superficial e apresentam alta capacidade emulsificante (PINTO; MARTINS; COSTA, 2009; NITSCHKE; PASTORE, 2002). São obtidos principalmente por bactérias isoladas do solo, da água do mar, de areias contaminadas por óleos e de sedimentos marinhos. Embora sejam produzidos principalmente por bactérias, fungos e leveduras também os produzem (PINTO; MARTINS; COSTA, 2009; GOUVEA et al., 2003).

Segundo Gouvea et al. (2003), “os biossurfactantes são classificados em glicolipídeos, lipopeptídeos e lipoproteínas, biossurfactantes poliméricos, fosfolipídeos e ácidos graxos”. Estes compostos microbianos podem substituir em um futuro próximo os surfactantes químicos, principalmente em indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêuticos, produtos químicos agroindustriais, produtos de limpeza industriais e em processos de bioremediação, por serem biodegradáveis e apresentarem baixa toxicidade e estabilidade em valores altos de pH, temperatura

e salinidade (PINTO; MARTINS; COSTA, 2009). Um dos setores industriais em que podem ser utilizados é na limpeza de tanques de reservatórios de óleos, onde os resíduos e frações de óleos que sedimentam no fundo dos tanques são altamente viscosos. A ação detergente do biossurfactante diminui a viscosidade e há formação de emulsões O/A, facilitando o bombeamento e tornando o descarte desses resíduos menos problemático (NITSCHKE; PASTORE, 2002).

Os biossurfactantes também podem ser obtidos por meio de procedimentos relativamente simples, dispensando investimentos altos para sua produção, já que podem ser utilizados resíduos agroindustriais como substrato, o que viabiliza o processo, visto que o meio de cultivo representa aproximadamente 50% do custo final do produto (CASTIGLIONI; BERTOLIN; COSTA, 2009; BUENO; SILVA; GARCIA-CRUZ, 2010).

Atualmente, nos países industrializados existe uma grande tendência para a substituição dos surfactantes sintéticos pelos surfactantes de origem biológica, pois aliado ao fato de serem naturalmente biodegradáveis e causarem menos impacto ambiental apresentam a vantagem de poderem ser sintetizados a partir de substratos renováveis. Além disso, a grande diversidade química que apresentam, possibilita uma diversidade de aplicações (NITSCHKE; PASTORE, 2002; GOUVEA et al., 2003). Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo descrever as propriedades e aplicações dos biossurfactantes.

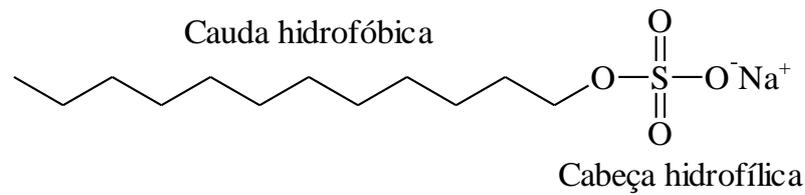
## 2. SURFACTANTE E BIOSSURFACTANTE

### 2.1. SURFACTANTE

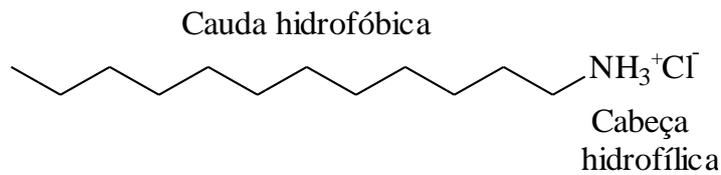
A palavra surfactante vem da contração da expressão “surface active agent”, cujo significado é agente de atividade superficial (Barros et al., 2007). São compostos que possuem propriedades de redução das tensões superficial e interfacial, devido ao acúmulo na interface de fluídos imiscíveis, aumento da solubilidade e da biodegradabilidade de compostos hidrofóbicos (SILVA et al., 2009). Surfactante é reconhecido pelo poder de alterar as propriedades superficiais e interfaciais de um líquido, interfaciais por conseguir romper o limite entre duas fases imiscíveis, superficiais indicando o estado gasoso de uma dessas fases (BARROS et al., 2007).

Os surfactantes estão dentro de uma importante classe de compostos químicos amplamente utilizados em diversos setores industriais. A produção mundial chega a ultrapassar os 3 milhões de toneladas/ano, sendo que a grande maioria dessa produção em massa é utilizada como matéria-prima para o processo de fabricação de detergentes de uso doméstico (NITSCHKE; PASTORE, 2003; BARROS et al., 2007; BUENO; SILVA; GARCIA-CRUZ, 2010).

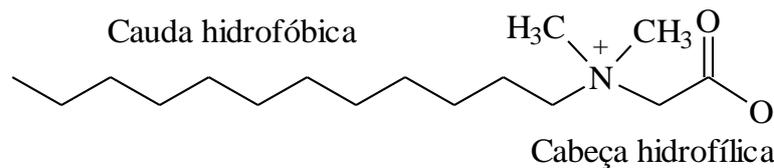
Os surfactantes são moléculas que possuem porções hidrofóbica ou apolar e hidrofílica ou polar. Geralmente a porção apolar é constituída de hidrocarbonetos de cadeias alifáticas, grupos policíclicos ou aromáticos, enquanto a porção polar pode ser iônica (catiônica ou aniônica), não-iônica ou anfótera. Ésteres sulfatados ou sulfatos de ácido graxos (aniônicos) e sais de amônio quaternário são alguns exemplos utilizados comercialmente de surfactantes iônicos (NITSCHKE; PASTORE, 2002; PEIXOTO, 2008; LIMA, 2007). A figura 1 apresenta a estrutura de alguns surfactantes.



**A**



**B**



**C**

**Figura 1 – Estrutura do: A) Dodecil sulfato de sódio (surfactante aniônico); B) Cloreto de dodecilamônio (surfactante catiônico) e C) N-dodecil-N,N-dimetilbetaína (surfactante anfótero) (In:BARBOSA, 2004, p. 292 e 293).**

Segundo Lima (2007), “em função da presença de grupos hidrofílicos e hidrofóbicos na mesma molécula, os surfactantes tendem a se distribuir nas interfaces entre as fases fluidas com diferentes graus de polaridade (óleo/água e água/óleo)”. A tensão superficial e interfacial é então reduzida devido à formação de um biofilme entre as duas fases não miscíveis (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BUENO; SILVA; GARCIA-CRUZ, 2010; LIMA, 2007).

Os surfactantes tem uma importância comercial muito grande, visto a crescente produção industrial e a gama de aplicações desses compostos envolvendo: detergência, emulsificação, lubrificação, capacidade espumante, capacidade

molhante, solubilização e dispersão de fases (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS et al., 2007). Estima-se que 54% de sua produção é voltada para detergentes domésticos e 32% da produção para as demais indústrias (PEIXOTO, 2008).

Embora os primeiros surfactantes tenham sido obtidos através de recursos renováveis como gorduras e óleos, atualmente a grande maioria é sintetizada a partir de derivados do petróleo (BUENO; SILVA; GARCIA-CRUZ, 2010; SILVA, 2008). Contudo, a preocupação ambiental, aliada com o surgimento de novas legislações de controle do meio ambiente levaram pesquisadores a buscar por surfactantes de origem microbiana. Isto porque devido a sua natureza biodegradável, os surfactantes biológicos promovem redução do impacto ambiental (LIMA, 2007; NITSCHKE; PASTORE, 2003).

## 2.2. BIOSSURFACTANTE

A denominação biossurfactante é aplicada aos compostos que são subprodutos metabólicos de origem microbiana e que apresentam estrutura e característica semelhante aos surfactantes sintéticos. Os biossurfactantes podem ser produzidos por diversos tipos de microrganismo e possuem diferentes propriedades de superfície e estrutura química (ROSSMANN, 2008; KREPSKY, 2004).

Os biossurfactantes são metabólicos que possuem estrutura anfifílica dos surfactantes sintéticos. Sua porção hidrofílica é constituída ou de carboidratos, ou de aminoácidos, ou de um ácido carboxílico, ou de álcool, ou de um fosfato, ou de um peptídeo cíclico. Já sua porção hidrofóbica é constituída ou de ácido graxos de cadeia longa, ou de hidroxíácidos, ou ainda por alfa-álquil-beta-hidroxí ácido graxos (PEIXOTO, 2008; LIMA, 2007).

O microrganismo sintetiza uma grande variedade de biossurfactante de massa molecular alta e baixa. Os ácidos graxos, glicolipídeos, lipopeptídeos cíclicos, e lipopeptídeos são alguns exemplos de biossurfactante de baixo peso molecular. Já

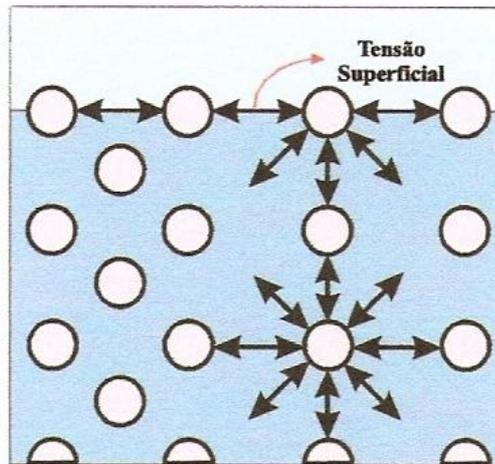
os polissacarídeos anfipáticos, proteínas, lipopolissacarídeos, lipoproteínas são exemplos de biossurfactantes de alto peso molecular (PEIXOTO, 2008; LIMA, 2007).

Os biossurfactantes apresentam várias vantagens sobre os surfactantes sintéticos. Sua principal vantagem está relacionada com aceitação pelos consumidores, visto que são produtos ecologicamente corretos por serem biodegradáveis, apresentarem baixa toxicidade possibilitando também a produção a partir de recursos renováveis e de resíduos agroindustriais. O interesse em resíduos como substrato se dá pelo fato de que economicamente sua produção ainda é inviável (ROSSMANN, 2008; LIMA, 2007).

Os surfactantes sintéticos e os de origem microbiana são substâncias anfipáticas que se localizam nas interfaces, ou seja, eles diminuem a tensão superficial e formam os agregados chamados de micelas alterando o comportamento das interfaces das moléculas que estão nela e em solução (PEIXOTO, 2008). A concentração mínima para se formar uma micela é chamado de (CMC) concentração micelar crítica, quanto maior a (CMC), maior será a capacidade do surfactante de reduzir a tensão superficial e interfacial do líquido (BARROS; QUADROS; PASTORE, 2007).

### 2.3. TENSÃO SUPERFICIAL E CONCENTRAÇÃO MISCELAR CRÍTICA (CMC)

A tensão superficial se define como uma camada na superfície do líquido que faz com que a superfície se comporte como uma membrana elástica, onde os objetos não conseguem adentrar ou afundar. Isto é devido às interações entre as moléculas do líquido. As moléculas que se encontram no interior do líquido irão interagir com as demais em todas as direções (em cima, em baixo, dos lados e diagonais). Já aquelas da superfície não apresentam átomos vizinhos acima delas, exibindo assim uma força atrativa mais forte sobre suas vizinhas mais próximas na superfície. Este aumento nas forças de atração intermoleculares na superfície é chamado de tensão superficial dos líquidos (figura 2) (PIRÔLLO, 2006).



**Figura 2 – Ilustração das forças intermoleculares no interior e na superfície de um líquido (PIRÔLLO, 2006, p. 8)**

Matematicamente a tensão superficial pode ser expressa pelo método de contagem de gotas. Segundo Neto et al. (2009) “o método de contagem de gotas descrito na NBR é uma adaptação adequada e simples do método do peso da gota. A força exercida pelo peso de uma gota (mg) seguindo a argumentação do método do peso da gota na ponta de uma bureta é máxima no momento exatamente anterior ao seu desprendimento da ponta”.

O peso da gota nesse momento é equilibrado pela tensão superficial do líquido ( $\gamma$ ) multiplicada pelo perímetro ( $2 \cdot \pi \cdot r$ ) da ponta da bureta. Assim a tensão superficial de um líquido faz uma relação entre a força da gota com a área de acordo com a equação 1:

$$\gamma = \frac{F}{A}$$

Equação 1

Logo a tensão superficial de um líquido pode ser calculada pela medida da massa ( $m$ ) de uma gota deste líquido de acordo com a Equação 2:

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{2\pi \cdot r}$$

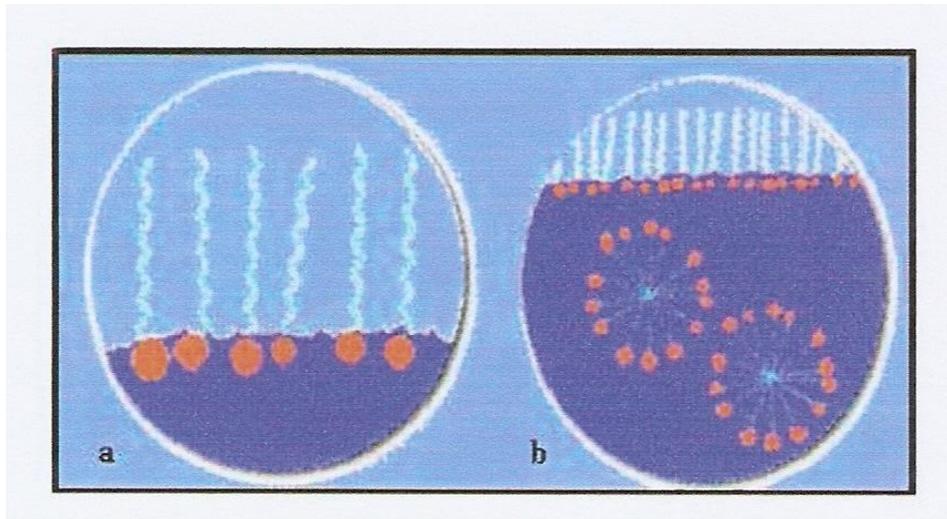
Equação 2

Seguindo a Equação 2 também se pode relacionar a massa da gota ( $m$ ) com seu volume ( $V$ ) e a densidade do líquido ( $\rho$ ), na Equação 3.

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{2\pi \cdot r} = \frac{V \cdot \rho \cdot g}{2\pi \cdot r} \quad \text{Equação 3}$$

O método de contagem de gotas calcula-se a tensão superficial fazendo-se uma relação entre o número de gotas geradas por um volume fixo da amostra, medido em um bureta, e o número de gotas gerado pelo mesmo volume de água (NETO et al., 2009)

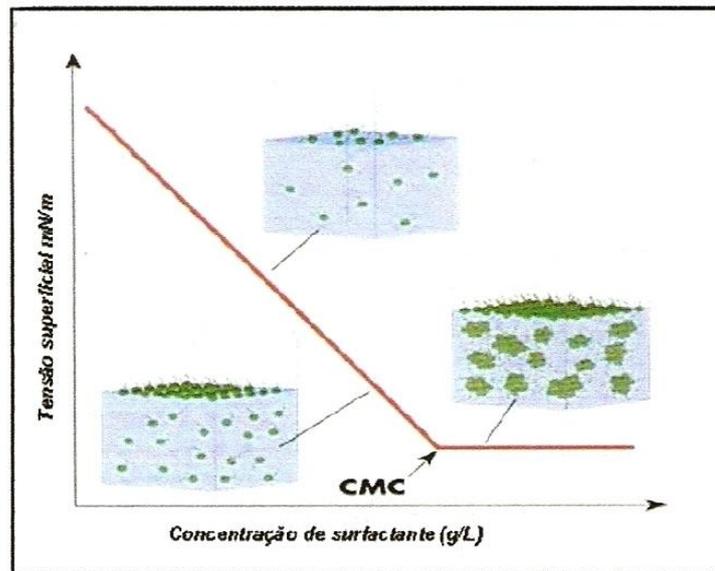
A medida que a concentração do biossurfactante aumenta no meio aquoso, a tensão superficial diminui, ocorrendo a formação de micelas, as quais direcionam as porções hidrofóbicas para a face interna do meio líquido e as porções hidrofílicas para a face externa (figura 3).



**Figura 3 – Posicionamento das moléculas dos surfactantes em fase líquida: a) moléculas na interface ar-água; b) formação de micelas (In: SILVA, 2008, p. 16)**

Segundo Silva (2008, p. 16), “a concentração dessas micelas forma a Concentração Micelar Crítica”. A concentração micelar crítica (CMC) determina a concentração

mínima de biossurfactante necessário para formação de micelas. Várias micelas são formadas quando a CMC é atingida (figura 4) (SILVA, 2008; SILVA, LIMA, 2007; PIRÔLLO, 2006; BARROS et al., 2007; GOLVEIA et al., 2003).



**Figura 4 – Formação de micelas na CMC (In; SILVA, 2008, p. 17)**

A concentração micelar crítica (CMC) é utilizada periodicamente para verificar a eficiência e as características básicas de um bom biossurfactante que pode variar de 1 a 2000mg/L (SILVA, 2008; LIMA, 2007; PIRÔLLO, 2006; BARROS et al., 2007; GOLVEIA et al., 2003).

### 3. CLASSIFICAÇÃO E NATUREZA QUÍMICA DOS BIOSSURFACTANTES

Os biossurfactantes são classificados de acordo com sua composição química e sua origem microbiana e constituem uma das principais classes de surfactantes naturais. De acordo com esta classificação as principais classes incluem: glicolipídeos, lipopeptídeos e lipoproteínas, fosfolipídeos e ácidos graxos, surfactantes poliméricos e surfactantes particulados. Na tabela 1 estão apresentados os biossurfactantes de acordo com esta classificação. Já os sintéticos, conforme descrito anteriormente, são classificados de acordo com seu grupo polar (NITSCHKE; PASTORE, 2002; SILVA LIMA, 2003; LIMA, 2007; SILVA, 2008; PIRÔLLO, 2006).

Tipo de biossurfactante	Microrganismo
GLICOLIPÍDEOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ramnolipídeos</li> <li>➤ soforolipídeos</li> <li>➤ trealolipídeos</li> </ul>	<p><i>Pseudomonas aeruginosa</i>  <i>Torulopsis bombicola</i>, <i>T. apícola</i>  <i>Rhodococcus erythropolis</i>,  <i>Mycobacterium sp</i></p>
LIPOPEPTÍDEOS E LIPOPROTEÍNAS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Peptídeo-lipídeo</li> <li>➤ Viscosina</li> <li>➤ Serrawetina</li> <li>➤ Surfactina</li> <li>➤ Subtilisina</li> <li>➤ Gramicidina</li> <li>➤ Polimixina</li> </ul>	<p><i>Bacillus lichemiformis</i>  <i>Pseudomonas fluorescens</i>  <i>Serratia marcescens</i>  <i>Bacillus subtilis</i>  <i>Bacillus subtilis</i>  <i>Bacillus brevis</i>  <i>Bacillus polymyxa</i></p>

**Tabela 1 - Principais classes de biossurfactantes e microrganismos produtores (In: NITSCHKE; PASTORE, 2002, p. 773)**

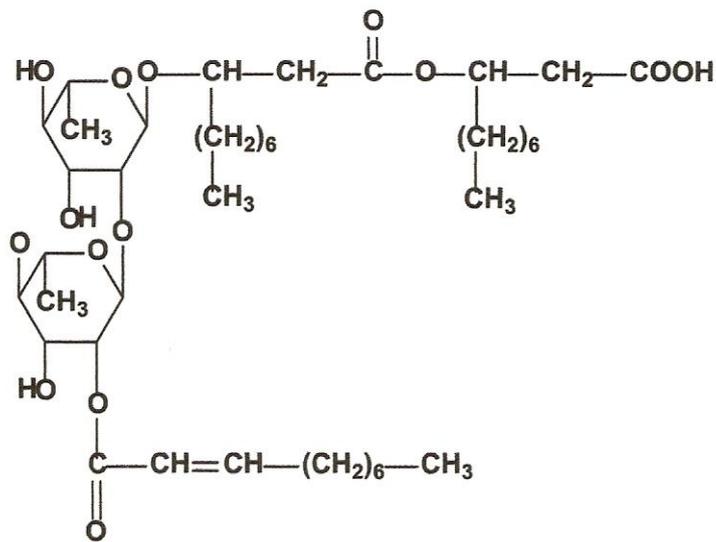
ÁCIDOS GRAXOS, LIPÍDEOS NEUTROS E FOSFOLIPÍDEOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ácidos graxos</li> <li>➤ Lipídeos neutros</li> <li>➤ Fosfolipídeos</li> </ul>	<i>Corynebacterium lepus</i> <i>Nocardia erythropolis</i> <i>Thiobacillus thiooxidans</i>
SURFACTANTES POLIMÉRICOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ emulsan</li> <li>➤ biodispersan</li> <li>➤ liposan</li> <li>➤ carboidrato-lipídeo-proteína</li> <li>➤ manana-lipídeo-proteína</li> </ul>	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Cândida lipolytica</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Cândida tropicalis</i>
SURFACTANTES PARTICULADOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ vesículas</li> <li>➤ células</li> </ul>	<i>Acinetobacter calcoaceticus</i> <i>Varias bactérias</i>

**Tabela 1 (Cont.) – Principais classes de biossurfactantes e microrganismos produtores (In: NITSCHKE; PASTORE, 2002, p. 773)**

Segundo Gouveia et al., 2003, a classe dos glicolipídeos compreende um grupo dos mais conhecidos e estudados, apresentando longas cadeias de ácidos alifáticos ou hidroxialifáticos. Nesta classe destacam-se os ramonolipídeos, trealolipídeos e soforolipídeos.

Os biossurfactantes apresentam estrutura semelhante, sendo constituído por uma parte lipofílica usualmente composta por uma cadeia hidrocarbônica de um ou mais ácidos graxos, que podem ser saturados, insaturados, hidroxilados ou ramificados, ligados à uma porção hidrofílica, que pode ser um éster, um grupo hidróxi, fosfato ou carboidrato. A grande parte dos biossurfactantes são neutros, ou aniônicos variando desde pequenos ácidos graxos até enormes cadeias poliméricas (NITSCHKE;

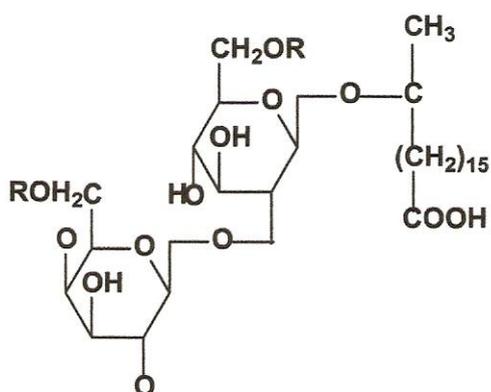
PASTORE, 2002; SILVA LIMA, 2003; LIMA, 2007; SILVA, 2008; PIRÔLLO, 2006).  
Na figura 5 estão representadas algumas estruturas de biossurfactantes.



Ramnolípido de  
*Pseudomonas*  
*aeruginosa*



Surfactina de  
*Bacillus subtilis*



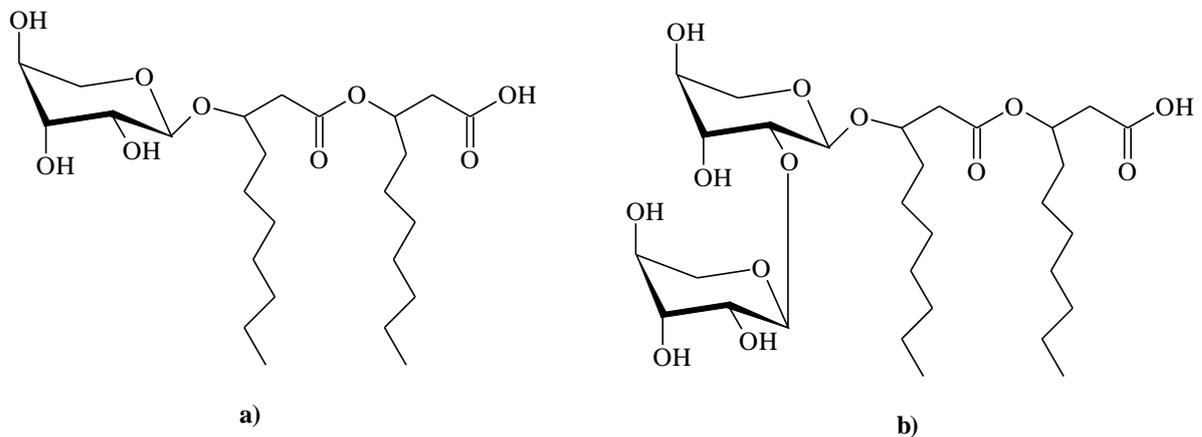
Solorolípido de  
*Torulopsis magnoliae*

Figura 5 – Estruturas químicas de alguns biossurfactantes (In: SILVA LIMA, 2003, p.6 )



#### 4. PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTE

Os biossurfactante mais estudados são os ramnolipídeos produzidos por *Pseudomonas*. Em 1949 o composto foi descrito por Jarvis e Johnson, sendo que uma via biossintética para a síntese de ramnolipídeos foi proposta pela primeira vez em 1963. Os principais ramnolipídeos produzidos por *P. aeruginosa* são ramnosil-ramnosil-beta-hydroxidecanoil-beta-hydroxidecanoato (dirramno lipídeo) e o ramnosil-beta-hydroxidecanoil-beta-hydroxidecanoato (monorramno lipídeo) (figura 6).



**Figura 6 – Estrutura de biossurfactantes: a) Monorramno lipídeo; b) Dirramno lipídeo (In: SILVA 2008, p. 19)**

Esse tipo de biossurfactante pode ser comercialmente produzido em concentrações acima de 100 g/L, porém, nesta concentração o custo para sua produção começa a competir com o custo dos surfactantes sintéticos (PEIXOTO, 2008).

A síntese de biossurfactante pelos microrganismos está diretamente relacionada com as condições nutricionais e ambientais fornecidas. Tudo que prejudicar o crescimento do microrganismo estará diretamente prejudicando a produção do biossurfactante (ROSSMANN, 2008; PEIXOTO, 2008; SILVA, 2008; FERRARI, 2008, GOLVEIA *et al.*, 2003).

Segundo Silva (2008, p. 19), os microrganismos (bactérias, leveduras e alguns fungos filamentosos) que utilizam substratos insolúveis como fonte de carbono apresentam inicialmente o processo de degradação, produzindo uma variedade de biossurfactantes. O gênero *Cândida* tem sido um dos principais tipos de levedura utilizada e tem sido empregado nos processos de fermentação de hidrocarbonetos e conseqüentemente, na produção do biossurfactante (KREPSKY, 2004; FERRARI, 2008; SILVA, 2008).

Por atuarem sobre o crescimento e as atividades celulares alguns fatores como pH, agitação, temperatura e disponibilidade de oxigênio interferem significativamente na produção de biossurfactantes. Outras variáveis que afetam a produção dos biossurfactantes são as fontes e concentrações de carbono, de nitrogênio e de micronutrientes como ferro e manganês (ROSSMANN, 2008; PEIXOTO, 2008; SILVA, 2008; FERRARI, 2008).

Na produção de biossurfactante a fonte de carbono é muito importante, pois a partir da mesma pode-se ter um maior rendimento do composto formado. Lactose, galactose, óleo de oliva, óleo de açafrão e soro de leite são considerados boas fontes de carbono na produção de glicolipídeos (ROSSMANN, 2008; PEIXOTO, 2008; SILVA, 2008; FERRARI, 2008; FONTES *et al*, 2009).

Outra fonte necessária para produção de biossurfactante é o nitrogênio. Estudos mostram que os nitratos são os mais usados e que proporcionam maior eficiência, obtendo-se altas concentrações do composto quando emprega-se essa fonte de nitrogênio para a produção de biossurfactante (ROSSMANN, 2008; PEIXOTO, 2008; SILVA, 2008; FERRARI, 2008; VANCE-HARROP, 2004).

Quanto à adição de micronutrientes, o ferro é indispensável e pode estar ligado diretamente com o rendimento do biossurfactante produzido. O íon ferroso como  $\text{FeSO}_4$  em altas concentrações leva à redução de biomassa, porém biossurfactante produzido tem rendimento similar nessas concentrações, sendo  $0,719 \text{ mmol L}^{-1}$  a concentração ótima de  $\text{FeSO}_4$  para a produção de surfactante por *B subtilis* MTCC 2423. Ainda a respeito da *B subtilis*, estudos mostram que quando a concentração de ferro foi aumentada para  $4 \text{ micro mol L}^{-1}$  houve um aumento de dez vezes na

produção de surfactina (ROSSMANN, 2008; PEIXOTO, 2008; SILVA, 2008; FERRARI, 2008).

#### 4.1 PRODUÇÃO DE BIOSSURFACTANTE A PARTIR DE SUBSTRATOS ALTERNATIVOS

Uma das maiores preocupações quando realiza-se a produção é o custo que vai ter um determinado produto. Para a produção de biossurfactante não é diferente, visto que a matéria prima representa 30% do custo total da produção. Assim, a produção de biossurfactante em larga escala depende muito do desenvolvimento de processos de baixo custo. (ROSSMANN, 2008; SILVA, 2008; PIRÔLLO, 2006; PEIXOTO, 2008; NITSCHKE; PASTORE; 2003; CASTIGLIONI; BERTOLIN; COSTA, 2009).

Visando minimizar o impacto ambiental que está relacionado ao descarte e custo de tratamento de resíduos, e a busca de redução de custo para a produção de biossurfactante, levou pesquisadores a desenvolverem estudos em que os biossurfactantes são obtidos a partir de substratos alternativos e renováveis (SILVA, 2008; SILVA *et al* 2010, GONÇALVES DA CRUZ, 2009). No entanto, segundo Rossmann (2008, p. 9), “uma das principais dificuldades na seleção desses substratos alternativos é encontrar a composição adequada que permita tanto o crescimento celular como o acúmulo do produto de interesse”.

Para a produção utilizando *P. fluorescens* óleo de oliva é apresentado como ótimo substrato comparado com hexano e glicose. Soro de leite e resíduos de destilaria são considerados como fontes de carbono viáveis para a produção de biossurfactante por *P. aeruginosa* BS2. Para produção do composto por *B. subtilis* um substrato alternativo é o resíduo do processamento da batata (LIMA, 2007; PIRÔLLO, 2006; GOLVEIA *et al*, 2003)

Outros substratos alternativos que podem ser utilizados para produção de biossurfactantes são, melaço da cana de açúcar normalmente utilizado para a produção de etanol, manipueira, resíduo do processamento da mandioca, soro de

queijo, suco de caju, óleo de babaçu, resíduo de refinaria de óleo de soja, milhocina, sub-produto da fabricação do milho entre outros (ROSSMANN, 2008; PEIXOTO, 2008; FERRARI, 2008; KREPSKY, 2004; MELLO SILVA, 2004; LUNA, et al., 2008, SILVA, et al., 2010).

Estudos relatam que em alguns casos obtive-se um aumento na produção de biossurfactante, utilizando substratos alternativos como fonte de carbono (MELLO SILVA, 2004; ROSSMANN, 2008; SILVA, 2008, CASTIGLIONI; BERTOLIN; COSTA, 2009; SANTANA et al., 2009).

## 5. FUNÇÃO FISIOLÓGICA DOS BIOSSURFACTANTES

A procura por biossurfactantes tem aumentado a cada ano, embora sua exata função fisiológica ainda não tenha sido totalmente elucidada, algumas funções podem ser atribuídas a esses compostos como:

a) *Aderência-liberação da célula a superfície*: os microrganismos formam colônias onde possam se multiplicar como estratégias de sobrevivência (SILVA, 2008). As estruturas da superfície celular responsáveis pela aderência das células às superfícies dos materiais são os elementos chaves nessa estratégia. Os microrganismos utilizam surfactantes ligados às paredes para regular as propriedades da superfície celular, procura desligar ou aderir de um determinado local de acordo com sua necessidade para encontrar novos *habitats* com maior disponibilidade de nutrientes ou se livrar de ambientes desfavoráveis (FERRARI, 2008; SILVA 2008; PIRÔLLO, 2006; LIMA 2007).

b) *Atividade antibiótica*: vários tipos de biossurfactante demonstram atividade antibiótica, dentre as classes de biossurfactantes as que apresentam maior atividade são os lipoptídeos e os glicopeptídeos. A surfactina de *B subtilis* e ramnolipídeos de *P. aeruginosa* são alguns exemplos de biossurfactante que possuem atividade antibiótica e que atuam solubilizando os principais componentes das membranas celulares microbianas. A retirada desses biossurfactantes no meio proporciona aos microrganismos maior chance de sobrevivência e uma competitividade maior na busca por nutrientes (FERRARI, 2008; SILVA 2008; PIRÔLLO, 2006; LIMA 2007).

c) *Transporte de hidrocarbonetos*: esta função está relacionada aos biossurfactantes ligados a parede celular de *Candida tropicalis*, onde foi detectado um aumento na porção lipídica do polissacarídeo de membrana quando o microrganismo crescia em alcanos, indicando que o polissacarídeo- ácido graxo presente na superfície celular estaria envolvido no transporte de hidrocarbonetos (FERRARI, 2008; SILVA 2008; PIRÔLLO, 2006; LIMA, 2007; NITSCHKE; PASTORE, 2002).

d) *Emulsificação e solubilização de hidrocarbonetos* ou compostos insolúveis em água, facilitando o crescimento microbiano nesses substratos. No entanto, cepas de *Bacillus Subtilis* produzem surfactantes somente em substratos hidrossolúveis

(FERRARI, 2008; SILVA 2008; PIRÔLLO, 2006; LIMA 2007; NITSCHKE; PASTORE, 2002).

Rhamnolipídeos produzidos por *Pseudomonas aeruginosa* LBI, inibem o crescimento de algumas bactérias como, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, *Streptococcus Faecalis* e *P. aeruginosa* e alguns fungos fitopatogênicos como *Penicillium*, alternaria, *Gliocadium virens* e *Chaetonium globosum* (FERRARI, 2008; PIRÔLLO, 2006; LIMA 2007).

Um dos biossurfactantes mais estudados é a surfactina que está na classe dos lipopeptídeos. A surfactina apresenta uma baixa CMC, um alto poder de redução da tensão superficial, além de várias outras funções como, bactericida, fungicida, antiviral, agente antitumoral, inibidor da formação de coágulos fibrinosos, antimicoplástico, veículo para administração de drogas via pulmomar, entre outros (BARROS et al, 2007; LIMA, 2007).

## 6. PROPRIEDADES DOS BIOSSURFACTANTES

Embora apresente uma diversidade na composição química e propriedades, algumas características são comuns à maioria dos biossurfactantes, sendo que muitas dessas características representam vantagens sobre os surfactantes sintéticos, tais como:

- ✓ *Biodegradabilidade:* os biossurfactantes são compostos naturais facilmente degradáveis na água e no solo, diferentemente dos surfactantes sintéticos. Essa alta biodegradabilidade possibilita a sua utilização para tratamento de resíduos e biorremediação (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).
- ✓ *Tolerancia a pH, temperatura e força iônica:* alguns biossurfactantes apresentam elevada estabilidade térmica e de pH podendo ser utilizados em ambientes desfavoráveis em condições mais drásticas. Por exemplo o lipopeptídeo de *B. licheniformis* JF-2 é estável a temperaturas em torno de 75°C por até 140h e pH entre 5 e 12. Em termos de concentração de NaCl suportam concentrações de 10%, por outro lado uma concentração de 2 a 3% pode inativar um surfactante sintético (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).
- ✓ *Atividade superficial e interfacial:* por produzirem menor tensão superficial em concentrações menores do composto, os biossurfactantes são mais eficientes e mais efetivos do que os surfactantes convencionais (detergentes aniônicos sulfatados). A (CMC) concentração micelar crítica dos biossurfactantes mede a eficiência dos biossurfactantes que pode variar de 1-2000mg/L, já a tensão interfacial (óleo/água) e superficial fica em torno de 1 e 30mN/m (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).
- ✓ *Baixa toxicidade:* devido a grande preocupação da população com produtos químicos alérgicos os biossurfactantes tem recebido maior atenção, além

disso por apresentar baixa toxicidade pode ser utilizados em alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

Além disso, os biossurfactantes apresentam a vantagem de poderem ser sintetizados a partir de substratos renováveis e possuírem grande diversidade química, possibilitando aplicações específicas para cada caso particular. Também possuem características estruturais e propriedades físicas distintas, o que os torna comparáveis ou superiores aos surfactantes sintéticos em termos de eficiência. Outra vantagem está ligada ao fato de serem compostos que não são derivados de petróleo, fator importante à medida que os preços do petróleo e a preocupação ambiental aumentam. A possibilidade de modificação da estrutura química e das propriedades físicas dos biossurfactantes através de manipulações genéticas, biológicas ou químicas permite o desenvolvimento de produtos para necessidades específicas (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

## 7. APLICAÇÕES DOS BIOSSURFACTANTES

Hoje a indústria petrolífera é um dos maiores mercados para os biossurfactantes, onde o composto pode ser utilizado para a produção de petróleo ou incorporados em formulações de óleos lubrificantes. Biorremediação e dispersão no derramamento de óleos, recuperação melhorada do petróleo e a remoção de resíduos de óleo em tanques de estocagem são alguns exemplos de outras aplicações. No entanto, a aplicabilidade desses compostos tensoativos tem se distribuídos entre os mais diversos setores industriais (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007).

### 7.1 BIORREMEDIAÇÃO

Devido a grande parte das reservas de petróleo serem localizadas no mar, os processos de transporte, estocagem e refino são os responsáveis pela entrada desses compostos no ambiente. Grandes impactos ambientais são causados com os derramamentos acidentais de petróleo sendo assim de extrema urgência a remoção desse contaminante. Diversas estratégias para a remediação de petróleo estão disponíveis, porém o alto custo com os equipamentos e a falta de pessoal não viabiliza o processo. Em contrapartida os processos de biorremediação tornam-se um estratégia alternativa às tecnologias convencionais para áreas contaminadas com petróleo e seus derivados reduzindo os custos operacionais e os efeitos ao meio ambiente (LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

O uso de surfactante de origem microbiana vem sendo uma ferramenta essencial para áreas contaminadas com petróleo, diversas bactérias liberam biossurfactantes na presença de hidrocarbonetos, solubilizando assim esses compostos no meio. Alguns contaminantes presentes em solos podem ser recuperados ou degradados em biorreatores após terem sido emulsificados no meio aquoso (PIRÔLLO, 2006).

Alguns microrganismos produtores de surfactante podem ser utilizados para aumentar a solubilização de outros grupos de compostos tóxicos, como os

defensivos agrícolas. O surfactante de *P. aeruginosa* UG2 pode aumentar a solubilização de hexaclorobifenila aderida ao solo e resulta na recuperação de até 31% do composto na fase aquosa. Estudos mostram que essa recuperação foi três vezes superior a obtida com o surfactante sintético lignossulfonato de sódio. Alguns locais contaminados com metais pesados como cádmio, urânio e chumbo, podem ser descontaminados utilizando biossurfactantes. Estudos mostram que soforolipideo foi capaz de solubilizar o zinco ligado aos componentes inorgânicos (VALENTIN, 2009).

## 7.2 LIMPEZA DE RESERVATÓRIOS DE ÓLEO

Alguns resíduos e frações de óleos pesados que sedimentam no fundo de tanques de estocagem e são altamente viscosos, podem se tornar depósitos sólidos onde o bombeamento convencional não conseguirá remover. A limpeza desses reservatórios requer cuidado na lavagem com solventes ou limpeza manual, ambas perigosas, demoradas e caras. Um processo alternativo de limpeza é o uso de biossurfactantes que promovem a diminuição na viscosidade e a formação de emulsões O/A, facilitando o bombeamento dos resíduos e a recuperação do óleo cru após quebra da emulsão. O descarte destes resíduos torna-se menos problemático já que sólidos resultantes carregam uma quantidade limitada de óleo residual pela ação detergente do biossurfactante. O uso de surfactantes de origem microbiana para a limpeza de tanques, em substituição aos surfactantes convencionais, promoveu a limpeza e recuperação de 90% dos hidrocarbonetos presentes no resíduo (VALENTIN, 2009; PIRÔLLO, 2006; NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

## 7.3 RECUPERAÇÃO MELHORADA DO PETRÓLEO (MEOR)

A MEOR consiste em uma tecnologia de recuperação terciária do petróleo que utiliza microrganismos ou produtos de seu metabolismo para a recuperação de óleo residual. Os microrganismos produzem surfactantes e polímeros que atuam reduzindo a tensão superficial óleo-rocha, onde as forças capilares que impedem a movimentação do óleo através dos poros da rocha também são reduzidas. Os biossurfactantes também auxiliam na emulsificação e na quebra dos filmes de óleo das rochas. O mecanismo de MEOR *in situ* deve-se provavelmente aos vários efeitos dos microrganismos no ambiente e no óleo. Estes efeitos incluem: produção de ácido e degradação da matriz calcárea; formação de gás e aumento da pressão; redução da tensão interfacial e viscosidade do óleo pela produção de biossurfactantes; produção de solventes; degradação de macromoléculas do óleo, resultando em diminuição da viscosidade; bloqueio seletivo da biomassa nas zonas de alta permeabilidade. Em MEOR a utilização de biossurfactantes envolve várias estratégias, como a injeção de microrganismos produtores de biossurfactantes no reservatório e subsequente propagação *in situ*; ou para estimular o crescimento dos microrganismos selvagem produtores de surfactantes, utilizando a injeção de nutrientes no reservatório; ou ainda, a produção de biossurfactantes em reatores e posterior injeção no reservatório. A última estratégia é mais cara devido à necessidade de capital para produção, purificação e introdução do biossurfactante. As outras requerem que o reservatório contenha bactérias capazes de produzir quantidades suficientes de biossurfactantes. Na MEOR *in situ* para ser útil os microrganismos devem ser aptos a crescer em condições extremas, como alta pressão, temperatura, salinidade e baixa tensão de oxigênio (VALENTIN,2009; PIRÔLLO, 2006; NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

#### 7.4 BIOSSURFACTANTES NA AGRICULTURA

Os surfactantes de origem microbiana (biossurfactantes) são usados na agricultura especialmente em formulações de herbicidas e pesticidas. Os compostos ativos destas formulações são geralmente hidrofóbicos, sendo necessários agentes

emulsificantes para dispersá-los em soluções aquosas. Surfactantes de *Bacillus* foram utilizados para emulsificar formulações de pesticidas organofosforados imiscíveis. Os ramnolipídios possuem potencial para o controle biológico de fitopatógenos que produzem zoósporos (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007).

## 7.5 APLICAÇÕES TERAPÊUTICAS

Um dos biossurfactantes mais conhecidos que possuem maior aplicação farmacêutica é a surfactina (figura 5), conhecida por ter excepcional atividade superficial, reduzindo à tensão superficial da água (20 °C) de 72 para 27 mN/ m em concentrações menores de 20 M. A surfactina pode ser aplicada para a inibição da formação de coágulos; formação de canais iônicos em membranas; atividade antibacteriana e antifúngica; atividade antiviral e antitumoral. O biossurfactante produzido por *R. erythropolis* inibiu o vírus do herpes simples e vírus para-influenza. A iturina, lipopeptídeo produzido por *B. subtilis*, demonstrou atividade antifúngica, afetando a morfologia e a estrutura da membrana celular de leveduras. A inibição da adesão de bactérias entéricas patogênicas por biossurfactante produzido por *Lactobacillus* foi relatada. Para uso em catéteres visando diminuir a formação de biofilmes foram sugeridos o desenvolvimento de agentes antiadesivos (TONINI; REZENDE; GRATIVOL, 2010; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

## 7.6 PRODUTOS DE HIGIENE E COSMÉTICOS

Os biossurfactantes podem ser utilizados em produtos de higiene e cosméticos, devido á sua compatibilidade com a pele. Um produto comercial que continha 1 mol de sofrorolipídios e 12 moles de propilenoglicol, apresentou excelente compatibilidade dérmica, sendo utilizado como hidratante em cremes faciais. Alguns sofrorolipídios são utilizados como umectantes para incorporação em produtos de maquiagem. A KAO Co. Ltda desenvolveu um processo fermentativo para produção

de soforolipídios, que posteriormente sofrem esterificação, resultando em um produto com aplicação em batons e como hidratante para pele e cabelos. A preparação de biossurfactantes pela ação enzimática (principalmente lipases) sobre moléculas hidrofóbicas promoveu um novo direcionamento na produção destes compostos, principalmente para utilização em produtos de higiene e cosméticos (VALENTIN, 2009; PIRÔLLO, 2006; NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

## 7.7 INDUSTRIAS DE ALIMENTOS

A emulsificação tem um papel importante na formação da textura e consistência, bem como na solubilização de aromas e na dispersão de fase. Os biossurfactantes são utilizados como emulsionantes no processamento de matérias-primas. Os agentes tenso-ativos encontram aplicação em panificação e produtos derivados de carne, onde influenciam as características reológicas da farinha e a emulsificação de gorduras. O bioemulsificante produzido por *C. utilis* tem sido utilizado em molhos prontos para saladas (TONINI; REZENDE; GRATIVOL, 2010; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008; VALENTIN, 2009; PIRÔLLO, 2006; NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007 ).

## 7.8 OUTRAS APLICAÇÕES

Outros campos de utilização dos biossurfactantes incluem a indústria de papel, têxtil e cerâmica. Por gerar maior espalhabilidade e aumentar as propriedades de misturas o biodispersan pode ser utilizado na indústria de tintas. As propriedades de estabilização de espuma são necessárias na fabricação de extintores de incêndio. A Tabela 2 mostra um resumo das funções e aplicações industriais dos biossurfactantes (NITSCHKE; PASTORE, 2002; BARROS *et al.*, 2007; LIMA, 2007; SILVA LIMA, 2003; SILVA, 2008).

<b>Funções</b>	<b>Campos de aplicações</b>
Emulsionantes e dispersantes	Cosméticos, tintas, biorremediação, óleos alimentos
Solubilizantes	Produtos farmacêuticos e de higiene
Agentes molhantes e penetrantes	Produtos farmacêuticos, têxteis e tintas
Detergentes	Produtos de limpeza, agricultura
Agentes espumantes	Produtos de higiene, cosméticos e flotação de minério
Sequestrantes de metais	Mineração
Formadores de vesículas	Cosméticos e sistemas de liberação de drogas
Fator de crescimento microbiano	Tratamento de resíduos oleosos
Demulsificantes	Tratamentos de resíduos recuperação de petróleo
Redutores de viscosidade	Transporte em tubulações, oleodutos
Dispersantes	Mistura carvão-água, calcáreo-agua
Fungicida	Controle biológico de fitopatogênos
Agente de recuperação	Recuperação terciária de petróleo

**Tabela 2 - Principais aplicações comerciais dos biossurfactantes (NITSCHKE; PASTORE, 2002, p. 772-776)**

## 8. SABÕES E DETERGENTES COMO TEMÁTICA PARA O ENSINO DE QUÍMICA

As disciplinas de química no ensino médio que compõem o projeto pedagógico deve proporcionar ao aluno uma interação entre teoria e prática, ao invés de focarem apenas em um modo de ensino, pois essas atividades são muito importantes para o futuro profissional do aluno (ITAMAR; BAPTISTA, 2009).

O ensino tradicional tem recebido muitas críticas, pois neste processo o aprendiz assume uma postura passiva, sendo tratado como mero ouvinte de informações expostas pelos professores. Além disso, muitas vezes estas informações não têm relação com os conhecimentos prévios adquiridos pelos alunos, dificultando o processo de ensino-aprendizagem. Isto porque segundo Guimarães (2009), “quando não há relação entre o que o aluno já sabe e aquilo que ele está aprendendo a aprendizagem não é significativa”.

A experimentação no ensino de química estimula o interesse dos alunos em sala de aula, bem como o engajamento em atividades subsequentes, constituindo-se assim, em um dos aspectos-chave para o processo de ensino-aprendizagem (JUNIOR, 2008).

Muitas relações entre teoria e prática podem ser instituídas vindas do cotidiano dos alunos como saber como sabões e detergentes limpam recipientes sujos com gordura, a solubilidade de algumas substâncias, são alguns exemplos que podem ser utilizados para introduzir conceitos no ensino-aprendizagem (SANTOS *et al.*, 2010). Outros conceitos que podem ser abordados são tensão superficial, interações intermoleculares (ligação de hidrogênio, força de Van der Waals), entre outros. Estes conceitos estão diretamente relacionados com as propriedades dos agentes surfactantes, como formação de micelas, solubilidade em água, biodegradabilidade, poder detergente, poder espumante e interações químicas. Além disso, sabões e detergentes fazem parte do cotidiano dos alunos o que facilita o processo de ensino-aprendizagem (SANTOS *et al.*, 2010).

Como sabões e detergentes é um tópico do conteúdo de química e faz parte do cotidiano dos alunos, este tema provoca ansiedade em compreender de forma mais aprofundada, pois mesmo sendo um assunto do dia-a-dia, em sala de aula apenas recebem informações teóricas, escrevem equações químicas que servem apenas de modelo e não contribuem para o total conhecimento. A proposta para o ensino médio é mostrar a importância do caráter interdisciplinar da química com a educação ambiental, bem como elaborar uma proposta que venha melhorar o ensino-aprendizagem de química, através de atividades práticas que estejam relacionadas com o cotidiano dos alunos, tornando assim, o ensino e aprendizagem mais prazeroso. Esta proposta visa incentivar os alunos a produzir para o uso doméstico o seu próprio produto de limpeza com qualidade e segurança, aproveitando resíduos de óleos e gorduras de uso domésticos, colaborando assim com o meio ambiente, visto que o descarte desses resíduos deixa sérias consequências no meio ambiente (ITAMAR; BAPTISTA, 2009; SANTOS *et al.*, 2010).

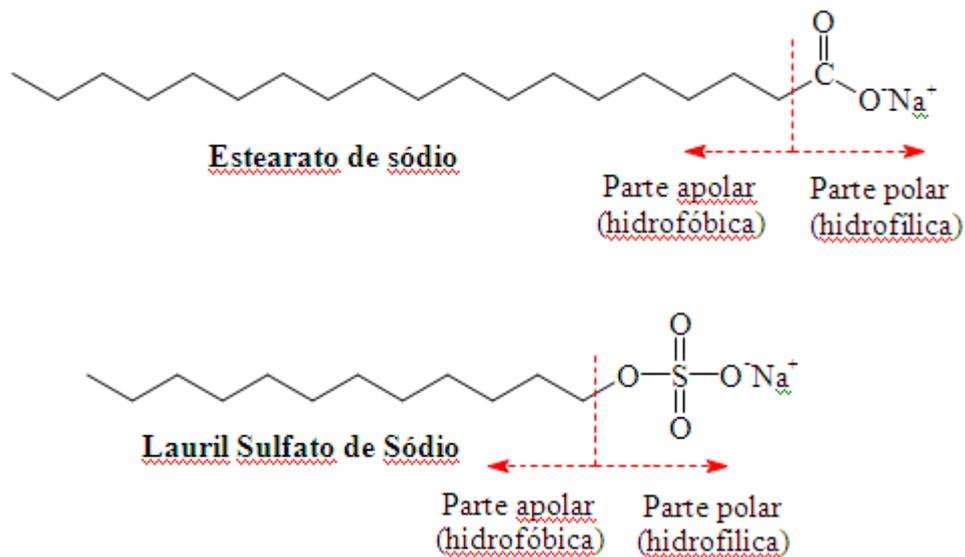
## 8.1 METODOLOGIA

A proposta pedagógica é desenvolver em uma escola pública no ensino médio aulas experimentais para a produção de sabão com os alunos do terceiro ano, utilizando óleos residuais de frituras que seriam descartados em ralos e pias. No início da aula será apresentado algumas questões sobre a importância do meio ambiente na vida de cada aluno e dos problemas que o descarte inadequado de óleos pode causar.

As atividades serão: produção de sabão a partir da reação de óleo de soja usado com hidróxido de sódio em pequena escala, testes de pH e água dura, questionário anexado ao roteiro experimental para ser respondido em casa e entregue posteriormente. A ideia é que os alunos associem os conceitos químicos adquiridos com o cotidiano (ITAMAR; BAPTISTA, 2009)

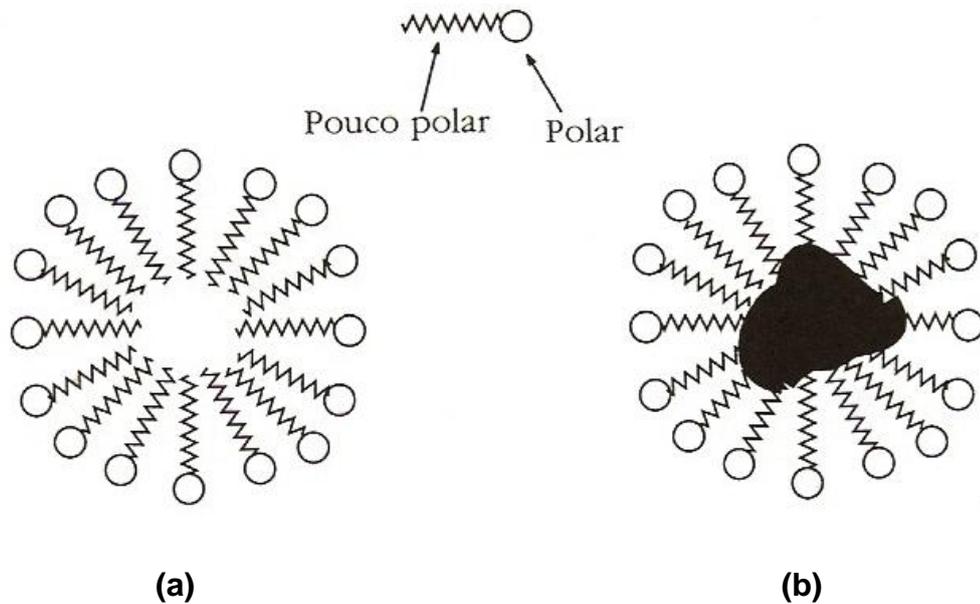
Durante a realização da prática alguns questionamentos podem ser feitos aos estudantes para que eles tenham noção da estrutura química do sabão e do detergente, esclarecendo que suas moléculas são formadas por uma parte polar e

outra apolar, como é o caso do lauril sulfato de sódio e do estearato de sódio (figura 7). A cabeça polar atrai água e repele óleo e a cauda apolar atrai óleo e repele a água (BARBOSA, 2004)



**Figura 7 – Estrutura do lauril sulfato de sódio e do estearato de sódio (In:BARBOSA, 2004,p. 292 e 293)**

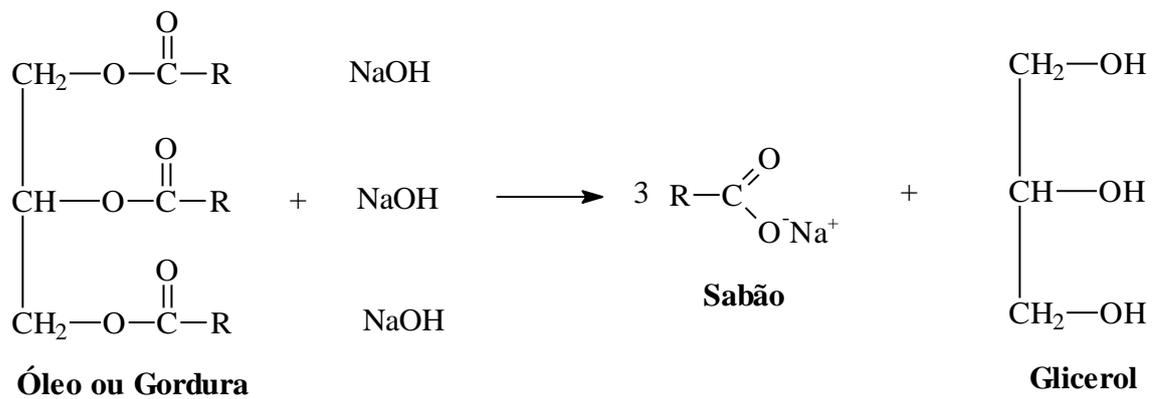
É possível questionar também porque ao acrescentar o sabão ou detergente é possível limpar um recipiente com gordura. A partir daí pode-se explicar que isto ocorre em decorrência da formação de interações intermoleculares entre a gordura e a parte apolar (hidrofóbica) do sabão ou do detergente. Já a parte polar (hidrofílica) do sabão ou do detergente interage com as moléculas de água. Ocorre a formação de agregados denominados micelas (figura 8). A superfície interna da micela é pouco polar e dissolve gorduras e outros compostos pouco polares. Já a superfície externa é muito polar, o que permite a solubilização em água, eliminando assim a sujeira, ou seja, a gordura (BARBOSA, 2004).



**Figura 8 – a) Representação esquemática de uma seção transversal de uma micela; e b) representação de uma gota de óleo dissolvida no interior de uma micela (In: BARBOSA, 2004, p. 293)**

A reação de obtenção do sabão é outro assunto que pode ser abordado. É importante descrever que normalmente os sabões são obtidos através da reação de hidrólise alcalina (reação com NaOH) de óleos ou gorduras, também chamada de reação de saponificação (figura 9).

As gorduras animais (de porco, de boi, de carneiro, entre outros) ou óleos ( de soja, de algodão, entre outros) são ésteres de ácidos carboxílicos de cadeia longa denominados ácidos graxos. Os lipídeos mais simples contendo ácidos graxos são os triacilgliceróis também chamado de triglicerídios (ITAMAR; BAPTISTA, 2009; SANTOS *et al.*, 2010)



**Figura 9 – Hidrólise alcalina de óleos e gorduras (in: ITAMAR; BAPTISTA, 2009, p.5)**

A reação do ácido graxo com NaOH ou Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> produz sabões de sódio mais duros e a reação com KOH ou K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> resulta em sabões de potássio mais moles e usados geralmente em creme de barbear.

## 9. CONCLUSÃO

A produção em larga escala dos biossurfactantes ainda é inviável do ponto de vista econômico, devido ao uso de métodos ineficientes e substratos caros. Entretanto, o problema econômico pode ser em parte resolvido através do uso de fontes alternativas de nutrientes, de baixo custo e de fácil disponibilidade. Os subprodutos agrícolas ou de processamento industrial seriam uma possível alternativa para a viabilização da produção. Assim, a produção de biossurfactante depende muito dos esforços no desenvolvimento de novas tecnologias de aplicação, dos processos de produção e no melhoramento das linhagens.

Por serem compostos de alta versatilidade, biodegradabilidade e de baixa toxicidade são ecologicamente corretos, e poderão substituir num futuro próximo os surfactantes sintéticos.

## REFERÊNCIAS

BARBOSA, Luiz Cláudio de Almeida. Introdução à Química Orgânica. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

BARROS; Francisco Fabio Cavalcante; QUADROS, Cedenir Pereira, JUNIOR, Mario Roberto Maróstica, PASTORE, Glaucia Maria. Surfactina, Propriedades químicas, tecnológicas e funcionais para aplicação em alimentos. **Química nova**, v. 30, nº.2, 2007, p. 409-414.

BARROS; Francisco Fabio Cavalcante; QUADROS, Cedenir Pereira; PASTORE, Glaucia Maria. Propriedades emulsificantes e estabilidade do biossurfactante produzido por bacillus subtilis em manipueira. **Ciência e tecnologia de alimento**, outubro/dezembro, 2008, p 979-985.

BUENO, Silvia; SILVA, Adriana; GARCIA-CRUZ, Crispim. Estudo da produção de biossurfactantes em caldo de fermentação. **Química nova**, v.33, nº.7, 2010, p. 1572-1577.

CASTIGLIONI, Gabriel; BERTOLIN, Telma; COSTA, Jorge. Produção de biossurfactantes utilizando resíduos agroindustriais como substrato. **Química nova**, v.32, nº.32, 2009, p. 292-295.

FERRARI, Joyce Domingos. **Utilização de Biossurfactantes e Surfactantes Químicos para Dessorção de Oleo presente em Vermiculita Hidrofobizada: estudo comparativo**. 2008. 53p. Monografia – Unesp Campus de Rio Claro, São Paulo, Rio Claro, 2008.

FONTES, Gizele Cardoso; AMARAL, Priscila Filomena Fonseca; COELHO, Maria Alice Zarur. Produção de biossurfactante por levedura. **Química nova**, v.31, nº.8, 2008, p. 2091-2099.

GALÃO, Olívio Fernandes; BUENO, Eliana Aparecida Silicz; BORSATO, Dionisio; ALMEIDA, Flaveli Aparecida de Souza; MOREIRA, Ivanira; MARTINS, Antonio. A química no ensino médio tendo detergente como tema motivador. **Ciências Exatas e Tecnológicas**, v.24, dezembro, 2003, p. 85-92.

GOLVEIA, Ester Ribeiro; LIMA, Danielle Patrice Alexandre; DUARTE, Maria do Socorro; LIMA, Glaucia Manoella de Souza; ARAÚJO, Janete Magali. Produção de biossurfactantes por bactérias isoladas de poços de petróleo. **Biociência e Desenvolvimento**, janeiro/junho, 2003, p. 39-45.

GONÇALVES, Jose. **Produção de biossurfactantes a partir de co-produto da indústria de biodiesel**. 2009. p 61 Coordenadoria de iniciação científica Pró-reitoria de pos graduação e pesquisa – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, São Carlos, 2009.

GUIMARÃES, Cleidson Carneiro. Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa, **Química Nova na Escola**, v. 31, nº 3, agosto, 2009, p. 198-202.

ITAMAR, Schimanko; BAPTISTA, Joice de Aguiar. Reciclagem de Oleo Comestível na produção de Sabão:Uma proposta Ecologica Para o ensino médio. In: XVI Encontro Centro-Oeste de Debates sobre Ensino de Química Brasília Brasil, 2009.

JÚNIOR, Wilmo E. Francisco. Uma Abordagem Problematizadora para o Ensino de Interações Intermoleculares e Conceitos Afins, **Química Nova na Escola**, nº 29, Agosto, 2008, p. 20-23.

KREPSKY, Natascha. **Produção de Biossurfactantes por Consórcio Bacterianos Hidrocarboclasticos**. 2004. 140p. Dissertação (Mestrado). Biologia Marinha-Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Niterói, 2004.

LIMA, Crintian Jacquer Bolner. **Produção de biossurfactantes por *Pseudomonas aeruginosa* empregando óleo de soja residual**. 2007. 190p. tese (Doutorado). Apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Química-Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Uberlândia, 2007.

LUNA, Juliana Moura; RUFINO, Raquel Diniz; SARUBBO; Leonice Asfora; TAKAKI, Galba Maria de Campos. Produção de Biossurfactantes em meio de baixo custo formulado com água do mar. **Exacta**, v.6, nº. 2, julho/dezembro 2008, p. 209-215.

MELLO SILVA, Fernanda Queiroz. **Produção de biossurfactantes por bactérias isoladas de sedimentos de mangue**. 2004. 65p. Monografia – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Niterói, 2004.

NETO, Erico Teixeira; MALTA, Marcos Maziero; SANTOS, Ronaldo Gonçalves. Medidas de tensão superficial pelo método de contagem de gotas: Descrição do método e experimentos com tensoativos não-iônicos etoxilados. **Química nova**, v.32, nº.1, 2009, p. 223-227.

NITSCHKE, Marcia; PASTORE Glauca Maria. Biossurfactante propriedades e aplicações. **Química nova**, v.25, nº. 5, março, 2002, p. 772-776.

NITSCHKE, Marcia; PASTORE Glauca Maria. Biossurfactantes a partir de resíduos agroindustriais. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, julho/dezembro, 2003, p. 63-67.

PEIXOTO, Renata de Melo. **Bioprospeção de microrganismos do gênero *Pseudomonas* produtores de biossurfactantes**. 2008. 98p. Dissertação

(Mestrado)-Instituto de Ciências Biomédicas- Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2008.

PINTO, Marta; MARTINS, Roberta; COSTA, Jorge. Avaliação cinética da produção de biossurfactantes. **Química nova**, v.32, nº. 8, 2009, p. 2104-2108.

PERÔLLO, Maria Paula Santos. **Estudo da produção de Biossurfactantes utilizando Hidrocarbonetos**. 2006. 73p. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista, São Paulo, RioClaro, 2006.

ROSSMANN, Maike. **Otimização da produção e Propriedades Tensoativas de Biossurfactantes em meio a base de melaço e manipueira**. 2008. 112p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Viçosa, 2008.

SANTANA, Celiane Pereira; SILVA, Flavio Luiz Honorato; ALMEIDA, Mércia Melo. Estudo da produção de biossurfactante utilizando como substrato o fruto da palma forrageira. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009, Uberlândia, Brasil. **Anais VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**. Julho, 2009.

SANTOS, Avaliação da potenciabilidade do uso de biossurfactante na biorremediação de solo contaminado por óleo cru. In: XI seminário de iniciação científica, 2003. Minas Gerais. Brasi. **Resumos**. Minas gerais:UFOP, 2003res. 120.

SANTOS, Michelly, C; MORAIS, Aline P; LEMES, Maykon, A; LIMA, Emilia, C.D; OLIVEIRA, Anselmo, E. Adsorção e Propriedades de volumes de misturas Binárias Água e Alcool: um experimento didático com base em medidas de tensão superficial. **Química nova**, v.33, nº. 7, 2010, p. 1598-1602.

SILVA LIMA, Tânia Maria. **Produção de Biossurfactantes visando ao tratamento de Borra Oleosa**. 2003. 81p. Dissertação (Magister Scientiae). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Viçosa, 2003.

SILVA, Patrícia Andréa Cordeiro. **Influencia dos Parâmetros Físico-Químicos nas Propriedades e na Produção de Biossurfactantes Isolados do Gênero Cândida**. 2008. 77p. Dissertação (Mestrado) – Pró-reitoria Acadêmica - Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco, 2008.

SILVA, Thayse Alves de Lima; ARAÚJO, Hélvia Walewska Casulla; TAMBOURGI, Elias; SILVA, Carlos Alberto Alves; TAKAKI, Galba Maria de Campos. Potencial Tecnológico de uma nova Linhagem de *Pseudomonas fluorescens* na produção de biossurfactante utilizando petróleo como substrato. **Exacta**, v.7, nº. 1, 2009. p. 31-37.

SILVA, Thayse Alves de Lima; LUNA, Juliana Moura; MORAES FILHO, Marcos Antonio; TAMBOURGI, Elias Basile; TAKAKI, Galba Maria de Campos. Produção de biossurfactantes por *Pseudomonas fluorescens* UCP 1514 utilizando milhocina como substrato. **Exacta**, v.8, nº. 1, 2010, p. 19-26.

TONINI, Rita Maria Costa Wotler; REZENDE, Carlos Eduardo; GRATIVOL, Adriana Daudt. Degradação e Biorremediação de Compostos do Petróleo por Bacterias **Oecologia Australis** V.14, nº. 4, dezembro, 2010, p. 1025-1035.

VALENTIM, Diego. **Produção de Biossurfactante por *Flavobacterium sp.* A partir de Oleo de soja Residual e Fertilizante Comercial**. 2009. 88p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

VANCE-HARROP, Mabel Hanna. **Potencial Biotecnológico de *Candida lipolytica* na produção de biossurfactantes, nos processos de remoção e bissorção do Pireno (derivados do petróleo)**. 2004. Tese (Doutorado). Micologia-Universidade Federal de pernambuco, Recife, 2004.