



Potencial da utilização de resíduos orgânicos da produção industrial do suco de laranja *Citrus sinensis* na obtenção de óleo essencial para controle do *Aedes aegypti*

Potential application of organic wastes from *Citrus sinensis* orange juice industrial production on *Aedes aegypti* control

<https://doi.org/10.32712/2446-4775.2024.1585>

Welbert, Juliana Pereira¹

 <https://orcid.org/0009-0005-5133-5294>

Genta, Fernando Ariel^{1,2,4*}

 <https://orcid.org/0000-0001-9558-1116>

Gomes, Bruno^{1,4}

 <https://orcid.org/0000-0003-3877-2359>

Monteiro, Maria Helena Durães Alves³

 <https://orcid.org/0000-0001-7434-5544>

¹Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto Oswaldo Cruz, Laboratório de Bioquímica e Fisiologia de Insetos. Avenida Brasil, 4365, pavilhão Leônidas Deane, Mangueiras, CEP 21040-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

²Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Entomologia Molecular (INCT-EM), Avenida Carlos Chagas Filho 373, Bloco D, Centro de Ciências da Saúde Bloco D-SS, Sala 05, Cidade Universitária, 21941-902 Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

³Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto de Tecnologia em Fármacos-Farmanguinhos, Centro de Inovação em Biodiversidade e Saúde (CIBS). Avenida Comandante Guarany, 447, prédio 10, Jacarepaguá, CEP 22775-903, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

⁴Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), Instituto de Endemias Rurais - INERU. Estrada da Covanca, 66, sala 3, Tanque, CEP 22735-020, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

*Correspondência: genta@ioc.fiocruz.br.

Resumo

O mosquito *Aedes aegypti*, da família Culicidae, é um importante vetor de arbovírus endêmicos no Brasil. O controle vetorial é uma das principais estratégias no controle das doenças causadas por arbovírus. Desenvolvimento de ferramentas alternativas é necessário para diminuir a dependência dos inseticidas sintéticos e as limitações causadas pelo aumento da incidência de resistência no *Aedes aegypti*. O óleo essencial de laranja doce, *Citrus sinensis* (Rutaceae), tem atividade inseticida e pode ser uma escolha válida para desenvolver novas ferramentas de controle, devido a sua baixa toxicidade aos mamíferos e baixo custo, por ser um subproduto da produção de suco de laranja. A produção de suco de laranja no cinturão citrícola do Brasil descarta todos os anos toneladas de resíduos orgânicos, como a casca, que

muitas vezes não tem aplicação ou destinação correta, causando danos ambientais nos locais de descarte. Esse trabalho sugere a reutilização desses resíduos, descartados pela indústria do suco de laranja na região citrícola de São Paulo e Minas Gerais, no aproveitamento da produção de óleo essencial de *Citrus sinensis*, pelo seu potencial no desenvolvimento de produtos aplicados no controle de *Aedes aegypti*, conforme atividade reportada em literatura, o que impulsionaria o avanço tecnológico e social na região.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*. Larvicida. Óleo essencial. *Aedes aegypti*.

Abstract

Aedes aegypti (Culicidae) is an important vector of arbovirus in Brazil. Vector control is one of the main strategies to manage arboviruses. The development of alternative tools is a key strategy to reduce the dependency on synthetic insecticides and the limitations caused by the increase of insecticide resistance in *Aedes aegypti*. The essential oil of sweet orange, *Citrus sinensis* (Rutaceae), present insecticide properties and it is a valid resource to develop novel control tools, due its low toxicity in mammals and low cost, as it is a by-product of orange juice production. Every year, the orange juice industry discard tons of organic waste, lacking appropriate application or destination in Brazil, causing negative environmental impacts at the disposal locations. This study proposes the use of these residues, discarded by the orange juice industry in the citrus region of São Paulo and Minas Gerais, in obtaining the essential oil of *Citrus sinensis* for the control of *Aedes aegypti*, according to the activity reported in the literature, which would promote technological and social advancement.

Keywords: *Citrus sinensis*. Larvicide. Essential oil. *Aedes aegypti*. Scientific disclosure.

Introdução

O Brasil é um dos países do mundo mais afetados pelo mosquito *Aedes aegypti* L. (Diptera - Culicidae), uma espécie de inseto conhecido por ser o principal vetor dos arbovírus dengue, Zika e chikungunya. As doenças causadas por esses vírus não têm tratamento específico ou vacina eficaz, por isso, a sua prevenção passa pelo controle do mosquito vetor. Os programas de controle estão rotineiramente dependentes da aplicação de inseticidas sintéticos que promovem a diminuição das populações de *A. aegypti* e do contato entre os mosquitos e o hospedeiro humano^[1].

Os principais inseticidas sintéticos usados no controle de insetos vetores são neurotóxicos e podem apresentar toxicidade aos humanos com consequências negativas na saúde pública, além de impactos ambientais devido à forma de aplicação. Além disso, alguns dos inseticidas menos tóxicos, como os piretróides, têm perdido eficácia devido à emergência de populações de mosquitos resistentes a esses princípios ativos. Isso é normalmente associado a mutações na molécula alvo do inseticida e a mudanças no metabolismo de desintoxicação ou na espessura da cutícula do inseto. Esses problemas geram a necessidade contínua de criação de novas formulações inseticidas e que, preferencialmente, tenham baixo impacto do ponto de vista ambiental. Por esse motivo, muitos estudos estão sendo feitos com produtos naturais que não ocasionem prejuízo ao meio ambiente e que sejam igualmente eficazes na ação contra o mosquito vetor^[2].

Uma classe de produtos que tem sido investigada por sua atividade inseticida é a dos óleos essenciais. Estas substâncias são constituídas por metabólitos secundários de plantas, frequentemente associados a ações terapêuticas alternativas e a uma grande variedade de aplicações, dentre as quais, a ação inseticida^[1]. Produtos inseticidas baseados em óleos essenciais ainda são raros, mas estes compostos já são muito usados no controle as arboviroses como repelentes, substâncias ou produtos que afastam os mosquitos de hospedeiros vertebrados evitando a picada e assim a transmissão do arbovírus.

No Brasil, uma espécie vegetal que tem o óleo essencial produzido comercialmente é a *Citrus sinensis* L. Osbeck, popularmente conhecida como laranja doce. A laranja é um dos principais produtos de exportação do Brasil, sobretudo na forma de suco obtida do fruto.

A indústria brasileira do suco de laranja é de grande importância para economia, movimentando o mercado interno e externo do setor agrícola nacional, tendo, no entanto, repercussões ambientais na geração de resíduos oriundos de sua produção. Dentre os subprodutos oriundos dessa indústria, está o óleo essencial de laranja, utilizado em outros setores industriais como o cosmético, alimentício e farmacêutico^[3]. Além das aplicações tradicionais, o uso sustentável de óleo essencial de laranja como inseticida tem sido pesquisado para criar alternativas aos inseticidas sintéticos, visando desenvolver mecanismos de entrega de óleos essenciais no controle vetorial ou identificar compostos inseticidas com baixa toxicidade a organismos não alvos como mamíferos e crustáceos^[4].

No caso do *Aedes aegypti*, os programas de manejo integrado de vetores têm incluído múltiplas estratégias de vigilância e controle para otimizar a sua eficiência. O surgimento de resistência aos inseticidas no *A. aegypti* é um fenômeno que têm afetado todos os programas de controle. Por exemplo, mutações no gene codificante do canal de sódio em *A. aegypti* modificam a sua sensibilidade aos piretróides, inseticidas amplamente utilizados, e tornam o mosquito resistente a essas substâncias, diminuindo a sua eficácia no controle destes vetores^[5]. Por este motivo, o desenvolvimento de alternativas a estes inseticidas, como ferramentas baseadas em óleos essenciais, é essencial para a sustentabilidade do controle de vetores, de forma a diversificar e integrar novas ferramentas no manejo destas populações, ajudando a diminuir os obstáculos na saúde pública^[1].

A região sudeste brasileira foi selecionada como alvo deste estudo devido aos maiores índices de ocorrência da Zika, dengue e chikungunya no triênio 2017 a 2019, publicados nos boletins epidemiológicos do Ministério da Saúde do Brasil^[6]. Além disso, essa região apresenta uma grande diversidade ecológica, abrigando tanto o bioma da Mata Atlântica como o denominado “cinturão citrícola”, território importante para cultivo de laranja doce, *Citrus sinensis*. A produção de laranja se estende pelo território nacional, mas tem como destaque como maiores produtores os estados de São Paulo e Minas Gerais. Consequentemente, indústrias que fazem uso dessa espécie nessas localidades tendem a gerar resíduos que podem ser reutilizados para outros fins, de acordo com a capacidade do descarte gerado, como a produção de óleo essencial da casca da fruta^[4].

Dessa forma, o objetivo desse estudo foi analisar o potencial dos resíduos orgânicos da produção industrial do suco de laranja *Citrus sinensis* como fonte de obtenção do óleo essencial para fim larvicida de *Aedes aegypti*, de forma a sugerir uma nova aplicação para esse material, visando o desenvolvimento de um novo produto de base natural para o controle de insetos vetores.

Metodologia

Para o presente trabalho foi realizada uma revisão não exaustiva, sobre o potencial dos resíduos orgânicos e subprodutos da produção de suco de laranja (*Citrus sinensis* L.) para a obtenção de óleo essencial.

A busca dos artigos e trabalhos foi realizada na base de dados eletrônica Web of Science, no portal PubMed, que engloba o MEDLINE, nas três bibliotecas digitais ARCA/FIOCRUZ, no Banco de Teses da CAPES e SciELO, e no Portal de Periódicos da FIOCRUZ, especificamente na Revista Fitos, complementada pela busca manual nas citações dos estudos primários identificados quando necessário. As palavras chaves utilizadas foram “essential oil”, “*Citrus sinensis*”, “*Aedes aegypti*”, “larvicide”, “waste”, “orange peel” e “insecticide”.

Os dados oficiais foram consultados nos sítios eletrônicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Ministério da Saúde (MS), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), da Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos (CITRUSBR) e do Fundo de Defesa da Citricultura (Fundecitrus).

Na pesquisa, foram considerados todos os artigos e trabalhos científicos disponibilizados como texto completo nas bases, nos idiomas português, inglês e espanhol, publicados no período entre os anos de 2010 e 2020.

Resultados e Discussão

Produção industrial de suco de laranja *Citrus sinensis* da região citrícola de São Paulo e Minas Gerais

De acordo com a Fundecitrus^[7], a safra de laranja 2019/2020 produzida no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Sudoeste Mineiro se encerrou em 386,79 milhões de caixas de 40,8 kg. Estimativas sobre a safra de laranja 2019/2020 produzida no cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo Sudoeste Mineiro demonstram que o rendimento industrial médio foi de 270,29 caixas de 40,8 quilos para a produção de 1 tonelada de suco de laranja, e que a produção total desse suco foi de 1.202.702 toneladas^[8]. Apenas da casca da laranja, equivalente a aproximadamente 10% do peso médio da fruta, foram descartadas aproximadamente 1,32 mil toneladas.

No caso da *Citrus sinensis* (L.), as cascas tendem a ser mais abundantes no fornecimento de óleo essencial, que também pode ser extraído das folhas e sementes, porém em menor quantidade^[9]. A extração do óleo a partir da casca de laranja geralmente produz em média 5,436 kg de óleo essencial por 1.000 kg de laranjas (rendimento médio de 0.54%), dos quais aproximadamente 90% é D-limoneno^[10]. Reunindo esses dados, pode-se aferir que aproximadamente 72 mil toneladas de óleo essencial poderiam ter sido obtidas a partir do descarte da indústria do suco de laranja no cinturão citrícola de São Paulo e Minas Gerais na safra 2019/2020.

No Brasil, o óleo essencial obtido como subproduto da produção de suco de laranja é destinado à produção de alimentos, cosméticos e produtos químicos, uma vez que é considerado seguro para consumo humano. O D-limoneno, principal componente desse óleo, é reaproveitado pela indústria de plásticos como matéria-prima na fabricação de resinas sintéticas e adesivos. Além disso, por ter um amplo espectro de atividades biológicas, é aplicado como conservante natural, antimicrobiano e antioxidante por apresentar características organolépticas agradáveis, como aroma e frescor, sendo bastante usados em produtos para limpeza, purificadores e difusores de ar^[11].

Principais impactos da cadeia produtiva de suco da laranja *Citrus sinensis*

O processamento industrial de alimentos gera consequências como a liberação de resíduos em grande quantidade. A destinação desse volume excessivo pode ocupar grandes espaços e causar problemas logísticos e ambientais quando mal gerenciada. Com o processamento do suco de laranja não é diferente. Embora os resíduos de suco de laranja sejam um produto potencialmente valioso, ele tem mercados limitados que não correspondem às quantidades atualmente produzidas^[12]. Um exemplo disso é a recente aplicação das cascas de laranja para produção de bioenergia, como bioetanol por fermentação alcoólica ou biometano por digestão anaeróbica, sugerindo uma alternativa viável para seu manejo. Contudo, o alto teor de óleo essencial pode ocasionar a diminuição do rendimento de biogás da digestão anaeróbica, uma vez que é extremamente tóxico para microrganismos^[13]. Por esse motivo, é de grande utilidade encontrar novas aplicações onde esse resíduo possa ser reaproveitado.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de agosto de 2010, um resíduo só é considerado rejeito quando todas as oportunidades de aproveitamento são esgotadas^[14]. Assim, o descarte de cascas de laranja contendo óleos essenciais é visto como perda de matéria-prima e provável dano ambiental.

Apesar de ser considerado seguro para consumo humano, o despejo do óleo essencial da laranja pode gerar efeitos tóxicos na natureza. Devido ao baixo pH, entre 3 e 4, os óleos essenciais de cítricos descartados no solo têm uma compostagem complexa que inibe a biodegradação de outros resíduos, causando problemas na anaerobiose. Dessa forma, esses rejeitos podem tornar um solo fértil impróprio para crescimento de espécies vegetais, como as que compõem a fauna da Mata Atlântica. Além disso, o efeito antimicrobiano desses óleos essenciais pode gerar uma disfunção na microbiota natural da região onde é descartado, afetando diretamente toda a cadeia de um ecossistema. Uma vez disperso em água, seja em rios ou lençóis freáticos, esse subproduto pode ser carregado para outras regiões onde continuará gerando danos, como desregular o ecossistema aquático onde diversas espécies animais e vegetais são afetadas^[15].

Outra vantagem de se estabelecer uma produção de escala industrial, onde todos os recursos são fornecidos de uma mesma região, é o envolvimento da comunidade. Pode-se destacar fatores influenciados pelo desenvolvimento de um produto, como a necessidade de mão de obra especializada capaz de atender a demanda de produção, que influencia na formação da população regional. Como consequência, é possível vislumbrar o aumento na capacitação de trabalhadores, ocasionado por um forte incentivo à educação especializada. Também existe o fator aquisitivo, valorização comercial e desenvolvimento social da região.

Um fator impactante para produção é o custo. Este, por sua vez, exige cálculo e desenvolvimento de estudos aplicáveis. Atualmente, esse tipo de informação é escasso e não são encontrados dados, por

exemplo, sobre o quanto se deveria investir para o processo de aquisição e extração de matéria-prima, manutenção de mão de obra, transporte e armazenamento de produtos. Tampouco há referências sobre o quanto deve ser aplicado para otimizar uma produção desse porte. Logo, a quantificação de custos específicos da cadeia produtiva impulsionaria o desdobramento de novos projetos.

Contudo, uma possibilidade interessante em relação à reutilização desse produto é o impacto em saúde pública. Uma vez efetivo, um inseticida corretamente direcionado no controle do vetor *Aedes aegypti* pode contribuir significativamente para diminuição da população dessa espécie, acarretando a provável queda do número de casos das arboviroses Zika, dengue e chikungunya. Por conseguinte, até mesmo o fluxo do sistema de saúde em período de aumento de ocorrência dessas doenças seria beneficiado a partir da prevenção pelo uso de um novo inseticida com base no óleo essencial de laranja.

Potencial do óleo essencial de *Citrus sinensis* como inseticida contra *Aedes aegypti*

Alguns estudos demonstram a importância da acetilcolinesterase como alvo de inseticidas gerados a partir de óleos essenciais. A acetilcolinesterase, AchE, é uma enzima presente na fenda sináptica de junções nervosas capaz de catalisar a hidrólise de acetilcolina, um importante neurotransmissor, evitando seu excesso na sinalização nervosa. Em testes realizados com os besouros das espécies *Callosobruchus maculatus* e *Sitophilus zeamais*, o óleo essencial de laranja *Citrus sinensis* foi capaz de inibir fortemente a AchE, reduzindo a atividade em mais de 75%, em concentrações mais elevadas. Além disso, também foi relatada uma alta inibição da AchE de ambas as espécies com limoneno extraído do óleo essencial da laranja, além de outros componentes isolados^[16]. Esses resultados, juntamente com dados da literatura, sugerem que o óleo essencial de laranja e seus componentes são capazes de inibir essa enzima, causando um transtorno na sinalização nervosa, o que caracteriza o mecanismo de sua ação inseticida.

Não existem concentrações ou atividade inseticida estabelecidas por instituições ou entidades que tratam do assunto, como a OMS, que determinem a eficácia desse produto natural. Logo, os resultados apresentados como larvicidas eficientes nos trabalhos coletados seguem valores próprios, mas todos foram capazes de matar larvas de *Aedes aegypti* dentro de um padrão aceitável. Para o LC50 (concentração capaz de matar 50% das larvas da amostra), foram considerados valores menores que 50 ppm como indicativos de bom potencial para aplicabilidade do óleo essencial de laranja como larvicida (**TABELA 1**). Autores relataram que o óleo essencial extraído da *Citrus sinensis* apresenta promissora atividade inseticida, principalmente ação larvicida, com valores de LC50 variando entre 5.1 ppm e 27.6 ppm, de acordo com o estágio de crescimento das larvas ^[17,18,4].

É importante ressaltar que a efetividade do óleo essencial como larvicida se dá em concentrações diferentes de acordo com cada estudo. Como a produção e composição de metabólitos secundários estão diretamente relacionadas com fatores ambientais, é razoável afirmar que essas diferenças sejam resultado da influência dos locais, períodos e formas como as plantas são coletadas, assim como dos métodos de extração. Fatores como latitude, altitude, temperatura, umidade do ar, exposição solar, estação do ano e horário da coleta da planta são todos determinantes para a composição dos metabólitos secundários de uma planta, o que pode influenciar a composição química de seu óleo essencial^[19].

Em geral, estudos nos quais as concentrações de óleos essenciais são relevantes vêm sempre acompanhados de análise da composição. Essa etapa é importante para que seja possível caracterizar

qual componente pode ser responsável pela atividade em questão, e, assim, comparar diferentes óleos com relação a suas respectivas concentrações. No caso de se aplicar o óleo essencial derivado da indústria da laranja, não seria diferente.

Uma das primeiras etapas para viabilizar o desenvolvimento de um inseticida seria a caracterização de seus componentes qualitativamente e quantitativamente, assim como definir o órgão vegetal do qual deve ser feita a extração^[20]. Estudos mostram que a produção de óleo essencial tende a ser maior na fase madura em relação as fases imaturas e semimadura do fruto, mas a composição desse óleo essencial pode variar conforme as fases de desenvolvimento.

O mirceno, um dos componentes voláteis do óleo essencial de laranja, tende a ser produzido apenas na fase madura, enquanto o D-limoneno, seu marcador majoritário, pode variar de concentração entre as fases. Essas variações são atribuídas às interações ambientais e fatores genéticos. Uma vez que, não se pode regular a influência desses fatores sobre a produção e composição dos óleos essenciais, fica evidente a necessidade constante de caracterizar esse produto metabólico^[21].

O método de extração dos óleos essenciais pode favorecer ou desfavorecer a obtenção de um componente ou metabólito secundário específico, alterando sua concentração, conseqüentemente. Infelizmente, alguns desses métodos podem levar à perda de compostos voláteis ou degradação de constituintes naturais vulneráveis às condições de extração, além de influenciar no rendimento de óleo essencial extraído. Tais fatores são capazes de justificar as variações de concentração necessária em cada estudo assim como suas composições e rendimentos^[22].

Um estudo no qual o óleo essencial de laranja foi extraído de cascas por Soxhlet, a temperatura e tempo de extração foram capazes de variar o volume de óleo essencial obtido numa faixa de 0.57% a 3.24%^[23]. Em outro estudo, a variação no volume de óleo essencial de laranja obtido por influência de temperatura e tempo de extração ocorreu em todos os métodos utilizados, em que a destilação a vapor resultou numa concentração de 4.4%, destilação com água, 3,47%, e extração por solvente, 2,54%^[24]. Nos dois estudos, considerando o método de destilação em água, o rendimento de óleo essencial está diretamente relacionado ao aumento de temperatura e de tempo de extração, contudo, esse rendimento diminui após atingir um ponto ótimo.

Muitos fatores são importantes influenciadores de rendimento e composição de óleos essenciais. Por isso, a adequação e otimização dos métodos de extração deve ser uma etapa indispensável para a produção do óleo essencial de laranja.

A pesquisa e o desenvolvimento de técnicas de extração nos últimos anos têm recebido muita atenção devido ao aumento nos preços da energia, emissões de gases, uso excessivo de solventes, tempo de extração, rendimento e outros problemas inerentes a esses métodos^[25]. Muitos métodos podem ser aplicados na extração de óleo essencial, os métodos clássicos mais utilizados na indústria de alimentos são pressão fria, hidrodestilação e pressão a vapor^[26].

Contudo, diversas técnicas alternativas têm sido desenvolvidas com a finalidade de reduzir os custos de produção, melhorar a qualidade e rendimento dos extratos, além de gerar menos impactos ambientais. A extração pelo método de fluido supercrítico apresenta resultados mais satisfatórios que os métodos convencionais, além de apresentar rendimentos maiores dos componentes de óleo essencial, como o D-

limoneno, e pode ser considerada uma técnica ambientalmente aceitável, uma vez que não utiliza de solventes químicos. Como o óleo essencial da casca de laranja está localizado em glândulas, essas estruturas podem ser rompidas por cavitação através de ondas de ultrassom. Esse fenômeno é a base do método de extração por ultrassom, uma das novas técnicas alternativas. Entretanto, a sonicação pode dar início à oxidação do óleo essencial caso a extração seja prolongada, requerendo alguma otimização do processo.

A extração assistida por enzimas se utiliza da capacidade de romper as glândulas de óleos essenciais de laranja, aumentando a liberação de compostos voláteis e melhorando o rendimento do processo, além de diminuir a viscosidade do óleo essencial extraído^[27].

O método de extração assistida por micro-ondas é considerado um dos mais eficazes na obtenção de óleos essenciais, uma vez que exige um consumo menor de solventes, energia, custos, além de maior rendimento de extração e maior rapidez. É considerado ambientalmente favorável por diversos pesquisadores, uma vez que costuma ser mais rápido, diminuindo a possibilidade de degradação de componentes termolábeis. Também resulta em menor gasto energético, já que o aquecimento mais eficiente acelera a ruptura das glândulas de óleo essencial e facilita a liberação de compostos voláteis^[20].

Diferentes estudos relataram melhores resultados na obtenção e rendimento de óleo essencial com o uso da técnica de extração assistida por micro-ondas quando comparado com a técnica de hidrodestilação convencional. Num estudo, o rendimento do óleo essencial de laranja foi maior, assim como a concentração de seu componente principal, D-limoneno^[28]. Outro estudo utilizou a técnica de hidrodestilação assistida por micro-ondas para otimizar a extração de óleo essencial da casca de laranja em grande escala, e a comparou com a técnica de hidrodestilação não assistida. Dentre os pontos considerados, o volume de água utilizado, o tempo de extração e a eficiência do processo foram priorizados por serem fatores relevantes para o escalonamento. Os autores concluíram que o método assistido por micro-ondas gerou maior rendimento do óleo essencial extraído, utilizando menos energia e menos tempo de processo^[29]. O escalonamento dessa tecnologia possibilita diferentes aplicações, sendo um método de extração promissor para o desenvolvimento de produtos inseticidas a base de óleo essencial de laranja.

A aplicabilidade de um óleo essencial como inseticida também vai depender da sua forma de apresentação, evitando limitações na utilização destes compostos. Para atuar em larvas de mosquitos na sua fase aquática, as emulsões são as formas de apresentação mais conhecida para aplicação, visto que se baseiam na associação de uma fase aquosa com uma fase lipídica – como óleos essenciais – através de um tenso-ativo capaz de mantê-los em uma única gotícula, possibilitando que componentes hidrofóbicos sejam inseridos em meios aquosos. Neste caso, o óleo essencial tem de ser inserido na água onde as larvas se desenvolvem ^[30,31].

Nesse contexto, o desenvolvimento da nanotecnologia tem ajudado a gerar resultados ainda mais efetivos. As nanoemulsões, por exemplo, apresentam vantagens com relação as emulsões convencionais, devido a maior estabilidade do sistema emulsionado e ao menor tamanho de gotícula^[30,31]. Estudos demonstram que nanoemulsões a base de óleos essenciais extraídos de diferentes espécies botânicas com atividade larvicida podem ser eficazes no controle de *Aedes aegypti* devido à alta mortalidade dose e/ou tempo dependente^[32,33]. O óleo essencial extraído da espécie *Baccharis reticularia* (Asteraceae), que tem como principal componente o D-limoneno, também apresentou atividade larvicida em *Aedes aegypti* em estudo^[34]. Esses resultados

corroboram a possibilidade de se utilizar uma fórmula emulsionada com base no óleo essencial da laranja para produção de larvicida, pois este também apresenta D-limoneno como componente principal.

Além das formas emulsionadas, o encapsulamento de óleos essenciais pode ser um método eficaz no controle de *Aedes aegypti*. A forma encapsulada consiste em manter um componente – como o óleo essencial – englobado por um segundo componente capaz de preservar as propriedades do componente que está em seu interior. O encapsulamento também pode se apresentar na forma de um nanosistema, desenvolvendo o benefício em partículas menores. Na formação de uma nanopartícula encapsulada, polímeros são os componentes mais utilizados na formulação. No caso da finalidade inseticida, esses polímeros atuam como excipientes, ou seja, não têm nenhuma atividade sobre os insetos, apenas auxiliam na estrutura da formulação. Alguns polímeros já se apresentaram satisfatórios ao compor formulação de inseticidas nanoencapsulados contra *Aedes aegypti*, como é o caso da quitosana^[35] e gelatina de origem bovina^[36]. Leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae*, usadas no encapsulamento de óleo essencial de laranja da mesma forma que os polímeros, também foram capazes de formar um sistema eficiente na ação larvicida contra *Aedes aegypti*^[4]. A eficiência dessas formulações é medida de acordo com os critérios estabelecidos pelos próprios autores, uma vez que não há nenhuma padronização internacional para a atividade larvicida de produtos naturais.

A escala industrial ou semi-industrial apresenta diferenças quando comparada à escala laboratorial, tornando imprescindível realizar adaptações dos setores da cadeia produtiva de um produto de base natural, passando desde a etapa de coleta do produto, até sua dispensação para uso final^[37]. Transferir as técnicas utilizadas em laboratório para a escala industrial implica no aumento proporcional das limitações de produção, e isso se deve principalmente às características particulares dos óleos essenciais, uma vez que o uso desse óleo essencial exige manejo singular. O manejo de óleos essenciais os expõe a fatores que podem alterar sua estabilidade. A exposição a temperaturas elevadas, oxigênio atmosférico, umidade, iluminação ultravioleta ou luz visível favorece a ocorrência de reações químicas como a oxidação, capazes de alterar a estrutura, e, conseqüentemente, a atividade biológica dos componentes dos óleos essenciais.

As moléculas que compõem os óleos essenciais são extremamente suscetíveis a transformações por influência desses fatores ambientais^[38]. Os terpenos, como o D-limoneno, são em geral termolábeis e voláteis. Sua degradação no óleo essencial de laranja pode influenciar a sua ação metabólica e sua capacidade inseticida. Como a produção industrial de inseticida demandaria uma maior quantidade de óleo essencial, a sensibilidade de seus componentes pode ser a sua maior limitação, uma vez que, ao longo de toda cadeia produtiva o óleo essencial de laranja é exposto obrigatoriamente a algum fator de degradação. Logo, a composição do produto de origem botânica também vai depender das condições de manipulação, processamento e armazenamento, exigindo o uso de recursos que mantenham a estabilidade do óleo essencial^[39].

TABELA 1: Resumo dos estudos que demonstraram a ação larvicida do óleo essencial da laranja doce *Citrus sinensis* com LC₅₀ < 50 ppm. Todos os estudos tiveram como princípio ativo o óleo essencial de *Citrus sinensis* e, como inseto alvo, larvas de *Aedes aegypti* (linhagem Rockefeller).

Autores / Ref.	Vera et al., 2014 ^[17]	Araujo et al., 2016 ^[18]	Workman et al., 2020 ^[4]
Estágio de crescimento	L3 - L4	L3	L3 - L4
Origem do ativo	Folhas de <i>Citrus sinensis</i>	Cascas de <i>Citrus sinensis</i>	Comercial (Sigma)
Extração	Hidrodestilação	Hidrodestilação	N.I.*
Formulação	Diluição em DMSO	Óleo puro	Encapsulamento em <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
LC ₅₀ em 24h	20,6 ppm (16,49 – 23,82)	11,92 ppm (11,7 – 12,2)	27,6 ppm (26,4 – 28,8)

* N.I.: Não informado

Conclusão

Apesar de ainda não haver nenhum produto licenciado para uso como inseticida, o óleo essencial de laranja *Citrus sinensis* possui atividade promissora para tal fim. Sendo aprovado um produto, os resíduos da indústria de suco de laranja na região do cinturão citrícula de São Paulo e Minas Gerais seriam uma fonte abundante para obtenção de matéria prima. A instalação de um novo processo produtivo, por sua vez, pode resultar em desenvolvimento ou aprimoramento de tecnologia, crescimento socioeconômico regional, prevenção em saúde, reaproveitamento de resíduos, e consequente prevenção ambiental.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos colaboradores Daniele Pereira de Castro, Jean Paulo dos Santos Costa, José Luis da Silva, Thales Schuindt de Araújo, Maria de Fátima da Fonseca Lemos, Daisy Aline Azevedo Brito, Tainá Dominoni Bianchin e Talita Kellen dos Anjos Soares pelo apoio no desenvolvimento do produto óleo de laranja encapsulado em levedura. Agradecimentos também à toda a equipe do INERU que ajudou a viabilizar esse projeto.

Fontes de Financiamento

Juliana Pereira Welbert é aluna de doutorado do Programa de Pós Graduação em Biologia Parasitária do Instituto Oswaldo Cruz. Bruno Gomes é pós-doutor financiado pelo CDC/EUA. Fernando Ariel Genta é bolsista de produtividade do CNP e Cientista do Nosso Estado (FAPERJ). O trabalho teve o apoio financeiro das agências FAPERJ, CNPq, Fiocruz, CDC/EUA e CAPES..

Conflito de Interesses

Os autores declaram que não houve conflito de interesses na realização desse trabalho.

Colaboradores

Concepção do estudo: JWPW; FAG; BG; MHDAM
Curadoria dos dados: JWPW; FAG; BG; MHDAM
Coleta de dados: JWPW; FAG; BG; MHDAM
Análise dos dados: JWPW; FAG; BG; MHDAM
Redação do manuscrito original: JWPW; FAG; BG; MHDAM
Redação da revisão e edição: JWPW; FAG; BG; MHDAM.

Referências

1. Pavela R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. **Ind Crops Prod.** Dec 2015; 76: 174-187. ISSN 0926-6690. Available at: [\[https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.050\]](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.06.050).
2. Liu NN. Insecticide resistance in mosquitoes: impact, mechanisms, and research directions. In: Berenbaum MR. (Ed.). **Annual Rev Entomol.** Palo Alto: Annual Reviews. 2015; 60: 537-559. ISBN 978-0-8243-0160-6. [\[https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020828\]](https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010814-020828).
3. Wolffenbittel AN *et al.* Chemical components of *Citrus* essential oils from Brazil. **Nat Prod J.** 2015; 5(1): 14-27. ISSN 2210- 3155. Available at: [\[https://doi.org/10.2174/221031550501150414095331\]](https://doi.org/10.2174/221031550501150414095331).
4. Workman MJ *et al.* Yeast-encapsulated essential oils: a new perspective as an environmentally friendly larvicide. **Paras Vect.** Jan 2020; 13(1): 9. ISSN 1756-3305. Available at: [\[https://doi.org/10.1186/s13071-019-3870-4\]](https://doi.org/10.1186/s13071-019-3870-4).
5. Moyes CL *et al.* Contemporary status of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses infecting humans. **Plos Neglec Trop Dis.** Jul 2017; 11(7): 20. ISSN 1935-2735. Available at: [\[https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005625\]](https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005625).
6. Brasil. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boletim Epidemiológico 33: Óbito por arbovirose no Brasil, 2008 a 2019.** Volume 51. Brasília, 2020a. [\[http://plataforma.saude.gov.br/anomalias-congenitas/boletim-epidemiologico-SVS-33-2020.pdf\]](http://plataforma.saude.gov.br/anomalias-congenitas/boletim-epidemiologico-SVS-33-2020.pdf).
7. FUNDECITRUS. Fundo de Defesa da Citricultura. **Safra de laranja 2019/20 em SP e MG se encerra em 386,79 milhões de caixas, 2020.** Disponível em: [\[https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/safra-de-laranja201920-em-sp-e-mg-se-encerra-em-38679-milhoes-de-caixas/910\]](https://www.fundecitrus.com.br/comunicacao/noticias/integra/safra-de-laranja201920-em-sp-e-mg-se-encerra-em-38679-milhoes-de-caixas/910). [acesso em: 18 out. 2020].
8. CITRUSBR. Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. **Release: Comunicado ao Mercado.** [s.d.]. Disponível em: [\[https://citrusbr.com/imprensa/releases/release-comunicado-ao-mercado-3/\]](https://citrusbr.com/imprensa/releases/release-comunicado-ao-mercado-3/). [acesso em: 18 out. 2020].
9. Gonzalez-Mas MC *et al.* Volatile compounds in *Citrus* essential oils: a comprehensive review. **Front PI Sci.** Feb 2019; 10: 18. ISSN 1664-462X. Available at: [\[https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00012\]](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00012).
10. Mamma D, Christakopoulos P. Biotransformation of *Citrus* By-Products into value added products. **Waste and Biomass Valorization.** Aug 2014; 5(4): 529-549. ISSN 1877-2641. Available at: [\[https://doi.org/10.1007/s12649-013-9250-y\]](https://doi.org/10.1007/s12649-013-9250-y).
11. CITRUSBR. Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. **Produtos e Subprodutos.** [s.d.]. Disponível em: [\[http://www.citrusbr.com/laranjaesuco/?ins=19\]](http://www.citrusbr.com/laranjaesuco/?ins=19). [acesso em: 18 out. 2020]. [\[http://www.citrusbr.com/laranjaesuco/?ins=19\]](http://www.citrusbr.com/laranjaesuco/?ins=19).

12. Jimenez-Castro MP *et al*. Two-stage anaerobic digestion of orange peel without pre-treatment: experimental evaluation and application to São Paulo state. **J Environ Chem Engineer**. Aug 2020; 8(4): 10. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104035>].
13. Zema DA *et al*. Anaerobic digestion of orange peel in a semi-continuous pilot plant: an environmentally sound way of citrus waste management in agroecosystems. **Sci Total Environ**. Jul 2018; 630: 401-408. ISSN 0048-9697. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.168>].
14. Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos, **Lei nº 12.305**, de agosto de 2010. Brasília, DF, 2010. [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm].
15. Ruiz B, Flotats X. Effect of limonene on batch anaerobic digestion of citrus peel waste. **Biochem Engineer J**. May 2016; 109: 9-18. ISSN 1369-703X. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.12.011>].
16. Oyedeji AO *et al*. Insecticidal and biochemical activity of essential oil from *Citrus sinensis* peel and constituents on *Callosobrunchus maculatus* and *Sitophilus zeamais*. **Pestic Biochem Physiol**. Sep 2020; 168(8):. ISSN 0048-3575. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104643>].
17. Vera SS *et al*. Essential oils with insecticidal activity against larvae of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Parasitol Res**. Jul 2014; 113(7): 2647-2654. ISSN 0932-0113. Available at: [<https://doi.org/10.1007/s00436-014-3917-6>].
18. Araujo AFD *et al*. Larvicidal activity of *Syzygium aromaticum* (L.) Merr and *Citrus sinensis* (L.) Osbeck essential oils and their antagonistic effects with temephos in resistant populations of *Aedes aegypti*. **Mem Inst Oswaldo Cruz**. Jul 2016; 111(7): 443-449. ISSN 0074-0276. Available at: [<https://doi.org/10.1590/0074-02760160075>].
19. Mithofer A, Boland W. Plant defense against herbivores: chemical aspects. In: Merchant SS. (Ed.). **Annual Review of Plant Biology**. Palo Alto: Annual Reviews. 2012; 63: 431-450. ISBN 978-0-8243-0663-2. [<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103854>].
20. Dugo G *et al*. Characterization of oils from the fruits, leaves and flowers of the bitter orange tree. **J Essent Oil Res**. Mar-Apr 2011; 23(2): 45- 59. ISSN 1041-2905. Available at: [<https://doi.org/10.1080/10412905.2011.9700446>].
21. Bourgo S *et al*. Changes of peel essential oil composition of four Tunisian *Citrus* during fruit maturation. **Scient World J**. 2012; 10:.. ISSN 1537-744X. Available at: [<https://doi.org/10.1100/2012/528593>].
22. Ayala JR *et al*. Extraction and characterization of orange peel essential oil from Mexico and United States of America. **J Essent Oil Bearing PI**. 2017; 20(4): 897-914. ISSN 0972-060X. Available at: [<https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1364173>].
23. Fakayode OA, Abobi KE. Optimization of oil and pectin extraction from orange (*Citrus sinensis*) peels: a response surface approach. **J Analytical Sci Technol**. Sep. 2018; 9: 16. ISSN 2093-3134. Available at: [<https://doi.org/10.1186/s40543-018-0151-3>].
24. Giwa SO, Muhammad M, Giwa A. Utilizing orange peels for essential oil production. **J Engineer Applied Sci**. 2018; 13(1): 17-27. [<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00893>].
25. Ayala-Zavala JF *et al*. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. **Food Res Inter**. Aug 2011; 44(7): 1866-1874. ISSN 0963-9969. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>].
26. Zhang QW, Lin LG, Ye WC. Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. **Chinese Med**. Apr 2018; 13(26):. ISSN 1749-8546. Available at: [<https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x>].

27. Gavahian M, Chu YH, Khaneghah AM. Recent advances in orange oil extraction: an opportunity for the valorisation of orange peel waste a review. **Inter J Food Sci Technol**. Apr 2019; 54(4): 925-932. ISSN 0950-5423. Available at: [<https://doi.org/10.1111/ijfs.13987>].
28. Attard TM *et al*. Microwave assisted extraction as an important technology for valorising orange waste. **New J Chem**. Jun 2014; 38(6): 2278-2283. ISSN 1144-0546. Available at: [<https://doi.org/10.1039/c4nj00043a>].
29. Bustamante J *et al*. Microwave assisted hydro-distillation of essential oils from wet citrus peel waste. **J Cleaner Prod**. Nov 2016; 137: 598-605. ISSN 0959-6526. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.108>].
30. McClements DJ, Rao J. Food-Grade Nanoemulsions: formulation, fabrication, properties, performance, biological fate, and potential toxicity. **Critical Rev Food Sci Nutr**. 2011; 51(4): 285-330. ISSN 1040-8398. Available at: [<https://doi.org/10.1080/10408398.2011.559558>].
31. McClements DJ. Nanoemulsions versus microemulsions: terminology, differences, and similarities. **Soft Matter**. 2012; 8(6): 1719-1729. ISSN 1744-683X. Available at: [<https://doi.org/10.1039/c2sm06903b>].
32. Ghosh V, Mukherjee A, Chandrasekaran N. Formulation and characterization of plant essential oil based nanoemulsion: evaluation of its larvicidal activity against *Aedes aegypti*. **Asian Journal of Chemistry**. 2013; 25: S321-S323. ISSN 0970-7077. Available at: [https://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=1&SID=6DkdTIOkvBcl2xaAQ1f&page=1&doc=1].
33. Lucia A *et al*. Development of an environmentally friendly larvicidal formulation based on essential oil compound blend to control *Aedes aegypti* Larvae: correlations between physicochemical properties and insecticidal activity. **ACS Sustainable Chem Engineer**. Jul 2020; 8(29): 10995-11006. ISSN 2168-0485. Available at: [<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c03778>].
34. Botas GD *et al*. *Baccharis reticularia* DC. and *Limonene Nanoemulsions*: promising larvicidal Agents for *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) control. **Molecules**. Nov 2017; 22(11): 14. Available at: [<https://doi.org/10.3390/molecules22111990>].
35. Ferreira TP *et al*. Prolonged mosquitocidal activity of *Siparuna guianensis* essential oil encapsulated in chitosan nanoparticles. **Plos Negl Trop Dis**. Aug 2019; 13(8): 23. ISSN 1935-2735. Available at: [<https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007624>].
36. Silva LS *et al*. Encapsulation of *Piper aduncum* and *Piper hispidinervum* essential oils in gelatin nanoparticles: a possible sustainable control tool of *Aedes aegypti*, *Tetranychus urticae* and *Cerataphis lataniae*. **J Sci Food Agric**. Jan 2019; 99(2): 685-695. ISSN 0022-5142. Available at: [<https://doi.org/10.1002/jsfa.9233>].
37. Filly A *et al*. Solvent-free microwave extraction of essential oil from aromatic herbs: from laboratory to pilot and industrial scale. **Food Chem**. May 2014; 150: 193-198. ISSN 0308-8146. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.139>].
38. Turek C, Stintzing FC. Stability of essential oils: a review. **Comprehen Rev Food Sci Food Safety**. Jan 2013; 12(1): 40-53. ISSN 1541-4337. Available at: [<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12006>].
39. Pavela R, Benelli G. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. **Trends PI Sci**. Dec 2016; 21(12): 1000-1007. ISSN 1360-1385. Available at: [<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>].

Histórico do artigo | Submissão: 23/05/2023 | **Aceite:** 08/01/2024 | **Publicação:** 07/03/2024

Como citar este artigo: Welbert JP, Genta FA, Gomes B, Monteiro MHDA. Potencial da utilização de resíduos orgânicos da produção industrial do suco de laranja *Citrus sinensis* na obtenção de óleo essencial para controle do *Aedes aegypti*. **Rev Fitos**. Rio de Janeiro. 2024; Suppl(3): e1585. e-ISSN 2446.4775. Disponível em: <<https://doi.org/10.32712/2446-4775.2024.1585>>. Acesso em: dd/mm/aaaa.

Licença CC BY 4.0: Você está livre para copiar e redistribuir o material em qualquer meio; adaptar, transformar e construir sobre este material para qualquer finalidade, mesmo comercialmente, desde que respeitado o seguinte termo: dar crédito apropriado e indicar se alterações foram feitas. Você não pode atribuir termos legais ou medidas tecnológicas que restrinjam outros autores de realizar aquilo que esta licença permite.

