UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA – EEL

GIOVANI DE OLIVEIRA

# Surfactantes da indústria para o dia a dia, saúde e meio ambiente.

Lorena
2019

GIOVANI DE OLIVEIRA

# Surfactantes da indústria para o dia a dia, saúde e meio ambiente.

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo como requisito para conclusão da Graduação do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Kondracki de Alcântara

Lorena
2019

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado
da Escola de Engenharia de Lorena,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

de Oliveira, Giovani
Surfactantes da indústria para o dia a dia, saúde e meio ambiente. / Giovani de Oliveira; orientador Marco Aurélio Kondracki de Alcântara. - Lorena, 2019.
69 p.

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Química - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2019

1. Surfactante. 2. Indústria. 3. Toxicidade. 4. Meio ambiente. 5. Saúde. I. Título. II. Alcântara, Marco Aurélio Kondracki de, orient.

# RESUMO

OLIVEIRA, G. **Surfactantes da indústria para o dia a dia, saúde e meio ambiente.** 2019. 69 p. Monografia (TCC) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019.

É um fato que surfactantes estão presentes no dia a dia de quase todas as pessoas, em sabões e detergentes, além de vários outros produtos. Porém, informações sobre danos aos seres humanos e meio ambiente devido ao uso ou descarte de surfactantes encontram-se muito dispersas. Este trabalho reúne informações sobre surfactantes tais como: utilização industrial, produtos de uso diário, problemas ambientais, toxicidade para o ser humano e alternativas biodegradáveis e menos tóxicas que podem substituir surfactantes mais poluentes. Ao longo deste trabalho são apresentados dados sobre surfactantes aniônicos, não-iônicos, catiônicos e anfóteros, com um detalhamento dos dados de bibliografia, informações industriais e trabalhos acadêmicos que tratam especificamente de cada surfactante, apresentando um conhecimento geral sobre surfactantes e alternativas ao uso de certos surfactantes que são mais tóxicos e poluentes que outros para a mesma função.

Palavras-Chave: Surfactante, Indústria, Toxicidade, Meio Ambiente, Saúde, Tensoativo.

# ABSTRACT

OLIVEIRA, G. **Surfactants of the industry for the day to day, health and environment.** 2019. 69 p. Monograph (TCC) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019.

In fact, surfactants are present in the daily lives of almost all people, in soaps and detergents, as well as several other products. However, information on damage to humans and the environment due to the use or disposal of surfactants are very scattered. This work gathers information on surfactants such as: industrial use, daily products, environmental problems, human toxicity and biodegradable and less toxic alternatives that can replace more polluting surfactants. Throughout this work are presented data on anionic, cationic, non-ionic and amphoteric surfactants, with a detailed bibliography data, industrial information and academic works that deal specifically with each surfactant, presenting a general knowledge about surfactants and alternatives to using of certain surfactants that are more toxic and polluting than others for the same function.

Keywords: Surfactant, Industry, Toxicity, Environment, Health, Tensoactive.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação simplificada de um surfactante, sendo a parte retangular a cauda e o círculo a cabeça.....15
Figura 2: Comparação entre diferentes concentrações de surfactante em solução aquosa. .....15
Figura 3: Adsorção de moléculas de surfactante (a) em uma interface água-óleo, (b) em uma superfície lipofílica. .....16
Figura 4: Representação simplificada das diferentes classificações dos surfactantes. .....17
Figura 5: Tetrapropileno benzeno sulfonato de sódio (ABS). .....20
Figura 6: 5-Dodecil benzeno sulfonato de sódio (LAS). .....21
Figura 7: Dodecil sulfato de sódio. .....22
Figura 8: N-dodeciltetraetoxisulfato de sódio (SLES). .....23
Figura 9: Dodecil Sulfonato de α-Olefina, Sal de Sódio. .....24
Figura 10: Sulfonato de Petróleo. .....25
Figura 11: Dodecil sulfonato de sódio. .....26
Figura 12: Fragmento de sulfonato de lignina. .....27
Figura 13: Sulfonato de éster metílico (MES). .....28
Figura 14: Dodecil tetraetoxi fosfato de sódio. .....28
Figura 15: Monoalquilsulfosuccinato de sódio etoxilado. .....29
Figura 16: Isetionato de sódio. .....29
Figura 17: Metilaciltaurato de sódio. .....30
Figura 18: Molécula de N-dodecanoilsarcosinato. .....31
Figura 19: Nonilfenolpentaetoxicarboxilato de sódio. .....31
Figura 20: Estearato de sódio. .....32
Figura 21: 9-mol Etoxilato de Dodecanol. .....33
Figura 22: Polietoxilato de Alquilfenol. .....34
Figura 23: Etoxilato de Nonilfenol. .....35
Figura 24: Polietilenoglicol. .....35
Figura 25: Éster de Ácido Graxo de PEG. .....36
Figura 26: Dietanolamida de Ácido Dodecanóico. .....37
Figura 27: Etoxilato de Estearil Amida. .....38

Figura 28: Etoxilato de Alquilamina. ..... 39
Figura 29: Monoestearato de Sorbitano. ..... 40
Figura 30: Monoglicerídeo. ..... 41
Figura 31: n-dodecil-β-D-glicopiranosídeo ($APG_{12}$). ..... 42
Figura 32: Estrutura de um Poloxâmero composto de dois blocos PEO e um bloco central PPO. ..... 43
Figura 33: Óxido de N,N - Dimetil Dodecil Amina. ..... 44
Figura 34: Sal de Amônio Quaternário. ..... 45
Figura 35: Brometo de N - Benzil - N,N – Dimetilalquil. ..... 47
Figura 36: Éster Quats. ..... 48
Figura 37: Estrutura do Imidazolínio. ..... 49
Figura 38: N-Aquil Aminoácido. ..... 50
Figura 39: N-Alquil Betaína. ..... 52
Figura 40: Cocamidopropil Betaína. ..... 53
Figura 41: Laurilanfodiacetato de di-sódio. ..... 54
Figura 42: Laurilanfodipropionato de di-sódio. ..... 54
Figura 43: Lauriminodipropionato de di-sódio ..... 55
Figura 44: Lecitina de Fosfatidilcolina. ..... 56
Figura 45: Lecitina de Fosfatidiletanolamina. ..... 56
Figura 46: Lecitina de Fosfatidilinositol. ..... 57

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| ABS | Alquil Benzeno Sulfonato |
| APG | Alquil Poliglicosídeos |
| ATP | Adenosina trifosfato |
| CAPB | Cocamidopropil Betaína |
| CMC | Concentração Micelar Crítica |
| LAS | Alquil Benzeno Sulfonato Linear |
| MES | Ésteres Metílicos Sulfonados |
| PEG | Polietileno glicol |
| PEO | Poli(Óxido de Etileno) |
| PPO | Poli(Óxido de Propileno) |
| Quats | Sais de Amônio Quaternário |
| SAS | Alquil Sulfonato Secundário |
| SLES | Lauril Éter Sulfato de Sódio |
| SLS | Lauril Sulfato de Sódio |

# LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|---|---|
| Da | Dalton |
| $DL_{50}$ | Dose Letal Mediana |

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO ..... 12
1.1 Contextualização ..... 12
1.2 Justificativa e Objetivo ..... 12
2 METODOLOGIA ..... 13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 14
3.1 Surfactante ..... 14
3.1.1 Introdução ..... 14
3.1.2 Classificação ..... 17
3.1.2.1 Surfactante Aniônico ..... 17
3.1.2.2 Surfactante Não-iônico ..... 17
3.1.2.3 Surfactante Catiônico ..... 18
3.1.2.4 Surfactante Anfótero ..... 18
3.2 Surfactantes Aniônicos ..... 19
3.2.1 Alquil benzeno sulfonatos ..... 19
3.2.2 Sulfatos de alquila ..... 21
3.2.3 Sulfatos de éter ..... 22
3.2.4 Sulfonato de α-Olefina ..... 23
3.2.5 Sulfonatos de petróleo ..... 24
3.2.6 Alquil sulfonatos ..... 25
3.2.7 Sulfonato de Lignina ..... 26
3.2.8 Sulfonatos de ésteres ..... 27
3.2.9 Ésteres de fosfato ..... 28
3.2.10 Ésteres de sulfosuccinato ..... 29
3.2.11 Ésteres de isetionato ..... 29
3.2.12 Tauratos de acila ..... 30

3.2.13 Aminoácidos N-Acilados ..... 30
3.2.14 Carboxilatos de Éter ..... 31
3.2.15 Sabão ..... 31
3.3 Surfactantes Não-Iônicos ..... 32
3.3.1 Álcoois Etoxilados ..... 32
3.3.2 Alquilfenóis Etoxilados ..... 33
3.3.3 Ácidos Etoxilados (Ésteres de PEG) ..... 35
3.3.4 Alcanolamidas de Ácido Graxo ..... 36
3.3.5 Amidas de Ácido Graxo Etoxiladas ..... 38
3.3.6 Aminas Etoxiladas ..... 38
3.3.7 Ester de Compostos Poli-hidroxi ..... 39
3.3.8 Alquil Poliglicosídeos ..... 41
3.3.9 Copolímeros em Bloco de Poli(Óxido de Etileno) e Poli(Óxido de Propileno) ..... 42
3.3.10 Surfactantes à base de Óxido de Amina ..... 43
3.4 Surfactantes Catiônicos ..... 44
3.4.1 Sais de Amônio Quaternário ..... 45
3.4.2 Sais de Alquil Dimetil Benzil Amônio ..... 46
3.4.3 Éster Quats ..... 47
3.4.4 Compostos Imidazolínios ..... 48
3.5 Surfactantes Anfóteros ..... 49
3.5.1 Alquil Aminoácidos ..... 50
3.5.2 Alquil Betaínas ..... 51
3.5.3 Alquilamido Betaínas ..... 52
3.5.4 Derivados Anfóteros de Imidazolina ..... 53
3.5.5 Lecitina ..... 55
3.6 Considerações Gerais ..... 57

4 CONCLUSÃO ..... 61
REFERÊNCIAS ..... 62

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Surfactantes, derivado do termo em inglês *surface active agent* ou agente ativo de superfície, também conhecido como tensoativos, são moléculas que reduzem a tensão superficial, devido a sua estrutura molecular distinta (JOSHI, 2017).

A evidência mais antiga de surfactantes parecidos com sabão é datada de 2800 AC na Babilônia antiga. Atualmente, a indústria de surfactantes está em crescimento acelerado devido a sua grande gama de aplicações, novas descobertas e novas formulações (JOSHI, 2017).

Os surfactantes não são apenas relacionados a sabonetes e detergentes, são muito utilizados em processos industriais que exigem estabilização de coloides, como em tratamento de metais, flotação mineral, pesticidas, produção de petróleo, formulações farmacêuticas, polimerização e industrias como: têxtil, tintas, entre outras (SHAN; BHATTARAI; CHATTERJEE, 2011).

A ampla gama de aplicações de surfactantes também pode causar efeitos colaterais ao ambiente e nos processos industriais. A forma do uso de surfactantes pode produzir poluição ambiental e levanta uma série de problemas para estações de tratamento de águas residuais (SHAN; BHATTARAI; CHATTERJEE, 2011).

## 1.2 Justificativa e Objetivo

Dentro deste cenário de grande quantidade de informações referentes aos surfactantes ainda existem muitas dúvidas sobre os reais perigos dessas moléculas. Grande quantidade de informação encontra-se dispersa em inúmeros estudos. Este trabalho, portanto, tem como principal objetivo reunir e comparar informações sobre quais surfactantes são mais utilizados industrialmente, quais são utilizados em produtos de uso diário das pessoas, quais são os possíveis problemas ambientais provocados por eles, se existe a possibilidade de alguns desses surfactantes serem tóxicos para os seres humanos, e também alternativas biodegradáveis e menos tóxicas que podem substituir surfactantes mais poluentes.

# 2 METODOLOGIA

Segundo a classificação de Antônio Carlos Gil (2002), o trabalho aqui apresentado tem natureza aplicada, de abordagem qualitativa, objetivos descritivos e o desenvolvimento por método de pesquisa bibliográfica.

A metodologia a ser desenvolvida no presente trabalho engloba uma extensa pesquisa bibliográfica em bases de dados como SciELO, ResearchGate, Elsevier, ScienceDirect, entre outras. Foram selecionados artigos, livros, informações industriais e trabalhos acadêmicos a fim de identificar os surfactantes, seus tipos, suas utilizações em produtos e industrias, sua toxicologia e a poluição os envolvendo, visando analisar como são utilizados globalmente e os perigos e riscos tanto para a saúde do ser humano quanto ao meio ambiente. A partir dos trabalhos selecionados foram agrupadas as informações mais pertinentes e imagens para melhor exemplificar cada caso apresentado.

# 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 3.1 Surfactante

### 3.1.1 Introdução

Surfactantes são os produtos químicos mais versáteis encontrados nas formulações modernas e um dos principais produtos utilizados nas formulações diárias, estes apresentam funções tais como: emulsificação, detergência, aumento da molhabilidade e difusão em meios, solubilizante, formador e removedor de espuma, biocida, antiestática, e inibidor de corrosão (HARGREAVES,2003).

A palavra “anfifílico” foi inventada por Paul Winsor e vem de duas palavras gregas. O prefixo *amphi* significa “duplo”, “de ambos os lados”, “em volta”, como em anfiteatro e anfíbio. E a palavra *philos* que expressa amizade ou afinidade, como em “filantropo” (amigo do homem), “hidrofílico” (compatível com água), e “filósofo” (amigo da sabedoria e/ou ciência) (SALAGER, 2002).

Uma substância anfifílica exibe afinidade dupla, que pode ser definida, pelo ponto de vista físico-químico, como dualidade polar-apolar. Uma molécula anfifílica consiste de duas partes: um grupo polar que contém heteroátomos como oxigênio (O), enxofre (S), fósforo (P) ou nitrogênio (N), incluindo grupos funcionais tais como álcool, tiol, éter, éster, ácido, sulfato, sulfonato, fosfato, amina, amida. Por outro lado, o grupo essencialmente apolar é, em geral, uma cadeia de hidrocarbonetos do tipo alquil ou alquilbenzeno, algumas vezes com átomos de halogênio ou de oxigênio não ionizados (SALAGER, 2002).

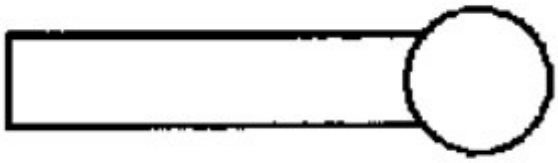
A parte polar exibe uma forte afinidade por solventes polares, particularmente a água, também chamada de parte hidrofílica ou hidrófila. A parte apolar é chamada de hidrofóbica ou lipófila (SALAGER, 2002).

Alguns compostos, como os ácidos graxos de cadeia curta, são anfifílicos. Estas moléculas formam monocamadas orientadas em interfaces e mostram atividade superficial (baixam a tensão superficial ou interfacial do meio em que são dissolvidos). Em alguns usos, os surfactantes são definidos como moléculas capazes de se associar para formar micelas (SCHRAMM; STASIUK; MARANGONI, 2003).

Moléculas de surfactantes, que são constituídas por grupos de cabeça polar, iônica ou não iônica, e por uma cauda com extensão apolar, em solução aquosa, aglomeram-se em micelas a concentrações acima da chamada concentração micelar crítica (CMC) (WETTIG; VERRALL, 2001).

Uma representação simplificada de um surfactante pode ser observada na Figura 1.

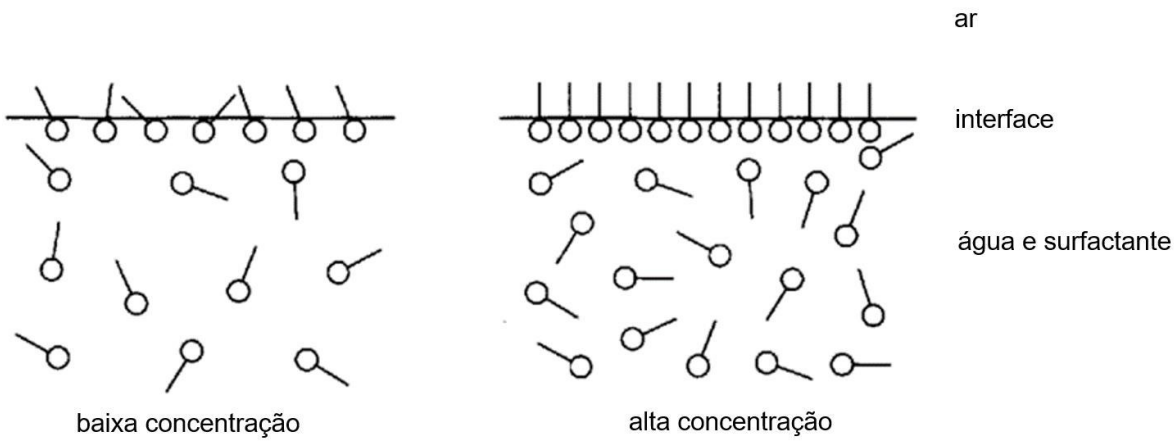
Figura 1: Representação simplificada de um surfactante, sendo a parte retangular a cauda e o círculo a cabeça.



Fonte: (SHAN; BHATTARAI; CHATTERJEE, 2013)

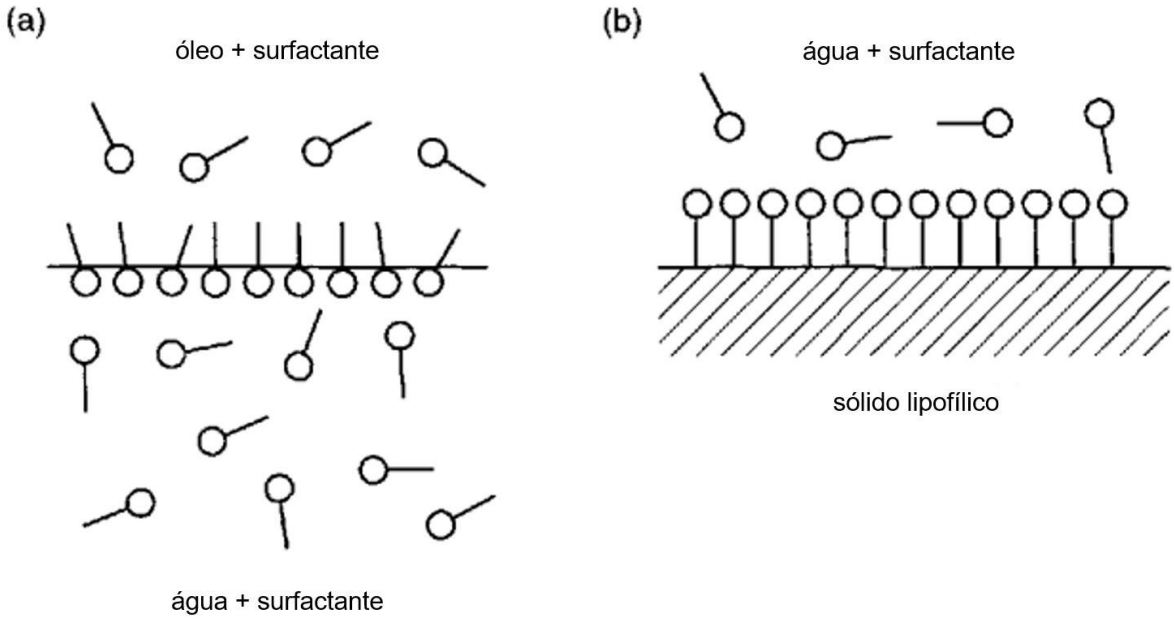
Moléculas de surfactantes adsorvem à superfície da água, com seus lipófilos orientados para longe da água. Em baixas concentrações, a orientação é aleatória e fica mais ordenada quanto mais moléculas estiverem disponíveis em concentrações mais elevadas (HARGREAVES,2003), como pode-se observar na Figura 2 e na Figura 3:

Figura 2: Comparação entre diferentes concentrações de surfactante em solução aquosa.




Fonte: (HARGREAVES,2003)

Figura 3: Adsorção de moléculas de surfactante (a) em uma interface água-óleo, (b) em uma superfície lipofílica.

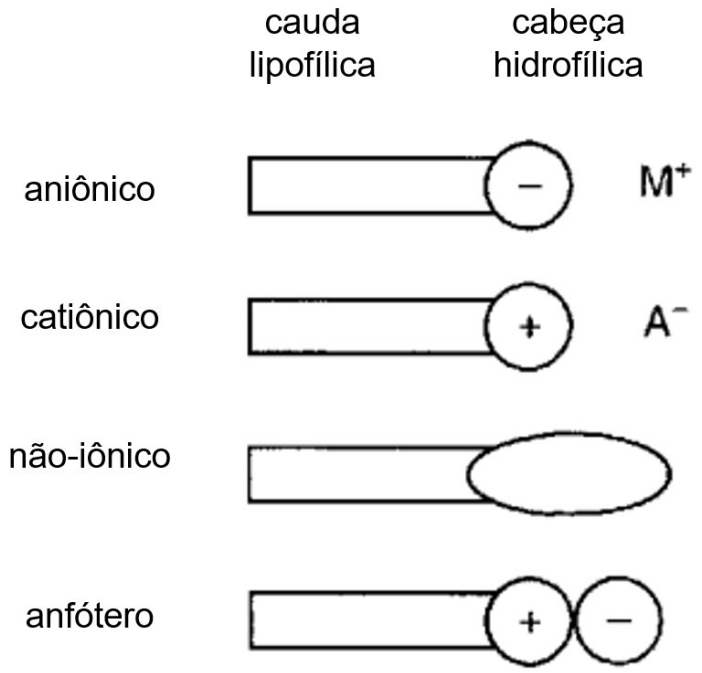



Fonte: (HARGREAVES,2003)

Em geral, o termo surfactante designa uma substância que exibe alguma atividade superficial interfacial. Vale a pena observar que nem todos os anfifílicos exibem tal atividade; na realidade, apenas anfifílicos com mais ou menos uma tendência equilibrada entre hidrofílico e lipofílico tendem a migrar para a superfície ou interface. Isso não acontece se a molécula anfifílica for muito hidrofílica ou muito hidrofóbica (SALAGER, 2002).

Os Surfactantes são divididos em grupos, dependendo da natureza dos seus grupos pertencentes a cabeça hidrofílica, esses grupos são: aniônico, catiônico, não-iônico e anfótero, estes os principais tipos de surfactantes hidrofílicos (HARGREAVES,2003), como exemplificado na Figura 4.

Figura 4: Representação simplificada das diferentes classificações dos surfactantes.




Fonte: (HARGREAVES,2003)

### 3.1.2 Classificação

#### 3.1.2.1 Surfactante Aniônico

Surfactantes aniônicos são dissociados em água em um ânion anfifílico e um cátion, que, geralmente, é um metal alcalino ($Na^+$, $K^+$) ou um amônio quaternário. São os surfactantes mais comumente usados e incluem alquilbenzeno sulfonados (detergentes), ácido graxo (sabões), lauril sulfato (agente espumante), dialquil sulfosuccinato (agente umectante), lignosulfonatos (dispersantes), etc. Os surfactantes aniônicos representavam cerca de 50% da produção mundial de surfactantes em 2002 (SALAGER, 2002).

Os surfactantes aniônicos possuem ampla utilização em detergentes para limpeza de louças, xampus, sabões em pó e líquidos tanto para o corpo quanto para roupas, pois possuem alto poder espumante, boas propriedades de limpeza, alta umectância e alta detergência (DALTIN, 2011).

#### 3.1.2.2 Surfactante Não-iônico

Surfactantes não-iônicos não ionizam em soluções aquosas, isso devido ao seu grupo hidrofílico ser do tipo não ionizável, como álcool, fenol, éter, éster ou amida.

Nas últimas décadas, foram introduzidos no mercado glicosídeos (baseados em açúcar), devido à sua baixa toxicidade. No que diz respeito ao grupo lipofílico este é frequentemente do tipo alquil ou alquilbenzeno (SALAGER, 2002).

Os produtos deste segmento apresentam diversas aplicações, com amplo conjunto de propriedades físico-químicas tais como: elevada resistência à dureza da água, alto poder de redução da tensão interfacial e superficial, e baixa irritabilidade aos olhos e à pele, entretanto apresentam menor poder de espuma e detergência (DALTIN, 2011).

Em conjunto com surfactantes aniônicos, para complemento das propriedades de limpeza, surfactantes não-iônicos são bastante utilizados na formulação de detergentes e possuem grande compatibilidade com a maioria das matérias primas utilizadas em cosméticos (DALTIN, 2011).

#### 3.1.2.3 Surfactante Catiônico

Surfactantes catiônicos são dissociados em água em um cátion anfifílico e um ânion, que na maioria das vezes é do tipo halogênio. Uma proporção muito grande dessa classe corresponde a compostos de nitrogênio, tais como sais de aminas graxas e amônia quaternária, com uma ou várias cadeias longas do tipo alquil, muitas vezes provenientes de ácidos graxos naturais (SALAGER, 2002).

São os surfactantes que apresentam a mais alta capacidade de aderência as superfícies sólidas, mesmo após a retirada da solução do surfactante. Possuem baixo poder detergente e podem ser usados em formulações como agentes antiestéticos, antibacterianos, coletor de flotação mineral, agente anticorrosivo para o aço; também são usados para limpeza industrial e institucional, amaciante e detergente (DALTIN, 2011).

Este tipo de surfactante geralmente é mais caro, em comparação com aniônicos, devido à realização de hidrogenação a alta pressão que deve ser realizada durante sua síntese (SALAGER, 2002).

#### 3.1.2.4 Surfactante Anfótero

Os surfactantes anfóteros (ou zwitteriônicos) são caracterizados por assumir uma carga líquida que depende do pH em que se encontra. Em pH elevado possuem carga líquida negativa, seu ácido carboxílico é neutralizado e são considerados aniônicos; em pH baixo uma amina terciária se torna protonada e o nitrogênio assume carga

positiva e forma um sal interno (zwitterion). Quando a molécula está na forma de zwitterion ela perde suas propriedades surfactantes (KLEIN; PALEFSKY, 2007).

Surfactantes zwitteriônicos são suaves e compatíveis com todas as outras classes de surfactantes, possuem boas propriedades de tensão superficial, concentração de partículas, umectância e penetração. Apresentam excelentes propriedades dermatológicas, sendo usados em formulações junto com surfactantes aniônicos para reduzir irritações dermatológicas causadas pelos produtos, e também são bastante aplicados em cosméticos e produtos de limpeza (DALTIN, 2011).

## 3.2 Surfactantes Aniônicos

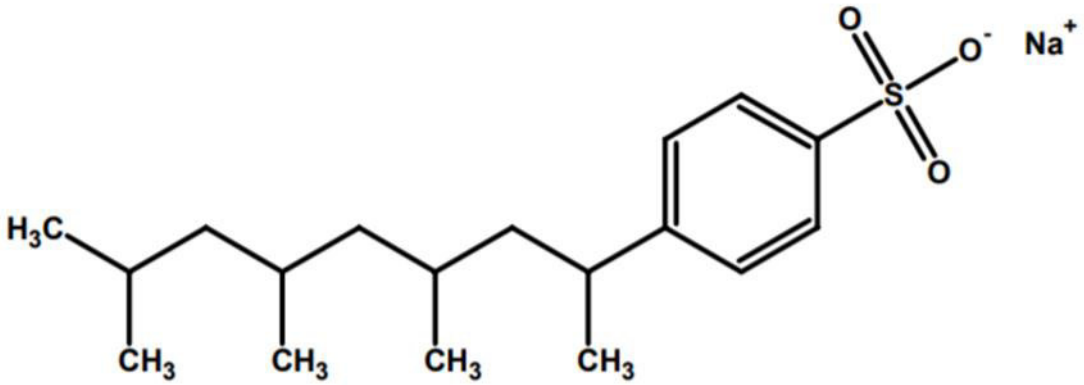
Os surfactantes aniônicos representam cerca de 50% do uso de surfactantes na Europa e cerca de 60% nos Estados Unidos. Em sua maioria possuem boas propriedades em formar espumas, mas são sensíveis a água dura. São mais eficazes que outros surfactantes na remoção de partículas, especialmente de tecidos naturais e são facilmente secos por spray-dryer e, portanto, são favorecidos para serem utilizados em detergentes em pó (SCHIMITT, 2001).

### 3.2.1 Alquil benzeno sulfonatos

O termo alquil benzeno sulfonato (ABS) é geralmente aplicado aos produtos de cadeia ramificada, que não são facilmente biodegradados. O ABS não é usado em países desenvolvidos, exceto para aplicações especiais, onde não atingirá as águas naturais (por exemplo, como um emulsificante para produtos químicos agrícolas) (SCHIMITT, 2001).

Na Figura 5 é ilustrada a estrutura molecular de um ABS:

Figura 5: Tetrapropileno benzeno sulfonato de sódio (ABS).




Fonte: (LITTLE, 2006)

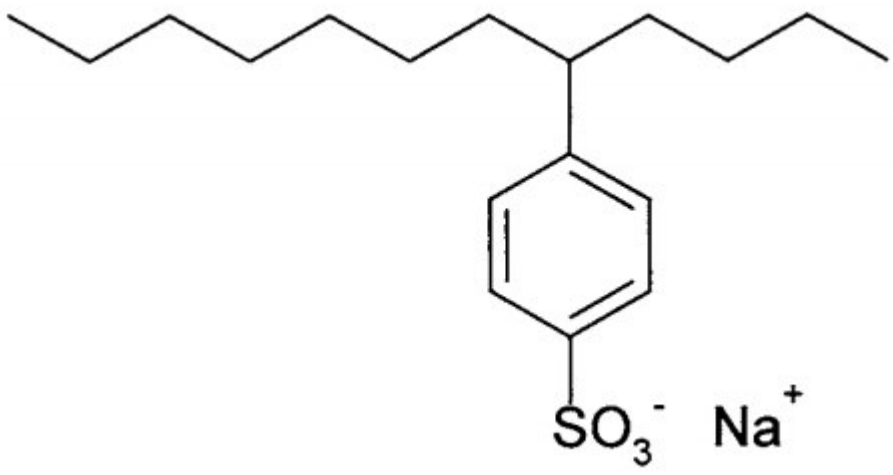
Segundo o experimento de Mastroti (1998), comparando a biodegradabilidade de quatro surfactantes aniônicos em água do mar, sendo estes: n-dodecilbenzeno sulfonato de sódio, tetrapropileno benzeno sulfonato de sódio (ABS), alquilbenzeno sulfonato de sódio linear e dodecilsulfato de sódio; o ABS apresentou um percentual de biodegradação bastante inferior aos demais, atigindo ao final do experimento 39,2% (MASTROTI, 1998).

Ao contrário do ABS, o alquil benzeno sulfonato linear (LAS) é rapidamente biodegradado sob condições aeróbicas. O LAS tem o menor custo dentre qualquer surfactante e é usado em todo o mundo e, adicionalmente, é sensível à dureza da água (SCHIMITT, 2001).

Na indústria, apesar de apresentar maior toxicidade do que o ABS, o LAS é frequentemente empregado como princípio ativo na fabricação de detergentes sintéticos e sabões em pó, devido a maior biodegradabilidade o LAS permanece por menos tempo na natureza (ABEL, 1974).

Na Figura 6 é ilustrada a estrutura molecular de um LAS:

Figura 6: 5-Dodecil benzeno sulfonato de sódio (LAS).




Fonte: (SCHIMITT, 2001)

O LAS pode causar efeitos quando inspirado, ao contato pode irritar a pele e os olhos causando possíveis danos aos olhos, a inspiração pode irritar o nariz, a garganta e os pulmões, causando tosse, chiado e/ou falta de ar (NEW JERSEY DEPARTMENT OF HEALTH AND SENIOR SERVICES, 2002).

O LAS é tóxico para a vida aquática sendo nocivo para a vida aquática com efeitos duradouros. Nenhum dado disponível indica que é mutagênico ou genotóxicos, não é considerado cancerígeno e não é esperado que este produto cause efeitos reprodutivos ou de desenvolvimento em animais (STEPAN, 2016).

Barbieri (2005) estudou o aumento da concentração do LAS no ambiente de tainhas (*mugil platanus*) e observou que o tempo de natação até o cansaço foi reduzido, enquanto que o consumo de oxigênio e as frequências de batimento opercular, das nadadeiras e tosse elevou-se a medida que a concentração de LAS se elevava no meio. Os animais apresentaram alterações significativas das médias após serem submetidos a concentrações entre 1,0 e 2,5 mg $L^{-1}$ (BARBIERI, 2005).

A $DL_{50}$ (dose letal mediana) oral de uma solução detergente contendo 15% de LAS é de 7,5 mL $kg^{-1}$ para ratos e 12,6 mL $kg^{-1}$ para camundongo. A dose letal para cães foi de 400 mL $kg^{-1}$; 100 mL $kg^{-1}$ não teve efeito (BECKER *et al*, 2010).

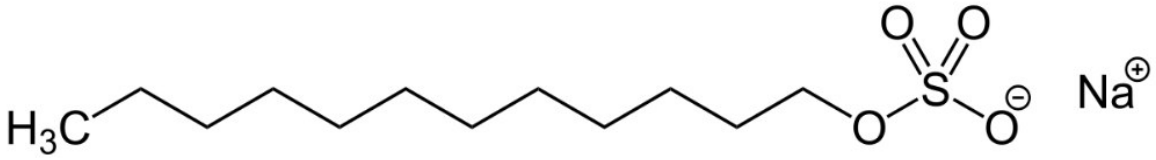
### 3.2.2 Sulfatos de alquila

Sulfatos de alquila, também chamados sulfatos de álcool, tem propriedades que variam com a distribuição do comprimento da cadeia alquílica. Eles tendem a ser

sensíveis à dureza da água, mas são amplamente utilizados em cosméticos e detergentes. O sulfato de álcool lauril é um dos principais ingredientes para shampoo para cabelo (SCHIMITT, 2001).

Na Figura 7 é ilustrado um sulfato de alquila.

Figura 7: Dodecil sulfato de sódio.




Fonte: (NIRAULA; BHATTARAI; CHATERJEE, 2014)

O lauril sulfato de sódio (SLS) é descrito como um forte agente oxidante e um composto altamente tóxico causando irritação respiratória, dos olhos e da pele. Os estudos indicaram que o SLS entra e mantém níveis residuais no coração, no fígado, nos pulmões e no cérebro quando em contato da pele. Isso representa uma séria ameaça à saúde pelo uso em xampus, produtos de limpeza e creme dental (NIRAULA; BHATTARAI; CHATERJEE, 2014).

O SLS é usado em quase todos os produtos de saúde, incluindo sabonetes, xampus, espuma de banho, pasta de dente, detergente para a roupa, sabonetes infantis e removedores de manchas, limpador de carpetes, cola de tecido, sabonete líquido, creme de barbear, rímel, sabonete líquido, loção hidratante e protetor solar (NIRAULA; BHATTARAI; CHATERJEE, 2014).

### 3.2.3 Sulfatos de éter

Os sulfatos de éter alquílico, também denominados etoxisulfatos de álcool, são preparados por adição de um a quatro grupos oxietileno a um álcool que é então sulfatado. A oxietilação aumenta a solubilidade em água e a formação de espuma gerando produto útil em xampus e em detergentes líquidos e em pó. Os sulfatos de éter não são tão sensíveis à dureza da água como outros surfactantes aniônicos (SCHIMITT, 2001).

Embora vários resultados de pesquisas sobre os perigos para a saúde do SLS e do Lauril Éter Sulfato de Sódio (SLES) sejam exibidas a cada ano, usuários não tem consciência desses perigos (EL-SHARKAWY, 2011).

SLS & SLES são comumente usados em sabonetes, xampus (para adultos e crianças), sabonetes líquidos, enxaguantes bucais, detergentes, loções e cremes como creme de barbear, pasta de dente e protetor solar. Empresas de manufatura os preferem por serem agentes espumantes baratos e muito eficazes (MARRAKCHI; MAIBACH, 2006).

Os mesmos produtos químicos são usados em detergentes, detergentes para a roupa, removedor de manchas, limpador de carpetes, lavagem de carros, desengraxador de motores de automóveis e limpador de chão de garagem (NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH, 2009).

Concentrações de SLS tão baixas quanto 0,5% podem causar irritação e concentrações de 10-30% causam corrosão na pele e irritação severa. Alguns sabonetes têm concentrações de até 30%. A reação cutânea ao SLS e ao SLES é influenciada pela duração da aplicação e concentração aplicada (CHARBONNIER *et al*, 2001).

Na Figura 8 é ilustrada a fórmula química de um SLES:

Figura 8: N-dodeciltetraetoxisulfato de sódio (SLES).

$$CH_3(CH_2)_{10}CH_2O(CH_2CH_2O)_4SO_3^- \quad Na^+$$

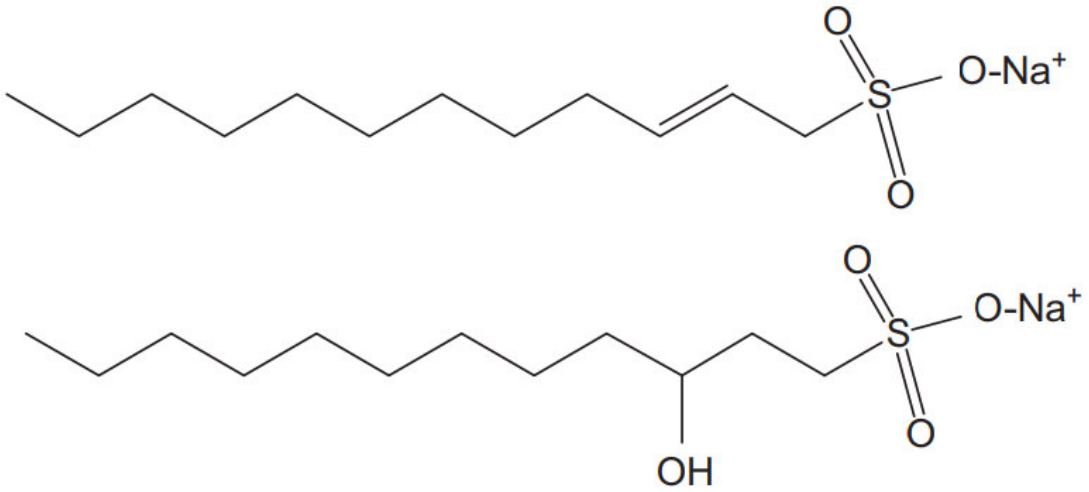
Fonte: (SCHIMITT, 2001)

### 3.2.4 Sulfonato de α-Olefina

Sulfonatos de α-Olefina são utilizados principalmente no Japão e nos EUA em detergentes em pó para roupas, detergentes líquidos e xampus para cabelos. Consistem em uma mistura de alceno sulfonatos e hidroxialcano sulfonatos, a cadeia carbônica linear pode conter de 11 a 20 carbonos com uma faixa usual com 14 a 18 carbonos (MADSEN *et al*, 2001).

Na Figura 9 é ilustrado um Sulfonato de α-Olefina:

Figura 9: Dodecil Sulfonato de α-Olefina, Sal de Sódio.




Fonte: (WIBBERTMANN *et al*, 2011)

Os Sulfonatos de α-Olefina são agentes de limpeza facilmente biodegradados, possuem alto grau de estabilidade química e boa solubilidade em água (LITTLE, 1993).

Quanto a sua toxicidade, em organismos vivos são eliminados principalmente na urina, com baixa toxicidade oral e apresentam propriedades irritantes sem potencial sensibilizante, não são cancerígenos. Não há indicação de efeitos adversos na reprodução (WIBBERTMANN *et al*, 2011).

Relatórios afirmam que a intervalo de 10-100 mg $L^{-1}$ de C14-18 Sulfonato de α-Olefina como sendo tóxico para o crescimento de algas (MADSEN *et al*, 2001).

### 3.2.5 Sulfonatos de petróleo

Os sulfonatos de petróleo são misturas obtidas pelo tratamento de frações de petróleo em alta temperatura com oleum, trióxido de enxofre ou ácido sulfúrico, seguido por uma neutralização (MÁRQUEZ *et al*, 1998).

Em geral, os sulfonatos de petróleo natural são misturas muito mais complexas quando comparados com sulfonatos sintéticos, principalmente devido ao fato do material natural possuir anéis condensados e anéis aromáticos, permitindo múltiplas sulfonações (MÁRQUEZ *et al*, 1998).

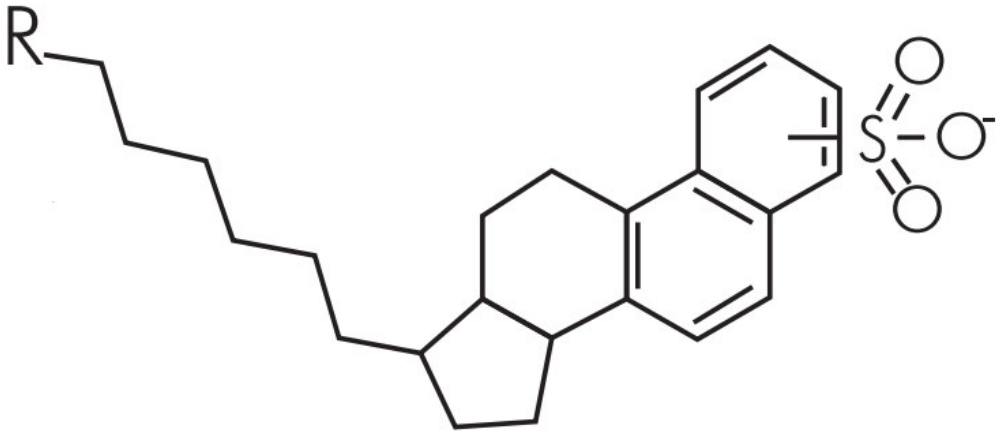
São utilizados em muitos produtos industriais como emulsificantes, dispersantes, agentes redutores de tensão superficial, detergentes e auxiliares de flutuação

(SALAGER, 2002). Também são amplamente utilizados como aditivos detergentes em óleos lubrificantes (FOSTER, 1997).

Na indústria petrolífera é possível extrair maiores quantidades de petróleo de uma reserva por técnicas avançadas, e uma delas é a injeção de formulações químicas contendo surfactantes. Entre os diferentes tipos de surfactantes, os sulfonatos de petróleo se destacam neste processo por razões económicas e práticas (CONTRERAS *et al*, 2014).

Na Figura 10 é retratado um exemplo de um sulfonato de petróleo:

Figura 10: Sulfonato de Petróleo.



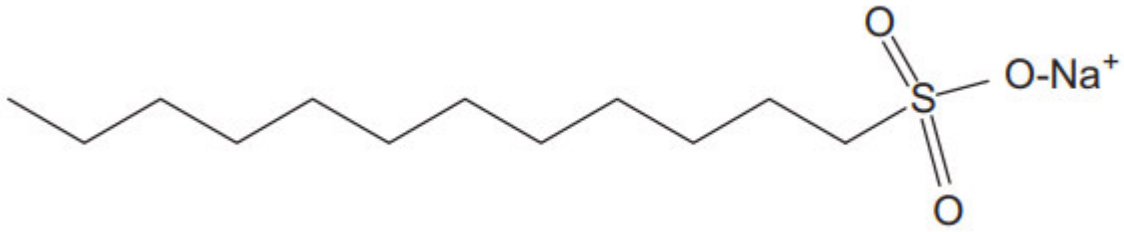

Fonte: (CONTRERAS *et al*, 2014)

### 3.2.6 Alquil sulfonatos

Estes são comumente chamados sulfonatos de parafina. Sua síntese comercial requer um investimento de capital relativamente alto, portanto eles não encontram aplicação mundial em detergentes domésticos. Eles têm alta biodegradabilidade, baixa toxicidade e, dependendo do comprimento da cadeia e do grau de sulfonação, razoavelmente boa solubilidade em água (SCHIMITT, 2001).

Na Figura 11 é exemplificado um alquil sulfonato:

Figura 11: Dodecil sulfonato de sódio.




Fonte: (WIBBERTMANN, 2011)

Alquil sulfonato secundário (SAS) puro é um irritante para a pele e olhos em coelhos, entretanto o potencial de irritação de soluções aquosas de SAS depende da concentração. Estudos em voluntários humanos indicam que o SAS até concentrações de 60% de matéria ativa não é um irritante significativo da pele em humanos. Os efeitos locais das soluções de lavagem das mãos contendo SAS não causam preocupação, uma vez que as concentrações de SAS em tais soluções são bem inferiores a 1% e, portanto, não se espera que sejam irritantes para os olhos ou para a pele (HERA, 2005).

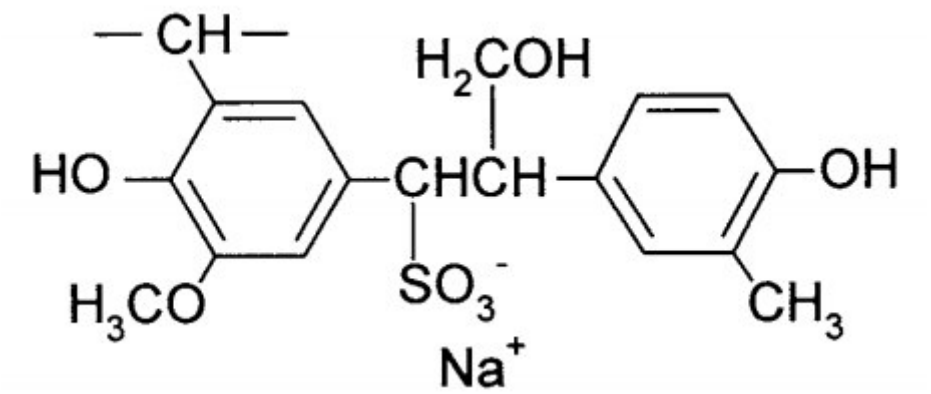
### 3.2.7 Sulfonato de Lignina

Os lignosulfonatos são aplicados em estradas, usados em rações para animais e convertidos em alimentos para humanos por mais de 30 anos sem problemas devido as seguintes propriedades: não há dioxinas presentes, nenhum outro produto orgânico presente em níveis perigosos, baixa ordem de toxicidade para peixes, não tóxico oral e não irritante para a pele ou olhos de animais, nenhum problema de saúde humana atribuído à exposição, e toxicidade muito baixa para plantas (ADAMS, 1988).

Eles encontram uma variedade de usos como emulsificantes de baixo custo em áreas como processamento de minério e produtos químicos em campos petrolíferos. Tanto o pó seco quanto as soluções aquosas são vendidos, geralmente sem especificações. Alguns produtos purificados encontram seu caminho em aplicações de maior valor, como formulações de pesticidas (SCHIMITT, 2001).

Na Figura 12 é demonstrado um fragmento de sulfonato de lignina.

Figura 12: Fragmento de sulfonato de lignina.




Fonte: (SCHIMITT, 2001)

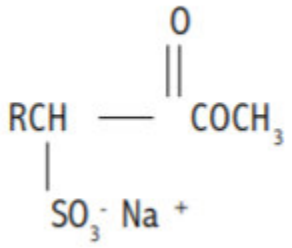
### 3.2.8 Sulfonatos de ésteres

Os ésteres metílicos sulfonados (MES), sais de sódio, exibem uma série de propriedades úteis, o que os torna atraentes para várias aplicações: excelente biodegradação; excelente estabilidade da dureza da água que permite que sejam formuladas em regiões de águas duras; muito boa capacidade de dissolver espuma de sabão de cálcio; excelente compatibilidade com a pele, o que os torna potencialmente muito bons para formulações para lavagem de mãos e produtos para cuidados com o corpo; muito boa molhabilidade; bom poder detergente e viscosidade muito baixa de suas soluções aquosas (em concentrações comparáveis às de outros surfactantes), o que os torna fáceis de manusear e bombear (IVANOVA, 2016).

Sulfonatos de éster metílico de sódio com posicionamento aleatório do grupo $SO_3$ na cadeia alquílica, foram sintetizados para aumentar a solubilidade em água desta classe de surfactantes. São usadas em formulações de limpeza, como pós detergentes sem fosfatos e em formulações viscosas, em mistura com nanopartículas. Os ésteres metílicos sulfonados são considerados uma alternativa ambientalmente correta e tolerante ao cálcio dos LAS (IVANOVA, 2016).

Na Figura 13 é demonstrado um exemplo genérico de MES:

Figura 13: Sulfonato de éster metílico (MES).




Fonte: (GHAZALI, 2002)

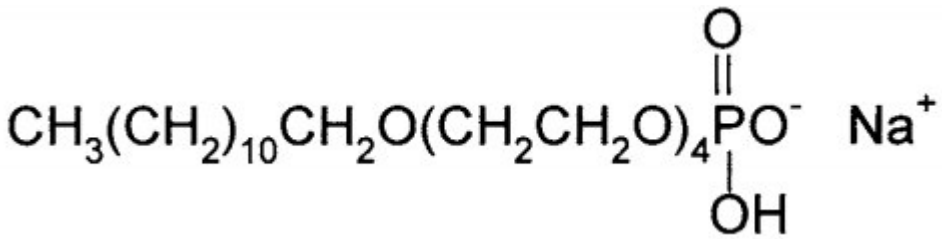
### 3.2.9 Ésteres de fosfato

Em termos muito gerais, ésteres de aril fosfatos são facilmente ou inerentemente biodegradáveis. Podem hidrolisar, particularmente em pHs altos ou baixos, tem baixa solubilidade em água e pressões de vapor. Os aril ésteres de fosfato adsorvem fortemente nas lamas e nos sedimentos o que não os tornam móveis no solo. O potencial de absorção e acumulação das substâncias pelos peixes e outros organismos aquáticos parece ser moderado (ENVIRONMENT AGENCY, 2009).

Muitos membros desta classe têm excelente compatibilidade com a pele e são usados em cosméticos como emulsionantes. Processos comerciais geralmente dão uma mistura de monoésteres e diésteres. Os monoésteres tendem a ter melhor detergência e são melhores formadores de espuma, enquanto os diésteres são melhores emulsificantes. Produtos especiais baseados em alquilfenoletoxilados também estão disponíveis para aplicações industriais (SCHIMITT, 2001).

Na Figura 14 é ilustrada uma molécula de éster de fosfato:

Figura 14: Dodecil tetraetoxi fosfato de sódio.



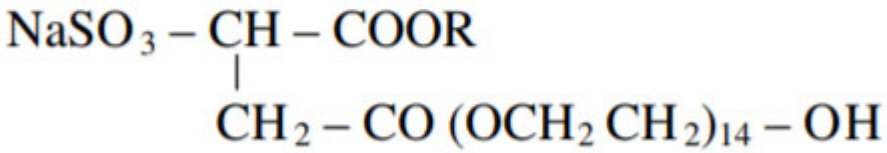

Fonte: (SCHIMITT, 2001)

### 3.2.10 Ésteres de sulfosuccinato

Os sais de alquilsulfosuccinato são utilizados em cosméticos como surfactantes (GOTTSCHALCK; BRESLAWEC, 2012). Sais de dialquil sulfosuccinato são seguros nas práticas de uso e concentração em cosméticos quando formulada para ser não irritante. Entretanto os sais de dialquilsulfosuccinato podem melhorar a penetração de outros ingredientes a pele e deve-se ter cuidado ao formular produtos cosméticos que possam conter esses ingredientes em combinação com quaisquer ingredientes cuja segurança foi baseada na falta de dados de absorção dérmica, ou quando a absorção dérmica foi uma preocupação (FIUME; HELDRETH, 2013).

Na Figura 15 é representado um alquilsulfosuccinato.

Figura 15: Monoalquilsulfosuccinato de sódio etoxilado.




Fonte: (SABAGH, 2007)

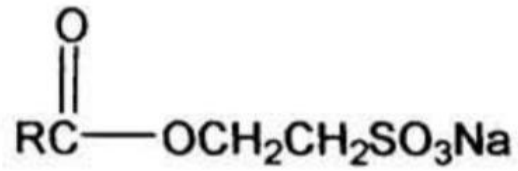
### 3.2.11 Ésteres de isetionato

Os surfactantes sintéticos, como o isetionato de sódio, são geralmente mais suaves do que os surfactantes aniônicos presentes nos sabões (CASSIDAY, 2016).

Excelente suavidade para a pele, produzem uma espuma densa, estável, rica e cremosa, possuem boa tolerância à água dura. Excelente perfil eco tóxico. Fácil de manusear na forma física e ideal para uso em barras de limpeza, e produtos que entram em contato com a pele (CLARIANT, 2009).

Na Figura 16 é exemplificada uma molécula de isetionato.

Figura 16: Isetionato de sódio.



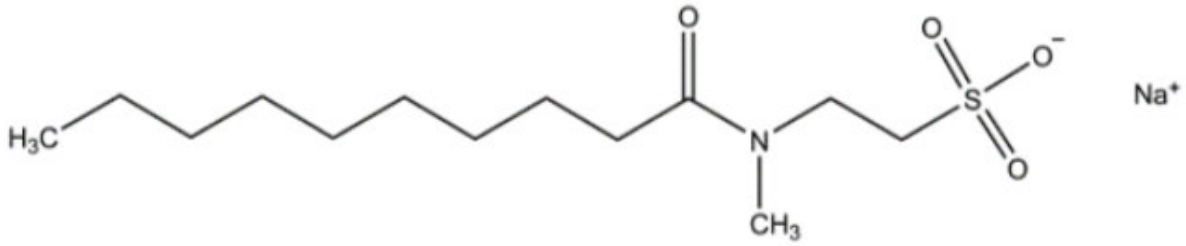

Fonte: (SUN; PARR; ERICKSON, 2003)

### 3.2.12 Tauratos de acila

Metilaciltaurato de sódio é um surfactante aniônico sem sulfato, com principais usos para lavagem facial, xampus, formulações de sabão de ácido graxo de alto pH, higiene íntima, corantes capilares e tratamento anti-acne com pH baixo, pois produz espuma na presença de sebo, engrossa com anfóteros e sal em pH baixo. É estável em amplos intervalos de pH (entre 3 e 11). Pode ser usado para fazer xampus e lavagens faciais de pH baixo (GOUGH, 2017).

Na Figura 17 é exemplificado um metilaciltaurato de sódio.

Figura 17: Metilaciltaurato de sódio.




Fonte: (BECKER, 2016)

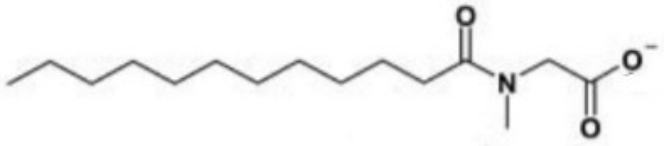
### 3.2.13 Aminoácidos N-Acilados

Esses surfactantes especiais têm sido usados em pastas de dentes, xampus e limpadores de mãos como estimuladores de espuma. Ao contrário da maioria dos surfactantes aniônicos, eles são compatíveis com surfactantes catiônicos. Estes também são às vezes classificados como surfactantes anfotéricos (SCHIMITT, 2001).

O N-dodecanoilsarcosinato é um surfactante suave e ecologicamente correto, derivado de sarcosina e palmácea ou óleo de coco. Oferece boa espuma, limpeza, e compatibilidade com mucosa e pele (PONTRYAGINA; MILLER; PLETNEV, 2015).

Na Figura 18 é ilustrado um aminoácido n-acilado:

Figura 18: Molécula de N-dodecanoilsarcosinato.




Fonte: (OSHIMURA; YAMASHITA; SAKAMOTO, 2007)

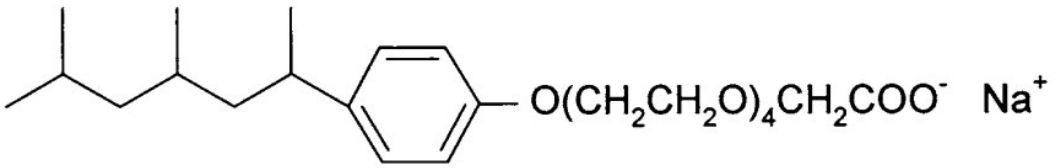
### 3.2.14 Carboxilatos de Éter

Os carboxilatos de éter são surfactantes suaves, ideais para uso em uma ampla gama de formulações de cuidados pessoais, de solubilização aprimorada de óleos a melhor deposição catiônica. Possui como principais benefícios serem materiais versáteis, com excelentes relações custo/desempenho, suavidade superior, compatibilidade com materiais aniônicos, catiônicos, não-iônicos ou anfóteros, excelentes propriedades solubilizantes e emulsionantes, potente capacidade hidrotrópica de acoplamento, estabilidade ao longo de uma ampla faixa de pH, excelente tolerância a eletrólitos/água dura (CLARIANT, 2009).

A biodegradabilidade é semelhante à dos etoxilatos correspondentes (SCHIMITT, 2001).

Na Figura 19 é exemplificado um carboxilato de éter:

Figura 19: Nonilfenolpentaetoxicarboxilato de sódio.




Fonte: (SCHIMITT, 2001)

### 3.2.15 Sabão

Os sabões são geralmente produzidos de ácidos graxos neutralizados com várias bases, resultando em um sal ácido; um sabão muito comum é o estearato de sódio. Sabões são, em sua maioria, solúveis em água e apresentam fortes propriedades

surfactantes. A solubilidade e as propriedades tensoativas podem ser ajustadas pela natureza e combinação dos ácidos graxos e contra íons (SVENSSON, 2010).

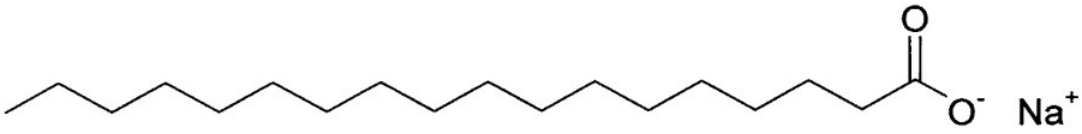
A capacidade dos sabões de ácidos graxos de adsorverem seletivamente partículas sólidas em solução aquosa é usada em muitas aplicações, como lubrificação, indústria de papel e purificação de minerais (SVENSSON, 2010).

Inicialmente os sabões comerciais possuíam pH alto (geralmente superior a 10) e surfactantes agressivos o que os tornavam potencialmente irritantes para a pele. Os surfactantes aniônicos, embora muito eficazes causam mais irritação à pele do que outras classes de surfactantes devido ao seu potencial de danificar a camada mais externa da epiderme (CASSIDAY, 2016).

Pesquisadores estimam que 2,5% do detergente permanece no tecido para uma lavagem que consome 60 L de água e tem m ciclo intermediário de centrifugação entre o primeiro e o segundo enxágue. O desafio do formulador é minimizar a irritação da pele mantendo a eficiência e estética do produto, os esforços principais se concentram na redução do pH do produto (CASSIDAY, 2016).

Na Figura 20 é ilustrada a molécula do estearato de sódio:

Figura 20: Estearato de sódio.




Fonte: (SCHIMITT, 2001)

## 3.3 Surfactantes Não-Iônicos

Surfactantes não-iônicos são amplamente utilizados em indústrias têxteis, de papel, alimentícia, de plásticos, vidro, medicamentos, pesticidas corantes, entre outras. Possuem desempenho muito maior que os surfactantes iônicos e sua produção mundial é a segunda maior, perdendo apenas para a dos surfactantes aniônicos (YUAN, 2014).

### 3.3.1 Álcoois Etoxilados

Os etoxilatos de álcool são produtos químicos de alto volume de produção usados globalmente em detergentes e produtos de cuidados pessoais. Os etoxilatos de álcool

comerciais, geralmente, consistem em uma mistura de vários homólogos de comprimento de cadeia carbônica variável e grau de etoxilação (SANDERSON, 2013).

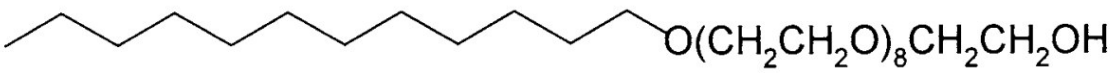
Como a maioria dos etoxilatos de álcool é usada em produtos de limpeza e detergentes, o maior destinatário destes é o ambiente aquático, por meio de efluentes domésticos (HOLT, 1992). Um caminho adicional para a exposição ambiental dos etoxilatos de álcool é através da aplicação direta em solos, como no lodo de esgoto (NIELSEN, 2002).

Processos de degradação natural e técnicas de tratamentos de águas residuais removem uma grande proporção de etoxilatos de álcool da água, no entanto, ainda há potencial para a exposição aquática (MCAVOY, 2001).

Quando aplicados à superfície dos corpos d'água, os etoxilatos de álcool podem formar um filme que altera a tensão superficial da água, afetando a respiração de invertebrados aquáticos. Nas células das algas, acredita-se que o surfactante desnature e se ligue às proteínas da parede celular, alterando a permeabilidade da membrana celular a nutrientes e produtos químicos (ENVIRONMENT CANADA, 2013).

Na Figura 21 é exemplificado um etoxilato de álcool:

Figura 21: 9-mol Etoxilato de Dodecanol.




Fonte: (SCHIMITT, 2001)

### 3.3.2 Alquilfenóis Etoxilados

Etoxilatos de alquilfenol são alquilfenóis ligados a uma cadeia etoxi através de seus grupos hidroxila (KAYAMA; HORIGUCHI; HAMAMATSU, 2003). Os etoxilatos de alquilfenol são uma das classes de surfactantes mais usadas, em 2002 eram o terceiro maior grupo de surfactantes do mundo em termos de produção e uso. Podem ser usados como detergentes, agentes umectantes, dispersantes, emulsificantes, solubilizadores e agentes formadores de espuma. São importantes para várias aplicações industriais incluindo: papel e celulose, têxteis, revestimentos, pesticidas agrícolas, óleos lubrificantes e combustíveis, metais e plásticos (KOVAROVA *et al*, 2013).

Os etoxilatos de alquilfenol são biodegradados pela remoção dos grupos etoxi. Esses metabólitos frequentemente persistem através do tratamento de esgoto e nos rios (WARHURST, 1994).

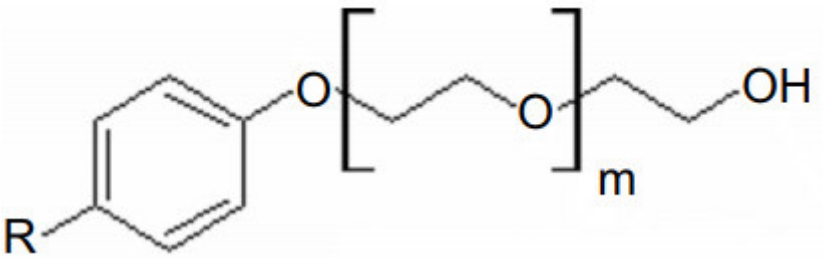
Estudos indicaram que detergentes contendo etoxilatos de alquilfenol usados em fábricas de processamento de lã, particularmente os que produzem metabólitos do grupo nonilfenol (KAYAMA; HORIGUCHI; HAMAMATSU, 2003). Etoxilatos de nonilfenol tem sido tradicionalmente a principal fonte de nonilfenol no ambiente aquático (LASSEN *et al*, 2013).

Lodo de esgoto ativado pode degradar os etoxilatos de alquilfenol, resultando na liberação de metabólitos estrogênicos de alquilfenol na água dos rios, potencialmente sendo a principal causa de características gonadais intersexuais, observadas em trutas arco-íris (KAYAMA; HORIGUCHI; HAMAMATSU, 2003). Os efeitos estrogênicos dos etoxilatos de alquilfenol também tem implicações para a saúde humana. No Reino Unido, 30% da água potável é extraída dos rios, muitos dos quais terão recebido efluentes de tratamento de esgoto (WARHURST, 1994).

As alternativas existentes para os etoxilatos de alquilfenol possuem toxicidade aquática semelhante ou até mesmo maior, e os riscos à saúde humana também são muito semelhantes. Em geral, as alternativas são menos preocupantes no que se refere a persistência e toxicidade aquática dos produtos de degradação (LASSEN *et al*, 2013).

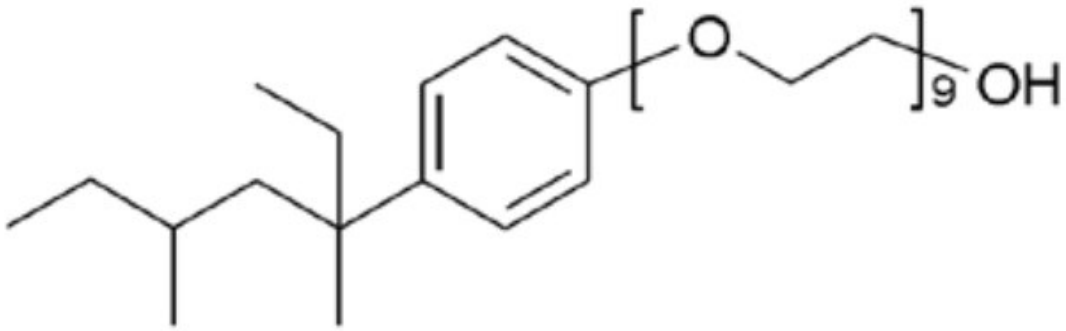
Na Figura 22 é ilustrado um etoxilato de alquilfenol e na Figura 23 é exemplificado um etoxilato de nonilfenol:

Figura 22: Polietoxilato de Alquilfenol.




Fonte: (KOVAROVA *et al*, 2013)

Figura 23: Etoxilato de Nonilfenol.



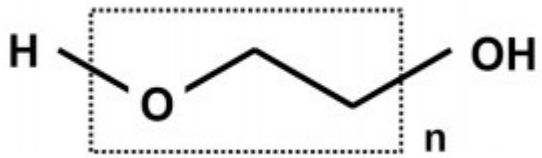

Fonte: (LASSEN *et al*, 2013)

### 3.3.3 Ácidos Etoxilados (Ésteres de PEG)

Derivados de polietilenoglicol (PEG), são amplamente utilizados em produtos cosméticos, emulsificantes, agentes de limpeza e umectantes (JANG; SHIN; KIM, 2015).

Na Figura 24 é ilustrado uma molécula de PEG:

Figura 24: Polietilenoglicol.




Fonte: (JANG; SHIN; KIM, 2015)

Os ésteres de ácido graxo de polietilenoglicol são utilizados em várias industrias por suas propriedades interfaciais, principalmente por suas características emulsificantes (COLLAZOS *et al*, 2016), as propriedades do surfactante dependem do comprimento da cadeia alquil (tipo do ácido graxo) e do número de mols de óxido de etileno (NOWICKI; WASILEWSKI; POSKROBKO, 2005).

Ésteres de ácido graxo de PEG são um tipo de surfactante ambientalmente amigável (COLLAZOS, 2015), apresentam baixa tendência à formação de espuma, excelente biodegrabilidade, estáveis (hidrolisados apenas em condições alcalinas),

boas propriedades umectantes e dispersantes, pouco perigosos e pouco tóxicos (COLLAZOS *et al*, 2016).

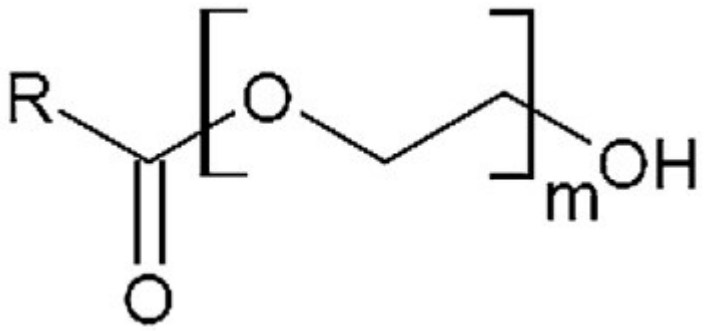
Por serem excelentes emolientes, hidratantes, anti-irritantes e aumentadores de suavidade, são utilizados em cosméticos e produtos de higiene pessoal (COLLAZOS *et al*, 2016). Devido a sua baixa toxicidade também são utilizados na indústria de alimentos e farmacêutica (COLLAZOS, 2005).

Suas propriedades emulsificantes água/óleo são exploradas em lubrificantes para processamento têxtil, óleos de corte, fluidos para metais, emulsificantes para produção de herbicidas, inseticidas e fungicidas (COLLAZOS *et al*, 2016).

Os ésteres de PEG, particularmente os oleatos e estearatos de PEG, são excelentes emulsificantes, melhores que os etoxilatos de álcool ou etoxilatos de nonilfenol, sendo promissores para substituição destes na indústria (COLLAZOS *et al*, 2016).

Na Figura 25 é ilustrada a estrutura química do éster de ácido graxo de PEG.

Figura 25: Éster de Ácido Graxo de PEG.




Fonte: (COLLAZOS *et al*, 2016)

### 3.3.4 Alcanolamidas de Ácido Graxo

As alcanolamidas de ácido graxo são compostos fisicamente e quimicamente estáveis que contém nitrogênio, possuem vários usos devido à diversidade de propriedades únicas, são economicamente viáveis e de fácil produção (SALLEH *et al*, 2001). Apresentam baixa reatividade e alta estabilidade térmica, as ligações amidas são muito estáveis quimicamente e não são facilmente degradadas em meio alcalinos, elas são de grande interesse para aplicações que requerem emulsificantes relativamente estáveis (LOKHANDE; PATIL; WANI, 2016).

Alcanolamidas de ácido graxo são produtos de condensação da reação de uma alcanolamina primária ou secundária com um ácido graxo. Suas propriedades químicas variam dependendo do comprimento da sua cadeia de hidrocarbonetos e da natureza dos substituintes no átomo de nitrogênio (LOKHANDE; PATIL; WANI, 2016).

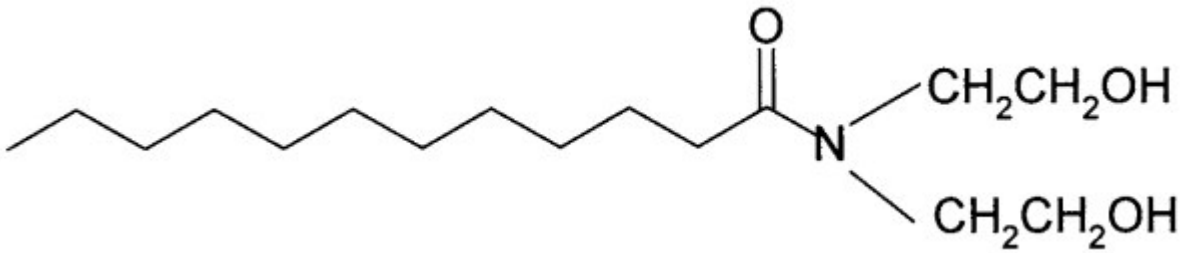
Industrialmente, as alcanolamidas de ácido graxo podem ser derivadas da N-acilação de alcanolaminas com ácidos graxos (ou éster metílico de ácido graxo) a alta temperatura e pressão. No entanto, esse método da origem a uma variedade de reações paralelas indesejáveis e envolvem materiais perigosos (SALLEH *et al*, 2001). Reações catalisadas por enzimas tem sido amplamente capaz de produzir um produto altamente puro, utilizando temperaturas amenas e pressão atmosférica (RAHMAN *et al*, 2003).

As monoetanolamidas de ácido graxo têm muitos usos, especialmente para o uso doméstico e produtos de cuidado pessoal, suas principais funções são de estabilizar a espuma, aumentar a viscosidade e reagir como emulsificantes (RAHMAN *et al*, 2003). Alcanolamidas de ácido graxo podem ser usadas como repelentes de água para têxteis, revestimento de papel, agentes antiespuma, melhoradores de fluxo, aditivos para filmes de polietileno, para lubrificantes e para tinta de impressão (SALLEH *et al*, 2001).

Devido à estrutura dos compostos, ácido graxo e alcanolamida, os metabólitos primários são formados por hidrólise e são rapidamente degradáveis, tornando assim as alcanolamidas de ácido graxo altamente biodegradáveis (STRANDBERG, 2003).

Na Figura 26 é exemplificada uma molécula de uma alcanolamida de ácido graxo:

Figura 26: Dietanolamida de Ácido Dodecanóico.




Fonte: (SCHIMITT, 2001)

### 3.3.5 Amidas de Ácido Graxo Etoxiladas

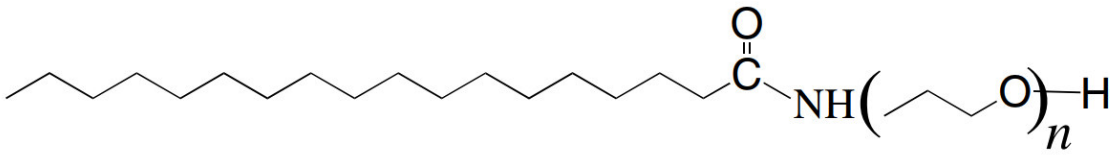
Os etoxilatos de amidas de ácido graxo são obtidos por etoxilação base-catalisada de monoetanolamidas ou dietanolamidas de ácidos graxos, as quais foram obtidas pela reação de ácidos graxos ou seus ésteres metílicos com etanolamina ou dietanolamina (KOSSWIG, 2012).

Etoxilatos de amidas de ácido graxo são usados em muitas aplicações práticas, como em produtos para cuidados pessoais, detergentes, agentes redutores de arrasto, emulsificantes (FOLMER *et al*, 2001), tratamento têxtil, antiestáticos no processamento de plásticos, inibidores de corrosão em metais (KOSSWIG, 2012). São também muito utilizados como agro-adjuvantes e agentes umectantes, devido a estes usos é razoável supor que as amidas de ácido graxo etoxiladas acabem no meio ambiente (GILKEL; STROO; KROON, 1993).

Quando um grupo amida é introduzido em um surfactante a biodegradabilidade dele pode ser significativamente aprimorada (FOLMER *et al*, 2001), amidas etoxiladas são suscetíveis à oxidação microbiana, no meio ambiente amidas de ácido graxo etoxiladas são prontamente convertidas em dióxido de carbono, água, biomassa e aminas secundárias que se degradam lentamente, estes intermediários não são tóxicos para organismos aquáticos (GILKEL; STROO; KROON, 1993).

Na Figura 27 é ilustrada uma amida de ácido graxo etoxilada:

Figura 27: Etoxilato de Estearil Amida.




Fonte: (FOLMER *et al*, 2001)

### 3.3.6 Aminas Etoxiladas

Os etoxilatos de alquilamina são um grupo de surfactantes caracterizados por uma cauda alquila, com, normalmente, oito a vinte e dois carbonos, linear, saturada ou insaturada e uma cabeça que consiste em duas cadeias de etoxilato de comprimento variável, cabeça e cauda são unidas juntos por uma amina terciária (GIL, 2015).

Misturas de etoxilatos de alquilamina estão disponíveis comercialmente para usos em indústria têxtil como agentes de acabamento antiestáticos e no processamento de

couro, também são utilizadas como emulsificantes na indústria de petróleo e na produção de betume (KOSSWIG, 2012).

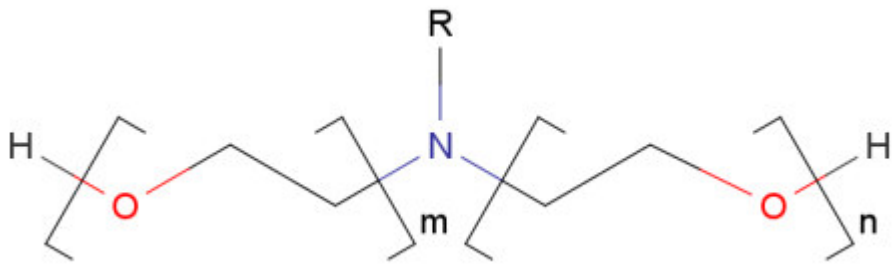
O uso mais comum dos etoxilatos de alquilamina é como adjunto em formulações de herbicidas de glifosato, e com esse uso temos o surfactante jogado diretamente na natureza (GIL, 2015).

Todas as alquilaminas etoxiladas são rapidamente biodegradadas (apesar da biodegradabilidade diminuir com o aumento do número de grupos polietilenoglicol) por meio da oxidação da cadeia alquil convertendo-se em dióxido de carbono, água, biomassa e aminas secundárias. Os intermediários formados, aminas etoxiladas secundárias, são lentamente biodegradáveis (GILKEL; STROO; KROON, 1993).

As aminas etoxiladas secundárias formadas não são tóxicas para organismos aquáticos, a perda das propriedades surfactantes está correlacionada com a perda da toxicidade. Um caso diferente do que ocorre com etoxilatos de alquilfenol em que os metabólitos mais tóxicos são produzidos por biodegradação (GILKEL; STROO; KROON, 1993).

Na Figura 28 é ilustrada a estrutura geral de uma alquilamina etoxilada:

Figura 28: Etoxilato de Alquilamina.




Fonte: (GIL, 2015)

### 3.3.7 Ester de Compostos Poli-hidroxi

Uma ampla classe de emulsificantes alimentares consiste em ésteres de ácido graxo de glicerol, sorbitol e álcoois polifuncionais similares (SCHIMITT, 2001).

Os surfactantes de éster de sorbitano são amplamente utilizados em preparações cosméticas, emulsificantes alimentares, aplicações industriais, farmacêuticas e na limpeza de derramamentos de óleo (WANG; FINGAS, 1994).

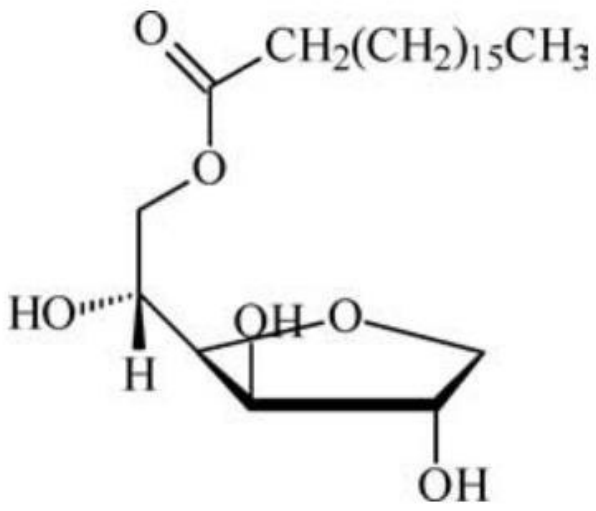
Os ésteres de sorbitano são produtos químicos que apresentam baixa toxicidade (GIACOMETTI *et al*, 1996), são renováveis, ecológicos e não agridem o meio ambiente. Grandes quantidades desses materiais são produzidas em todo o mundo (WU *et al*, 2010).

Glicerídeos são ésteres formados a partir de glicerol e ácidos graxos. O glicerol possui três grupos funcionais hidroxila, que podem ser esterificados com um, dois ou três ácidos graxos, podendo formar monoglicerídeos, diglicerídeos e triglicerídeos, respectivamente (SHARMA *et al*, 2017).

Monoglicerídeos junto com diglicerídeos são comumente adicionados a alimentos comerciais em pequenas quantidades como emulsificantes, que impedem a separação de misturas de óleo e água. São frequentemente encontrados em produtos de panificação, bebidas, sorvetes, gomas de mascar, gorduras, coberturas batidas, margarinas, confeitos, produtos alimentícios, produtos farmacêuticos e cosméticos (SHARMA *et al*, 2017).

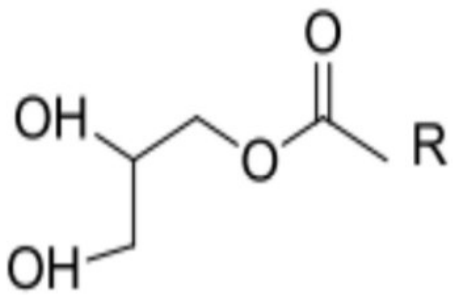
Na Figura 29 é ilustrado um éster de sorbitano e na Figura 30 é ilustrado um monoglicerídeo.

Figura 29: Monoestearato de Sorbitano.




Fonte: (WU *et al*, 2010)

Figura 30: Monoglicerídeo.




Fonte: (SHARMA *et al*, 2017)

### 3.3.8 Alquil Poliglicosídeos

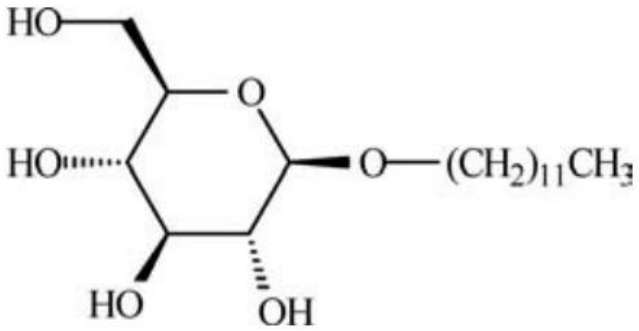
Devido à crescente ameaça de falta de fontes de energia não renováveis, nas últimas décadas, o mundo avançou para uma nova classe de surfactantes feitos de materiais naturais renováveis (EL-SUKKARY *et al*, 2008).

Alquil poliglicosídeos (APGs) são surfactantes não iônicos ecológicos, atualmente fabricados inteiramente com recursos naturais e renováveis como amilose do amido da batata inglesa (FRANÇA *et al*, 2017) ou óleos vegetais, possuem ótima compatibilidade ambiental, alta biodegradabilidade (NEGM; TAWFIK, 2012) e não são bioacumuláveis, tornando-se um ótimo substituto de surfactantes que são potencialmente prejudiciais tanta para a saúde quanto ao meio ambiente (FRANÇA *et al*, 2017).

APGs são utilizados em diversas aplicações industriais, incluindo cosméticos, detergentes domésticos, produtos agrícolas, produtos farmacêuticos e recuperação de óleo aprimorada (IGLAUER *et al*, 2010). Devido a sua excelente compatibilidade com a pele APGs são extensivamente utilizados em formulações para produtos de consumo, sendo considerado um bom substituto do Lauril Sulfato de Sódio e do Dodecil Sulfato de Sódio, que também são utilizados em cosméticos, mas são irritantes para a pele (FRANÇA *et al*, 2017).

Na Figura 31 é ilustrado um Alquil Poliglicosídeo:

Figura 31: n-dodecil-β-D-glicopiranosídeo ($APG_{12}$).




Fonte: (IGLAUER *et al*, 2010)

### 3.3.9 Copolímeros em Bloco de Poli(Óxido de Etileno) e Poli(Óxido de Propileno)

Este grupo de surfactantes não iônicos consistem copolímeros em blocos compostos de poli(óxido de etileno) (PEO) e poli(óxido de propileno) (PPO) (YAPAR; INAL, 1987) e são uma classe importante de polímeros biocompatíveis. (HERZBERGER *et al*, 2015).

Os copolímeros de PEO-PPO são amplamente utilizados como lubrificantes, detergentes, agentes antiespuma, agentes emulsificantes em processos industriais, processos agrícolas, bem como em cosméticos, tintas e aditivos alimentares (HERZBERGER *et al*, 2015).

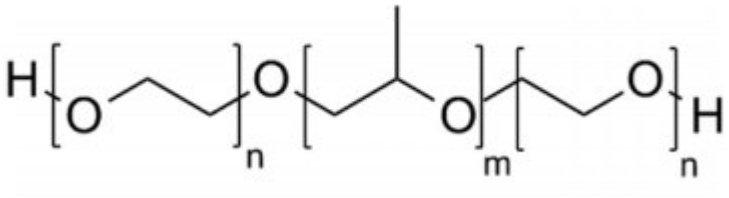
Em concentrações relativamente baixas, acima da CMC, formam agregados estáveis, conhecidos como micelas poliméricas. Devido à presença de um núcleo hidrofóbico, essas micelas são úteis na solubilização e estabilização de medicamentos pouco solúveis em água. Quando são atingidas concentrações mais altas, alguns dos materiais PEO-PPO mostram uma transição de uma solução líquida para um gel viscoelástico após aquecimento. Essa gelificação controlada pela temperatura motivou o interesse desses copolímeros no desenvolvimento de implantes de administração de drogas injetáveis (ALVAREZ-LORENZO; CONCHEIRO; SOSNIK, 2009).

A capacidade dos copolímeros de bloco PEO-PPO de se auto agregar e formar micelas poliméricas e também de passar por transições solução-gel após aquecimento confere a eles a qualidade de materiais inteligentes (ALVAREZ-LORENZO; CONCHEIRO; SOSNIK, 2009).

Eles mostram boa compatibilidade celular e não causam irritação significativa após administração tópica ou parenteral. Embora os materiais PEO-PPO não se degradem sob condições fisiológicas, copolímeros com pesos moleculares entre 10 e 15 kDa são eliminados por filtração renal (ALVAREZ-LORENZO; CONCHEIRO; SOSNIK, 2009).

Na Figura 32 é ilustrado um Copolímero de bloco PEO-PPO:

Figura 32: Estrutura de um Poloxâmero composto de dois blocos PEO e um bloco central PPO.




Fonte: (HERZBERGER *et al*, 2015)

### 3.3.10 Surfactantes à base de Óxido de Amina

Os surfactantes à base de óxido de amina representam uma das classes menores de surfactantes em comparação com álcoois etoxilados e surfactantes aniônicos sulfonados e sulfatados. Contudo, a singularidade do grupo hidrófilo nestes surfactantes fornece propriedades específicas difíceis de replicar pelo uso de surfactantes não-iônicos e aniônicos clássicos (SINGH; BAJPAI; TYAGI, 2006).

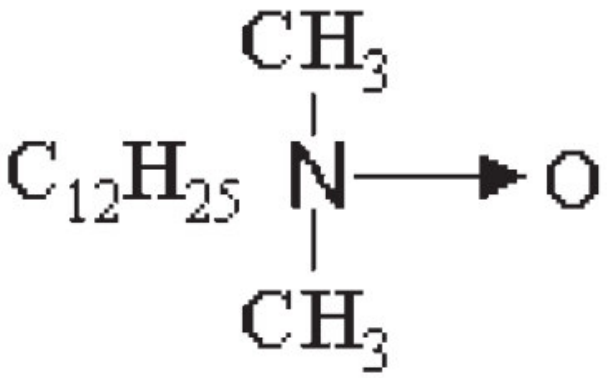
Os óxidos de amina de cadeia alquil longa existem como espécies não-iônicas ou catiônicas (forma protonada) em soluções aquosas. O grau de protonação (ionização) depende do pH da solução. Várias propriedades da solução e de superfície estão correlacionadas com o grau de protonação (KAKEHASHI *et al*, 2013).

Estes surfactantes são utilizados em formulações de limpeza, produtos de branqueamento líquido, indústria têxtil (agente antiestático), indústria de borracha (estabilizador de espuma), indústria de polímeros (catalisador de polimerização), composições anticorrosivas, dispersante de sabão de cal, barras desodorizantes (agente antibacteriano) (SINGH; BAJPAI; TYAGI, 2006). Eles também são compatíveis com a pele sendo amplamente utilizados em detergentes e produtos de higiene pessoal geralmente em conjunto com outros surfactantes, pois são compatíveis com surfactantes aniônicos e podem ser usados para dar vantagem sinérgica às formulações (JURADO *et al*, 2013).

Surfactantes à base de óxido de amina podem ser considerados facilmente biodegradáveis, porque são rápidos e facilmente convertidos em dióxido de carbono, água e biomassa em condições aeróbias. Nestes compostos a biodegradabilidade é influenciada pela concentração inicial de surfactante, a biodegradação é maior quando a concentração inicial é maior (JURADO *et al*, 2013).

Na Figura 33 é exemplificado um surfactante à base de óxido de amina.

Figura 33: Óxido de N,N - Dimetil Dodecil Amina.




Fonte: (SINGH; BAJPAI; TYAGI, 2006)

## 3.4 Surfactantes Catiônicos

Os surfactantes catiônicos são dissociados em água em cátion anfifílico e em um ânion, na maioria das vezes do tipo halogênio. Uma proporção muito grande dessa classe corresponde a compostos de nitrogênio, como sais de aminas graxas e amônios quaternários, com uma ou várias cadeias longas do tipo alquil (SHAH *et al*, 2012).

Estes surfactantes são em geral mais caros que os aniônicos, devido às reações de hidrogenação de alta pressão que são realizadas durante sua síntese. Como consequência, eles são usados apenas em dois casos: quando não há substituto mais barato ou como substância carregada positivamente que é capaz de adsorver em substratos carregados negativamente para produzir efeito antiestático e hidrofóbico (SHAH *et al*, 2012).

### 3.4.1 Sais de Amônio Quaternário

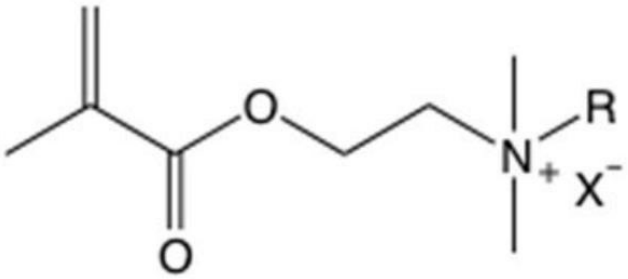
Sais de Amônio Quaternário (também conhecidos como “Quats”) são compostos altamente estáveis (OKEKE; SNYDER; FRUKHTBEYN, 2019) e comumente formam a base de formulações na indústria antimicrobiana. Os Quats contêm uma “cabeça” hidrofílica de amônio e uma “cauda” de cadeia alquil hidrofóbica, a presença da carga positiva do amônio resulta em interações eletrostáticas em o surfactante e a superfície em contato (BARNEY; CARROLL; DELAET, 2006).

Os Quats se provaram uteis em uma variedade de aplicações, como agentes antiestáticos, condicionadores, amaciadores e biocidas (BARNEY; CARROLL; DELAET, 2006). Vários Quats exibem atividade proeminente germicida combinada com a toxicidade relativamente baixa, por esse motivo também são utilizados em antissépticos, desinfetantes e componentes ativos em preparações tópicas antibacterianas e antimicóticas e em preparações para controle de doenças de plantas (KOPECKÝ, 1996).

O modo de ação antimicrobiana dos Quats consiste na interação prejudicial com as membranas citoplasmáticas das células bacterianas, resultando na perda da permeabilidade seletiva da membrana. Assim, eles interferem na respiração e na síntese de Adenosina trifosfato (ATP) e, em concentrações apropriadas, causam vazamentos na membrana, liberação dos constituintes celulares e, eventualmente, morte celular (KOPECKÝ, 1996).

Na Figura 34 é ilustrado um Quats:

Figura 34: Sal de Amônio Quaternário.




Fonte: (OKEKE; SNYDER; FRUKHTBEYN, 2019)

### 3.4.2 Sais de Alquil Dimetil Benzil Amônio

Os sais de alquil dimetil benzil amônio, também chamados de sais de benzalcônio, possuem importantes características relacionadas com suas propriedades bactericidas e antimicrobianas, os sais de benzalcônio (cloreto e brometo) inibem a proliferação de uma variedade de células e são agentes bactericidas, fungicidas e virucidas eficazes (ÁLVAREZ-ROS, 2018).

A atividade antimicrobiana depende do comprimento variável da cadeia alquil lateral. É conhecido que o homólogo $C_{12}$ é mais eficaz contra leveduras e fungos, o homólogo $C_{14}$ contra bactérias gram-positivas e homólogo $C_{16}$ contra bactérias gram-negativas. Por esses motivos, os sais de benzalcônio são amplamente utilizados como conservantes de produtos oftalmológicos, nasais e parenterais. Eles também são usados como antissépticos e desinfetantes tópicos para equipamentos médicos (KUCA *et al*, 2007), também mostram atividade inibidora contra o vírus de muitos patógenos, incluindo o vírus da imunodeficiência (HIV) e são úteis na prevenção e tratamento de outras doenças, principalmente as originadas por vírus e na superfície da pele (ÁLVAREZ-ROS, 2018).

O modo de ação dos compostos de amônio quaternário parece estar associado ao seu efeito na membrana citoplasmática, que controla a permeabilidade celular. A região hidrofílica do cloreto de benzalcônio interage com a membrana celular bacteriana e a região hidrofóbica causa a morte celular. Portanto, é um desinfetante poderoso e tem demonstrado boa atividade contra o microrganismo altamente resistente (KARAYILDIRIM; ÇELENK, 2016)

Esses compostos geralmente não são usados como componentes únicos, mas como misturas compostas de dois ou três membros benzalcônios que diferem apenas no comprimento das cadeias alquílicas. Essas misturas são produzidas em larga escala na indústria. No entanto, uma síntese direcionada de compostos puros pode ser interessante devido à especificidade acima mencionada de cada sal contra diferentes patógenos (KUCA *et al*, 2007).

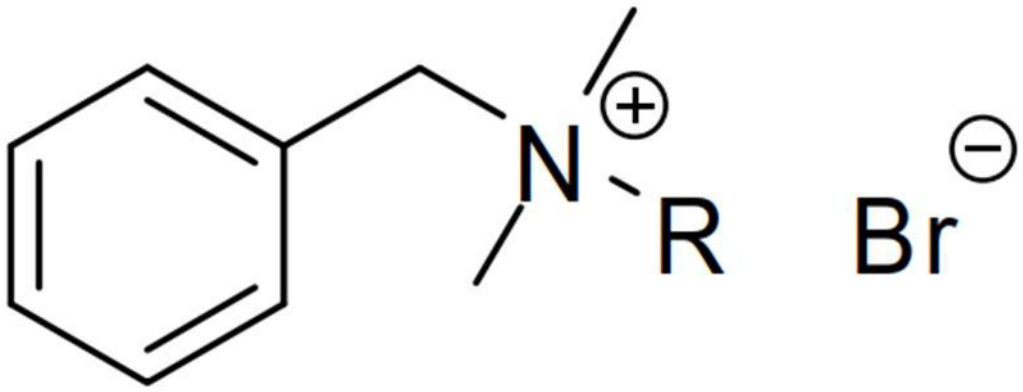
Por outro lado, o efeito dos sais de benzalcônio na microbiota humana é desfavorável, principalmente quando usado como condicionador em produtos capilares, em concentrações de até 3%. Consequentemente, a destruição do habitat da pele pode resultar em crescimento excessivo de microrganismos indesejáveis e perturbação de funções importantes da pele. Existem efeitos adversos conhecidos do

cloreto de benzalcônio na pele, causando reação alérgica grave, irritações oculares e dérmicas (OSSOWICZ *et al*, 2017).

Cerca de 75% dos compostos de amônio quaternário utilizados entram em sistemas de tratamento de águas residuais e o restante é descarregado diretamente no meio ambiente. Nos sistemas de tratamento, os compostos de amônio quaternário apresentam toxicidade para microorganismos, os que saem das correntes de águas residuais não tratadas são uma preocupação de ecotoxicidade e resistência antimicrobiana. O tratamento em sistemas de esgoto antes de se espalhar para o meio ambiente é necessário para evitar toxicidade e resistência bacteriana. Cloretos de benzalcônio são altamente tóxicos para peixes e invertebrados aquáticos de forma aguda (SAKARYA, 2012).

Na Figura 35 é ilustrado um sal de benzalcônio:

Figura 35: Brometo de N - Benzil - N,N – Dimetilalquil.




Fonte: (KUCA *et al*, 2007)

### 3.4.3 Éster Quats

Os ésteres quats são surfactantes catiônicos, hoje preferidos aos quats tradicionais devido à sua excelente biodegradabilidade. A singularidade da molécula de éster quats é devida à presença de pelo menos um grupo éster entre a cadeia longa de hidrocarbonetos e o grupo amônio (AZIZ; IDRIS, 2007).

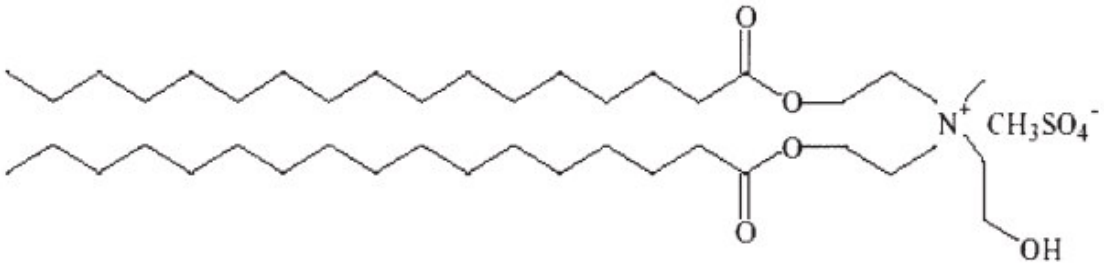
Podem ser decompostos em componentes não surfactantes e mais ecológicos, o passo primário na degradação de éster quats é provavelmente uma degradação abiótica por meio de reações químicas como oxidação, redução e hidrólise sem a participação de organismos biológicos. A importante reação de decomposição é a

hidrólise na presença de água, importante ressaltar que a estabilidade hidrolítica dos ésteres quats é influenciada pela temperatura, pH, vias de formulação e estrutura química da molécula (IBRAGIMOVA; KLEIV, 2018).

Em geral, a hidrólise média básica dá origem à formação de ácidos graxos e pequenos sais de amônio quaternário diol ou triol. Os ácidos graxos e os compostos de amônio quaternário de cadeia curta são facilmente biodegradáveis em produtos finais inorgânicos, como água, dióxido de carbono e sais minerais (IBRAGIMOVA; KLEIV, 2018).

Na Figura 36 é ilustrado um éster quats:

Figura 36: Éster Quats.




Fonte: (MISHRA; TYAGI, 2007)

### 3.4.4 Compostos Imidazolínios

Os surfactantes de imidazolina pertencem à categoria de surfactantes catiônicos. As imidazolinas catiônicas têm carga positiva no núcleo da imidazolina e a carga elétrica da molécula não é afetada por alterações de pH. A carga positiva permanece em meio ácido, neutro e alcalino (BAJPAI; TYAGI, 2005).

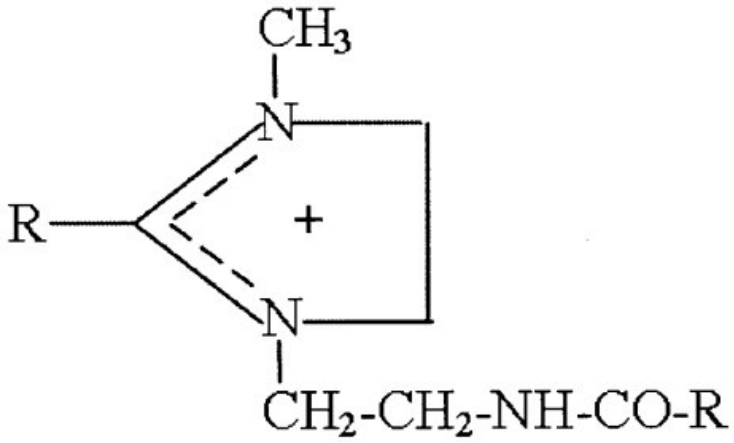
Os compostos químicos de imidazolina pertencem aos compostos heterocíclicos contendo um anel de cinco membros com dois átomos de nitrogênio no anel. Os surfactantes de imidazolínios compreendem um grupo principal hidrofóbico com carga positiva de cinco membros e uma cadeia hidrofóbica que é geralmente um grupo alquil graxo obtido a partir de ácidos graxos, álcoois saturados ou insaturados $C_{12}$-$C_{18}$. Essas diferentes cadeias hidrofóbicas são responsáveis pelas diferentes propriedades de superfície ativa e de desempenho dos surfactantes de imidazolínio e também as tornam adequadas para diferentes aplicações industriais (TRIPATHY; TYAGI, 2014).

Os compostos de imidazolina substituídos possuem propriedades desejáveis de estabilidade de armazenamento, viscosidade, dispersabilidade e condicionamento de tecido e são úteis em aplicações de lavanderia e várias aplicações industriais (TRIPATHY; TYAGI, 2014). Também são utilizados como repelentes à água, agentes anticorrosivos, emulsificantes e dispersantes (BAJPAI; TYAGI, 2005).

Os surfactantes de imidazolina costumam ter uma ação bastante germicida. Deve-se tomar cuidado para que seu limiar tóxico não seja excedido em estudos de biodegradação. Mas, com as devidas precauções, muitos deles são inquestionavelmente biodegradáveis (TYAGI; TYAGI; PANDEY, 2007).

Na Figura 37 é ilustrado um imidazolínio:

Figura 37: Estrutura do Imidazolínio.




Fonte: (BAJPAI; TYAGI, 2005)

## 3.5 Surfactantes Anfóteros

Compostos com ambas propriedades ácidas e alcalinas. Em soluções ácidas, eles formam cátions, em soluções alcalinas ânions e na faixa de pH médio zwitterions, isto é, moléculas com dois grupos iônicos com cargas equivalentes. As moléculas às quais esse princípio é aplicado no grupo hidrofílico e que, ao mesmo tempo, contêm uma cadeia graxa hidrofóbica são conhecidas como surfactantes anfóteros (DOMSCH; JENNI, 2004).

### 3.5.1 Alquil Aminoácidos

Os surfactantes à base de aminoácidos são de grande interesse para indústrias preocupadas com o meio ambiente, porque utilizam aminoácidos como fontes. Dessa maneira, os surfactantes podem ser preparados a partir de matéria-prima natural renovável e podem sofrer degradação que resulta em produtos inofensivos. Além disso, eles têm uma alta segurança desde a fabricação até o manuseio pelos usuários finais (LI, 2011).

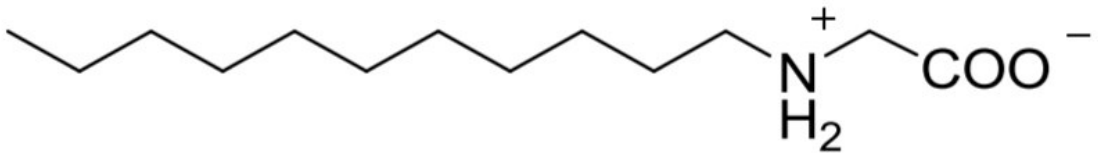
Alquil aminoácidos de cadeia longa são empregados como desinfetantes por demonstrarem propriedades bactericidas e fungicidas significativas em valores de pH inferiores ao seu ponto isoelétrico. Surfactantes à base de aminoácidos são usados na formulação de produtos para cuidados pessoais (LI, 2011).

Apesar de estar classificado como anfótero a porção aminoácido determina as principais diferenças de adsorção, agregação e atividade biológica entre os surfactantes baseados em aminoácidos. Portanto, surfactantes catiônicos, aniônicos, não iônicos e anfotéricos podem ser obtidos dependendo dos grupos funcionais livres presentes no surfactante baseado em aminoácido e modificações adicionais desses grupos permitem um ajuste fino de suas propriedades para atender a quase todas as aplicações em particular (MORÁN *et al*, 2004).

Surfactantes de matérias-primas renováveis que imitam os aminoácidos naturais são uma das escolhas preferidas para aplicações em alimentos, produtos farmacêuticos e cosméticos. Devido à sua estrutura natural e simples, eles apresentam baixa toxicidade e rápida biodegradação. Podem ser produzidos por métodos biotecnológicos e químicos, usando matérias-primas renováveis, como aminoácidos e óleo vegetal (MORÁN *et al*, 2004).

Na Figura 38 é ilustrada uma molécula de um alquil aminoácido anfótero:

Figura 38: N-Aquil Aminoácido.




Fonte: (LI, 2011)

### 3.5.2 Alquil Betaínas

As alquil betaínas podem ser considerados como derivados da betaína (N, N, N – Trimetilglicina), na qual um grupo metil é substituído por uma longa cadeia alquil. O grupo R na estrutura molecular pode ser a cadeia alquil derivada do óleo de coco ou óleo de palmiste ($C_8$ - $C_{18}$), sebo ($C_{16}$ - $C_{18}$), óleo de palma ($C_{16}$ - $C_{18}$) ou $C_{12}$. Isso fornece os diferentes tipos de produtos comerciais (DOMSCH; JENNI, 2004).
Embora os derivados de betaína contendo enxofre e fósforo sejam eficazes como surfactantes anfóteros, apenas as carboxibetainas são amplamente utilizadas (SCHMITT, 2001).

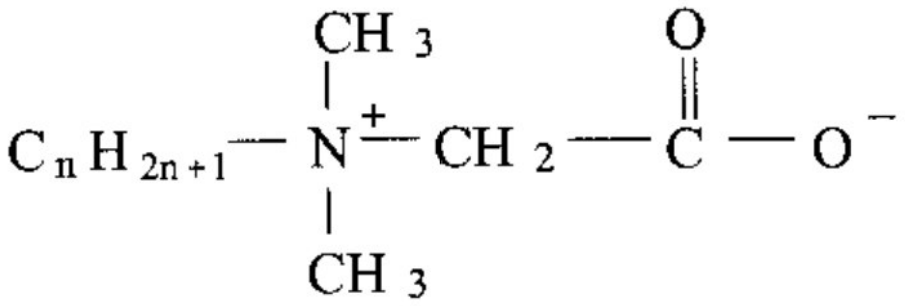
Possuem uma estabilidade muito boa contra a dureza da água e são excelentes agentes dispersantes no sabão de cal. Elas também são estáveis em valores de pH muito baixo e muito alto e são compatíveis com compostos aniônicos, catiônicos e não iônicos, especialmente surfactantes. Com essas propriedades e boa detergência, as alquil betaínas são amplamente utilizadas em produtos de limpeza para superfícies duras e detergentes têxteis especiais (DOMSCH; JENNI, 2004).

Alquil betaínas também exibem atividade antimicrobiana contra uma variedade de microorganismos. Acredita-se que a variação no comprimento da cauda longa de hidrocarbonetos influencie a extensão da atividade antimicrobiana. Como a maioria dos outros surfactantes, acredita-se que sejam perturbadores de membrana, rompendo a membrana celular do microrganismo (BIRNIE; MALAMUD; SCHNAARE, 2000).

Em geral, as alquil betaínas mostram boa degradabilidade primária, apesar que podem ser consideradas não rapidamente biodegradáveis, mas após um certo período de adaptação elas se tornam facilmente biodegradáveis (DOMSCH; JENNI, 2004).

Na Figura 39 é ilustrada uma alquil betaína:

Figura 39: N-Alquil Betaína.




Fonte: (BIRNIE; MALAMUD; SCHNAARE, 2000)

### 3.5.3 Alquilamido Betaínas

As propriedades básicas das alquilamido betaínas são semelhantes às dos alquil betaínas; isto é, mostram estabilidade contra a dureza de eletrólitos, ácidos, álcalis e água. Mas o comportamento dermatológico é muito melhor. Portanto, o principal uso é em cosméticos e produtos de higiene pessoal, mas também em líquidos para lavar louça à mão e detergentes têxteis especiais (DOMSCH; JENNI, 2004).

Do grande número de diferentes tipos de surfactantes, os chamados surfactantes primários são consumidos nos maiores volumes. Exemplos típicos de surfactantes primários importantes comercialmente são os alquil sulfatos aniônicos e alquil éter sulfatos (HERRWERTH *et al*, 2008).

Devido ao potencial irritante da maioria dos surfactantes primários, eles são quase exclusivamente formulados em combinação com surfactantes secundários, a fim de melhorar a compatibilidade da pele e otimizar o desempenho geral. Provavelmente a classe mais importante de surfactantes secundários são as amidopropil betainas, em particular a cocamidopropil betaína (CAPB), derivada do ácido graxo do coco (HERRWERTH *et al*, 2008).

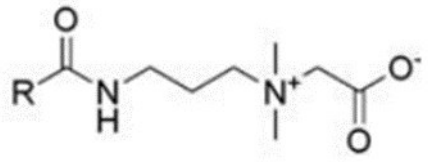
A adição de alquilamido betainas a surfactantes aniônicos, principalmente lauril éter sulfatos de sódio, aumenta a viscosidade da mistura. Devido as propriedades mencionadas, as alquilamido betainas são importantes em xampus, géis e espumas para banho ou sabonetes líquidos de maior qualidade (DOMSCH; JENNI, 2004). A adição de CAPB a surfactantes primários como o lauril éter sulfato de sódio (SLES) reduz a irritação da pele e das mucosas e leva a uma sensação agradável, suave e macia da pele (HERRWERTH *et al*, 2008).

Em resumo, a CAPB é a primeira escolha para surfactantes secundários, combinando uma boa relação custo-desempenho com um perfil toxicológico e ecotoxicológico favorável, além de excelentes propriedades de aplicação (HERRWERTH *et al*, 2008).

Em geral, as alquilamido betaínas apresentam boa degradabilidade primária, podem ser consideradas como inerentemente biodegradáveis e anaerobicamente biodegradáveis (DOMSCH; JENNI, 2004).

Na Figura 40 é ilustrada uma alquilamido betaína:

Figura 40: Cocamidopropil Betaína.




Fonte: (HERRWERTH *et al*, 2008)

### 3.5.4 Derivados Anfóteros de Imidazolina

Os derivados de imidazolina quimicamente anfóteros não possuem anel de imidazolina na molécula, mas durante a síntese de tal composto, uma estrutura intermediária de anel de imidazolina se formou, portanto, são denominados derivados de imidazolina (BAJPAI; TYAGI, 2005).

Derivados de imidazolina anfóteros possuem ambas as cargas na molécula e podem mostrar as propriedades das imidazolinas aniônicas em pHs altos e as das catiônicas em pHs baixos e são usadas em produtos como xampus para cabelos, sabonetes líquidos e gel de banho. Outras aplicações principais deste grupo incluem agentes de limpeza domésticos altamente ácidos e alcalinos (BAJPAI; TYAGI, 2005).

Os surfactantes anfóteros deste grupo incluem estruturas designadas como alquil anfoacetatos, alquil anfopropionatos e alquil iminopropionatos. Estes surfactantes são geralmente produzidos pela reação de ácidos graxos ou seus ésteres com aminas. Os alquil anfopropionatos podem ser obtidos pela adição de ácido acrílico, acrilato de metila ou acrilato de etila ao produto da reação de ácidos graxos e aminas (MADSEN *et al*, 2001).

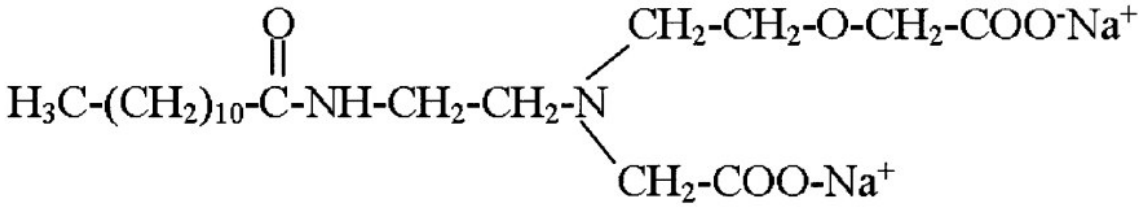
Os alquil anfoacetatos são estáveis em valores de pH ácidos e alcalinos, além disso, o comportamento de formação de espuma não é influenciado pela mudança no valor do pH. Possuem boa estabilidade em sistemas com alto teor de eletrólitos, água dura e sabão de cal. Mas a propriedade mais importante é a extrema suavidade que apresentam em contato com a pele e as mucosas, em comparação com outros tipos de surfactantes (DOMSCH; JENNI, 2004).

Alquil anfoacetatos são usados na formulação de produtos de higiene pessoal de alta qualidade, especialmente produtos de banho para bebês, géis para banho e sabonetes líquidos. Em combinação com surfactantes aniônicos, eles melhoram a suavidade de um determinado surfactante básico. Os alquil amphoacetatos são considerados a geração moderna de surfactantes mais leves usados em produtos de cuidados pessoais (DOMSCH; JENNI, 2004).

Dados mostram principalmente uma biodegradabilidade rápida e completa em ambientes aquáticos sob condições aeróbicas. Complexos entre o surfactante anfótero e aniônico não influenciam significativamente na biodegradação (DOMSCH; JENNI, 2004).

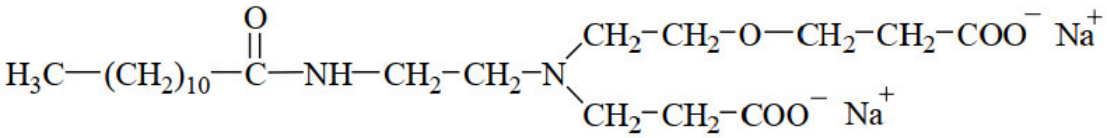
Na Figura 41 é ilustrado um alquil anfodiacetato, na Figura 42 um alquil anfodipropionato e na Figura 43 um alquil iminodipropionato:

Figura 41: Laurilanfodiacetato de di-sódio.



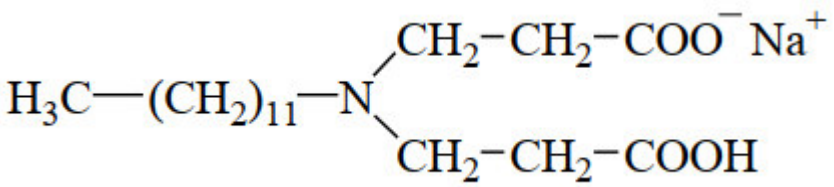

Fonte: (BAJPAI; TYAGI, 2005)

Figura 42: Laurilanfodipropionato de di-sódio.




Fonte: (MADSEN *et al*, 2001)

Figura 43: Lauriminodipropionato de di-sódio




Fonte: (MADSEN *et al*, 2001)

### 3.5.5 Lecitina

Lecitina é uma mistura complexa natural de diferentes fosfolipídios (XIA; GALLEGOS-PERETZ; NEMZER, 2017). A soja é a fonte predominante de lecitina de oleaginosas devido à sua pronta disponibilidade e às excelentes funcionalidades de sua lecitina. A lecitina de soja bruta é obtida como subproduto do processamento de óleo de soja (WU; WANG, 2003).

A composição da lecitina varia de acordo com o método de extração e purificação. A lecitina comercial de soja contém cerca de 65-75% de fosfolipídios, 34% de triglicerídeos e quantidades menores de carboidratos, pigmentos, esteróis e glicosídeos de esterol. Os fosfolipídios mais comuns na lecitina são fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina e fosfatidilinositol (XU *et al*, 2011).

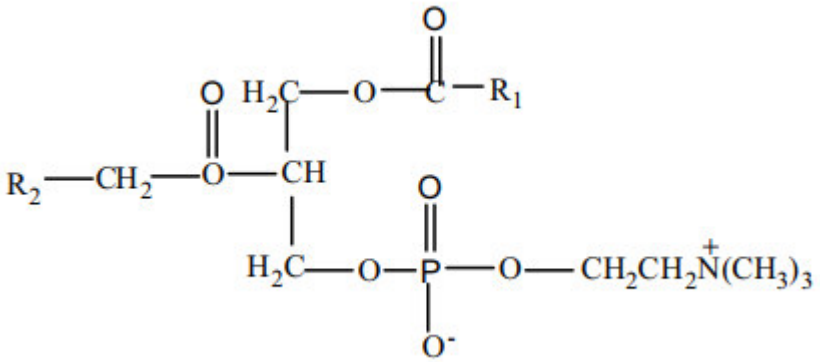
Fosfolipídios são diglicerídeos com um grupo fosfato ligado ao terceiro átomo de carbono da molécula de glicerol, são moléculas anfifílicas com cabeças polares hidrofílicas e caudas hidrofóbicas não polares de ácidos graxos. Como moléculas anfifílicas, elas tendem a adsorver nas superfícies ou interagir com as caudas de ácidos graxos não polares voltadas para a fase superficial ou oleosa e as cabeças polares voltadas para a fase aquosa, resultando em uma diminuição na tensão superficial ou interfacial. As moléculas de fosfolipídios na superfície das bolhas, gotas de óleo ou gotas de água agem como barreiras para estabilizá-las (XU *et al*, 2011).

As lecitinas de soja nativas e as lecitinas de soja modificadas são importantes emulsificantes e estabilizadores na produção de emulsões, produtos de espuma e bolha, entre outros, e, portanto, encontraram aplicações em várias indústrias onde esses produtos são utilizados. Atualmente, as lecitinas mais utilizadas na indústria de alimentos são as lecitinas de soja, com um nível de uso de cerca de 0,1% a 2%. Elas são frequentemente usadas em combinação com surfactantes sintéticos para reduzir a quantidade de surfactantes sintéticos utilizada (XU *et al*, 2011).

A lecitina é amplamente utilizada nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética (WU; WANG, 2003).

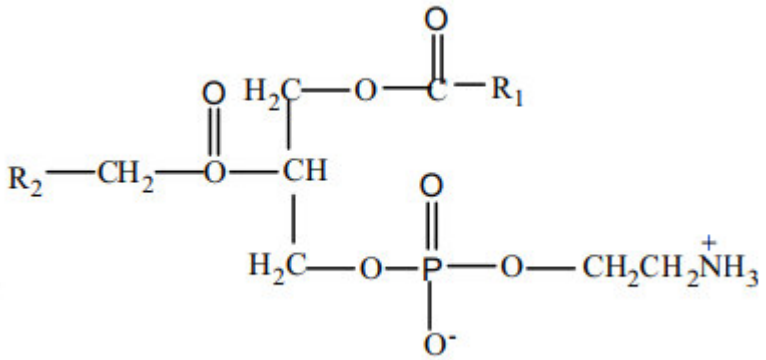
Nas Figuras 44, 45 e 46 são ilustradas lecitinas de diferentes fosfolipídios:

Figura 44: Lecitina de Fosfatidilcolina.



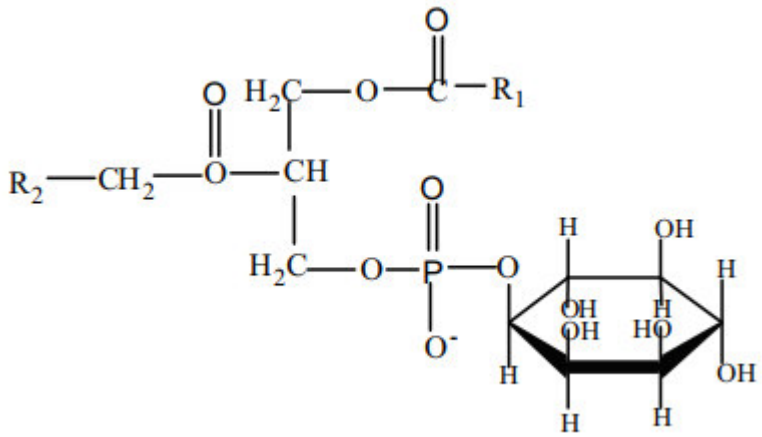
Fonte: (XU *et al*, 2011)

Figura 45: Lecitina de Fosfatidiletanolamina.



Fonte: (XU *et al*, 2011)

Figura 46: Lecitina de Fosfatidilinositol.



Fonte: (XU *et al*, 2011)

## 3.6 Considerações Gerais

Os surfactantes aniônicos são amplamente utilizados de modo geral. O ABS não é facilmente biodegradado e até não é muito usado em países desenvolvidos; o LAS é rapidamente biodegradado, e tem a vantagem de ser barato. Infelizmente é tóxico para a vida aquática.

O SLS usado amplamente em xampus, produtos de limpeza e creme dental é descrito como tóxico e um forte agente oxidante, apresentando ameaça à saúde dos consumidores. Propriedades semelhantes são descritas para o SLES.

Sulfonatos de α-Olefina são uma alternativa biodegradável e menos tóxica em agentes de limpeza. Sulfonatos de petróleo se destacam por razões econômicas e práticas em processos de extração de petróleo. Sulfonatos de parafina apesar da alta biodegradabilidade e baixa toxicidade não são muito utilizados devido ao alto investimento necessário em sua produção.

Devido à baixa toxicidade, sulfonatos de lignina são utilizados até em alimentos para humanos. Os MES são atraentes visto a excelente biodegradabilidade e compatibilidade com a pele podendo ser considerados uma alternativa ambientalmente correta ao LAS. Semelhante aos MES, os ésteres de aril fosfatos são facilmente biodegradados e têm excelente compatibilidade com a pele.

Sais de alquilsulfosuccinato são utilizados em cosméticos não irritantes, porém o uso inadequado pode gerar produtos que causam risco a absorção dérmica. Outro surfactante com excelente perfil eco tóxico são os ésteres de isetionato. E com boas

propriedades para lavagem corporal em produtos que podem variar muito o pH têm-se os tauratos de acila.

Um dos poucos surfactantes aniônicos (as vezes considerado anfótero) compatíveis com surfactantes catiônicos são os aminoácidos n-acilados, também ecologicamente corretos e compatíveis com pele e mucosas. Compatíveis com materiais aniônicos, catiônicos, não-iônicos ou anfotéricos existem os carboxilatos de éter, demonstrando serem versáteis, possuindo excelente relação custo/desempenho.

Sabões de ácidos graxos são altamente eficazes em soluções aquosas, mas em contrapartida causam irritações a pele.

Surfactantes não-iônicos são amplamente utilizados em diversas indústrias, ficando em segundo lugar na produção mundial, perdendo apenas para os surfactantes aniônicos. Etoxilatos de álcool são produtos de alto volume de produção, e acabam destinados ao ambiente aquático onde podem formar um filme alterando a tensão superficial da água, afetando todo o ambiente.

Etoxilatos de alquilfenol, uma das classes de surfactantes mais usadas, degradados resultam em metabólitos estrogênicos de alquilfenol na água dos rios. Alternativas existentes possuem toxicidade semelhante. Diferente dos etoxilatos de amidas de ácido graxo que são suscetíveis à oxidação microbiana, convertidas em dióxido de carbono, água, biomassa e aminas secundárias não tóxicas para organismos aquáticos. Etoxilatos de alquilamina são rapidamente biodegradadas muito semelhantes aos etoxilatos de amida.

Ésteres de ácido graxo de PEG apresentam baixa tendência à formação de espuma, excelente biodegrabilidade e são pouco tóxicos, usados até mesmo em alimentos. Os ésteres de sorbitano são renováveis, ecológicos e não agridem o meio ambiente.

Alcanolamidas de ácido graxo são altamente biodegradáveis, economicamente viáveis e de fácil produção.

Alquil poliglicosídeos são fabricados inteiramente com recursos naturais e renováveis, possuem ótima compatibilidade ambiental, alta biodegradabilidade tornando-se um ótimo substituto de surfactantes que são potencialmente prejudiciais tanta para a saúde quanto ao meio ambiente.

Copolímeros de PEO-PPO são uma classe importante de polímeros biocompatíveis, sendo utilizados em medicamentos, mostram boa compatibilidade

celular, não causam irritação significativa após administração tópica ou parenteral e são eliminados por filtração renal.

Os óxidos de amina de cadeia alquil longa existem como espécies não-iônicas ou catiônicas, dependo do pH da solução. Suas propriedades dependem do grau de protonação e podem ser considerados facilmente biodegradáveis.

Surfactantes catiônicos são em gerais mais caros do que os aniônicos, usados quando não há substituto mais barato ou como substância carregada positivamente que é capaz de adsorver em substratos carregados negativamente para produzir efeito antiestático e hidrofóbico.

Os quats exibem atividade proeminente germicida combinada com a toxicidade relativamente baixa, porém os ésteres quats são preferidos aos quats tradicionais devido à sua excelente biodegradabilidade, sendo decompostos em componentes não surfactantes e mais ecológicos.

Sais de benzalcônio inibem a proliferação de uma variedade de células e são agentes bactericidas, fungicidas e virucidas eficazes, mostrando atividade inibidora até contra o vírus HIV. Nos sistemas de tratamento, os compostos de amônio quaternário apresentam toxicidade para microrganismos, causando preocupação de ecotoxicidade e resistência antimicrobiana.

Os surfactantes de imidazolina possuem carga elétrica da molécula de imidazolina que não é afetada por alterações de pH, costumam ter ação bastante germicida e são biodegradáveis.

Surfactantes zwitteriônicos são compatíveis com todas as outras classes de surfactantes. Alquil aminoácidos de cadeia longa são de grande interesse para indústrias por utilizarem aminoácidos como fontes, matéria prima natural renovável gerando um surfactante altamente biodegradável e de baixa toxicidade.

As alquil betaínas são estáveis em valores de pH muito baixo e muito alto, facilmente biodegradáveis. Alquilamido betaínas possuem propriedades semelhantes as alquil betaínas e são muito utilizadas como surfactantes secundários.

Derivados de imidazolina mostram as propriedades das imidazolinas em pHs altos e baixos; possuem uma biodegradabilidade rápida e completa em ambientes aquáticos sob condições aeróbicas.

Lecitina, com sua fonte predominante a soja, é frequentemente utilizada para reduzir a quantidade de surfactantes sintéticos utilizado, principalmente, em alimentos.

# 4 CONCLUSÃO

Surfactantes são utilizados amplamente em produtos do dia a dia em produtos relacionados a confecção de um bem, como indústria têxtil, em remédios e alimentos.

Com uma ampla gama de surfactantes existentes fica claro as diversas aplicações que um surfactante pode ter. Cada um deles possui vantagens e desvantagens e muitas vezes não são utilizados sozinhos.

Os surfactantes catiônicos possuem uso mais restrito.

LAS, etoxilatos de álcool e de alquilfenol podem causar danos a vida aquática.

SLS e SLES são tóxicos para os seres humanos.

Devido à existência de inúmeros surfactantes, se um surfactante é tóxico ou agressivo ao meio ambiente, com pesquisa e desenvolvimento, muitas vezes é possível encontrar um substituto mais ecologicamente viável e menos tóxico, e, eventualmente, mais barato que o surfactante usado originalmente. Por exemplo o MES, que pode ser uma alternativa ao LAS.

Existem muitos surfactantes altamente biodegradáveis e pouco tóxicos, como as lecitinas e os alquil poliglicosídeos.

A indústria ainda utiliza de muitos surfactantes nocivos, por exemplo o SLS em cosméticos, que são surfactantes que agridem a pele. Por isso, antes de utilizar um produto, ou até mesmo na criação de um produto, é interessante o conhecimento sobre os efeitos adversos que os componentes deste produto podem causar a saúde de quem os utiliza, ao meio ambiente para qual este produto será descartado após o uso, ou até mesmo no meio ambiente em que o produto será utilizado, como no caso de agrotóxicos.

## REFERÊNCIAS


ABEL, P. **Toxicity of synthetic detergents to fish and aquatic invertebrates.** Journal of Fish Biology, 1974.

ADAMS, J. **ENVIRONMENTAL EFFECTS OF APPLYING LIGNOSULFONATE TO ROADS.** DAISHOWA CHEMICALS INC, 1988.

ALVAREZ-LORENZO, C.; CONCHEIRO, A.; SOSNIK, A. **POLY(ETHYLENE OXIDE)-POLY(PROPYLENE OXIDE) BLOCK COPOLYMER MICELLES AND GELS IN DRUG DELIVERY:** STATE-OF-THE-ART AND FUTURE PERSPECTIVES. Nova Science Publishers, Inc., 2009.

ÁLVAREZ-ROS, M. C. **Vibratonal study of benzalkonium chloride (1) interacton with metallic ions and surfaces: surface enhanced Raman spectroscopy study of (1) with human serum albumin.** Journal of Pharmacology and Toxicology, 2018.

AZIZ, H. A.; IDRIS, Z. **IMPROVED TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF PALM-BASED ESTERQUATS.** MPOB INFORMATION SERIES, 2007.

BAJPAI, D.; TYAGI, V. K. **Fatty Imidazolines:** Chemistry, Synthesis, Properties and Their Industrial Applications. India: JOURNAL OF OLEO SCIENCE, 2005.

BARBIERI, E. **EFEITO DO LAS-C12 (DODECIL BENZENO SULFONATO DE SÓDIO) SOBRE ALGUNS PARÂMETROS DO COMPORTAMENTO DA TAINHA (MUGIL PLATANUS).** Cananéia: Instituto de Pesca da Secretária de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, 2005.

BARNEY, R.; CARROLL, J.; DELAET, D. **Surfactant Studies of Quaternary Ammonium Compounds:** Critical Surfactant Concentration. Utah: Southern Utah University, 2006.

BECKER, L. *et al*. **Amended Safety Assessment of Dodecylbenzenesulfonate, Decylbenzenesulfonate, and Tridecylbenzenesulfonate Salts as Used in Cosmetics.** International Journal of Toxicology, 2010.

BIRNIE, C. R.; MALAMUD, D.; SCHNAARE, R. L. **Antimicrobial Evaluation of N-Alkyl Betaines and N-Alkyl-N,N-Dimethylamine Oxides with Variations in Chain Length.** ANTIMICROBIAL AGENTS AND CHEMOTHERAPY, 2000.

BECKER, L. **Safety Assessment of Alkyl Taurate Amides and Taurate Salts as Used in Cosmetics.** Washington, DC: Cosmetic Ingredient Review, 2016.

CASSIDAY, L. **Surfactants and Skin.** United States of America: INFORM – International News on Fats, Oils and Related Materials, 2016.

CHARBONNIER, V. *et al*. **Subclinical, nonerythematous irritation with an open assay model (washing):** sodium lauryl sulfate (SLS) versus sodium laureth sulfate (SLES). Food and Chemical Toxicology, 2001.

CLARIANT. **Mild Surfactants:** Clariant Mild Surfactants for Personal Care Applications. 2009.

COLLAZOS, S. O.; GONÇALVES, Y. M. H.; HORTA, B. A. C.; PICCIANI, P. H. S.; LOURO, S. R. W.; OLIVEIRA, O. N.; PIMENTEL, A. S. **Langmuir films and mechanical properties of polyethyleneglycol fatty acid esters at the air-water interface.** Amsterdam: Elsevier, 2016.

COLLAZOS, S. O. **Filmes de Langmuir de Ésteres de Polietilenoglicol derivados de ácidos graxos.** Brasil: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2015.

CONTRERAS, Z. *et al*. **PETROLEUM SULFONATES PREPARATION AND EVALUATION FOR CHEMICAL ENHANCED OIL REOVERY IN COLOMBIAN OIL FIELDS.** Colombia: CT&F – Ciencia, Tecnologia y Futuro; 2014.

DALTIN, D. **Tensoativos**: química, propriedades e aplicações. São Paulo: Blucher, 2011.

DOMSCH, A.; JENNI, K. **Biodegradability of Amphoteric Surfactants.** Germany: Degussa Goldschmidt Personal Care, 2004.

EL-SHARKAWY, G. **Awareness of Sodium Lauryl Sulfate & Sodium Laureth Sulfate Health Hazards among Users**. Egypt: Zagazig University, 2011.

EL-SUKKARY, M. M. A.; SYED, N. A.; AIAD, I.; EL-AZAB, W. I. M. **Synthesis and Characterization of some Alkyl Polyglycosides Surfactants.** Journal of Surfactants and Detergents, 2008.

ENVIRONMENT AGENCY. **An overview of the environmental risk evaluation reports for aryl phosphate esters,** 2009.

ENVIRONMENT CANADA. **Federal Environmental Quality Guidelines:** Alcohol Ethoxylates. Canada, 2013.

FIUME, M.; HELDRETH, B**. Safety Assessment of Dialkyl Sulfosuccinate Salts as Used in Cosmetics.** Washington, DC: Cosmetic Ingredient Review, 2013.

FOLMER, B. M.; HOLMBERG, K.; KLINGSKOG, E. G.; BERGSTRÖM, K**. Fatty Amide Ethoxylates:** Synthesis and Self-Assembly. Sweden: Journal of Surfactants and Detergents, 2001.

FOSTER, N. **Sulfonation and Sulfation Processes.** Seattle: Chemithon, 1997.

FRANÇA, F. C. F.; MOREIRA, D. R.; ALMEIDA, R. R.; RODRIGUES, F. H. A.; RIBEIRO, M. E. N. P.; RICARDO, N. M. P. S. **NOVOS SURFACTANTES ALQUIL POLIGLICOSÍDICOS À BASE DE AMILOSE EXTRAÍDA DA BATATA INGLESA (*Solanum tuberosum L.*).** Brasil: Química Nova, 2017.

GHAZALI, R. **THE EFFECT OF DISALT ON THE BIODEGRADABILITY OF METHYL ESTER SULPHONATES (MES).** Journal of Oil Palm Research, v. 14, 2002.

GIACOMETTI, J.; MILIN, C.; WOLF, N.; GIACOMETTI, F. **Process for Preparing Nonionic Surfactant Sorbitan Fatty Acid Esters with and without Previous Sorbitol Cyclization.** Croatia: Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1996.

GIL, A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4th ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2002.

GIL, J. L. R. **Fate and Effects of an Alkylamine Ethoxylate Surfactant Mixture in Aquatic Systems: Pulsed Exposures, Recovery Capacity and the Importance of Sediment.** Canada: The University of Guelph, 2015.

GILKEL, C. G.; STROO, C. A.; KROON, A. G. M**. Biodegradabilitv of Ethoxylated Fattv Amines and Amides and the Non-Toxicity of their Biodegradation Products.** Netherlands: Tenside Surfactants Detergents, 1993.

GOTTSCHALCK, T.; BRESLAWEC, H. **International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook.** Washington, DC: Personal Care Products Council, 2012.

GOUGH, T. **Sodium Methyl Acyl Taurates Give High Performing Sulfate-Free Personal Cleansing Systems.** London: Innospec, 2017.

HARGREAVES, T. **CHEMICAL FORMULATION**: An Overview of Surfactant-based Preparations Used in Everyday Life. United Kingdom: The Royal Society of Chemistry, 2003.

HERA. **Human & Environmental Risk Assessment on ingredients of household cleaning products:** Secondary Alkane Sulfonate (SAS). 2005.

HERRWERTH, S.; LEIDREITER, H.; WENK, H. H.; FARWICK, M.; ULRICH-BREHM, I.; GRÜNING, B. **Highly Concentrated Cocamidopropyl Betaine – The Latest Developments for Improved Sustainability and Enhanced Skin Care.** Tenside Surfactants Detergents, 2008.

HERZBERGER, J.; NIEDERER, K.; POHLIT, H.; SEIWERT, J.; WORM, M.; WURM, F. R.; FREY, H. **Polymerization of Ethylene Oxide, Propylene Oxide, and Other Alkylene Oxides: Synthesis, Novel Polymer Architectures, and Bioconjugation.** Germany: ACS Publications, 2015.

HOLT, M.; MITCHELL, G.; WATKINSON, R. **The environmental chemistry, fate and effects of nonionic surfactants.** Germany: Springer, p. 89-144, 1992.

IBRAGIMOVA, O.; KLEIV, R. A. **Application of a Rapid and Simple UV-Spectrophotometric Method for the Study of Desorption of Esterquat Collectors in Tailings–Seawater Systems.** Water, 2018.

IGLAUER, S.; WU, Y.; SHULER, P.; TANG, Y.; GODDARD, W. A. **Analysis of the Influence of Alkyl Polyglycoside Surfactant and Cosolvent Structure on**

**Interfacial Tension in Aqueous Formulations versus n-Octane.** Germany: Carl Hanser Verlag, 2010.

IVANOVA, V. *et al*. **Sulfonated methyl esters, linear alkylbenzene sulfonates and their mixed solutions:** Micellization and effect of $Ca^{2+}$ ions. Elsevier. 2016.

JANG, H.; SHIN, C. Y.; KIM, K. **Safety Evaluation of Polyethylene Glycol (PEG) Compounds for Cosmetic Use.** Korea: Toxicological Research – Official Journal of Korean Society of Toxicology, 2015.

JOSHI, T. **A Short History and Preamble of Surfactants.** India: International Journal of Applied Chemistry. v. 13, 2017.

JURADO, E.; FERNÁNDEZ-SERRANO, M.; RÍOS, F.; LECHUGA, M. **Aerobic Biodegradation of Surfactants.** InTech, 2013.

KAKEHASHI, R.; TOKAI, N.; KOHNO, T.; NAKATSUJI, Y.; YAMAMURA, S.; KARLSSON, G. **Protonation Behavior and Solution Properties of Amine Oxide Surfactants Containing a Pyridyl Group.** Japan: Japan Oil Chemists' Society, 2013.

KARAYILDIRIM, Ç. K.; ÇELENK, V. U. **Antibacterial Efficiency of Benzalkonium Chloride Base Disinfectant According to European Standard 13727, Chemical Analysis and Validation Studies.** Turkey: Celal Bayar University Journal of Science, 2016.

KAYAMA, F.; HORIGUCHI, H.; HAMAMATSU, A. **Potential Health Effects of Alkylphenols in Japan.** Japão: Japan Medical Association Journal, 2003.

KLEIN, K.; PALEFSKY, I. **Handbook for Cleaning/Decontamination of Surfaces.** New Jersey: Elsevier. v. 1, 2007.

KOSSWIG, K. **Surfactants.** Germany: ULLMANN´S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY, 2012.

KOVAROVA, J.; BLAHOVA, J.; DIVISOVA, L.; SVOBODOVA, Z. **Alkylphenol ethoxylates and alkylphenols – update information on occurrence, fate and toxicity in aquatic environment.** República Checa: University of Veterinary and Pharmaceutical Sciences Brno, 2013.

KOPECKÝ, F. **Micellization and other associations of amphiphilic antimicrobial quaternary ammonium salts in aqueous solutions.** Slovak Republic: Comenius University, 1996.

KUCA, K.; MAREK, J.; STODULKA, P.; MUSILEK, K.; HANUSOVA, P.; HRABINOVA, M.; JUN, D. **Preparation of Benzalkonium Salts Differing in the Length of a Side Alkyl Chain.** Molecules, 2007.

LASSEN, C.; JENSEN, A.; MAAG, J.; CHRISTENSEN, F.; KJOLHOLT, J.; JEPPESEN, C.; MIKKELSEN, S.; INNANEN, S. **Survey of alkylphenols and**

**alkylphenol ethoxylates.** Dinamarca: The Danish Environmental Protection Agency, 2013.

LI, Y. **Synthesis and physicochemical study of novel amino acid based surfactants.** Sweden: Chalmers University of Technology, 2011.

LITTLE, A. **Environmental and Human Safety of Major Surfactants:** Volume 1 Anionic Surfactants Part 4 Alpha Olefin Sulfonates. New York: The Soap and Detergent Association, 1993.

LITTLE, J. **Identification of Surfactants by Liquid Chromatography-Mass Spectrometry.** Florida: Eastman Chemical Company, 2006.

LOKHANDE, A. R.; PATIL, V. S.; WANI, K. S. **Kinetic Study on Synthesis of Alkanolamides of Fatty Acids of Mangokernel Oil.** India: SSBT's College of Engineering and Technology, 2016.

MADSEN, T.; BOYD, H. B.; NYLÉN, D.; PEDERSEN, A. R.; PETERSEN, G. I.; SIMONSEN, F. **Environmental and Health Assessment of Substances in Household Detergents and Cosmetic Detergent Products.** Denmark: Miljøprojekt, 2001.

MÁRQUEZ, N. *et al*. **Isolation and characterization of petroleum sulfonates.** Venezuela: La Universidad del Zulia, 1998.

MARRAKCHI, S.; MAIBACH, H. **Sodium lauryl sulfate-induced irritation in the human face:** regional and age-related differences. Skin Pharmacol Physiol, 2006.

MASTROTI, R. *et al*. **Biodegradability of anionic surfactants in sea water**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 1998.

MCAVOY, D.; KERR, K**. Humic Substances and Chemical Contaminants:** Association of alcohol ethoxylates with a dissolved humic substance. Wisconsin: Soil Science Society of America, p.177-186, 2001.

MISHRA, S.; TYAGI, V. K. **Ester Quats:** The Novel Class of Cationic Fabric Softeners. Japan: Journal of Oleo Science, 2007.

MORÁN, M. C.; PINAZO, A.; PÉREZ, L.; CLAPÉS, P.; ANGELET, M.; GARCÍA, M. T.; VINARDELL, M. P.; INFANTE, M. R. **"Green" amino acid-based surfactants.** Green Chemistry, 2004

NATIONAL INSTITUTE OF HEALTH. **Household Products Directory of chemical ingredients lists.** Household products database. Health & safety information on household products, 2009.

NEGM, N. A.; TAWFIK, S. M. **Environmentally Friendly Surface Active Agents and Their Applications.** Surfactants in Tribology, 2012.

NEW JERSEY DEPARTMENT OF HEALTH AND SENIOR SERVICES. **Hazardous Substance Fact Sheet**. New Jersey, 2002.

NIELSEN, A. *et al*. **Investigation of an onsite wastewater treatment system in sandy soil:** site characterization and fate of anionic and nonionic surfactants. United States of America: Environmental Toxicology and Chemistry, 2002.

NIRAULA, T.; BHATTARAI, A.; CHATERJEE, S. **Sodium dodecylsulphate:** A very useful Surfactant for Scientific Investigations. Nepal: The Journal of Knowledge and Innovation, 2014.

NOWICKI, J.; WASILEWSKI, J.; POSKROBKO, J. **Synthesis and Surfactant Properties of New Ester-capped Poly(oxyalkylated) Alcohols.** Germany: German Chemical Society, 2005.

OKEKE, U. C.; SNYDER, C. R.; FRUKHTBEYN, S. A. **Synthesis, Purification and Characterization of Polymerizable Multifunctional Quaternary Ammonium Compounds.** Molecules, 2019.

OSHIMURA, E.; YAMASHITA, Y.; SAKAMOTO, K. **Conformatioonal Behavior of N-Acylamino Acid Oil and N-Acylamino Acid Surfactant in Aqueous Solution**. Journal of Oleo Science, 2007.

OSSOWICZ, P.; JANUS, E.; BŁASZAK, M.; ZATON, K.; ROZWADOWSKI, Z. **Benzalkonium Salts of Amino Acids – Physicochemical Properties and Anti-Microbial Activity.** Tenside Surfactants Detergents, 2017.

PONTRYAGINA, A.; MILLER, R.; PLETNEV, M. **Surface Active and Foam Properties of Sodium Lauroyl Sarcosinate, Mild Anionic Surfactant of Natural Origin**. Bulgaria: SGI-FunD Symposium, 2015.

RAHMAN, M. B.; YAP, C. L.; DZULKEFLY, K.; RAHMAN, R. N. Z.; SALLEH, A. B.; BASRI, M. **Synthesis of Palm Kernel Oil Alkanolamide Using Lipase.** Japan: JOURNAL OF OLEO SCIENCE, 2003.

SABAGH, A. *et al*. **Synthesis of Ethoxylated Alkyl Sulfosuccinate Surfactants and the Investigation of Mixed Solutions.** Journal of Surfactants and Detergents, 2007.

SAKARYA, F. K. **BIOTRANSFORMATION OF BENZALKONIUM CHLORIDES BY IMMOBILIZED CELLS OF PSEUDOMONAS SP. BIOMIG1.** Turkey: Boğaziçi University, 2012.

SALAGER, J. **Surfactants Types and Uses**. Mérida: Universidad de Los Andes, 2002.

SALLEH, A. B.; BASRI, M.; TAN, S. W.; RAHMAN, M. B.; DZULKEFLY, K.; RAHMAN, R. N. Z.; RAZAK, C. N. A. **Synthesis Of Fatty Alkanolamides By Using Immobilized Lipases.** Malaysia: Malaysian Journal of Analytical Sciences, 2001.

SANDERSON, H. *et al*. **Occurrence and risk screening of alcohol ethoxylate surfactants in three U.S. river sediments associated with wastewater treatment plants.** Amsterdam: Elsevier, 2013. (SANDERSON, 2013).

SCHIMITT, T. **ANALYSIS OF SURFACTANTS.** New York: Surfactant Science Series, 2001.

SCHRAMM, L.; STASIUK, E.; MARANGONI, G. **Surfactants and their applications.** Canada: Annual Reports Section C Physical Chemistry, 2003.

SHAH, S. K.; NIRAULA, T. P.; BHATTARAI, A.; CHATTERJEE, S. K.; **Cationic Surfactants and their uses in different fields.** Nepal: TUTA Journal, 2012.

SHAN, S.; BHATTARAI, A.; CHATTERJEE, S. **Applications of Surfactants in modern Science and Technology.** Nepal: Modern Trends in Science and Technology, 2013.

_____. **Surfactants, its applications and effects on environment.** Nepal: BIBECHANA, 2011.

SHARMA, K.; NEGI, S.; THAKUR, N.; KISHORE, K. **Partial Glycerides - An Important Nonionic Surfactant for Industrial Applications: An Overview.** India: Journal of Biological and Chemical Chronicles, 2017.

SINGH, S. K.; BAJPAI, M.; TYAGI, V. K. **Amine Oxides: A Review.** India: Journal of Oleo Science, 2006.

STEPAN. **SAFETY DATA SHEET**: NACCONOL 40G. 2016.

STRANDBERG, K. **Environmental aspects of Cosmetic and Hygiene Products.** Sweden: FOAtox, 2003.

SUN, J.; PARR, J.; ERICKSON, M. **Solubilization of sodium cocoyl isethionate**. Washington, DC: Annual Scientific Seminar of the Society of Cosmetic Chemists, 2003.

SVENSSON, M. **Surfactants Based on Natural Fatty Acids.** Stockholm: Lantmännen Food R&D AB, 2010.

TRIPATHY, D.; TYAGI, V. K. **Effect of fatty imidazolines on properties of laundry detergent compositions based on cationic surfactants.** IOSR Journal of Applied Chemistry, 2014.

TYAGI, R.; TYAGI, V. K.; PANDEY, S. K. **Imidazoline and Its Derivatives:** An Overview. Journal of Oleo Science, 2007.

WANG, Z.; FINGAS, M. **Analysis of Sorbitan Ester Surfactants:** Part I: High Performance Liquid Chromatography. Canada: Journal of High Resolution Chromatography, 1994.

WARHURST, A. **An Environmental Assessment of Alkylphenol Ethoxylates and Alkylphnols.** Londres: Friends of the Earth, 1994.

WETTIG, S.; VERRALL, R. **Colloid Interface Science**. Amsterdã: Elsevier, v. 235, 2001.

WIBBERTMANN, A. *et al*. **Toxicological properties and risk assessment of the anionic surfactants category:** Alkyl sulfates, primary alkane sulfonates, and α-olefin sulfonates. Amsterdam: Elsevier, 2011.

WU, Y.; IGLAUER, S.; SHULER, P.; TANG, Y.; GODDARD, W. A. **Alkyl Polyglycoside-Sorbitan Ester Formulations for Improved Oil Recovery.** Munich: Carl Hanser Publisher, 2010.

WU, Y.; WANG, T. **Soybean Lecithin Fractionation and Functionality.** Journal of the American Oil Chemists' Society, 2003.

XIA, X.; GALLEGOS-PERETZ, T.; NEMZER, B. N. **Identification and Quantification of Natural Lecithin Phospholipids and Their Residuals in Freeze-Dried and Drum-Dried Fruits and Vegetables by LC-MS and HPLC-ELSD.** Journal of Food Research, 2017.

XU, Q.; NAKAJIMA, M.; LIU, Z.; SHIINA, T. **Soybean-based Surfactants and Their Applications.** Soybean - Applications and Technology, 2011.

YAPAR, E. A.; INAL, Ö. **Poly(ethylene oxide)–Poly(propylene oxide)-Based Copolymers for Transdermal Drug Delivery:** An Overview. Nigeria: Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 2012.

YUAN, C. *et al*. **Study on characteristics and harm of surfactants.** China: Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014.