



# A Produção do Conhecimento na Engenharia Química

**Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)**



# **A Produção do Conhecimento na Engenharia Química**

**Carmen Lúcia Voigt  
(Organizadora)**

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
P964	A produção do conhecimento na engenharia química [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.  Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader. Modo de acesso: World Wide Web. Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-747-5 DOI 10.22533/at.ed.475190611  1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia.  CDD 660.76
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

Atena  
Editora

Ano 2019

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Química, devido preocupação em desenvolver produtos e processos de produção, é responsável por pesquisas e projetos em relação aos materiais que passam por mudanças físicas e químicas, adquirindo outras características. A manipulação de compostos e substâncias para se criar novos produtos é o foco da Engenharia Química. Estes produtos proporcionam uma melhoria na qualidade de vida humana, pois além de pesquisas relacionadas, existe a preocupação em viabilizar as invenções, criar métodos baratos e eficientes de fabricação em massa, implementar processos químico-industriais cada vez melhores, mais econômicos e mais ecológicos.

O mercado de trabalho na área da Engenharia Química volta-se, por exemplo, para as áreas de energias renováveis (biocombustíveis), para a extração de óleos vegetais e para a produção de ração animal. Há espaço nas indústrias de tintas prediais e automotivas (máquinas agrícolas), nas indústrias têxteis, de cosméticos e higiene pessoal, assim como nas indústrias de tratamento de superfícies metálicas e não metálicas. Os profissionais também podem atuar nas indústrias de transformação dos polímeros, de gemas e joias, de erva-mate, frigoríficas e em laticínios, bem como nas indústrias farmacêuticas e de medicamentos.

Neste volume, organizado para você, apresentamos a produção de conhecimento na Engenharia Química através da realização de pesquisas diversas que abrangem desde nanomateriais na indústria de fármacos, métodos para degradação de poluentes, recuperação e purificação de compostos tanto de origem orgânica ou inorgânica, métodos de adsorção de corantes, até síntese de materiais, como óxido de grafeno e zeólita sodalita, por questões ambientais e energéticas.

Com base nestes trabalhos, convidamos você a aprimorar seus conhecimentos na área da Engenharia Química. Os trabalhos selecionados oportunizam uma nova visão de materiais, métodos e técnicas, mostrando a produção de conhecimento na área bem como o impacto tecnológico no desenvolvimento da indústria e sua relação direta com a sociedade e meio ambiente.

Boa leitura.

Carmen Lúcia Voigt

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
NANOMATERIAIS NA INDÚSTRIA DE FÁRMACOS	
Marlucia Ribeiro Barbosa Bourguignon	
Mariana César	
Iara Sperandio	
Damaris Guimarães	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4751906111</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
PRODUÇÃO DE FOTOCATALISADORES PARA DEGRADAÇÃO DOS HORMÔNIOS 17 $\beta$ -ESTRADIOL E 17 $\alpha$ -ETINILESTRADIOL	
Ramiro Picoli Nippes	
Sérgio Ursulino Junior	
Tháisa Frossard Coslop	
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4751906112</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
MICROENCAPSULAMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: CONCEITOS E APLICAÇÕES	
Lidiane Diniz do Nascimento	
Márcia Moraes Cascaes	
Kauê Santana da Costa	
Eloisa Helena de Aguiar Andrade	
Elisângela Lima Andrade	
Cristiane Maria Leal Costa	
Lênio José Guerreiro de Faria	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4751906113</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
ANÁLISE TERMODINÂMICA DA FORMAÇÃO DE HIDROGÊNIO E GÁS DE SÍNTESE AO LONGO DA REAÇÃO DE GASEIFICAÇÃO COM ÁGUA SUPERCRÍTICA DO GLICEROL	
Julles Mitoura dos Santos Junior	
Annamaria Doria Souza Vidotti	
Reginaldo Guirardello	
Antônio Carlos Daltro de Freitas	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4751906114</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>49</b>
PERFORMANCE OF A CYCLONE ADAPTED WITH WATER SPRAYERS	
Ana Clara Alves Justi	
Gabriel Henrique Justi	
Mônica Lopes Aguiar	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4751906115</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 62**

SISTEMAS AQUOSOS BIFÁSICOS: UMA PLATAFORMA PARA A EXTRAÇÃO E PURIFICAÇÃO DE COMPOSTOS

Luan Vittor Tavares Duarte de Alencar  
Laís Maria Santos Passos  
Ricardo Porto Santos  
Cleide Mara Faria Soares  
Álvaro Silva Lima  
Ranyere Lucena de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.4751906116**

**CAPÍTULO 7 ..... 75**

AValiação DO EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DO CORANTE AZUL DE METILENO EM BIOCARVÃO PREPARADO POR PIRÓLISE DE CASCA DE EUCALIPTO

Lucas Destefani Paquini  
Ueslei Giori Favero  
Ruan de Oliveira Alves  
Cynthia Pereira dos Santos  
Jean Cota Coura  
Renato Ribeiro Passos  
Luciene Paula Roberto Profeti  
Demetrius Profeti

**DOI 10.22533/at.ed.4751906117**

**CAPÍTULO 8 ..... 85**

INFLUÊNCIA DA AGITAÇÃO, pH E TEMPERATURA NO ESTUDO DA CINÉTICA E EQUILÍBRIO DE ADSORÇÃO DO CORANTE VERMELHO CONGO

Priscila Pereira Silva  
Bruno Henrique Peressin Lanzoni  
Evandro Roberto Alves

**DOI 10.22533/at.ed.4751906118**

**CAPÍTULO 9 ..... 99**

TINGIMENTO DE POLIAMIDA ADICIONANDO  $\beta$ -CICLODEXTRINA AO BANHO DE TINGIMENTO

Ana Luísa Alves Musialak  
Bruna Thaisa Martins Ferreira  
Washington Luiz Félix Santos

**DOI 10.22533/at.ed.4751906119**

**CAPÍTULO 10 ..... 106**

PREPARAÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFITE PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS  $\text{Cu@TiO}_2/\text{RGO}$  UTILIZADOS COMO FOTOCATALISADORES

Jean César Marinozi Vicentini  
Eduardo Sbardellati Barbieri  
Gimerson Weigert Subtil  
Nathalia Caputo da Silva  
Fernanda Ribeiro Gaspar Branco da Silva  
Mara Heloisa Neves Olsen Scaliante

**DOI 10.22533/at.ed.47519061110**

**CAPÍTULO 11 ..... 118**

SÍNTESE DE ZEÓLITA TIPO SODALITA A PARTIR DA CINZA VOLANTE

Emerson Cardoso Rodrigues  
José Antônio da Silva Souza  
Emanuel Negrão Macêdo  
Carlos Augusto da Rocha Junior  
Alice dos Prazeres Pinheiro  
Romero Moreira de Oliveira  
Dilson Nazareno Pereira Cardoso  
Wenderson Gomes dos Santos  
Bruno Maués Farias

**DOI 10.22533/at.ed.47519061111**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 132**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 133**

## MICROENCAPSULAMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: CONCEITOS E APLICAÇÕES

### **Lidiane Diniz do Nascimento**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará; Coordenação de Botânica, Museu Paraense Emílio Goeldi.  
Belém – Pará.

### **Márcia Moraes Cascaes**

Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Pará.  
Belém – Pará.

### **Kauê Santana da Costa**

Faculdade de Biotecnologia, Universidade Federal do Oeste do Pará.  
Santarém – Pará.

### **Eloisa Helena de Aguiar Andrade**

Coordenação de Botânica, Museu Paraense Emílio Goeldi; Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Pará.  
Belém – Pará.

### **Elisângela Lima Andrade**

Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará.  
Belém – Pará.

### **Cristiane Maria Leal Costa**

Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Pará.  
Belém – Pará.

### **Lênio José Guerreiro de Faria**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará  
Belém – Pará.

**RESUMO:** Os óleos essenciais em sua forma natural são altamente instáveis e suscetíveis à oxidação, logo, o microencapsulamento tem se mostrado uma alternativa para a proteção destes bioativos da ação da luz, calor, umidade, assim como da perda de compostos voláteis. Neste trabalho são apresentadas a importância e perspectivas do mercado de óleos essenciais, conceitos relacionados à técnica de microencapsulamento, métodos de encapsulamento, tipos de cápsulas e matrizes encapsulantes mais utilizadas em óleos essenciais.

**PALAVRAS-CHAVE:** mercado de óleos essenciais; microencapsulação; *spray drying*.

### ESSENTIAL OILS MICROENCAPSULATION: CONCEPTS AND APPLICATIONS

**ABSTRACT:** The essential oils in their natural form are highly unstable and susceptible to oxidation, so the microencapsulation has been shown an alternative for the protection of these bioactives from the action of light, heat, moisture, as well as the loss of volatile compounds. This paper presents the importance and future perspectives of the market of essential oils, concepts related to the microencapsulation technique, encapsulation methods, types of capsules and encapsulated matrices most used

in essential oils.

**KEYWORDS:** essential oil market; microencapsulation; *spray drying*.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais são uma mistura complexa de terpenos e terpenóides, os quais compõem as características aromáticas de cada planta. Muitas vezes, os principais componentes são precursores, intermediários e produtos finais de uma determinada rota biossintética, e seus teores podem variar de acordo com a época do ano ou estágio de desenvolvimento da planta. Os terpenos são compostos químicos de baixo peso molecular, constituídos por unidades de isoprenóides que consistem em cinco átomos de carbono, e estes podem se agrupar para formar monoterpenos (C<sub>10</sub>), sesquiterpenos (C<sub>15</sub>) e diterpenos (C<sub>20</sub>). Terpenos oxigenados ou terpenóides podem ser aldeídos, alcoóis, cetonas, ácidos, ésteres e éteres (COOK; LANARAS, 2016).

Há uma variedade de técnicas disponíveis para a encapsulação de compostos. Como grande parte dos materiais encapsulados são naturalmente líquidos, muitos dos processos são baseados no princípio da secagem, tais como *spray drying* ou encapsulamento em leite fluidizado (NEDOVIC et al., 2011). A diferença entre encapsulação, microencapsulação e nanoencapsulação está no tamanho da cápsula (SOUZA, 2005).

A microencapsulação é uma técnica relativamente recente e corresponde a uma das variantes do processo de encapsulação. Consiste na separação de uma substância (partícula sólida, gotas de líquidos, dispersões, extratos, óleos ou ainda micro-organismos) do meio externo por meio de uma barreira material, a cápsula. Seu objetivo é liberar, através de estímulos (biodegradação, difusão, ruptura mecânica, conforme a ação da temperatura e/ou do pH) a substância ativa armazenada na cápsula em locais e momentos específicos. As microcápsulas têm a capacidade de modificar e melhorar a aparência e as propriedades de uma substância (AZAMBUJA, 2018; FIB, 2013).

Esta revisão aborda a importância dos óleos essenciais não apenas para a natureza, mas também para fins comerciais à nível mundial, pois cada vez mais o mercado busca por novidades e os óleos essenciais têm se mostrado uma alternativa viável e interessante aos compostos sintéticos. Além disso, também são apresentados conceitos relacionados a técnica de microencapsulamento de óleos essenciais.

## 2 | ÓLEOS ESSENCIAIS: IMPORTÂNCIA ECONÔMICA E PERSPECTIVAS

Os óleos essenciais são metabólitos secundários que podem ser biossintetizados em diferentes órgãos das plantas, tais como flores, botões florais, folhas, frutos,

ramos, casca, sementes, madeira, resinas, rizomas e raízes. São armazenados em células secretoras, cavidades, canais, células epidérmicas ou tricomas glandulares. Podem ser extraídos por diferentes métodos, sendo a hidrodestilação e extração por arraste a vapor os mais utilizados.

Outras formas de obtenção do óleo são as técnicas de prensagem a frio, *enfleurage*, extração por fluido supercrítico e extração por micro-ondas livre de solvente. Podem ser separados da fase aquosa por decantação e seu rendimento varia conforme a espécie de origem, assim como do órgão da planta, estágio de desenvolvimento e condições fisiológicas da planta, podendo também sofrer influência de condições climáticas e sazonalidade. Em geral, os rendimentos obtidos na extração dos óleos essenciais são baixos (cerca de 1%), o que os torna extremamente valiosos (ASBAHANI et al., 2015; BAKKALI et al., 2008; COOK; LANARAS, 2016; RÍOS, 2016).

Os óleos essenciais contêm muitos compostos bioativos, que, além de sua fragrância e sabor, também mostram uma vasta gama de atividades biológicas e propriedades específicas (COOK; LANARAS, 2016)(COOK; LANARAS, 2016), tais como atividade antioxidante (AVANÇO et al., 2017; MEZZA et al., 2018), antifúngica (FIGUEIREDO et al., 2018; LOPEZ-REYES et al., 2013; NAZZARO et al., 2017), antibacteriana (HAMDAOUI et al., 2018; LOU et al., 2017), anticolinesterásica (SILVA et al., 2019).

A demanda global do mercado de óleos essenciais foi de 226,9 quilotoneladas em 2018. Projeta-se expandir a uma taxa de crescimento anual composta (CAGR, do inglês, *compound annual growth rate*) de 8,6% de 2019 a 2025. A demanda por diferentes óleos, tais como manjeriço, jasmim, rosa, cardamomo, camomila, *grapefruit*, lavanda, mostarda, entre outros estão em crescimento no mundo todo (GRAND VIEW RESEARCH, 2019).

Botrel, Fernandes e Borges(2015) destacam que aromatizantes sintéticos, óleos essenciais e óleo resinas naturais são os principais componentes aromáticos utilizados pela indústria alimentícia. Nos últimos anos, o mercado de aromas tem buscado substâncias aromáticas provenientes de fontes naturais em substituição aos aromas sintéticos. Os óleos essenciais são usados como aroma natural em alimentos, cosméticos e produtos de higiene pessoal, devido a suas propriedades químicas.

O Brasil, em conjunto com a Índia, China e Indonésia, possui um lugar de destaque na produção de óleos essenciais. A posição brasileira deve-se aos óleos essenciais de cítricos, que são subprodutos da indústria de sucos. No passado, o país teve destaque como exportador de óleo essencial de pau-rosa, sassafrás e menta(BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009).Existem em torno de trezentos óleos essenciais de interesse comercial no mundo e, entre os dezoito mais importantes, o Brasil lidera a produção de dois: laranja (*Citrus sinensis*) e lima destilada (*Citrus aurantifolia*)(SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2017).

Comercialmente, óleos essenciais são empregados em perfumes, produtos de higiene pessoal, desinfetantes, repelentes, velas, fitomedicamentos entre outros. Atualmente, há uma grande variedade de óleos essenciais disponíveis no mercado, tais como o óleo de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), capim limão (*Cymbopogon citratus*), citronela (*C. winterianus*), patchouli (*Pogostemon cablin*), sálvia (*Salvia officinalis*), lavanda (*Lavandula sp.*), alecrim (*Rosmarinus officinalis*), pimenta preta (*Piper nigrum*), limão (*Citrus limon*) e camomila (*Chamaemelum nobile*).

O crescimento da indústria de cuidados pessoais e o aumento da demanda por produtos com componentes naturais são projetadas para impulsionar o desenvolvimento do mercado durante os próximos anos. A crescente conscientização dos consumidores sobre os benefícios de saúde associados a esses óleos são projetadas para fomentar o crescimento da indústria global. O ramo de alimentos e bebidas tem crescido muito e esse segmento representou uma quota de 32,9% da demanda por óleos essenciais em 2015 (GRAND VIEW RESEARCH, 2019).

O uso de compostos bioativos em alimentos tem atraído o interesse das indústrias, devido aos benefícios potenciais para a saúde. No entanto, a eficácia depende da estabilidade, bioatividade e biodisponibilidade destes ingredientes ativos na matriz alimentícia. O gosto desagradável e a instabilidade limitam aplicação destes compostos. Portanto, a utilização de bioativos encapsulados, em vez de compostos livres, pode efetivamente amenizar estes problemas (HOLKEM; CODEVILLA; MENEZES, 2015).

### 3 | MICROENCAPSULAMENTO: CONCEITOS E APLICAÇÕES

A microencapsulação pode beneficiar o processo produtivo, convertendo os materiais líquidos em cápsulas sólidas, pós ou granulados, permite a utilização de técnicas de processamento eliminando *downtime* em linhas de produtos ou encurtando o tempo gasto em operações de limpeza. A encapsulação pode, ainda, ser usada em casos onde é desejável a adição de um novo ingrediente em um determinado momento do processo de produção, sem necessitar de novas linhas de alimentação e fases de incorporação. Para essas aplicações pode-se empregar cápsulas que serão ativadas termicamente ou por efeito de cisalhamento (FIB, 2013).

Outra vantagem da encapsulação é a diminuição da evaporação e da degradação de voláteis, tais como o aroma, o qual usualmente contém misturas de moléculas orgânicas e voláteis. Na indústria de alimentos, por exemplo, a preservação de componentes voláteis caros, como os flavorizantes, é imprescindível para a redução de perdas no processo de produção (NEDOVIC et al., 2011).

A substância encapsulada pode ser chamada de núcleo, material ativo, fase interna, recheio ou preenchimento enquanto que o material de formação da cápsula é chamado de material de parede, encapsulante, agentes carreadores, revestimento,

membrana, casca, cápsula, material portador, fase externa ou matriz (NEDOVIC et al., 2011; SOUZA et al., 2015).

As microcápsulas são pequenas partículas sólidas subdivididas em diferentes categorias de acordo com sua estrutura. São denominadas em microcápsula simples, matriz (microesfera) quando a substância se encontra distribuída uniformemente no material matriz, microcápsula irregular, multi-núcleos, multi-paredes ou ainda agrupamento de cápsulas(BAKRY et al., 2016), conforme a Figura 1.

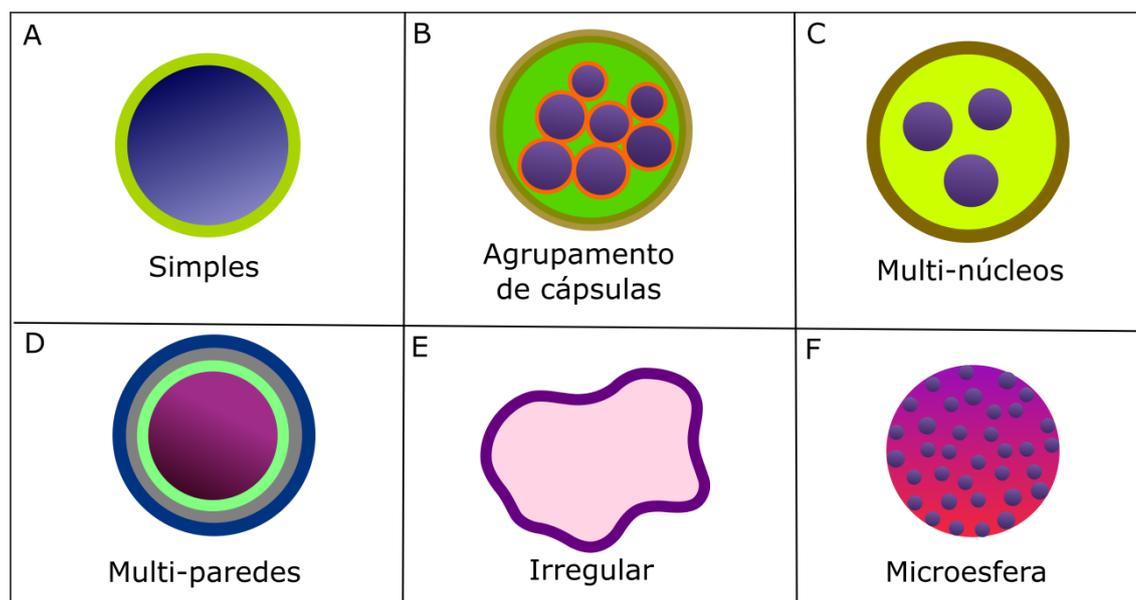


Figura 1 – Diferentes modelos de cápsulas.

O conceito de microcápsula surgiu da idealização do modelo celular. Neste, a membrana que envolve e protege o citoplasma e os demais componentes exerce ao mesmo tempo outras funções, como controlar a entrada e a saída de material na célula. De modo semelhante, a microcápsula consiste em uma camada de um agente encapsulante, geralmente um material polimérico que atua como um filme protetor, isolando a substância ativa(gotículas líquidas, partículas sólidas ou material gasoso), evitando sua exposição inadequada. Essa membrana se desfaz sob estímulo específico, liberando a substância no local ou no momento ideal. De acordo com o seu tamanho, as cápsulas são classificadas como nanopartículas ou micropartículas, variando de 0,01 a 0,2  $\mu\text{m}$  e de 1 a 100  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Acima de 100  $\mu\text{m}$ , são denominadas de macropartículas(FIB, 2013).

Muitos materiais podem ser utilizados como cobertura para as microcápsulas, dentre eles: goma arábica, ágar, alginato e carragena; os carboidratos amido, amidos modificados, dextrinas e sacarose; as celuloses carboximetilcelulose, acetilcelulose, nitrocelulose; os lipídios parafina, mono e diacilgliceróis, óleos e gorduras; os materiais inorgânicos sulfato de cálcio e silicatos;as proteínas do glúten, caseína, gelatina e albumina(FAVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA, 2008; MADENE et al., 2006; SOUZA et al., 2015).

O tipo e a geometria das partículas do núcleo e principalmente, do material encapsulante, determinam o mecanismo de liberação do núcleo. Alguns dos principais mecanismos envolvidos na liberação do núcleo, são: liberação controlada por difusão, ativada por degradação, ativada por solvente, controlada por pH, ativada por temperatura ou pressão. É importante ressaltar que na prática, esses mecanismos podem ser acionados em conjunto (AZEREDO, 2005; FAVARO-TRINDADE; PINHO; ROCHA, 2008).

O material escolhido para o processo de microencapsulação é muito importante, para a estabilidade das microcápsulas. Para uma melhor eficácia do processo, um material de parede ideal deve apresentar propriedades como: solubilidade, peso molecular adequado, cristalinidade, difusividade, propriedades emulsificantes, preservação do núcleo durante o período de estocagem, liberação do material ativo sob condições favoráveis, baixo custo e disponibilidade no mercado (GHARSALLAOUI et al., 2007; SOUZA et al., 2015).

Óleos essenciais microencapsulados estão sendo utilizados por vários segmentos da indústria, com destaque para a alimentícia, cujo objetivo geralmente é intensificar o sabor dos produtos, onde as cápsulas são “programadas” para se romperem rapidamente na boca (AZAMBUJA, 2018). Especiarias são encapsuladas para prolongar a vida de prateleira, manter sua potência e inibir reações com outros ingredientes. O cinamaldeído, por exemplo, agente aromático presente na canela e que possui propriedades antimicrobianas naturais, pode retardar o crescimento de leveduras em produtos de panificação. O uso de canela na forma encapsulada proporciona aroma ao produto, porém sem interferir no processo de levedação (FIB, 2013).

Na indústria de perfumes, os óleos microencapsulados também estão ganhando cada vez mais espaço, pois, desta forma, a liberação da fragrância ocorre de maneira controlada, aumentando o tempo de duração do perfume (AZAMBUJA, 2018). A microencapsulação também é usada pela maioria dos fabricantes de detergentes e cosméticos, em produtos sem enxágüe (desodorantes, perfumes e cremes) e em produtos com enxágüe (shampoos, sabões e detergentes) (SOUZA, 2005).

### **3.1 Microencapsulamento de óleos essenciais**

Os óleos essenciais além de voláteis e quimicamente instáveis são extremamente sensíveis e naturalmente suscetíveis à degradação devido a exposição à luz, calor, oxigênio ou devido a interação com outros componentes presentes em formulações complexas, os quais podem limitar suas atividades biológicas (BENJEMAA et al., 2018; GONÇALVES et al., 2017).

A fim de controlar a liberação de ingredientes ativos ou ainda em aplicações específicas, os óleos essenciais podem ser empregados em diferentes tipos de formulações, seja no estado líquido, semilíquido ou sólido (GIRARDI et al., 2018). A transformação de óleos essenciais líquidos para a forma sólida pode tornar este

produto adequado para o uso em alimentos em pó, além disso, permite uma maior padronização da composição de produtos e suas formulações, pela simples dosagem e manuseio de pós secos com conseqüente redução de custos de estocagem e embalagem (BOTREL; FERNANDES; BORGES, 2015). As propriedades físicas e químicas dos encapsulados dependem das propriedades do aroma, bem como o material encapsulante (GUPTA et al., 2016).

A Tabela 1 apresenta uma série de óleos essenciais encapsulados por diferentes metodologias, tais como inclusão molecular, microfluidização, *spray drying*, gelificação iônica, coacervação, *casting*, liofilização e extrusão. Conforme pode ser observado, a técnica de *spray drying* é intensamente empregada, sobretudo em estudos que avaliam a melhora na estabilidade do óleo microencapsulado, bem como sua atividade antimicrobiana e perfil antioxidante. Os principais materiais de parede empregados são goma arábica, maltodextrina, proteína e amido. Portanto, confirma-se que esta técnica é versátil, mas que a variedade de materiais de parede ainda é uma limitação. O método de gelificação iônica também tem se mostrado uma alternativa para a microencapsulação de óleos essenciais. Quitosana e os ácidos cinâmico e benzóico são os principais materiais utilizados como matrizes encapsulantes.

Os óleos essenciais das espécies *Rosmarinus officinalis* (alecrim) e *Thymus vulgaris* (tomilho) são alguns dos mais descritos em processos de microencapsulação. O óleo de tomilho, por exemplo, já foi microencapsulado pelo método de gelificação iônica, microfluidização, coacervação, *spray drying*, inclusão molecular e extrusão. Conforme a literatura, seu óleo é rico em timol, composto amplamente descrito por sua atividade antifúngica, antibacteriana, larvicida e caráter antioxidante.

#### 4 | CONCLUSÃO

Há uma tendência mundial da aplicação de substâncias naturais em substituição ao uso excessivo de produtos sintéticos, portanto, os óleos essenciais são uma fonte natural alternativa, já que muitos são descritos por seu aroma agradável, atividade antimicrobiana e antioxidante de seus componentes. Grande parte da produção mundial de óleos essenciais é destinada aos mercados de perfumaria, aromaterapia, cosméticos e alimentos.

A microencapsulação ganha cada vez mais destaque em diferentes segmentos da indústria, tais como alimentício, perfumaria e cosméticos, pois esta técnica permite a proteção dos óleos e seus componentes voláteis de possíveis degradações por oxidação e/ou calor, mascarando aromas indesejáveis, controlando a taxa de liberação em condições específicas e portanto, favorecendo a obtenção de um produto final com propriedades diferenciadas e de valor agregado.

Espécie (nome comum)	Componentes majoritários do óleo essencial	material de parede	Método utilizado	Aplicação	autor
<i>Aniba rosaedora</i> (pau-rosa)	$\alpha$ -terpineol e linalol	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
(cardamomo)	1,8-cineol	goma arábica e proteína de soro de leite	<i>spray drying</i>	estabilidade do óleo encapsulado	(AL-ISMAIL et al., 2015)
<i>Cinnamomum burmanii</i> (canela da Indonésia)	cinamaldeído	maltodextrina e goma arábica	<i>spray drying</i>	efeito do armazenamento na microcápsula	(PRATIWI; DARMADJI; HASTUTI, 2017)
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> (canela)	cinamaldeído	goma arábica, proteína de soro de leite e maltodextrina	<i>spray drying</i>	influência de diferentes materiais de parede	(FELIX et al., 2017)
<i>Citrus aurantifolia</i> (limão)	-	proteína do soro de leite concentrada e maltodextrina	<i>spray drying</i>	propriedades da partícula	(CAMPELO et al., 2018)
<i>Citrus sinensis</i> (laranja)	D-limoneno(95,7 %) e mirceno (1,66 %)	maltodextrina, amido modificado e alginato de sódio	<i>spray drying</i> e coacervação	propriedades da microcápsula	(MÜLLER et al., 2016)
<i>Coriandrum sativum</i> (coentro)	linalol (83%)	quitosana	<i>spray drying</i>	eficiência do encapsulamento, atividade antimicrobiana e potencial antioxidante	(DUMAN; KAYA, 2016)
<i>Cymbopogon citratus</i> (capim limão)	geranial, neral e geraniol	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
<i>Cymbopogon citratus</i> (capim limão)	-	alginato de sódio	<i>casting</i>	propriedades físicas e atividade antimicrobiana	(RIQUELME; LIDIA; MATIACEVICH, 2017)
<i>Cymbopogon martinii</i>	geraniol, acetato de geranila e linalol	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
<i>Eugenia caryophyllata</i> (cravo)	eugenol e acetato de eugenila	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
<i>Gaultheria procumbens</i>	salicatode metila (96,25%), Z-citral (1,02%), E-citral (1,11%)	quitosana e ácido cinâmico	gelificação iônica	estabilidade e atividade antibacteriana	(KUJUR et al., 2017)
(laranja)	limoneno	maltodextrina, amido de arroz e proteína hidrolisada	<i>spray drying</i>	caracterizar a microcápsula	(MÁRQUEZ-GOMEZ et al., 2017)
(lavanda)	acetato de linalil (25%)	goma acácia e maltodextrina	<i>spray drying</i>	proteger os componentes do óleo essencial	(BURHAN et al., 2019)
<i>Lippia turbinata</i>	-	gelatina tipo A e goma arábica	coacervação	controle de fungos patogênicos	(GIRARDI et al., 2017)
<i>Melaleuca alternifolia</i> (melaleuca)	terpine-4-ol e terpineno	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
<i>Melaleuca alternifolia</i> (melaleuca)	terpinen-4-ol (42,99%); $\gamma$ -terpineno (20,52%) e $\alpha$ -terpineno (9,21%)	beta-ciclodextrina	inclusão molecular	desenvolvimento de uma nova metodologia para inclusão molecular	(SHRESTHA; HO; BHANDARI, 2017)
<i>Mentha piperita</i> (hortelã)	-	quitosana e ácido cinâmico	gelificação iônica	atividade antifúngica	(BEYKI et al., 2014)
<i>Mentha spicata</i> (menta)	mentol	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
<i>Origanum majorana</i> (manjerona)	terpine-4-ol, cis-tujan-4-ol	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)

<i>Origanum vulgare</i> (orégano)	o-cimeno, $\gamma$ -terpineno, terpinen-4-ol, timol e terpinoleno	hidroxipropilmetilcelulose maltodextrina, e dióxido de silício coloidal	spray drying	preservação da atividade antioxidante	(ASENSIO et al., 2017)
<i>Origanum vulgare</i> (orégano)	carvacrol, cimeno, $\gamma$ -terpineno, timol e $\beta$ -cariofileno	proteína de soro de leite	spray drying	atividade antimicrobiana	(FERNANDES et al., 2018)
<i>Origanum vulgare</i> (orégano)	carvacrol (85,89%)	maltodextrina e goma arábica	spray drying	atividade antimicrobiana	(PARTHENIADIS et al., 2019)
<i>Pelargonium graveolens</i>	citronelol e geraniol	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
<i>Peumus boldus</i> (boldo)	limoneno (69,26%), eucaliptol (30,74%)	gelatina e goma arábica	coacervação	preservação da qualidade de semente	(GIRARDI et al., 2018)
<i>Piper nigrum</i> (pimenta preta)	-	hidroxipropil-beta-ciclodextrina	inclusão complexa (via liofilização)	atividade antioxidante e antibacteriana	(RAKMAI et al., 2016)
<i>Premna serratifolia</i>	eugenol (47,89%); acetato de eugenila (9,13%); massoil (29,78%); cis-2-oxabicyclo, 4,4,0- decano (12,35%)	maltodextrina	spray drying	atividade antibacteriana	(NURLIANA; MUSTA; RUDI, 2018)
<i>Prosopis laevigata</i>	-	goma de mesquita e mucilagem de cacto nopal	spray drying	caracterização das emulsões	(CORTÉS-CAMARGO et al., 2017)
<i>Prunus amygdalus dulcis</i> (amêndoa)	-	quitosana	co-extrusão / gelificação	proteção de óleo essencial de amêndoa	(LUCÍA; MARCELA; AINHOA, 2017)
<i>Psidium guajava</i> (Goiaba)	-	hidroxipropil-beta-ciclodextrina	inclusão complexa (via liofilização)	atividade antioxidante e antibacteriana	(RAKMAI et al., 2018)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	1,8-cineol	proteína do soro de leite e maltodextrina	liofilização	propriedades da microcápsula	(TURASAN; SAHIN; SUMNU, 2015)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	-	isolado proteico de soro e inulina	spray drying	influência dos materiais de parede na microcápsula	(FERNANDES et al., 2016)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	$\alpha$ -pineno (14,9%), $\beta$ -pineno (12,3%), 1,8-cineol (44,8%), $\beta$ -linalol (1,7%), cânfora (20,2%) e cariofileno (3,4%)	proteína de soro de leite e inulina	spray drying	conservante de queijo	(FERNANDES et al., 2017)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	-	quitosana e ácido benzóico	gelificação iônica	atividade antioxidante e antibacteriana	(HADIAN et al., 2017)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	-	quitosana e ácido benzóico	gelificação iônica	atividade antibacteriana	(MOHSENABADI et al., 2018)
<i>Rosmarinus officinalis</i> (alecrim)	$\alpha$ -pineno (26,12%), 1,8 cineol (9,55%), cânfora (8,84%)	amido de trigo	secador de cabine	efeito fitotóxico	(ALIPOUR et al., 2019)
<i>Salvia officinalis</i> (sálvia)	cânfora, 1,8-cineol, canfeno, acetato de sabinila	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA-TRUJILLO et al., 2015)
<i>Schinus molle</i>	sabineno (48,63–51,74%), limoneno (10,20–16,98%), bicilogermacreno (18,12%)	goma arábica e maltodextrina	spray-drying	potencial inseticida	(LÓPEZ et al., 2014)

<i>Thymus capitatus</i>	carvacrol (76,1%), γ-terpineno (6,7%), p-cimeno (3,9%)	óleo de soja	emulsificação?	atividade antibacteriana	(BENJEMAA et al., 2018)
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	Timol (65,7%), p-cimeno (20%), γ-terpineno (5,4%)	quitosana e ácido benzóico	gelificação iônica	atividade antifúngica	(KHALILI et al., 2015)
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	timol e p-cimeno	alginato de sódio	microfluidização	caracterizar a nanoemulsão e atividade antibacteriana	(SALVIA- TRUJILLO et al., 2015)
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	timol (53,57%), p-cimeno (15,51%); limoneno (7,14%)	gelatina tipo b de pele bovina e goma arábica	coacervação complexa	conservante para produtos de confeitaria	(GONÇALVES et al., 2017)
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	timol (60,45%), p-cimeno (19,58%)	maltodextrina	spray drying	atividade antimicrobiana	(TOMAZELLI JUNIOR et al., 2018)
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	timol (65,8%); p-cimeno (19,1%); carvacrol (6,1%)	beta-ciclodextrina	inclusão molecular	agente antioxidante a antimicrobiano em alface	(VIACAVA et al., 2018)
<i>Thymus vulgaris</i> (tomilho)	timol (53,2%), o-cimeno (17%), carvacrol (5,46%)	amido de milho	extrusão termoplástica	atividade larvicida	(MAIA et al., 2019)
<i>Zataria multiflora</i>	carvacrol (4–57%), timol (1– 45%), p-cimeno (4–20%), γ-terpineno (1–38%) e linalol (1–33%).	agar, alginato e carragenina	dispersão	atividade antioxidante	(KAVOOSI et al., 2018)

Tabela 1 – Óleos essenciais encapsulados por diferentes técnicas e suas respectivas aplicações.

## REFERÊNCIAS

- AL-ISMAIL, K. M. et al. **Effect of microencapsulation of cardamom's essential oil in gum Arabic and whey protein isolate using spray drying on its stability during storage.** *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, v. 7, n. 5, p. 613–620, 2015.
- ALIPOUR, M. et al. **Phytotoxicity of encapsulated essential oil of rosemary on germination and morphophysiological features of amaranth and radish seedlings.** *Scientia Horticulturae*, v. 243, p. 131–139, 2019.
- ASBAHANI, A. EL et al. **Essential oils : From extraction to encapsulation.** *International Journal of Pharmaceutics*, v. 483, p. 220–243, 2015.
- ASENSIO, C. M. et al. **Antioxidant stability study of oregano essential oil microcapsules Prepared by spray-Drying.** *Food Chemistry*, v. 82, n. 12, p. 2864–2872, 2017.
- AVANÇO, G. et al. **Curcuma longa L . essential oil composition , antioxidant effect , and effect on Fusarium verticillioides and fumonisin production.** *Food Control*, v. 73, p. 806–813, 2017.
- AZAMBUJA, W. **Microencapsulação de Óleos Essenciais.** Disponível em: <<https://www.oleosessenciais.org/wagner-azambuja/>>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- AZEREDO, H. M. C. **Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos.** *Revista alimentos e Nutrição*, v. 16, n. 1, p. 89–97, 2005.
- BAKKALI, F. et al. **Biological effects of essential oils – A review.** *Food and Chemical Toxicology*, v. 46, p. 446–475, 2008.

- BAKRY, A. M. et al. **Microencapsulation of Oils : A Comprehensive Review of Benefits , Techniques , and Applications.** Comprehensive Review in Food Science and Food Safety, v. 15, p. 143–182, 2016.
- BENJEMAA, M. et al. **Nanoencapsulation of Thymus capitatus essential oil : Formulation process , physical stability characterization and antibacterial e efficiency monitoring.** Industrial Crops & Products, v. 113, n. July 2017, p. 414–421, 2018.
- BEYKI, M. et al. **Encapsulation of Mentha piperita essential oils in chitosan – cinnamic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against Aspergillus flavus.** Industrial Crops & Products, v. 54, p. 310–319, 2014.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. **Brazilian essential oils: General view, developments and perspectives.** Quimica Nova, v. 32, n. 3, p. 588–594, 2009.
- BOTREL, D. A. .; FERNANDES, R. V. B. .; BORGES, S. V. Microencapsulation of Essential Oils Using Spray Drying Technology. In: SAGIS, L. M. C. (Ed.). . **Microencapsulation and microspheres for food applications.** San Diego: Academic Press, 2015. p. 235–251.
- BURHAN, A. M. et al. **Optimisation of the microencapsulation of lavender oil by spray drying.** Journal of Microencapsulation, v. 36, n. 3, p. 250–266, 2019.
- CAMPELO, P. H. et al. **Stability of lime essential oil microparticles produced with protein-carbohydrate blends.** Food Research International, v. 105, p. 936–944, 2018.
- COOK, C. M.; LANARAS, T. Essential Oils : Isolation , Production and Uses. In: CABALLERO, B.; FINGLAS, P. M.; TOLDRA, F. (Eds.). . **Encyclopedia of Food and Health.** [s.l.] Elsevier Ltd., 2016. p. 552–557.
- CORTÉS-CAMARGO, S. et al. Microencapsulation by spray drying of lemon essential oil : Evaluation of mixtures of mesquite gum – nopal mucilage as new wall materials. **Journal of Microencapsulation,** v. 34, n. 4, p. 395–407, 2017.
- DUMAN, F.; KAYA, M. **Crayfish chitosan for microencapsulation of coriander ( Coriandrum sativum L .) essential oil.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 92, p. 125–133, 2016.
- FAVARO-TRINDADE, C. S.; PINHO, S. C. DE; ROCHA, G. A. **Microencapsulation of food ingredients.** Brazilian Journal of Food Technology, v. 11, n. 2, p. 103–112, 2008.
- FELIX, P. H. C. et al. **Physicochemical and thermal stability of microcapsules of cinnamon essential oil by spray drying.** Journal of Food Processing and Preservation, v. 41, p. 1–9, 2017.
- FERNANDES, D. E. B. et al. **Microencapsulated rosemary ( Rosmarinus officinalis ) essential oil as a biopreservative in Minas cheese.** Journal of Food Processing and Preservation, v. 41, p. 1–9, 2017.
- FERNANDES, R. et al. **Behaviour of microencapsulated rosemary essential oil by spray drying in different relative humidities.** Ciência Agrícola, v. 14, n. 1, p. 73–82, 2016.
- FERNANDES, R. V. B. et al. **Microencapsulated oregano essential oil in grated Parmesan cheese conservation.** International Food Research Journal, v. 25, p. 661–669, 2018.
- FIB - Food Ingredients Brasil. **A microencapsulação a serviço da indústria alimentícia.** Food Ingredients Brasil - FIB, n. 25, p. 30–36, 2013.

- FIGUEIREDO, P. L. B. et al. **Seasonal study of methyleugenol chemotype of *Ocimum campechianum* Essential Oil and Its Fungicidal and Antioxidant**. *Natural Product Communications*, v. 13, p. 1–4, 2018.
- GHARSALLAOUI, A. et al. **Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients : An overview**. *Food Research International*, v. 40, p. 1107–1121, 2007.
- GIRARDI, N. S. et al. **Microencapsulation of *Lippia turbinata* essential oil and its impact on peanut seed quality preservation**. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 116, p. 227–233, 2017.
- GIRARDI, N. S. et al. **Microencapsulation of *Peumus boldus* essential oil and its impact on peanut seed quality preservation**. *Industrial Crops & Products*, v. 114, n. February, p. 108–114, 2018.
- GONÇALVES, N. D. et al. **Encapsulated thyme ( *Thymus vulgaris* ) essential oil used as a natural preservative in bakery product**. *Food Research International*, v. 96, p. 154–160, 2017.
- GRAND VIEW RESEARCH. **Essential Oils Market Size & Share, Industry Growth Report, 2019-2025**. Disponível em: <<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/essential-oils-market>>. Acesso em: 20 set. 2003.
- GUPTA, S. et al. Encapsulation: entrapping essential oil/flavors/aromas in food. In: GRUMEZESCU, A. M. (Ed.). **Encapsulation Nanotechnology in the Agri-food Industry**. [s.l.] Elsevier Inc., 2016. p. 229–268.
- HADIAN, M. et al. **Encapsulation of *Rosmarinus officinalis* essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antibacterial activity in beef cutlet against *Salmonella typhimurium* during refrigerated storage**. *LWT - Food Science and Technology*, v. 84, p. 394–401, 2017.
- HAMDAOUI, A. EL et al. **Essential oil composition , antioxidant and antibacterial activities of wild and cultivated *Lavandula mairei* Humbert**. *Biochemical Systematics and Ecology*, v. 76, p. 1–7, 2018.
- HOLKEM, A. T.; CODEVILLA, C.; MENEZES, C. **Emulsification / internal ionic gelation : Alternative for microencapsulation bioactive compounds**. *Ciência e Natura*, v. 37, p. 116–124, 2015.
- KAVOOSI, G. et al. **Microencapsulation of zataria essential oil in agar , alginate and carrageenan**. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v. 45, p. 418–425, 2018.
- KHALILI, S. et al. **Encapsulation of Thyme essential oils in chitosan-benzoic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus***. *LWT - Food Science and Technology*, v. 60, n. 1, p. 502–508, 2015.
- KUJUR, A. et al. **Microencapsulation of *Gaultheria procumbens* essential oil using chitosan-cinnamic acid microgel : Improvement of antimicrobial activity , stability and mode of action**. *LWT - Food Science and Technology*, v. 86, p. 132–138, 2017.
- LOPEZ-REYES, J. et al. **Efficacy of Plant Essential Oils on Postharvest Control of Roots Caused by Fungi on Different Stone Fruits in vivo**. *Journal of Food Protection*, v. 76, n. 4, p. 631–639, 2013.
- LÓPEZ, A. et al. **Insecticidal activity of microencapsulated *Schinus molle* essential oil**. *Industrial Crops & Products*, v. 53, p. 209–216, 2014.
- LOU, Z. et al. **The antioxidant, antibacterial, antibiofilm activity of essential oil from Citrus**

**medica L. var. sarcodactylis and its nanoemulsion.** LWT - Food Science and Technology, v. Volume 80, p. 371–377, 2017.

LUCÍA, C.; MARCELA, F.; AINHOA, L. **Encapsulation of Almond Essential Oil by Co-Extrusion / Gelling Using Chitosan as Wall Material.** Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences, p. 67–74, 2017.

MADENE, A. et al. **Flavour encapsulation and controlled release – a review.** International Journal of Food Science and Technology, v. 41, p. 1–21, 2006.

MAIA, J. D. et al. **Improved activity of thyme essential oil ( Thymus vulgaris ) against Aedes aegypti larvae using a biodegradable controlled release system.** Industrial Crops & Products, v. 136, p. 110–120, 2019.

MÁRQUEZ-GÓMEZ, M. et al. **Spray-dried microencapsulation of orange essential oil using modified rice starch as wall material.** Journal of Food Processing and Preservation, p. 1–9, 2017.

MEZZA, G. N. et al. **Antioxidant activity of rosemary essential oil fractions obtained by molecular distillation and their effect on oxidative stability of sunflower oil.** Food Chemistry, v. Volume 242, p. 9–15, 2018.

MOHSENABADI, N. et al. **Physical and antimicrobial properties of starch-carboxy methyl cellulose film containing rosemary essential oils encapsulated in chitosan nanogel.** International Journal of Biological Macromolecules, v. 112, p. 148–155, 2018.

MÜLLER, P. et al. **Encapsulation efficiency and thermal stability of orange essential oil microencapsulated by spray drying and by coacervation.** Boletim do Centro de Pesquisas de Processamentos de Alimentos, v. 34, p. 133–150, 2016.

NAZZARO, F. et al. **Essential oils and antifungal activity.** Pharmaceuticals, v. 86, n. 10, p. 1–20, 2017.

NEDOVIC, V. et al. **An overview of encapsulation technologies for food applications.** Procedia Food Science, v. 1, p. 1806–1815, 2011.

NURLIANA, L.; MUSTA, R.; RUDI, L. **Mixroencapsulation of essential oil from rogo plant (Premna serratifolia L.) as antibactery Escheria coli.** International Journal of Engineering Sciences & Research Technology, v. 7, n. 8, p. 314–323, 2018.

PARTHENIADIS, I. et al. **Formulation , characterization and antimicrobial activity of tablets of essential oil prepared by compression of spray-dried powder.** Journal of Drug Delivery Science and Technology, v. 50, p. 226–236, 2019.

PRATIWI, I. Y.; DARMADJI, P.; HASTUTI, P. **Effect of storage temperature on the stability of microencapsulated essential oil from cinnamon ( Cinnamomum burmanii ).** Advances of Science and Technology for Society, n. July 2016, p. 130014- 1 to 130014-7, 2017.

RAKMAI, J. et al. **Characterization and evaluation of bio-ef fi cacies of black pepper essential oil encapsulated in hydroxypropyl-beta- cyclodextrin.** Food Hydrocolloids, v. 65, p. 157–164, 2016.

RAKMAI, J. et al. **Antioxidant and antimicrobial properties of encapsulated guava leaf oil inhydroxypropyl-beta-cyclodextrin.** Industrial Crops & Products, v. 111, p. 219–225, 2018.

RÍOS, J.-L. **Essential Oils: What they are and how the terms are used and defined.** In: PREEDY, V. (Ed.). **Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety.** 1. ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2016. p. 3–10.

- RIQUELME, N.; LIDIA, M.; MATIACEVICH, S. **Food and Bioproducts Processing Active films based on alginate containing lemongrass essential oil encapsulated : Effect of process and storage conditions.** Food and Bioproducts Processing, v. 104, p. 94–103, 2017.
- SALVIA-TRUJILLO, L. et al. **Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils.** Food hydrocolloids, v. 43, p. 547–556, 2015.
- SHRESTHA, M.; HO, T. M.; BHANDARI, B. R. **Encapsulation of tea tree oil by amorphous beta-cyclodextrin powder.** Food chemistry, v. 221, p. 1474–1483, 2017.
- SILVA, S. . et al. **Chemical profile of lippia thymoides, evaluation of the acetylcholinesterase inhibitory activity of its essential oil, and molecular docking and molecular dynamics simulations.** PLoS ONE, v. 14, n. 3, p. 1–17, 2019.
- SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Óleos essenciais : uma fonte de divisas a ser mais explorada no Brasil.** Disponível em: <<https://www.sna.agr.br/oleos-essenciais-uma-fonte->>. Acesso em: 5 abr. 2019.
- SOUZA, A. L. R. . et al. **Microencapsulation of juice and pulp fruits for spray drying: a review abstract.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v. 17, n. 3, p. 327–338, 2015.
- SOUZA, M. S. M. DE. **Cosméticos & Perfumes - Vol. VI - nº 38 - 2005.** Cosméticos e Perfumes, v. VI, n. 38, p. 46–53, 2005.
- TOMAZELLI JUNIOR, O. et al. **Microencapsulation of essential thyme oil by spray drying and its antimicrobial evaluation against Vibrio alginolyticus and Vibrio parahaemolyticus.** Brazilian Journal of Biology, v. 78, n. 2, p. 311–317, 2018.
- TURASAN, H.; SAHIN, S.; SUMNU, G. **Encapsulation of rosemary essential oil.** LWT - Food Science and Technology, v. 64, p. 112–119, 2015.
- VIACAVA, G. E. et al. **Effect of free and microencapsulated thyme essential oil on quality attributes of minimally processed lettuce.** Postharvest Biology and Technology, v. 145, p. 125–133, 2018.

## ÍNDICE REMISSIVO

### SÍMBOLOS

$\beta$ -ciclodextrina 99, 100, 101, 104

### A

Adsorção 14, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 109

Adsorvente 75, 80, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 93, 95, 97, 131

ATR 106, 107

### B

Bagaço de cana 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97

Bagasse 49, 51, 60, 86, 98

Biomassa 36, 38, 39, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 68, 71, 75, 78

### C

Carvão ativado 75, 78, 85, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98

Cinética 5, 85, 87, 89, 94, 97, 100, 101, 102, 103, 104, 130

Cogeneration 49

Collection 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60

Compostos de interesse 39, 62

Corantes 62, 67, 69, 70, 71, 75, 76, 77, 86, 87, 92, 93, 94, 98, 100, 102, 104

Couro wetblue 85, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 97

### D

Dióxido de titânio 11, 13, 18, 109

DRX 106, 107, 123, 125, 126

### E

Efficiency 2, 12, 32, 34, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 73, 76, 86

### F

Fármacos de liberação controlada 1

Fotocatálise heterogênea 11, 13, 20

### G

Glicerol 36, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Grafeno 3, 8, 14, 106, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115

## H

Hammers modificado 106

## I

Irradiação solar 11, 15

Isotermas 75, 79, 80, 81, 83, 85, 87, 90, 95, 96, 97, 103

## M

Maximização de entropia 36, 39, 40, 42

Mercado de óleos essenciais 22, 24

Microencapsulação 22, 23, 25, 27, 28, 31, 32

## N

Nanopartículas 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 26

Nanotecnologia 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9

## P

Particulate material 49, 50, 52, 55, 57

Poliamida 99, 100, 101, 104

Purificação 62, 63, 66, 67, 68, 69, 71, 74, 79

## R

Raman 106, 107, 113, 114

Recuperação 62, 70

## S

SCWG 36, 37, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Síntese hidrotérmica 120, 125

Sistemas aquosos bifásicos 62, 63, 69, 70, 71

Sodalita 118, 119, 120, 121, 125, 126, 127, 128, 129

Spray drying 22, 23, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35

## T

Tingimento têxtil 99, 105

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-747-5

