



Atividade repelenticida frente *Solenopsis invicta* (Buren, 1972) e *Monomorium pharaonis* (Linnaeus, 1758) e docagem para larvicida frente *Haematobia irritans* (Linnaeus, 1758) do óleo de *Astrocaryum acaule* Mart

Repellent activity against *Solenopsis invicta* (Buren, 1972) and *Monomorium pharaonis* (Linnaeus, 1758) and larvicidal docking against *Haematobia irritans* (Linnaeus, 1758) of *Astrocaryum acaule* Mart oil

G. B. Serra^{1*}; L. S. F. Diógenes²; W. C. A. Firmo²; Z. T. Soares³

¹Programa Cientista Aprendiz, Laboratório de Ensino e Pesquisa Magno Urbano, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, 65900-000, Imperatriz-Maranhão, Brasil

²Centro de Ciências da Saúde, Curso de Medicina, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, 65900-000, Imperatriz-Maranhão, Brasil

³Centro de Ciências Exatas, Naturais e Tecnológicas, Laboratório de Ensino e Pesquisa Magno Urbano, Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, 65900-000, Imperatriz-Maranhão, Brasil

*gustavobserra2@gmail.com

(Recebido em 01 de abril de 2024; aceito em 08 de setembro de 2024)

O estudo avaliou as propriedades repelentes do óleo de *Astrocaryum acaule* contra formigas (*Solenopsis invicta* e *Monomorium pharaonis*) e a atividade larvicida contra as larvas *Haematobia irritans*, por docagem molecular. Frutos maduros de *A. acaule* foram coletados em Ananás, Tocantins. As amostras foram produzidas a partir da extração de álcool e óleo da polpa de *A. acaule*, seguida da fusão dos componentes para formar a solução repelente e analisada por cromatografia gasosa e espectrometria de massas, para identificação das substâncias. Foram realizados testes repelenticidas (*S. invicta* e *M. pharaonis*) e ensaios comparativos em placas de presunto de porco com repelente comercial e com o óleo de *A. acaule*. Testes genético e molecular em larvas de *H. irritans* foram realizadas para a determinação da ação dos princípios ativos do óleo de *A. acaule* a partir de simulações computadorizadas. O óleo de *A. acaule* apresentou maiores concentrações de princípios ativos, como dilapiol (45,1%) e icaridina (31,2%). A volatilização do óleo foi rápida, tanto à sombra (101 min) quanto ao sol (75 min). O teste genético e molecular indicou mudanças nos genes, principalmente devido a alterações nos aminoácidos metionina e triptofano com o uso do óleo de *A. acaule*, sugerindo potencial para controle populacional. Os resultados sugerem que o repelente de *A. acaule* é uma opção promissora e eficaz para o controle de insetos, contribuindo para a saúde pública e o manejo de pragas agrícolas e urbanas, ressaltando a importância da pesquisa contínua para seu uso responsável e sustentável.

Palavras-chave: formigas, plantas medicinais, repelentes de insetos.

The study evaluated the repellent properties of *Astrocaryum acaule* oil against ants (*Solenopsis invicta* and *Monomorium pharaonis*) and its larvicidal activity against *Haematobia irritans* larvae by molecular docking. Ripe fruits of *A. acaule* were found in Ananás, Tocantins. The samples were produced from the extraction of alcohol and oil from the pulp of *A. acaule*, followed by the fusion of the components to form the repellent solution and evidence by gas chromatography and mass spectrometry, identification of the substances. Repellent tests (*S. invicta* and *M. pharaonis*) and comparative tests on pork ham plates with commercial repellent and with *A. acaule* oil were performed. Genetic and molecular tests on *H. irritans* larvae were performed to determine the action of the active principles of *A. acaule* oil from computerized simulations. *A. acaule* oil showed higher concentrations of active ingredients, such as dillapiole (45.1%) and icaridin (31.2%). Oil volatilization was rapid, both in the shade (101 min) and in the sun (75 min). Genetic and molecular testing indicated changes in genes, mainly due to the ability to alter the amino acids methionine and tryptophan with the use of *A. acaule* oil, indicating potential for population control. The results suggest that *A. acaule* repellent is a promising and effective option for insect control, contributing to public health and the management of agricultural and urban policies, highlighting the importance of continuous research for its responsible and sustainable use.

Keywords: ants, medicinal plants, insect repellents.

1. INTRODUÇÃO

É inerente ao ser humano a passagem de conhecimentos populares ao longo do tempo, especialmente no contexto da utilização de plantas medicinais e tradicionais. Sob essa ótica, a abordagem etnodirigida contribui efetivamente para a elaboração de estudos farmacológicos de espécies vegetais, com a finalidade de desenvolver medicamentos ou isolar princípios ativos de interesse médico e industrial [1]. Como exemplo, os princípios ativos que já foram isolados de plantas medicinais, a partir dos conhecimentos da etnomedicina tradicional, apresentam uma diversidade de propriedades terapêuticas, como antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, analgésica, antiulcerogênica [2].

No Brasil, há uma diversidade de espécies da flora nas quais pode-se encontrar diversas classes de compostos e tipos estruturais de metabólitos secundários, constituindo uma rica gama natural de produtos para fracionamento, isolamento e elucidação estrutural dos princípios ativos existentes [3]. Nesse contexto, encontra-se *Astrocaryum acaule* Mart., conhecida popularmente por tucum mirim, tucum do cerrado ou tucum rasteiro. A família Aracaceae é a terceira família de maior relevância na região Amazônica, especialmente, por conta do seu potencial econômico e cultural, visto que há o aproveitamento de praticamente todas as partes de seus representantes [4].

O óleo da polpa e da amêndoa de *A. acaule* é utilizado como propriedade repelente natural pela população que vive na região norte do Estado do Tocantins, especificamente nos municípios de São Bento do Tocantins, Cachoeirinha e Ananás, com o intuito de reduzir à transmissão de doenças [5]. Diante do contexto da saúde brasileira, os mosquitos são um exemplo clássico de vetores responsáveis por transmitir patógenos que causam graves problemas aos indivíduos, a exemplo do *Aedes aegypti*, vetor responsável pela transmissão da dengue, Zika e *chikungunya*. Além das doenças transmitidas por mosquitos, há também a veiculação de microrganismos patogênicos relacionados às formigas, cenário visualizado e preocupante em ambientes hospitalares, por exemplo [6-9].

Atualmente, o controle é frequentemente feito com o uso de N, N-dietil-m-metilbenzamida (DEET) como repelente. Sua utilização possui grande eficácia no combate aos mosquitos. Observa-se um aumento no uso de misturas de pesticidas para combater espécies de pragas que desenvolveram resistência a esses produtos. Isso ocorre com alto custo ao meio ambiente e ao organismo humano, devido à sua toxicidade [10]. Nesse sentido, é importante salientar a necessidade de quantificar o efeito desses componentes no sistema natural [11].

Estudos etnofarmacológicos que abordem os aspectos pelos quais insetos e outras espécies de artrópodes transmitem agentes patogênicos são de grande importância, pois ampliam a gama de ensaios sobre o controle alternativo desses animais. Além disso, a ampliação do conhecimento sobre utilização de recursos naturais renováveis beneficia e mantém o equilíbrio ambiental diante de novas descobertas e avanços científicos. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar as atividades repelentes do óleo de *A. acaule* sobre as espécies de formigas *Solenopsis invicta* (formiga de fogo) e *Monomorium pharaonis* (formiga faraó), bem como a atividade larvicida frente às larvas de *Haematobia irritans*, por docagem molecular.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e obtenção do material

Os frutos maduros de *A. acaule* foram coletados no mês de julho de 2021, no Rancho Água Fria, localizado à uma latitude 06°21'55" Sul e à uma longitude 48°04'22" Oeste, no município de Ananás, estado do Tocantins, região do cerrado, que possui ambiente úmido. Os frutos coletados foram enviados para o Laboratório Magno Urbano da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão. Foram feitas medidas morfométricas do comprimento longitudinal, comprimento anatômico do fruto e da circunferência dos frutos selecionados, utilizando um paquímetro analógico de precisão de 0,02 mm (Mitutoyo 530-312) e régua metálica. A massa dos frutos foi

obtida com a utilização de uma balança analítica (Toledo Pnix Lab). Posteriormente, os frutos foram higienizados e a poupa foi retirada com a faca.

2.2 Produção do repelente

A produção do repelente se deu a partir das metodologias de Biase e Deschamps (2009) [12] e da Farmacopeia Brasileira (2010) [13]. Para a extração do álcool de 500g de polpa de *A. acaule*, foram utilizados 500 mL de água e 10g de fermento biológico. A solução extraída dos frutos foi inoculada com *Saccharomyces cerevisiae* e levada para fermentação com a enzima invertase. A glicose e a frutose oriundas do processo foram transformadas em etanol com o auxílio da enzima zimase.

Ao que tange à extração do óleo de *A. acaule*, foi realizada pelo processo de prensagem contínua a frio. Para obtenção do pó de *A. acaule*, os frutos *in natura* foram despulpados (porções do epicarpo e do mesocarpo removidas) e levados para o cozimento a temperatura de 100°C. Em seguida, as amostras passaram pelo processo de desidratação durante 48h em estufa a temperatura de 48°C. Posteriormente, foram resfriadas em temperatura ambiente e trituradas em processador doméstico até a obtenção do pó.

A fase posterior para a obtenção da solução repelente foi a adição do pó, o álcool e o óleo obtidos de *A. acaule*. Esse material ficou em repouso por 8 dias, sendo mexido a cada 5 horas durante o período diurno, após esse período obteve o óleo essencial das amostras.

As amostras contendo os óleos essenciais foram postas na estufa à vácuo, na condição de 50°C. Após a retirada da estufa, foi realizada uma simples filtração. Essa etapa de filtração foi repetida por mais 3 vezes. Logo após, as amostras passaram por um processo de destilação, visando-se extinguir ao máximo a água-mãe dos cristais, obtendo-se, portanto, as soluções repelenticidas da polpa madura de *A. acaule*.

A amostra 1 possui concentração de 80% de álcool e 20% de óleo, a partir disso, nas demais amostras 2, 3 e 4, optou-se por reduzir 10% da concentração de álcool e aumentar 10% da concentração de óleo. Dessa forma, as amostras apresentaram as respectivas concentrações de álcool e de óleo: 70%/30% (amostra 2), 60%/40% (amostra 3), 50%/50% (amostra 4).

2.3 Análise dos princípios ativos oriundos da fusão do álcool e óleo de *Astrocaryum acaule*

Os princípios ativos oriundos da fusão do álcool e do óleo de *A. acaule* foram identificados por cromatografia gasosa em conjunto com espectrometria de massas (CG/EM) [14, 15] com comparação dos espectros obtidos com os disponíveis nas espectrotescas comerciais NIST e Wiley. A identidade de cada um dos compostos foi confirmada através do cálculo do Índice de Kovats [16] e por comparação com os descritos na literatura. As análises cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Química da Universidade Estadual do Tocantins, Campus de Augustinópolis.

2.4 Ensaios repelenticida do óleo de *Astrocaryum acaule* em matéria orgânica

Foram utilizadas cinco placas de presunto de porco, colocadas em local ensolarado, em temperatura ambiente, durante o período da manhã e próximo de formigueiros, que continham *S. invicta* e *M. pharaonis*. Em quatro placas foram adicionadas 0,25 mL da solução. As concentrações do princípio ativo utilizadas nas placas foram 31,1%, 68,1%, 68,7% e 86,9%, respectivamente. Na placa controle não houve adição da solução repelenticida. O teste foi realizado uma vez.

2.5 Ensaio comparativo entre a solução repelenticida do óleo de *Astrocaryum acaule* e o repelente comercial em matéria orgânica

Foram utilizadas três placas de presunto de porco para o comparativo entre a solução repelenticida do óleo de *A. acaule* com o repelente comercial, o qual possui 6,79% de

dietiltoluamida. Em uma placa foi adicionada 0,25 mL da solução de *A. acaule* (amostra 4) e em outra placa foi adicionada 0,25 mL do repelente comercial. As placas foram analisadas a cada 10 minutos, totalizando 90 min de exposição. Após esse período, foram registradas as porcentagens de repelência (formigas que entravam em contato com as soluções repelenticidas e retornavam) e de formigas mortas para cada amostra. E na placa controle não houve adição de nenhuma solução repelenticida. O teste foi realizado uma vez.

2.6 Volatilização da solução repelenticida do óleo de *Astrocaryum acaule*

Foram aplicados 2 mL das soluções repelenticidas do óleo de *A. acaule* em papel tornassol, que foram expostos ao sol e posteriormente a um ambiente com sombra, na temperatura de 37°C durante o tempo de 120 min. A análise da volatilização ocorreu através de observação da secagem das soluções no papel. O teste foi realizado uma vez.

2.7 Teste genético e molecular da ação do óleo de *Astrocaryum acaule* em larva de *Haematobia irritans* a partir de simulações computadorizadas

Para essa análise foi utilizada a simulação computadorizada, utilizando sequências biológicas, como os nucleotídeos do DNA e aminoácidos de proteínas, para tal utilizou-se os Softwares Blast e Clustal [17, 18].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise química das amostras repelenticidas do óleo de *Astrocaryum acaule*

A ação de repelentes e inseticidas têm sido amplamente utilizadas como estratégia para controlar insetos e prevenir doenças transmitidas por esses vetores. Dentre os componentes utilizados, o dilapiol demonstrou eficácia como inseticida e repelente natural. Sua aplicação oferece uma alternativa promissora para o controle de pragas agrícolas e insetos em ambientes urbanos. Além disso, a icaridina (ou picaridina) se destaca como um composto sintético seguro e eficaz, recomendado por agências de saúde pública como uma alternativa ao dietiltoluamina. A icaridina é capaz de repelir diversas espécies de mosquitos e carrapatos, auxiliando na prevenção de doenças transmitidas por esses vetores [19, 20].

O DEET é o repelente mais comumente utilizado, reconhecido por sua eficácia contra uma ampla variedade de insetos [21]. No entanto, a cipermetrina, um inseticida piretroide, também tem sido empregada com sucesso no controle de pragas agrícolas e domésticas, abrangendo ambientes internos e externos. Esses compostos desempenham um papel significativo na proteção contra insetos e no controle de pragas, contribuindo para a promoção de saúde pública e a conservação do meio ambiente [22].

Os resultados da análise cromatográfica das quatro amostras produzidas no estudo demonstraram que a amostra 4 foi a que teve as maiores concentrações para os compostos dilapiol (45,1%), icaridina (31,2%) e cipermetrina (0,3%), enquanto, a amostra 2 foi para dietiltoluamida (18,0%). A amostra 1 foi a que apresentou as menores concentrações de todos os compostos analisados (Tabela 1).

Tabela 1: Concentração de compostos repelentes em cada amostra produzida.

Componentes	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Dilapiol	12,0%	28,0%	31,0%	45,1%
Icaridina	10,0%	23,0%	25,0%	31,2%
Dietiltoluamida	9,0%	18,0%	12,5%	10,3%
Cipermetrina	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%

As concentrações dos princípios ativos encontrados na substância repelente de *A. acaule* foram dissonantes em relação a outras espécies de plantas, como na *Hyphenia irregularis*, que apresentou E-nerolidol, espatulenol e óxido de cariofileno em sua composição [23]. Contudo, em ambos os estudos, notou-se uma eficácia superior aos repelentes comerciais à base de DEET, elucidando, portanto, o potencial dos princípios ativos de plantas do cerrado brasileiro.

A exposição dos insetos a substâncias tóxicas, como xenobióticos presentes em seu alimento, desencadeia uma resposta adaptativa no organismo, aumentando a produção de amilase e protease, que atuam no processo de desintoxicação do organismo, fazendo com que os compostos tóxicos sejam excretados. Entretanto, certos princípios ativos presentes na composição da solução repelente de *A. acaule*, como o dilapiol, podem interferir no metabolismo dessas enzimas, comprometendo o sistema de autodefesa dos insetos e levando à morte deles [24, 25].

3.2 Ensaios comparativos entre a substância repelente do óleo de *Astrocaryum acaule* e repelente comercial

O repelente comercial utilizado no presente estudo contém 16% de dietiltoluamida como princípio ativo. O repelente comercial apresentou a repelência de 10% das formigas do material orgânico, já as soluções de *A. acaule*, apresentou uma repelência de 95% na placa 1 e 98% das formigas nas placas 2 e 3 após o mesmo tempo de aplicação (Figura 2).

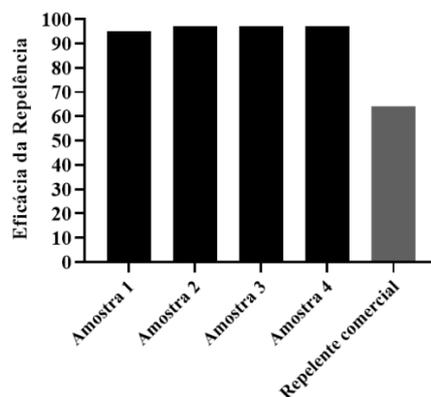


Figura 2: Eficácia de repelência para cada amostra e do repelente comercial.

3.3 Análises de volatilização do repelente biológico do óleo de *Astrocaryum acaule* e do repelente comercial

Uma das etapas de verificação da eficácia da solução repelenticida do óleo de *A. acaule* é testar a taxa de volatilização e a pressão de vapor da substância. Ou seja, analisar a capacidade que os compostos voláteis têm de se tornarem gás e se espalharem pelo ambiente, bem como a duração da ação repelente, para repelir os insetos.

Foi observado que a solução repelente de *A. acaule* apresentou menor tempo de volatilização em comparação ao repelente comercial, sugerindo uma proteção mais eficaz contra arboviroses [26]. Além disso, a amostra 4, apresentou menor tempo de volatilização na sombra (101 minutos) e no sol (75 minutos), comparado às demais soluções repelentes e ao repelente comercial (Tabela 2).

Tabela 2: Tempo de volatilização das soluções repelentes de *Astrocaryum acaule* e do repelente comercial em diferentes condições ambientais.

Parâmetros de volatilização	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Repelente comercial
Sombra	31 minutos	30 minutos	30 minutos	101 minutos	25 minutos
Sol	15 minutos	15 minutos	15 minutos	75 minutos	17 minutos

3.4 Ensaio biológico para comprovação da eficácia da solução repelenticida do óleo de *Astrocaryum acaule* utilizando material biológico

Observa-se nas Figuras 3 e 4, no teste contra *M. pharaonis* e *S. invicta*, que a atratividade para o material biológico foi reduzida na placa contendo amostra do repelente comercial. Entretanto, na placa contendo a amostra repelente de *A. acaule* a atratividade para o material biológico foi prejudicada em função da ação repelente da amostra natural.

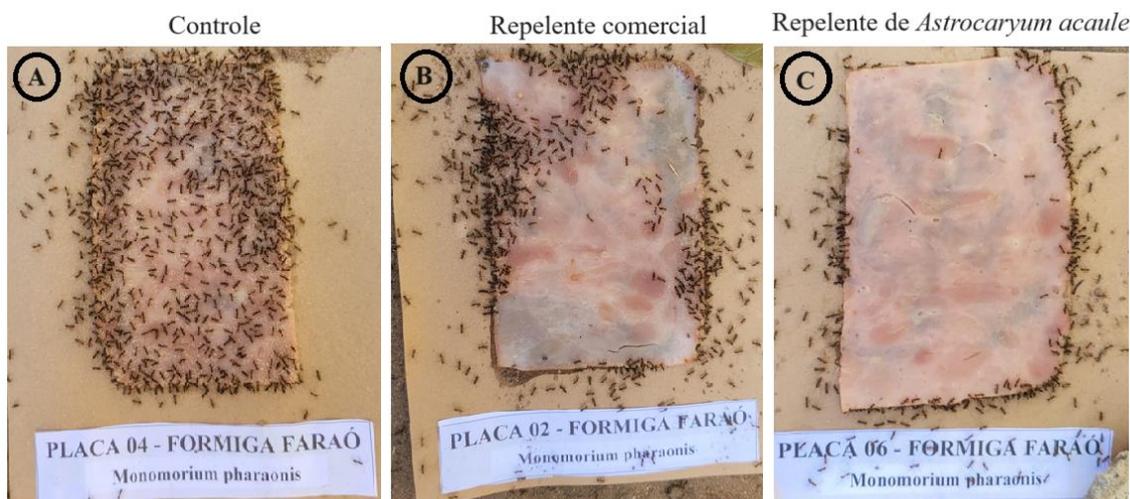


Figura 3: Resultado do ensaio de repelência da amostra 4 contra *Monomorium pharaonis* utilizando material biológico. a) controle, b) repelente comercial e c) repelente do óleo de *Astrocaryum acaule* da amostra 4.

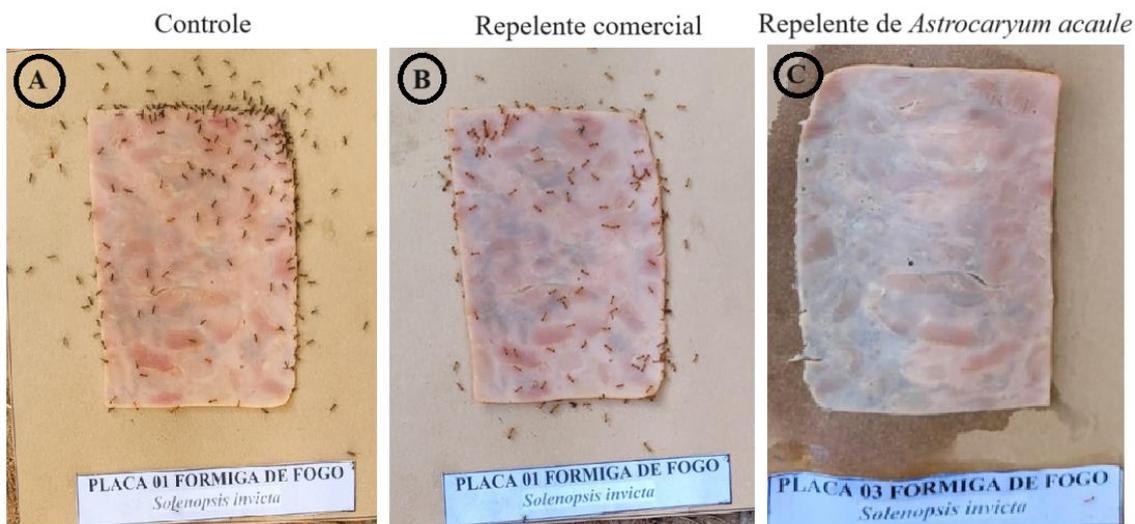


Figura 4: Resultado do ensaio de repelência da amostra 4 contra *Solenopsis invicta* utilizando material biológico. a) controle, b) repelente comercial e c) repelente do óleo de *Astrocaryum acaule* da amostra 4.

3.5 Teste genético e molecular da ação dos princípios ativos de *Astrocaryum acaule* em larvas de *Haematobia irritans*

Na simulação computadorizada observou-se a estrutura do mapa genético da larva de *H. irritans* após aplicação da solução repelente contida na amostra 4, foi possível verificar que os aminoácidos metionina e triptofano sofreram completa deterioração após 30 min de exposição. O triptofano, um dos aminoácidos afetados pela solução repelente da amostra 4, é essencial na

biossíntese de proteínas e é codificado pelo códon UGG (uracila, guanina e guanina), percebeu-se que, quando em contato com a cipermetrina e dilapiol presente na solução repelente de *A. acaule*, a sequência UGG foi destruída.

A modificação destes aminoácidos pode possibilitar alteração estrutural e molecular nas funções reprodutivas de fêmeas, portando, apresentando vantagens em relação à manipulação individual de larvas para controle populacional.

Sabe-se que a simulação computadorizada de códon é uma ferramenta valiosa na pesquisa em biologia molecular e genética, pois permite a análise das consequências de mutações genéticas. Essas mutações podem afetar o funcionamento adequado de proteínas importantes para o organismo, influenciando em alterações no fenótipo e até mesmo a condições de saúde específicas [27].

O sequenciamento genético é outra técnica utilizada para determinar a ordem das bases nitrogenadas no DNA ou RNA de um organismo. Quando aplicada em amostras tratadas com compostos químicos, como as substâncias, o sequenciamento pode revelar alterações no código genético e nas sequências de aminoácidos das proteínas produzidas pelo organismo. [28].

Essas alterações genéticas podem ter implicações funcionais e fenotípicas significativas. Por exemplo, no contexto do uso de compostos repelentes e inseticidas, a alteração genética pode levar ao desenvolvimento de resistência em populações de insetos, tornando-os menos suscetíveis aos efeitos dos compostos químicos. Outrossim, mudanças no código genético podem influenciar a expressão de proteínas envolvidas em processos fisiológicos e reprodutivos, podendo levar ao desenvolvimento de características estéreis ou outros efeitos biológicos no organismo afetado [29].

É importante salientar que os princípios ativos existentes na solução repelente do óleo de *A. acaule* podem ter efeitos no sistema nervoso do organismo afetado. Isso ocorre devido ao fato desses compostos atuarem como neurotoxinas, afetando o sistema nervoso dos insetos e outros organismos, incluindo *H. irritans* [30]. No caso, quando esses compostos são aplicados ou entram em contato com as larvas da mosca-do-chifre, eles podem interferir nas vias de sódio e potássio nos neurônios, causando hiperexcitação neuronal, convulsões e eventual paralisia [31]. A inibição da atividade desses canais iônicos é um dos principais mecanismos de ação dos piretróides, incluindo a cipermetrina [32, 33].

No entanto, é importante ressaltar que a toxicidade dos compostos químicos pode variar entre diferentes espécies e estágios de desenvolvimento de insetos. Além disso, o sistema nervoso dos insetos pode ser mais vulnerável aos efeitos dos compostos neurotóxicos do que o sistema nervoso de outros organismos, como mamíferos, incluindo humanos [34].

4. CONCLUSÃO

A solução extraída de *A. acaule* demonstra possível efeito repelenticida contra larvas de *H. irritans*, resultando em alterações genéticas e a destruição dos aminoácidos metionina e triptofano. Além de maior concentração de princípios ativos e menor tempo de volatilização, comparado ao repelente comercial.

Os achados deste estudo indicam que a solução repelente derivada do óleo de *A. acaule* oferece uma promissora alternativa para o controle de insetos e pragas em ambientes agrícolas e urbanos. Esses resultados são particularmente importantes considerando a necessidade urgente de alternativas aos inseticidas sintéticos, que têm apresentado problemas de resistência e impacto ambiental negativo. Ademais, a utilização de repelentes à base de produtos naturais, como o do óleo de *A. acaule*, alinha-se com práticas sustentáveis e ambientalmente seguras, que são cada vez mais demandadas pela sociedade e por regulamentações ambientais.

No entanto, recomenda-se a continuação de pesquisas adicionais para avaliar a segurança e eficácia desses compostos.

5. AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo auxílio a bolsa de iniciação científica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Miranda GS, Souza SR, Amaro MOF, Rosa MV, Carvalho CA. Avaliação do conhecimento etnofarmacológico da população de Teixeira-MG, Brasil. *Rev Ciênc Farmac Básica Apl.* 2013;34(4):559-63.
2. Mickymaray S. Efficacy and mechanism of traditional medicinal plants and bioactive compounds against clinically important pathogens. *Antibiotics.* 2019;8(4):257. doi: 10.3390/antibiotics8040257
3. Valli M, Russo HM, Bolzani VS. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. *An Acad Bras Cienc.* 2018;90(1):763-78. doi: 10.1590/0001-3765201820170653
4. Henderson A. The palms of the Amazon. New York (US): Oxford University Press; 1995. doi: 10.1093/oso/9780195083118.001.0001
5. Soares ZT, Serra GB, Sampaio CF. Óleo do tucum mirim (*Astrocaryum acaule*): avaliação do seu potencial como repelente veiculado a um modelo experimental in vitro. *Braz J Developm.* 2022;8(1):1312-50. doi: 10.34117/bjdv8n1-084.
6. Fontana R, Wetler RMC, Aquino RSS, Andrioli JL, Queiroz GRG, Ferreira SL, et al. Disseminação de bactérias patogênicas por formigas (Hymenoptera: Formicidae) em dois hospitais do nordeste do Brasil. *Neotrop Entomol.* 2010;39(4):655-63.
7. França LP, Amaral ACF, Ramos AS, Ferreira JLP, Maria ACB, Oliveira KMT, et al. *Piper capitanianum* essential oil: a promising insecticidal agent for the management of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Environ Sci Pollut Res.* 2021;28:9760-76. doi: 10.1007/s11356-020-11148-6
8. Castro MM, Almeida M, Fernandes EF, Prezoto F. Ants in the hospital environment: ecological parameters as support for future management strategies. *Neotrop Entomol.* 2016;45:320-5.
9. Castro MM, Santos-Prezoto HH, Fernandes EF, Bueno OC, Prezoto F. The ant fauna of hospitals: advancements in public health and research priorities in Brazil. *Rev Bras Entomol.* 2015;59:77-83.
10. Klein-Junior LC, Souza MR, Viaene J, Bresolin TMB, Gasper AL, Henriques AT, et al. Quality control of herbal medicines: From traditional techniques to state-of-the-art approaches. *Planta médica.* 2021;87(12-13):964-88. doi: 10.1055/a-1529-8339
11. Delnat V, Tran TT, Janssens L, Stoks R. Resistance to a chemical pesticide increases vulnerability to a biopesticide: Effects on direct mortality and mortality by predation. *Aquat Toxicol.* 2019;216:105310. doi: 10.1016/j.aquatox.2019.105310.
12. Biasi LA, Deschamps C. Plantas aromáticas: do cultivo à produção de óleo essencial. Curitiba (PR): Layer Studio Gráfico e Editora Ltda; 2009.
13. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Farmacopeia Brasileira. Vol. 2, n. 5. Brasília (DF): Anvisa; 2010.
14. Collins CH, Braga GL, Bonato PS. Fundamentos de Cromatografia. Campinas (SP): Editora Unicamp; 2006.
15. Pereira F, Moreira DL, Andrade ACS, Marquete R, Mansur E. Estudo sazonal do óleo essencial das folhas de *Casearia sylvestris* Sw.(guaçatonga) do PARNATijuca. *Rev. Cuba. Plant. Med.* 2020;25(1):e784.
16. Babushok VI, Linstrom PJ, Reed JJ, Zenkevich IG, Brown RL, Mallard WG, et al. Retention indices for frequently reported compounds of plant essential oils. *J Chromatogr A.* 2007;1157(1-2):414. doi: 10.1016/j.chroma.2007.03.038
17. Altschul SF, Gish W, Miller W, Myers EW, Lipman DJ. Basic local alignment search tool. *J Mol Biol.* 1990;215(3):403-10. doi: 10.1016/S0022-2836(05)80360-2
18. Thompson JD, Higgins DG, Gibson TJ. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Res.* 1994;22(22):4673-80.
19. Sanger F, Nicklen S, Coulson AR. DNA sequencing with chain-terminating inhibitors. *Proceed Nat Acad Sci.* 1977;74(12):5463-7. doi: 10.1073/pnas.74.12.5463
20. Nicolopoulou-Stamati P, Maipas S, Kotampasi C, Stamatis P, Hens L. Chemical pesticides and human health: the urgent need for a new concept in agriculture. *Front Public Health.* 2016;4:148. doi: 10.3389/fpubh.2016.00148

21. Fradin MS. Insect protection. In: Keystone JS, Kozarsky PE, Connor BA, Nothdurft HD, Mendelson M, Leder K, editors. *Travel medicine*. 4th ed. London (UK): Elsevier; 2019. p. 43-52. doi: 10.1016/B978-0-323-54696-6.00006-9
22. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for pyrethrins and pyrethroids [Internet]; 2003 [citado em 02 set 2024]. Disponível em: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=787&tid=153>
23. Silva IG, Silva HHG, Guimarães VP, Lima CG, Pereira AL, Rodrigues FE, et al. Prospecção da atividade inseticida de plantas do cerrado, visando ao combate do *Aedes aegypti*. *Inf Epidemiol Sus*. 2001;10(Suppl 1):51-2. doi: 10.5123/S0104-16732001000500016
24. Da Lage J-L. The amylases of insects. *Int J Insect Sci*. 2018;10:1-14. doi: 10.1177/1179543318804783
25. Pavela R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review. *Ind Crops Prod*. 2015;76:174-87. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.06.050
26. Amer A, Mehlhorn H. Repellency effect of forty-one essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex* mosquitoes. *Parasitol Res*. 2006;99(4):478-90.
27. Wang N, Wang L. Acid-brightening fluorescent protein (abFP) for imaging acidic vesicles and organelles. *Methods Enzymol*. 2020;639:167-89. doi: 10.1016/bs.mie.2020.04.013
28. Wang Z. High-throughput sequencing technology and its application in epigenetics studies. *SHS Web Conf*. 2023;158:01005. doi: 10.1051/shsconf/202315801005
29. Muthu LBC, Murugan M, Pavithran S, Naveena K. Enthralling genetic regulatory mechanisms meddling insecticide resistance development in insects: role of transcriptional and post-transcriptional events. *Front Mol Biosci*. 2023;10:1257859. doi: 10.3389/fmolb.2023.1257859
30. Bissinger BW, Roe RM. Tick repellents: past, present, and future. *Pestic Biochem Physiol*. 2010;96(2):63-79.
31. Swale DR, Sun B, Tong F, Bloomquist JR. Neurotoxicity and mode of action of N, N-diethyl-metaltoluamide (DEET). *PLoS One*. 2014;9(8):e103713. doi: 10.1371/journal.pone.0103713
32. Scarpellini JR, de Andrade DJ. Avaliação do efeito de inseticidas sobre a joaninha *Hippodamia convergens* Guérin-Meneville (Coleoptera: Coccinellidae) em algodoeiro. *Arq Inst Biol*. 2010;77(2):323-30. doi: 10.1590/1808-1657v77p3232010
33. Casida JE, Durkin KA. Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects. *Annu Rev Entomol*. 2013;58:99-117. doi: 10.1146/annurev-ento-120811-153645
34. Leal WS. Odorant reception in insects: roles of receptors, binding proteins, and degrading enzymes. *Annu Rev Entomol*. 2013;58:373-91. doi: 10.1146/annurev-ento-120811-153635