Congresso Internacional da Agroindústria
10 e 11 de junho
CIAGRO 2021
Inovação, Gestão e Sustentabilidade na Agroindústria

ALIMENTOS COMO FONTES NATURAIS PARA O CONTROLE BIODINÂMICO DE INSETOS E PRAGAS

FOODS AS NATURAL SOURCES FOR BIODYNAMIC CONTROL OF INSECTS AND PESTS

Juliana Dias Maia[1]

DOI: https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0225

RESUMO

Os agrotóxicos sintéticos estão cada vez mais em defasagem internacionalmente, menos no Brasil. Concomitantemente o surgimento e/ou migração de propriedades rurais para o sistema sustentável é crescente. Isso por causa da preocupação intensa com os malefícios que os defensivos sintéticos ocasionam à saúde do consumidor, de quem aplica e ao meio ambiente (solo, água e vegetais), além de promover a seleção de artrópodes resistentes e atingir organismos não-alvo. Os alimentos são fontes naturais de compostos efetivos contra insetos e pragas. Especiarias que são utilizadas como condimentos na culinária como tomilho, pimenta ou outros ingredientes como alho, jambu, também podem ser utilizadas no combate ecológico de insetos. As plantas produzem metabólitos com capacidade de atrair insetos polinizadores e de repelir insetos predadores. É preciso identificar tais substâncias, isolá-las e aplicá-las frente aos insetos para verificar sua eficácia em relação ao número de insetos. O ambiente para o controle da quantidade dos artrópodes pode ser no campo, nas lavouras, em fazendas, em relação à saúde dos animais ou em cidades, em relação a saúde do homem. A agroecologia prevê a utilização de caldos, pastas ou extratos diluídos dos alimentos/plantas para aplicação direta sob as pragas. Porém, estes nem sempre são tão eficazes ao comparar com pesticidas sintéticos. Para potencializar os efeitos dos defensivos naturais, convém-se concentrá-los antes do seu uso. Além disso, pode-se utilizar outra técnica para aperfeiçoar sua aplicação em campo: a microencapsulação do óleo essencial ou extrato natural. Dependendo da escolha do material de recobrimento (de preferência biodegradável) e do método (barato e sustentável), a microencapsulação é uma excelente alternativa, pois tem os seguintes objetivos: proteger o composto ativo, controlar a sua liberação e diminuir a concentração necessária para obter a atividade biológica desejada.

Palavras-Chave: Agroecologia, Defensivos alternativos, Extratos naturais, Microencapsulação, Óleos essenciais.

ABSTRACT

Synthetic pesticides are increasingly lagging internationally, less in Brazil. Concomitantly, the emergence and / or migration of rural properties to the sustainable system is growing. This is due to the intense concern with the harms that synthetic pesticides cause to the health of the consumer, to those who apply it and to the environment (soil, water, and vegetables), in addition to promoting the selection of resistant arthropods and reaching non-target organisms. Food is a natural source of compounds effective against insects and pests. Spices that are used as condiments in cooking such as thyme, pepper, or other ingredients such as garlic, jambu, can also be used in the ecological fight against insects. Plants produce metabolites capable of attracting pollinating insects and repelling predatory insects. It is necessary to identify such substances, isolate them and apply them to insects to verify their effectiveness about the number of insects. The environment for controlling the number of arthropods can be in the

[1] Doutora em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, juliana_dias_maia@hotmail.com

field, in crops, on farms, about the health of animals, or in cities, about the human health. Agroecology provides for the use of broths, pastes, or diluted extracts from food / plants for direct application under pests. However, these are not always as effective when compared to synthetic pesticides. To enhance the effects of natural pesticides, it is advisable to concentrate them before their use. In addition, another technique can be used to improve its application in the field: microencapsulation of essential oil or natural extract. Depending on the choice of covering material (preferably biodegradable) and the method (cheap and sustainable), microencapsulation is an excellent alternative, as it has the following objectives: protecting the active compound, controlling its release, and decreasing the concentration necessary to obtain the desired biological activity.

Keywords: Agroecology, Alternative pesticides, Essential oils, Microencapsulation, Natural extracts.

INTRODUÇÃO

Esta revisão bibliográfica aborda sobre os seguintes conteúdos: prejuízos de insetos à agricultura e à saúde do homem e dos animais; agrotóxicos sintéticos no controle de pragas; alimentos que são utilizados como controle natural de insetos; como potencializar os efeitos biológicos dos pesticidas naturais; microencapsulação de defensivos naturais; um estudo de caso sobre aplicação de partículas contendo óleo essencial contra larvas de mosquito.

Ao longo do texto são feitos questionamentos pertinentes que a sociedade, seja ela acadêmica ou não, se faz corriqueiramente, como: “é menos pior comer veneno ou comer inseto?”; “porque pagar mais caro pelo extrato concentrado se é possível utilizar o extrato diluído em forma de caldo?”, “por quanto tempo após exposição no ambiente a atividade biológica do defensivo natural será mantida?”, “porque aplicar a microencapsulação se vai encarecer meu produto?”, “o sistema particulado desenvolvido será eficaz no meio de aplicação?”.

Desta forma, serão abordados diversos assuntos dentro da grande área das ciências agrárias, mas que se interrelacionam, pois assim é a construção da ciência, que visa sempre a aplicação pela sociedade. O objetivo é elencar como os alimentos podem ser utilizados como substitutos de pesticidas sintéticos, de forma sustentável e ecologicamente correta.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os insetos de um modo geral estão presentes em quase todas as culturas agrícolas, exemplo: lagartas em grãos e sementes; moscas em frutas, pulgão em hortaliças folhosas; formigas, percevejos, mariposas, ácaros, cupins, larvas, gorgulhos, besouros, traças que atacam folhas, sementes e raízes em geral, entre muitos outros (GUIMARÃES; MICHEREFF FILHO; LIZ, 2011).

Entretanto, a presença dos insetos não deve ser considerada apenas como um aspecto negativo, pois eles indicam que naquele ecossistema há um equilíbrio natural, que há vida. O

grande problema é quando os insetos estão presentes em quantidade demasiada, se tornando uma infestação ou praga, descaracterizando o equilíbrio inicial. Só para citar, o caso mais recente foi a nuvem de gafanhotos que devastou lavouras no Sul da América do Sul e ameaçou chegar ao Brasil (G1 NOTÍCIAS, 2020).

Consequentemente, as perdas começam a surgir: são os famosos danos pós-colheita. As pragas podem causar desde pequenas manchas ou perfurações na superfície do vegetal até a perda total por causa de podridões ocasionadas por microrganismos (fungos, bactérias) ou até mesmo a saída de larvas do seu interior, o que é extremamente rejeitado pelo consumidor. É preciso salientar dois pontos importantes: 1) a qualidade inicial da matéria-prima é primordial para a obtenção de um produto de origem vegetal de qualidade; 2) junto aos danos pós-colheita, somam-se ainda os prejuízos econômicos do produtor.

Sob outro ponto de vista, os insetos em quantidade desequilibrada são um transtorno também para a saúde do homem, pois são veículos (vetores) para a transmissão dos agentes causadores de doenças (agentes etiológicos). A título de exemplo, uma única espécie de mosquito, o *Aedes aegypti*, pode transmitir vírus de enfermidades graves, e muitas vezes letais, como: dengue, zika, chikungunya e febre amarela; o barbeiro transmite o protozoário responsável por causar a doença de Chagas. Alguns outros insetos são mais preocupantes no caso de transmissão de patologias aos animais, especialmente ao gado produtor de leite, como berne, carrapato etc., mas que também precisam ter sua população controlada no ambiente.

Um agrave maior e que não pode deixar de ser comentado é que ainda não existe vacina contra as doenças que o *Aedes* transmite assim como existe para outras doenças virais cujo próprio homem é o vetor de transmissão. Por isso que mesmo em tempo de pandemia causada pelo coronavírus (SARS-CoV-2) é preciso controlar a população de mosquito e não pode haver descuido dos casos de dengue, zika, chikungunya e febre amarela. Na Figura 01 é possível verificar uma comparação do número de casos registrados e mortes de doenças promovidas por vírus acometidas nos brasileiros no ano de 2019, dentre elas as que são transmitidas pelo mosquito. Infelizmente, a taxa de letalidade da covid-19 mostrada na Figura 01 foi alterada devido ao aumento do número de casos e de mortes no Brasil, mas a vacinação da população já foi iniciada.

Figura 01: Comparação de doenças virais ao longo dos anos no Brasil

Panorama de doenças virais no Brasil em 2019

Doença	Casos	Mortes	Letalidade (%)
Dengue	1.544.987	782	0,05
Chikungunya	132.205	92	0,07
Zika	10.768	3	0,03
Sarampo	18.203	15	0,08
H1N1	3.430	796	23,2
Total	**1.709.593**	**1.688**	

Covid-19

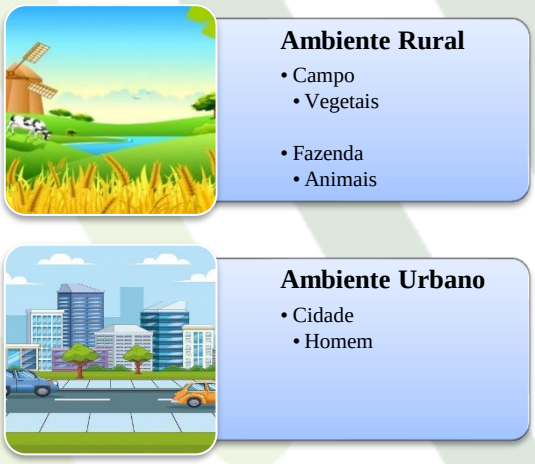
Números relativos ao período de 26 de fevereiro a 27 de abril de 2020

Casos	Mortes	Letalidade (%)
66.501	4.5743	6,8

Fonte: Jornal do Comércio (2020).

A Figura 02 resume onde os insetos e pragas quando em quantidade acima do normal são um problema para a sociedade.

Figura 02: Locais onde insetos e pragas são um problema para a sociedade quando em quantidade acima do normal e o que/quem são os mais afetados

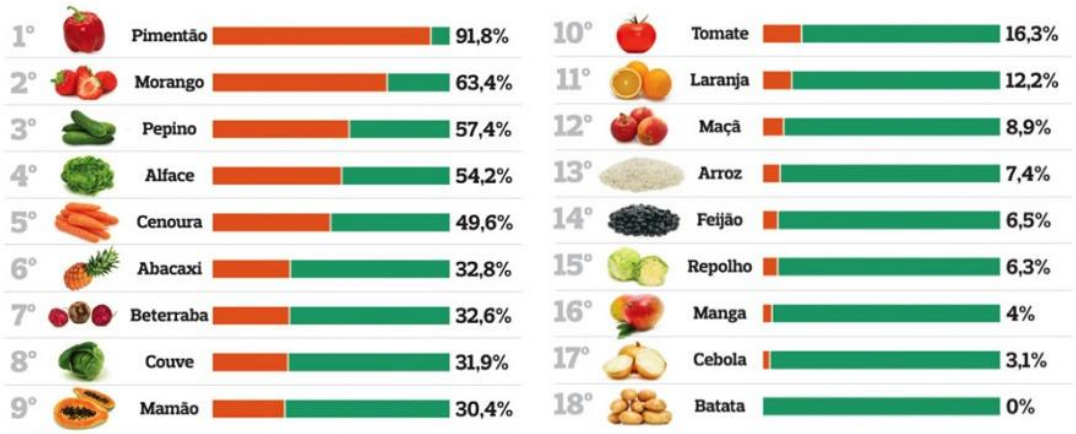


Fonte: Própria (2021).

Desta maneira, uma forma de contornar os problemas ocasionados pela presença de pragas e insetos é utilizar substâncias químicas com capacidade de atuar sob eles. Tais substâncias têm diferentes denominações, tais como: pesticida, praguicida, defensivo, biocida, produto fitossanitário. Porém, o nome mais popular dentre eles é agrotóxico, indicando a sua alta toxicidade. Tal denominação reflete o quão nociva a substância química pode ser, principalmente são produtos de origem sintética, visto que, são triplamente prejudiciais: à saúde

do consumidor e de quem aplica e ao meio ambiente. Os principais malefícios dos pesticidas sintéticos são: riscos de desenvolvimento de câncer, contaminação de solo, água e vegetais, inclusive frutas e hortaliças que serão consumidas frescas (Figura 03), toxicidade a organismos não-alvo e desenvolvimento de resistência ao princípio ativo por parte do inseto, havendo necessidade de reaplicação e em dose maior, iniciando um ciclo vicioso.

Figura 03: Ranking de vegetais que apresentam irregularidades quanto ao uso de agrotóxicos no Brasil em 2018 conforme o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos de Alimentos (PARA) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) vinculada ao Ministério da Saúde



Fonte: Borges (2018).

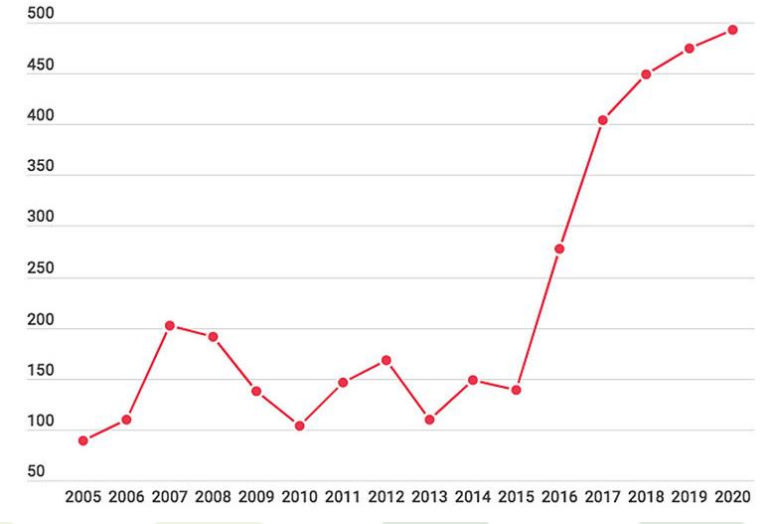
Isto significa que em relação à segurança e inocuidade, os agrotóxicos são considerados perigos químicos para os alimentos de origem vegetal. Os agrotóxicos dividem-se basicamente em dois grupos de transmissão: por contato ou sistêmicos – os agrotóxicos sistêmicos, mais usados atualmente penetram no fruto pela raiz e incorporam-se ao DNA do vegetal (DAEMON, 2017). Se a contaminação do agrotóxico for sistêmica, isto é, através da raiz do vegetal, ele será incorporado ao seu DNA, não podendo ser removido pela sanitização, processamento térmico, ou qualquer outro método de conservação. Por isso é importante utilizar matéria-prima de qualidade, de preferência, isenta de agrotóxico sintético. Outras possibilidades são: utilizar a menor quantidade possível para atingir o efeito desejado, respeitar o limite estabelecido por lei e considerar os estudos das evidências dos riscos de seus usos e realmente banir aqueles que foram excluídos da lista de agrotóxicos não permitidos.

Pelo discutido até aqui, o consumidor, leigo no assunto, pergunta-se: “é menos pior comer veneno ou comer inseto?”. Não é uma questão fácil de se fazer, tampouco de ser respondida pelo profissional da área de alimentos. Porém, é preciso analisar a questão como um todo e verificar quais as possíveis soluções não extremistas.

Apesar da comprovação dos malefícios dos defensivos sintéticos, o Brasil desde 2016

vem liberando cada vez mais agrotóxicos como mostra a Figura 04 e em 2020 bateu o recorde de registro de agrotóxicos. Desta forma, apesar do Ministério da Saúde fazer o controle com o Programa de Análise de Resíduos de Agrotóxicos de Alimentos (PARA) em todos as unidades federativas desde 2001, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento parece não estar considerando tais dados, deliberando o registro de novos agrotóxicos, muitos deles banidos na União Europeia. É preciso repensar estes fatos e verificar quais posicionamentos são mais relevantes neste momento: alavancar a produção, comercialização e uso de defensivos agrícolas ou repensar o seu uso excessivo, resíduos em alimentos e população brasileira doente.

Figura 04: Número de registros de agrotóxicos aprovados pelo Governo Federal a cada ano no Brasil de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)



Fonte: Grigori (2021).

Assim, utilizar defensivos sintéticos é uma solução que está em defasagem e vem sendo substituída recentemente pela produção sustentável no ambiente rural. Este é um termo atual para indicar a produção em propriedades que vislumbram um equilíbrio maior com o ecossistema. A pecuária e agricultura são orgânicas, ou seja, as pastagens para alimentação dos animais e as culturas agrícolas não recebem defensivos agrícolas ou, quando recebem, eles são de origem natural. Sim, alimentos são utilizados como fontes naturais para controlar insetos e pragas durante o cultivo de outros alimentos. Mais adiante vamos detalhar como isto é possível. Complementando a afirmativa anterior, os alimentos de origem vegetal e animal chegam à mesa do consumidor isentos de resíduos químicos.

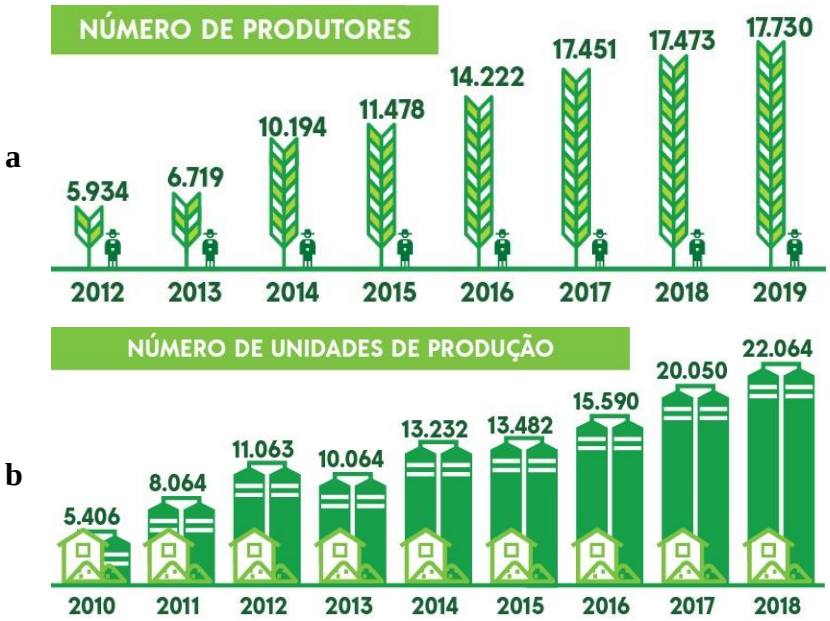
Um dos princípios da produção sustentável é a regeneração do solo, que inclui melhorar a relação entre os insetos e seu habitat, não excluindo-os totalmente. Especialmente porque aqui o conceito de “praga” não é mais adequado, pois os insetos são organismos que ocupam

diferentes posição nos ecossistemas: as suas populações se regulam conforme a abundância de alimentos e a existência de inimigos naturais (predadores). Um aumento de uma dessas populações é uma resposta da natureza a algum desequilíbrio no ecossistema (FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER, 2010). Algumas propostas para controlar a população de insetos na lavoura é fazer a rotação de culturas, fazer cultivos intercalados (espécies diferentes), cercas vivas etc.

Assim, a produção orgânica de alimentos não é só uma alternativa, mas uma necessidade para desenvolver modelos de agricultura sustentáveis para as gerações futuras e corrigir os impactos da agricultura convencional. É preciso a partir de agora focar no manejo ecológico, a partir da manutenção da biodiversidade, integrando objetivos ambientais, econômicos, sociais, propondo estratégias para o desenvolvimento rural sustentável (FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER, 2010).

A maior desvantagem dos agrossistemas é que eles ainda são pouco utilizados quando comparados às grandes comodities, sendo mais aplicados em pequenas propriedades, mas muitas já se encontram em transição agroecológica no Brasil. Além disso, o mercado de produtos orgânicos tem crescido muito nos últimos anos (Figura 05) e tem ainda um grande potencial. Tudo isso por causa do aumento da consciência do consumidor por alimentos saudáveis, necessidade de satisfazer o cliente, responsabilidade ambiental e zelo pelo bem-estar dos animais na fazenda.

Figura 05: Mercado de produtos orgânicos no Brasil: número de produtores (a) e número de unidade de produção (b) ao longo dos anos.



Fonte: Centro de Inteligência em Orgânicos (2019).

Entendido como controlar os insetos de forma mais amigável no campo, como fazê-lo em relação a insetos e pragas que ameaçam a saúde dos animais na fazenda e do homem na cidade? Tais medidas são muito difíceis, pois dependem de inúmeros fatores: poder público (existência de vacina contra a patologia), saúde do animal, infraestrutura da fazenda (zona de separação de animais sadios e doentes), saneamento ambiental (coleta de resíduos, limpeza do ambiente), conscientização do consumidor em relação ao descarte correto de resíduos, impedindo a propagação dos insetos etc.

Retomando o assunto citado anteriormente, os alimentos podem ser a solução para o controle da população de insetos e pragas que ameaçam a saúde dos animais e do homem. Mais especificamente, muitas plantas produzem substâncias em resposta a um ataque patogênico e algumas delas têm a capacidade de atrair insetos (polinizadores) ou repelir insetos (predadores). O homem faz uso então dessas plantas como pesticidas naturais para o controle de insetos.

Os defensivos alternativos apresentam como características: sustentabilidade, pois são recursos renováveis e rapidamente degradáveis; baixa ou nenhuma toxicidade ao homem e ao meio ambiente (animais, plantas, solo e água); grande disponibilidade; custo reduzido de aquisição e de utilização; simplicidade de manejo e aplicação (PEREIRA, 2020); não favorecem o desenvolvimento de resistência por parte dos insetos, pois extratos naturais e óleos essenciais são constituídos por associações complexas de princípios ativos (PROPHIRO et al., 2008) e não simplesmente por moléculas puras como os agrotóxicos sintéticos são.

Os defensivos alternativos podem ser caldos, extratos diluído e/ou pastas de plantas, tendo como principais matérias-primas: alho, tomilho, camomila, cravo, jambu, pimenta, citronela, nim (ou neem), mamona, moringa, aroeira, entre outras variedades (ANDRADE; NUNES, 2001; COHIDRO, 2016; FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER, 2010; PEREIRA, 2020). A quantidade de defensivos naturais possíveis de serem obtidos é proporcional à diversidade de plantas do bioma brasileiro, ou seja, com oportunidades infinitas, muitas ainda inexploradas.

Observa-se aqui uma coincidência: especiarias que são utilizadas como condimentos na culinária, que são fontes de óleos essenciais, também podem ser utilizadas no combate ecológico de insetos. A engenharia de alimentos busca então agregar valor à matéria-prima a partir da aplicação de uma tecnologia adequada para extrair o composto ativo de interesse e, se possível, concentrá-lo para poder potencializar seu efeito biológico. Desta maneira, o defensivo natural estará cada vez mais competitivo no mercado comercial em relação ao defensivo sintético. Convém destacar que não apenas ervas aromáticas são fontes de substâncias com atividades biológicas (fitoquímicos), mas sementes, frutas, hortaliças, como já foram

mencionados anteriormente diferentes exemplos. A questão principal está voltada então para o método de extração que será aplicado para a obtenção do óleo essencial ou extrato natural. Ele envolve inúmeras variáveis e está totalmente relacionado à qualidade do produto, bem como a sua pureza, consequentemente, a sua eficácia biológica.

Uma observação é que ao se fazer a análise do perfil químico do extrato/óleo, não é mandatório que o composto majoritário seja o composto ativo, isto é, aquele que confere a atividade biológica, por isso que a concentração do princípio ativo às vezes é necessária. Além disso, é importante conhecer os dados de solubilidade e difusão do composto ativo no meio onde será aplicado para ter sua atividade biológica (areia, água, ar, planta).

Geralmente, esta atividade é expressa em termos de concentração letal para eliminar uma parte da população de insetos: 50, 90 ou 99%, ou seja, a CL_{50}, CL_{90} ou CL_{99} respectivamente. A CL_{50} dos agrotóxicos sintéticos é muito pequena, mostrando sua eficiência, mas apresentam muitas desvantagens já discutidas. Para equilibrar a comparação com os defensivos naturais, o que se tem feito é a testagem da atividade biológica do composto ativo do óleo/extrato isolado quimicamente. Consequentemente, a CL_{50} do composto ativo isolado pode ser menor do que a CL_{50} do óleo/extrato, porém é preferível o uso do óleo/extrato bruto por causa da sua composição de mistura de substâncias complexas, que atuam nos artrópodes sob efeito sinergístico. Para exemplificar, a Tabela 01 traz alguns dados da literatura para o tomilho e seu composto ativo referente sua atividade biológica contra larvas de mosquito.

Tabela 01: Concentração letal para eliminar 50% (CL_{50}) de larvas de diferentes vetores após 24 h de exposição do óleo essencial de tomilho (*Thymus vulgaris*) em comparação com seu metabólito isolado

Parte da planta usada	Método de extração	Espécie do mosquito	CL_{50} (ppm)	Referência
Biomassa da matéria vegetal	Hidrodestilação	*Anopheles labranchiae*	352,63	El-Akhal et al. (2016)
Folhas secas	Hidrodestilação	*Culex quinquefasciatus*	14 - 117	Pavela; Vrchotová, Tríska (2009)
Folhas	Hidrodestilação	*Aedes aegypti*	17,3	Massebo et al. (2009)
NI	Hidrodestilação	*Aedes aegypti*	2,14 – 25,37	López et al. (2015)
NI	Hidrodestilação assistida por microondas	*Aedes aegypti*	45,73	Ríos; Stashenko; Duque (2017)
Metabólito isolado				
Timol		*Culex pipiens*	52,3	Zahran; Abdelgaleil (2011)

NI – Não informado; ppm – partes por milhão

Dentre os fatores que influenciam no processo de obtenção do fitoquímico de interesse, os principais são: a área superficial de contato, isto é, é necessário moer/triturar a matéria-prima para expor o produto para a ação do solvente e verificar a granulometria ideal para o processo;

o tempo de contato para extração; o tipo de solvente – polaridade, viscosidade, solubilidade, lembrando que estas duas últimas propriedades podem ser moduladas pelas condições operacionais de pressão e temperatura; técnica – maceração, destilação, ultrassom, micro-ondas, extração a alta pressão (supercrítica, com líquido pressurizado). As possibilidades de métodos de extração são infinitas, contudo, as mais utilizadas são: solventes polares a baixa pressão - maceração com etanol e hidrodestilação; extração com dióxido de carbono supercrítico.

Atenta-se para o fato de tecnologias não térmicas como a extração supercrítica estarem cada vez mais em ascensão, justamente por causa da sensibilidade dos compostos de interesse ao aquecimento intenso, mas que em sua maioria encarecem o produto. É preciso sempre avaliar todo o contexto, pois o cliente pode se perguntar: "porque vou pagar mais caro pelo extrato concentrado se eu poderia utilizar o extrato diluído?" e ofertar a proposta de valor que o mercado consumidor necessita.

Apesar da possibilidade de degradação durante o aquecimento, como foi dito, a hidrodestilação é um dos métodos de obtenção de óleo essencial mais antigo e utilizado, justamente porque os compostos ativos são moléculas pequenas, consequentemente, voláteis, sendo facilmente extraídas por tal. Contudo, tais características trazem consigo outras particularidades: facilidade de degradação pela ação do oxigênio e da luz. Sendo assim, por quanto tempo após exposição no ambiente a atividade biológica do defensivo natural será mantida? Lembrar que a reaplicação é um dos fatores para o desenvolvimento da resistência por parte dos insetos, mesmo que seja um processo de menor incidência para os defensivos naturais, mas ele pode ocorrer. Obviamente que o desenvolvimento da ciência não parou por aí e a engenharia de alimentos trouxe mais uma alternativa tecnológica.

A microencapsulação é um processo que coloca pequenas partículas de sólido ou líquido (material de recheio) dentro de uma camada de recobrimento (matriz polimérica). É uma técnica bastante utilizada por dois motivos: 1) conferir a proteção necessária ao composto ativo frente à degradação pela ação do oxigênio e da luz; 2) controlar a liberação do composto ativo no momento e lugar mais adequado. Este segundo implica em dois outros aspectos positivos da aplicação da microencapsulação, são eles: 3) pode diminuir a concentração necessária para obter a atividade biológica desejada; 4) pode prolongar a vida útil do composto ativo (SOBEL; VERSIC; GAONKAR, 2014; TACKENBERG; KLEINEBUDDE, 2015).

Existem diferentes técnicas, como atomização, extrusão, gelificação, coacervação complexa etc. Tratando-se de microencapsulação de óleos essenciais e extratos naturais, a técnica de microencapsulação mais utilizada é a formação da emulsão com o material de

recobrimento seguida por secagem em atomizador *spray dryer* de um modo geral.

De acordo com o processo selecionado, as partículas variam: de forma (esferas, irregulares), de estrutura (porosa, compacta) e estado físico (amorfo ou sólido cristalino desidratado, elástico ou vítreo). Tudo isso afeta as propriedades de difusão ou a estabilidade durante o armazenamento. Outros parâmetros importantes na hora da escolha da melhor técnica de microencapsulação são: custo, rendimento e adaptação à produção em escala industrial (GUEVARA-BRÉTON; JIMÉNEZ-MUNGUÍA, 2008).

As partículas produzidas podem ser classificadas quanto ao seu tamanho em: macro (> 5000 μm), micro (0,2 a 5000 μm) e nano (< 0,2 μm). Outra classificação está relacionada à distribuição do ativo no material de parede: sistema do tipo reservatório ("verdadeiras" microcápsulas, o núcleo é concentrado na região central e está circundado pelo material de parede) e sistema matricial (microesferas, o núcleo se encontra totalmente disperso na matriz). (AZEREDO, 2005).

Os materiais de recobrimento podem ser polímeros sintéticos ou naturais, dando-se preferência, é claro, sempre para os naturais, por serem biodegradáveis, de origem animal ou vegetal, principalmente carboidratos ou proteínas. Alguns exemplos: amidos (de milho, batata, mandioca, modificado), gomas (arábica, xantana, de cajueiro), maltodextrina, pectina, gelatina etc.

O foco é saber se o sistema particulado produzido/idealizado irá ser eficiente, seja no ambiente rural ou no ambiente urbano (Figura 02). Para ter uma noção disso, a Tabela 02 apresenta uma compilação dos fatores que podem influenciam na liberação do composto ativo.

Tabela 02: Fatores que afetam a liberação do composto ativo

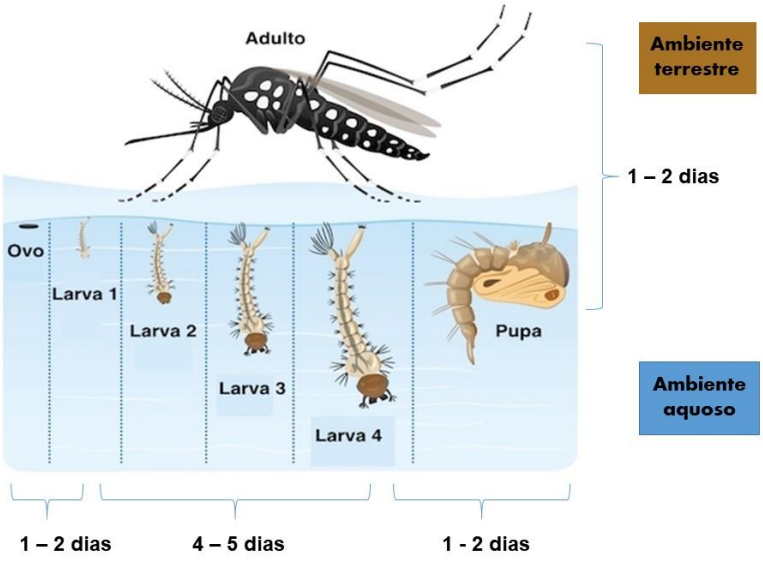
Propriedades do ativo	Solubilidade no meio de liberação Solubilidade no polímero Características de dissolução/difusão Solubilidade no meio de liberação
Propriedades do polímero	Propriedades térmicas Grau de cristalinidade Solubilidade no meio de liberação Velocidade de absorção do meio de liberação
Propriedades do meio de liberação	Velocidade de agitação Temperatura Íons pH Viscosidade Enzimas Pressão
Propriedades do processo	Seleção do método de encapsulação Temperatura, pressão, tensão de cisalhamento Diagrama de fases do solvente com o ativo Umidade final
Projeto do processo	Proporção entre polímero e ativo Composição e espessura da camada de polímero Carga inicial de ativo e distribuição no polímero Microestrutura da partícula Quantidade de ativo na superfície e eficiência de encapsulação Geometria do sistema Rendimento Custo

Fonte: Adaptado de Raval; Parikh; Enginner (2010)**.**

Pensando em tudo isso, Maia et al. (2019) desenvolveram um sistema particulado muito interessante para combater o mosquito *Aedes aegypti*. Este trabalho será utilizado como um estudo de caso de alimentos como fontes naturais para o controle biodinâmico de insetos e pragas no ambiente urbano.

A metamorfose completa do *Aedes aegypti* é: fase ovo, fase larva (4 estádios: L1, L2, L3 e L4), fase pupa e fase adulto, as quais podem ser observadas na Figura 06.

Figura 06: Fases de desenvolvimento do mosquito *Aedes aegypti* em função da duração e do ambiente.



Fonte: Adaptado de Shutterstock (2019)

De acordo com Pavela (2015), a proteção química contra o mosquito é baseada em três métodos: 1) matar o mosquito adulto utilizando inseticidas do tipo aerossóis, mas nesta fase o mosquito pode estar contaminado com o vírus da doença e o ambiente de aplicação é muito grande se for um ambiente aberto e ventilado, havendo a necessidade de reaplicação constante; 2) prevenir a alimentação de sangue pelo mosquito adulto utilizando repelentes, mas é necessário aplicar corriqueiramente para continuar tendo seu efeito; 3) reduzir a população de mosquito, evitando a eclosão dos ovos ou matando as larvas, com o uso de larvicidas naturais ou sintéticos, preferindo-se os naturais por razões já comentadas.

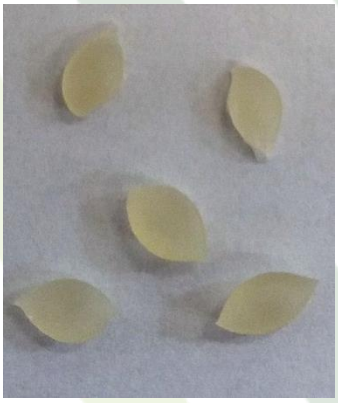
Sendo assim, as ações para controlar a população do mosquito são realizadas principalmente na fase de larva (ambiente aquoso conforme a Figura 06), quando o inseto se encontra mais vulnerável, ainda não é um vetor em potencial (GUARDA et al., 2016) e tem menor mobilidade do que em ambiente terrestre.

Muitos anos atrás, era comum encontrar mosquito apenas na zona rural, mas ele migrou para a zona urbana por encontrar condições favoráveis para sua multiplicação. De acordo uma pesquisa realizada em Goiânia (GO, Brasil) os focos mais comuns de larvas de *Aedes aegypti* são vaso de plantas, garrafas abertas, latas e utensílios domésticos, representando 65% dos locais de reprodução do mosquito (SANTOS et al., 1999). A alta prevalência de criadouros domésticos é a razão pela qual o controle de mosquitos é intensamente promovido pelos governos e nas mídias sociais; a mensagem é eliminar os focos de água parada e proteger os reservatórios de água do acesso por mosquitos, para evitar a proliferação do vetor. No entanto,

este método depende da adesão da população à política de descarte de utensílios não utilizados e cobertura dos reservatórios. Lembrando do agrave que ainda não existe vacina para as doenças transmitidas por este artrópode.

Destarte, Maia et al. (2019) desenvolveram um sistema particulado (Figura 06) para ser aplicado em reservatórios de água, com potencial para criadouros do mosquito, como vasos de plantas, pneus velhos descartados de forma errada etc. O material de recheio utilizado foi o óleo essencial de tomilho comercial, contendo 53,2% de timol como composto ativo e majoritário, o material de recobrimento foi o amido de milho, que é barato, abundante e biodegrável (YILMAZ et al., 2001), fazendo-se uma mistura de amidos para obter 15% de teor de amilose. O método de microencapsulação aplicado foi a extrusão termoplástica, que é rápido, aplicável em escala industrial, com baixo custo e elevado rendimento, não utiliza solventes durante seu funcionamento (GUEVARA-BRÉTON; JIMÉNEZ-MUNGUÍA, 2008), tendo como princípios básicos de funcionamento o aquecimento, cisalhamento e compressão. As condições operacionais de pressão e temperatura aplicadas visaram promover danos mínimos ao óleo essencial e pouca expansão do extrusado (MAIA et al., 2017).

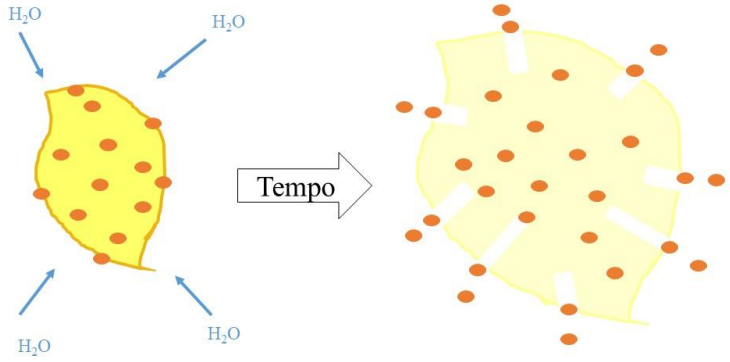
Figura 06: Aparência do sistema particulado produzido por extrusão termoplástica com óleo essencial de tomilho.



Fonte: Maia et al. (2019)

A hipótese dos mecanismos envolvidos para a liberação do composto ativo do sistema particulado para atuar sob as larvas é representado na Figura 07. Após determinado tempo em contato com a água, ocorre absorção de umidade (inchamento do amido), consequentemente um aumento dos poros que facilitam a difusão do óleo essencial de tomilho incorporado ao material polimérico e ocorre a lixiviação de sólidos do material polimérico, indicado pela descoloração do sistema.

Figura 07: Imersão do sistema particulado em água contendo larvas de *Aedes aegypti* e os mecanismos envolvidos na liberação do composto ativo.



Fonte: Maia et al. (2017).

Os inúmeros efeitos positivos da microencapsulação em comparação com o óleo essencial livre (não encapsulado) obtidos por Maia et al. (2019) são apresentados na Tabela 03. Além disso, o teste de efeito residual demonstrou que o óleo essencial de tomilho livre no 3º dia de exposição já tinha sua eficácia reduzida (< 20% de mortalidade larval), enquanto o sistema particulado manteve 100% de mortalidade até o 11º dia e inferior a 50% apenas no 17º dia. Os autores ressaltam que o sistema particulado pode ter outras aplicações mais amplas contra outros organismos (microrganismos, insetos, larvas de mosquitos de outras espécies), podendo ser aplicado com herbicidas ou nutrientes em lavouras, com fármacos em viveiros de pescado (MAIA et al., 2017, 2019).

Tabela 03: Atividade larvicida do sistema particulado e do óleo essencial de tomilho não encapsulado

População / Fase	**Sistema particulado**			**Óleo essencial livre**
	Mortalidade (%)		**CL_{50} (µg mL^{-1})**	**CL_{50} (µg mL^{-1})**
Tempo de contato	**24 h**	**48 h**	**48 h**	**24 h**
Susceptível [a] / L3	79,0 ± 14,0	99,0 ± 1,0	31	94
Susceptível [a] / L1 [b]	-	99,8 ± 0,3	-	-
Resistente [c] / L3	86,0 ± 13,0	100 ± 0.6	-	-

[a] Linhagem Rockefeller criada em laboratório;
[b] Teste conduzido com objetivo de verificar eficácia "ovicida", frente às larvas recém-eclodidas;
[c] População adulta coletada na rua e replicada em laboratório.

Fonte: Maia et al. (2019)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os insetos não são vilões. Eles precisam apenas estar em número equilibrado no ecossistema, seja ele um ambiente rural ou urbano. O homem precisa aprender com a própria natureza a controlar de forma mais amigável possível a regular os predadores, a alimentação, reduzir os focos de reprodução, entre outras medidas. O mais importante é mudar o ponto de vista sobre os insetos, revendo então o conceito de pragas, o qual não existe dentro da agroecologia, visto que caracteriza apenas um desequilíbrio no habitat.

Dentre as alternativas apresentadas nesta revisão bibliográfica, a que mais tem repercussão é o uso de pesticidas naturais, que utilizam alimentos como fontes naturais de metabólitos com atividades biológicas. Tais alimentos, principalmente plantas, ervas aromáticas, sementes, podem ser utilizadas em formas de pastas, caldos ou extratos diluídos com aplicação, mas que apresentam uma curta vida útil de aplicação e baixo eficácia em comparação com pesticidas sintéticos.

Para potencializar os efeitos dos defensivos naturais, eles podem ser concentrados e, idealmente, microencapsulados, pois esta técnica visa proteger óleos essenciais e extratos, prolongando seus efeitos desejados e reduzindo a quantidade de composto ativo necessário. Quando o desenvolvimento de sistemas que apresentam eficiência comprovada, rentabilidade e custo rentável de produção, vale muito a pena aplicar a técnica de microencapsulação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. N. T.; NUNES, M. U. C. **Produtos alternativos para controle de doenças e pragas em agricultura orgânica**. Documentos ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. Disponível em: <www.cpatc.embrapa.br>. Acesso em: 28 abr. 2021.

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição**, [s. l.], p. 89–97, 2005.

BORGES, L. **Brasileiros consomem 7 litros de agrotóxicos por ano**. 2018. Disponível em: <https://autossustentavel.com/2018/04/brasileiros-7-litros-de-agrotoxicos.html>. Acesso em: 28 abr. 2021.

CENTRO DE INTELIGÊNCIA EM ORGÂNICOS. **Interesse por alimentos saudáveis triplica número de produtores de orgânicos no País**. 2019. Disponível em: <https://ciorganicos.com.br/noticia/interesse-por-alimentos-saudaveis-triplica-numero-de-produtores-de-organicos-no-pais/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

COHIDRO. **Produtos alternativos para o controle de pragas e doenças na agricultura**. 2ª ed. Aracaju: Governo de Sergipe, 2016. Disponível em: <https://cohidro.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/11/produtos_alternativos_para_o_controle_de_pragas_e_doencas_na_agricultura.pdf>

DAEMON, C. **É impossível remover agrotóxicos dos alimentos**. 2017. Disponível em: <https://www.funverde.org.br/blog/e-impossivel-remover-agrotoxicos-dos-alimentos/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

EL-AKHAL, F. et al. Larvicidal activity of essential oils of Thymus vulgaris and Origanum majorana (Lamiaceae) against of the malaria vector Anopheles labranchiae (Diptera: Culicidae). **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 3, p. 372–376, 2016.

FUNDAÇÃO KONRAD ADENAUER. Cartilha Agroecologia - Manejo de “pragas” e doenças. **Agricultura Familiar, Agroecologia e Mercado**, [s. l.], v. nº 6, p. 1–44, 2010. Disponível em: <https://issuu.com/mobilizadorescoep/docs/cartilha_agroecologia_-_manejo_de_p>. Acesso em: 28 abr. 2021.

G1 NOTÍCIAS. **Nuvem de gafanhotos chega à Argentina e se aproxima do Brasil**. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2020/06/23/nuvem-de-gafanhotos-chega-a-argentina-e-se-aproxima-do-brasil.ghtml>. Acesso em: 28 abr. 2021.

GRIGORI, P. **2020 é o ano com maior aprovação de agrotóxicos da história**. 2021. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/vida-sustentavel/alimentacao/2020-e-o-ano-com-maior-aprovacao-de-agrotoxicos-da-historia/>. Acesso em: 28 abr. 2021.

GUARDA, C. et al. Atividade larvicida de produtos naturais e avaliação da susceptibilidade ao inseticida temefós no controle do Aedes aegypti (Diptera: Culicidae). **Interciencia**, [s. l.], v. 41, n. 4, p. 243–247, 2016.

GUEVARA-BRÉTON, N. A.; JIMÉNEZ-MUNGUÍA, T. Encapsulación: técnicas y aplicaciones en la industria alimentaria. **Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos**, [s. l.], v. 2, p. 36–49, 2008.

GUIMARÃES, J. A.; MICHEREFF FILHO, M.; LIZ, R. S. Manejo de pragas em campos de produção de sementes de hortaliças. **Circular Técnica nº 94 Embrapa**, [s. l.], p. 1–21, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15445298.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

JORNAL DO COMÉRCIO. **Covid-19 mata mais que zika, dengue, chikungunya, H1N1 e sarampo somados**. 2020. Disponível em: <https://www.jornaldocomercio.com/_conteudo/especiais/coronavirus/2020/04/736010-covid-19-mata-mais-que-zika-dengue-chikungunya-h1n1-e-sarampo-somados.html>. Acesso em: 29 abr. 2021.

LÓPEZ, L. A. P. et al. Essential oils from Zanthoxylum fagara Wild Lime, Ruta chalepensis L. and Thymus vulgaris L.: composition and activity against Aedes aegypti larvae. **Pakistan journal of pharmaceutical sciences**, [s. l.], v. 28, n. 5, p. 1911–1915, 2015.

MAIA, J. D. et al. **Partícula biodegradável e uso**, BR 10 2017 026411 4, 2017.

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**, [s. l.], v. 136, p. 110–120, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.040>

MASSEBO, F. et al. Evaluation on larvicidal effects of essential oils of some local plants against Anopheles arabiensis Patton and Aedes aegypti Linnaeus (Diptera, Culicidae) in Ethiopia. **African Journal of Biotechnology**, [s. l.], v. 8, n. 17, p. 4183–4188, 2009.

PAVELA, R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: A review. **Industrial Crops & Products**, [s. l.], v. 76, p. 174–187, 2015.

PAVELA, R.; VRCHOTOVÁ, N.; TŘÍSKA, J. Mosquitocidal activities of thyme oils (Thymus

vulgaris L.) against Culex quinquefasciatus (Diptera: Culicidae). **Parasitology Research**, [s. l.], v. 105, n. 5, p. 1365–1370, 2009.

PEREIRA, W. H. **Práticas alternativas para a produção agropecuária**. [s.l.] : EMATER MG, 2020. Disponível em: <https://ciorganicos.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Manual_de_Praticas_Agroecológicas-Emater1.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

PROPHIRO, J. S. et al. Estudo comparativo do efeito larvicida de extratos de frutos verdes e maduros de Melia azedarach L. (Sapindales: Meliaceae) em Aedes aegypti L. (Diptera: Culicidae). **BioAssay**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 1–5, 2008.

RAVAL, A.; PARIKH, J.; ENGINEER, C. Mechanism of controlled release kinetics from medical devices. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 211–225, 2010.

RÍOS, N.; STASHENKO, E. E.; DUQUE, J. E. Evaluation of the insecticidal activity of essential oils and their mixtures against Aedes aegypti (Diptera: Culicidae). **Revista Brasileira de Entomologia**, [s. l.], v. 61, n. 4, p. 307–311, 2017.

SANTOS, A. H. et al. Controle de criadouros dos vetores de dengue e da febre amarela urbana na cidade de Goiânia, com participação popular. **Revista de Patologia Tropical**, [s. l.], v. 28, n. 2, p. 231–241, 1999.

SHUTTERSTOCK. **Google pictures for life cycle of mosquito Aedes aegypti**. 2019. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/image-vector/nature-aedes-aegypti-mosquito-stilt-life-369343772>. Acesso em: 1 fev. 2019.

SOBEL, R.; VERSIC, R.; GAONKAR, A. G. Introduction to microencapsulation and controlled delivery in foods. In: GAONKAR, A. et al. (Eds.). **Microencapsulation in the food industry - a practical implementation guide**. San Diego: Academic Press, 2014. p. 590.

TACKENBERG, M. W.; KLEINEBUDDE, P. Encapsulation of liquids via extrusion - A review. **Current Pharmaceutical Design**, [s. l.], v. 21, n. 40, p. 5815–5828, 2015.

YILMAZ, G. et al. Encapsulation of sunflower oil in starch matrices via extrusion: effect of the interfacial properties and processing conditions on the formation of dispersed phase morphologies. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 45, p. 403–410, 2001.

ZAHRAN, H. E. M.; ABDELGALEIL, S. A. M. Insecticidal and developmental inhibitory properties of monoterpenes on Culex pipiens L. (Diptera: Culicidae). **Journal of Asia-Pacific Entomology**, [s. l.], v. 14, p. 46–51, 2011.