

Nanoemulsões de óleos essenciais no controle do mal do Panamá em plântulas de banana

Essential oil nanoemulsions on the control of Panama disease in banana seedling

André Boldrin Beltrame¹, Fabiano Cleber Bertoldi², Amanda Regina Müller³

RESUMO: Este trabalho teve como objetivo avaliar a atividade antifúngica de óleos essenciais de *Cymbopogon flexuosus* e de dois quimiotipos de *Ocimum gratissimum* (geraniol e eugenol), bem como de nanoemulsões elaboradas a partir dos óleos essenciais sobre os sintomas de mal do Panamá em plântulas bananeiras. Os óleos essenciais apresentaram 90,64% de geraniol e 76,56% de eugenol para os respectivos quimiotipos de *O. gratissimum*. O citral foi o componente majoritário (95,83%) no óleo de *C. flexuosus*. As nanoemulsões apresentaram tamanhos em escala nanométrica (<200 nm) com polidispersidades inferiores a 0,3, indicando distribuição unimodal e resultados de potencial zeta superiores em módulo a -30 mV, demonstrando boa estabilidade. Avaliações *in vitro* mostraram que o índice de velocidade de crescimento micelial foi inibido em 100% em concentrações iguais ou superiores a 0,025% de óleo essencial. Avaliações *in vivo* demonstraram que apenas a nanoemulsão preparada a partir do óleo essencial de *C. Flexuosus*, na concentração de 0,012%, reduziu os sintomas da doença. Os resultados encontrados neste trabalho sugerem que a nanoemulsão elaborada com óleo essencial de *C. flexuosus* tem potencial para controlar esta doença.

Palavras-chave: Citral; Eugenol; *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense*; Geraniol; Nanopartículas.

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the antifungal activity of essential oils of *Cymbopogon flexuosus* and two chemotypes of *Ocimum gratissimum* (geraniol and eugenol), as well as nanoemulsions prepared with those essential oils on the symptoms of Panama disease on banana seedlings. The essential oils contained 90.64% geraniol and 76.56% eugenol for the respective chemotypes of *O. gratissimum*. Citral was the major component (95.83%) of *C. flexuosus* oil. The nanoemulsions presented nanoscale sizes (<200 nm) with polydispersities lower than 0.3, indicating unimodal distribution and zeta potential results module greater than -30 mV, demonstrating good stability. In vitro evaluations showed that mycelial growth rate index was inhibited by 100% at concentrations equal to or greater than 0.025% of essential oil. The in vivo evaluation demonstrated that only the nanoemulsion prepared with *C. flexuosus* essential oil, at a concentration of 0.012%, decreased the disease symptoms. The results found in this work suggest that the nanoemulsion made with *C. flexuosus* essential oil has the potential to control this disease.

Keywords: Citral; Eugenol; *Fusarium oxysporum* f. sp. *cupense*; Geraniol; Nanoparticles.

Autor correspondente: André Boldrin Beltrame
E-mail: andrebeltrame@epagri.sc.gov.br

Recebido em: 11/04/2024
Aceito em: 29/10/2024

¹ Doutor em Ciências pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ). Pesquisador da Estação Experimental de Itajaí da Epagri, Itajaí (SC).

² Doutor em Ciência dos Alimentos pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Químico da Estação Experimental de Itajaí da Epagri, Itajaí (SC).

³ Engenharia Química pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALE). Engenheira Química da In Pulse Group, Itajaí (SC).

1 INTRODUÇÃO

A banana é produzida em 135 países. Essa fruta é fonte de renda essencial para diversos países em desenvolvimento e segurança alimentar para 400 milhões de pessoas no mundo (FAO, 2023). A bananeira é cultivada em todos os estados brasileiros e Santa Catarina é responsável por aproximadamente 10% da produção nacional (EPAGRI/CEPA, 2020; IBGE, 2022).

O mal do Panamá, também conhecido como murcha de *Fusarium*, é uma das doenças mais destrutivas que afeta a cultura da banana. Essa doença tem como agente causal o fungo veiculado pelo solo *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* (Foc). O primeiro relato desse patógeno ocorreu na Austrália e atualmente está presente nas principais regiões produtoras de banana. Na ausência da bananeira, o Foc pode sobreviver na forma de estrutura de resistência, conhecida como clamidósporo, restos culturais, ou em hospedeiros secundários (Dita *et al.*, 2018; Olivares *et al.*, 2021).

O Foc bloqueia o fluxo de água no xilema, levando a murcha e ao amarelecimento das folhas. No pseudocaule são observadas necroses pardo-avermelhadas nas bainhas e no rizoma. Plantas infectadas normalmente não produzem frutos (Dita *et al.*, 2018; Olivares *et al.*, 2021).

O mal do Panamá é uma doença de difícil controle e diversas medidas devem ser empregadas para reduzir os sintomas da doença em áreas com solo contaminado, como o plantio de cultivares resistentes, manter solo com pH entre 6,0 e 6,5 e com saturação de bases entre 70 e 80%; evitar o uso excessivo das fontes nitrogenadas com ureia ou amônio; evitar o plantio em solos sujeitos a alagamento e a escorrimento de água da chuva que pode dispensar o fitopatógeno; semear plantas de cobertura, aplicar matéria orgânica e agentes de controle biológico; controle de do moleque da bananeira e de nematoides (Dita *et al.*, 2018).

Além dessas estratégias de controle, alguns trabalhos mostraram que óleos essenciais de plantas medicinais inibiram o crescimento micelial de Foc *in vitro* (Paramalingam *et al.*, 2021; Paramalingam *et al.*, 2023). Porém, são escassos os estudos que avaliam o efeito *in vivo* desses compostos no controle dos sintomas de mal do Panamá em bananeira (Monteiro *et al.*, 2013).

Óleos essenciais são compostos bioativos, possuem, em geral, baixa toxicidade e são obtidos a partir de fontes renováveis, características positivas que os distinguem dos agrotóxicos sintéticos (Isman, 2000). Por outro lado, são voláteis, hidrofóbicos e susceptíveis à degradação por agentes físicos e químicos, necessitando de formulações capazes de preservar suas propriedades físico-químicas e bioativas.

A encapsulação de compostos bioativos é um dos métodos que tem sido utilizado para proteger os óleos essenciais do ambiente externo, para melhorar a estabilidade desses compostos. Sendo assim, formulações em escala nanométrica tornam-se uma alternativa interessante por resultarem em sistemas estáveis e com possibilidade de liberação controlada (Lima *et al.*, 2021). As nanoemulsões são um importante sistema carreador para liberação de substâncias hidrofóbicas, além de permitir o aumento da estabilidade química destes compostos e possui como característica principal o tamanho da partícula, menor de 200 nm (Komaiko; McClements, 2016). Na agricultura, as

nanopartículas têm surgido como uma forma em potencial para controlar doenças de plantas (Srilatha, 2011).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito *in vitro* de óleos essenciais sobre o crescimento de Foc, bem como desenvolver nanoemulsões a partir de óleos essenciais e avaliar a ação delas sobre os sintomas de mal do Panamá em bananeiras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 EXTRAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Folhas de capim limão gigante (*Cymbopogon flexuosus*), alfavaca africana quimiotipo geraniol (*Ocimum gratissimum* RQ-Geraniol) e alfavaca africana quimiotipo eugenol (*Ocimum gratissimum* RQ-Eugenol) foram obtidas no banco ativo de germoplasma da Estação Experimental da Epagri de Itajaí, que possui clima subtropical úmido (Cfa na classificação de Köppen). As folhas foram cortadas e colocadas em balões de vidro de 5 litros com aproximadamente 3 litros de água. Após isso, foram colocadas num sistema de hidrodestilação (*cleverger*) por 2 horas. O óleo obtido no processo foi armazenado em vidro âmbar e mantido sob refrigeração de 2 °C.

2.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

A caracterização química dos óleos essenciais foi determinada por cromatografia gasosa acoplada com detector de espectrometria de massa (CG/EM) (QP2010, Shimadzu®, Tokyo, Japão). Foi utilizada a coluna capilar ZB-5MS, 30 m x 0,25 mm x filme 0,25 µm. A temperatura do injetor foi de 250 °C e o fluxo de gás de arraste hélio de 1,0 mL min⁻¹. O forno do cromatógrafo foi otimizado com temperatura inicial de 60 °C por 4 min até atingir 210 °C, permanecendo por 6 min, totalizando 35 min no total de corrida cromatográfica. As amostras de óleos foram diluídas 200 vezes em hexano grau cromatográfico para posterior injeção no CG/EM. A quantificação de cada componente foi determinada pela normalização das áreas (%) dos picos no cromatograma de íons totais (TIC, *total ions chromatogram*), sendo a área total a somatória de todas as áreas dos picos eluídos (100%).

A identificação foi baseada na comparação dos espectros de massas com biblioteca de dados NIST do CG/EM, e também pela comparação dos índices de retenção calculados com os encontrados na literatura (bases de dados – WebNIST, GMD) e em alguns casos através de comparação com padrões comerciais injetados nas mesmas condições. Os índices de retenção foram calculados segundo Van den Doll; Kratz (1963) a partir de padrões de n-alcenos (C7-C30), nas mesmas condições cromatográficas das amostras.

2.3 AVALIAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E DOS PRINCÍPIOS ATIVOS SOBRE O CRESCIMENTO MICELIAL DE FOC

Discos (5 mm de diâmetro) de meio de cultura batata dextrose ágar (BDA) contendo micélio de Foc foram transferidos para o centro de placas de Petri (90 mm de diâmetro) preenchidas com meio de cultivo BDA incorporado com: óleo essencial (0%; 0,012%; 0,025%; 0,05%; 0,1% e 0,2% (v/v)) emulsionado em Tween® 80 (1:1, v/v); diferentes concentrações dos princípios ativos majoritários dos óleos essenciais (citral, eugenol e geraniol); ou controle 0,2% Tween® 80. As placas foram vedadas com filme PVC e mantidas em estufa tipo BOD a 25 °C e fotoperíodo de 12 h. A avaliação do diâmetro de cada colônia de Foc foi realizada em dois eixos ortogonais diariamente. Os dados obtidos foram utilizados no cálculo do índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM), conforme a fórmula:

$$IVCM = \frac{\Sigma(D - Da)}{N} \quad (1)$$

onde: D= diâmetro médio atual; Da= diâmetro médio da colônia do dia anterior; N= número de dias após a repicagem.

2.4 OBTENÇÃO DE NANOEMULSÃO A PARTIR DA HOMOGENEIZAÇÃO DE ALTA PRESSÃO

As nanoemulsões foram preparadas utilizando 0,2% de (óleo essencial) como fase dispersa e Tween® 80 a 0,05% em água ultra-pura (Milli-Q®) como fase contínua. Primeiramente, uma pré-emulsão foi elaborada por agitação magnética durante 5 min para otimização do processo. Posteriormente a pré-emulsão foi inserida no equipamento de homogeneização de alta pressão durante 10 ciclos a uma pressão de 400 bar e temperatura controlada a 20 °C. As nanoemulsões foram utilizadas no mesmo dia de preparo, sendo realizadas diluições em água ultra-pura para obtenção de concentração final desejável no substrato para a avaliação do controle do mal do Panamá sob condições de casa de vegetação.

2.5 DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA, POLIDISPERSÃO E POTENCIAL ZETA

O tamanho da partícula (Z-average), o índice de polidispersão e (IP) e o potencial zeta (ζ) foram obtidos por meio da técnica de espalhamento de luz dinâmica (DLS) utilizando equipamento Zetasizer Nano Series (Malvern Instruments, Worcestershire, UK). As amostras foram diluídas em água filtrada com Milli-Q® e as avaliações realizadas a 25 °C a um ângulo de 173°. Para as medições, as amostras foram colocadas em células de eletroforese e a análise de dados foi realizada usando o *software Zetasizer 7.02*.

2.6 AVALIAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE OS SINTOMAS DO MAL DO PANAMÁ EM BANANEIRA

Plantas de bananeira do cultivar Prata Anã foram micropropagadas, aclimatadas e transplantadas em sacolas plásticas de 2 L preenchidas com substrato composto por casca de arroz carbonizada e esterco de aves peneirado (8:1, v:v) (Scherer *et al.*, 2019).

As plântulas foram inoculadas com Foc quando atingiram 10 cm de altura. Para isso, o patógeno foi cultivado em BDA por 7 dias a 25 °C e fotoperíodo de 12 h. Em seguida, 10 discos (5 mm de diâmetro) de agar com estruturas do fungo foram repicados para substrato autoclavado composto por 170 g areia, 30 g fubá e 20 ml água destilada; e mantido nas mesmas condições descritas acima. Duas semanas após a repicagem, quatro buracos por plantas de 10 ml foram cavados e preenchidos com o inóculo, que teve a concentração de 1×10^7 conídios ml^{-1} determinada em hemocitômetro. Foram adicionadas alíquotas de nanoemulsões elaboradas a partir dos óleos essenciais de capim *C. flexuosus*, *O. gratissimum* RQ-Eugenol e *O. gratissimum* RQ-Geraniol em 2 L de substrato, atingindo desta forma a concentração final de 0,012% (v:v). As plantas receberam os tratamentos com as nanoemulsões ou com os controles Tween® 80 e água ultra-pura a cada trinta dias durante sete meses.

A avaliação dos sintomas foi realizada de acordo com Carlier; de Waele; Escalant (2003), oito meses após a inoculação. Para isso, foram realizados cortes longitudinais nos rizomas e foram atribuídas notas de descoloração de 0 a 5, onde: 0 - ausência de descoloração vascular, planta sadia; 1 - pontos isolados de descoloração no câmbio vascular; 2 - descoloração correspondente a até 1/3 do câmbio vascular; 3 - descoloração entre 1/3 e 2/3 do câmbio vascular; 4 - descoloração superior a 2/3 totalmente; 5 - descoloração total do câmbio vascular. O experimento foi totalmente casualizado e cada tratamento foi composto por quatro repetições. Os dados foram comparados pelo teste de Kruskal-Wallis seguido pelo teste de comparações múltiplas de Conover-Iman (5%).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Foi identificado geraniol como componente majoritário (90,64%) no óleo essencial de *O. gratissimum* RQ-Geraniol assim como o eugenol (76,56%) no óleo de *O. gratissimum* RQ-Eugenol. No óleo essencial de *C. flexuosus*, os componentes majoritários foram o neral e geraniol com 38,50% e 57,33%, respectivamente (Tabela 1). Considerando que o citral é constituído pela mistura isomérica de geraniol e neral, pode-se concluir que o óleo essencial de *C. flexuosus* alcançou um percentual de 95,83% deste composto na composição química.

Tabela 1. Caracterização química dos óleos essenciais

Componentes	IRc	IRt	<i>O. gratissimum</i>	<i>O. gratissimum</i>	<i>C. flexuosus</i>
			RQ-Geraniol	RQ-Eugenol	(%)
limoneno	1031	1031	1,32	-	-
cis- β -ocimeno	1037	1037	-	16,31	-
linalol	1100	1100	0,78	-	-
Não identificado	1163	-	-	-	1,36
Não identificado	1181	-	-	-	2,29
nerol	1226	1227	2,21	-	-
neral (beta-citral)	1240	1240	1,38	-	38,50
geraniol	1253	1252	90,64	-	0,51
geranial (alfa-citral)	1269	1271	2,24	-	57,33
eugenol	1355	1355	-	76,56	-
α -copaeno	1380	1379	-	0,85	-
cariofileno	1425	1425	-	0,79	-
γ -muuroleno	1479	1477	1,42	5,50	-
Total identificado	-	-	100	100	96,34

IRc = índice de retenção calculado, IRt = índice de retenção encontrado na literatura (NIST, 2023), % = porcentagem do componente no óleo essencial.

3.2 AVALIAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E DOS PRINCÍPIOS ATIVOS SOBRE O CRESCIMENTO MICELIAL DE FOC

Como mostrado na Figura 1, os três óleos essenciais avaliados inibiram a velocidade de crescimento micelial de Foc em 100% em concentrações iguais ou superiores a 0,025%. Além disso, a função quadrática plateau foi aquela que melhor ajustou nas curvas dose-resposta.

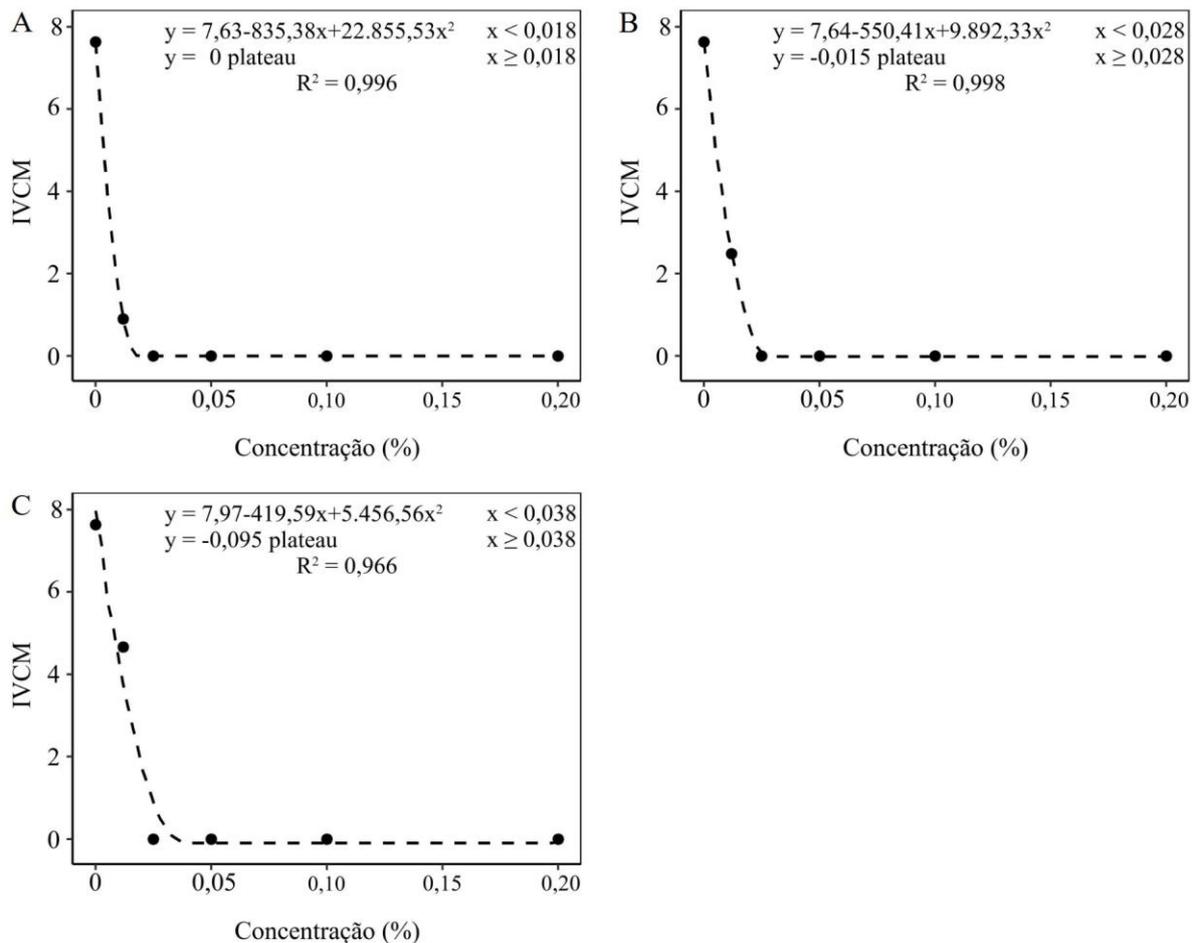


Figura 1. Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* cultivado em meio de cultura com diferentes concentrações de óleos essenciais. A = *O. gratissimum* RQ-Geraniol; B = *O. gratissimum* RQ-Eugenol; C = *C. Flexuosus*

Com relação aos princípios ativos puros, verificou que o eugenol inibiu o total crescimento de Foc na concentração 0,01%. Já o geraniol e o citral inibiram em 100% o crescimento do fitopatógeno na concentração de 0,02%. A função quadrática plateau foi a que melhor se ajustou às curvas dose-resposta do eugenol e citral e a equação quadrática a curva do geraniol (Figura 2).

Alguns trabalhos mostraram o efeito de óleos essenciais sobre o crescimento de Foc *in vitro*. Istianto; Emilda (2011) verificaram que compostos voláteis presentes em óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Eugenia aromatica*, *Pogostemon calbin* e *Vitiveria zizanooides* inibiram o crescimento micelial de Foc. Óleos essenciais extraídos de botões florais de alho e folhas de *Alpinia conchigera* inibiram o crescimento micelial de Foc (Paramalingam et al., 2021).

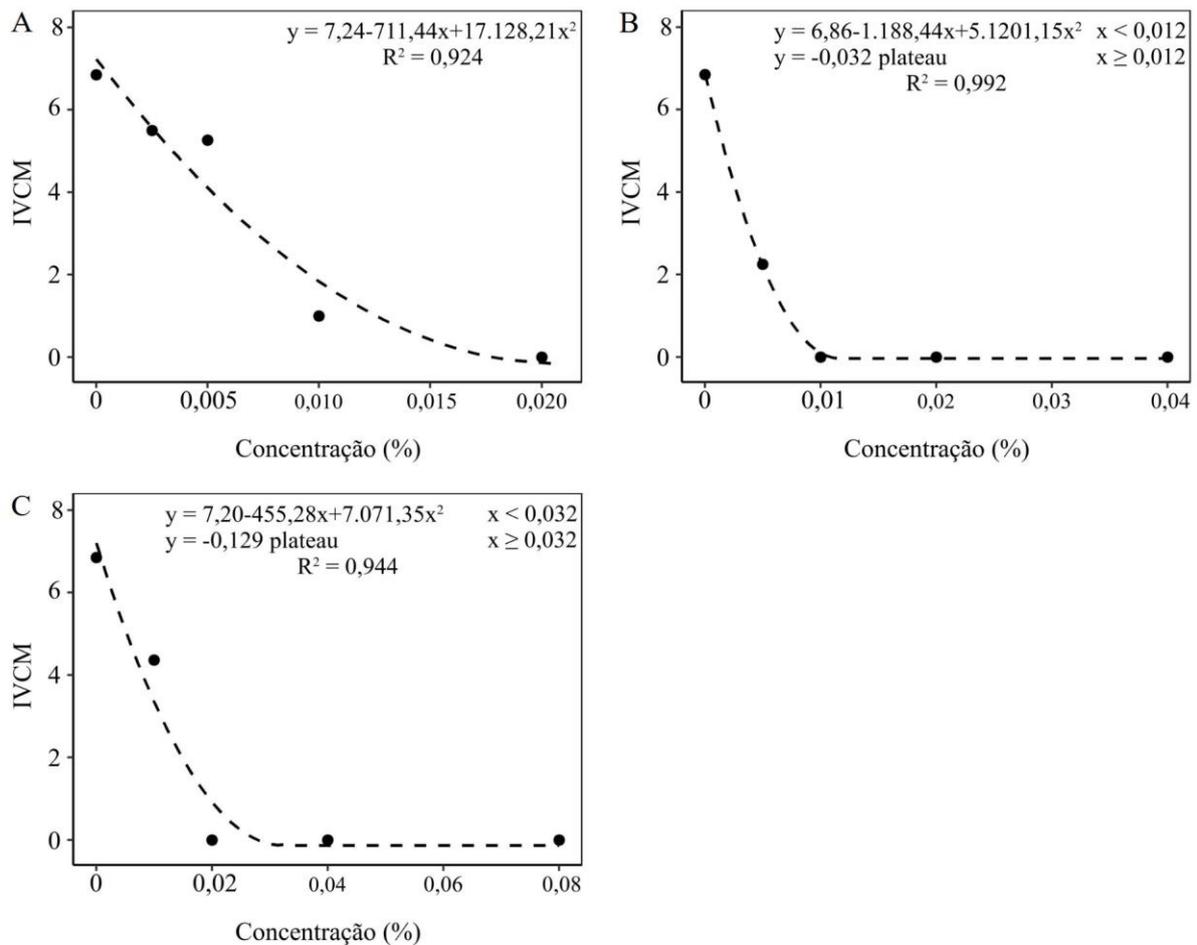


Figura 2. Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) de *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* cultivado em meio de cultura com diferentes concentrações de princípios ativos. A = geraniol; B = eugenol; C = citral

Já, Monteiro *et al.* (2013) mostraram que óleos essenciais extraídos de alecrim, citronela, alho e celeira inibiram o crescimento micelial e a germinação de conídios de *Foc in vitro* em concentrações a partir de 0,012%. Porém apenas os óleos essenciais de alecrim e de alho inibiram os sintomas de mal do Panamá em plântulas de bananeira.

3.3 TAMANHO DE PARTÍCULA, POLIDISPERSÃO E POTENCIAL ZETA

Os tamanhos das partículas das nanoemulsões estão em escala nano, porém a nanoemulsão preparada com óleo essencial do quimiotipo geraniol foi a que apresentou menor diâmetro. Os resultados de polidispersidade, por sua vez, foram inferiores a 0,3, indicando uma distribuição unimodal. Malvern (2014), relata que índices de polidispersão abaixo de 0,3 são ideais, demonstrando que a distribuição do diâmetro de partículas se encontra em uma estreita faixa. Todas as formulações apresentaram potencial zeta superior, em módulo, a -30 mV, indicando boa estabilidade. Neste caso, as forças repulsivas tendem a evitar possíveis agregações do sistema em função das colisões com outras nanopartículas (Malvern, 2014).

3.4 AVALIAÇÃO DE NANOEMULSÕES DE ÓLEOS ESSENCIAIS SOBRE OS SINTOMAS DO MAL DO PANAMÁ EM BANANEIRA

Foi verificado que apenas a nanoemulsão preparada a partir do óleo essencial de *C. flexuosus* (0,012%) reduziu os sintomas de mal do Panamá em rizomas de bananeira do cultivar Prata Anã oito meses após a inoculação (Figura 3).

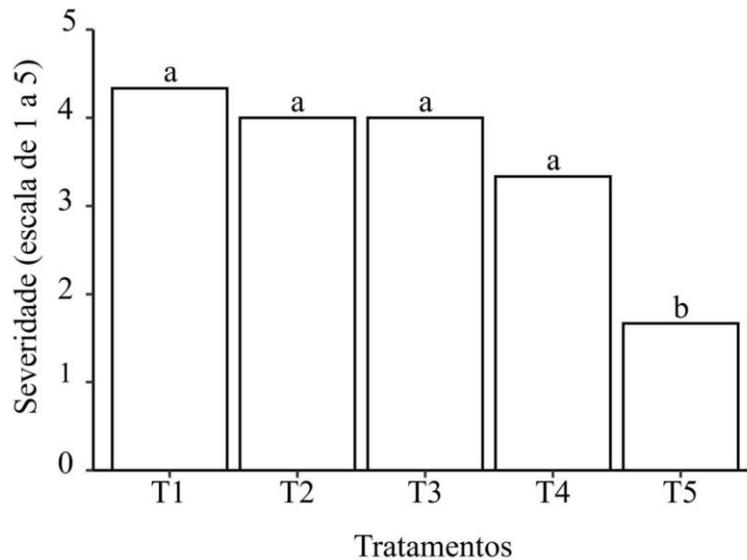


Figura 3. Severidade de mal do Panamá em bananeira 'Prata Anã' tratadas com diferentes nanoemulsões de óleos essenciais e inoculadas com *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. T1 = *O. gratissimum* RQ-Geraniol; T2 = *O. gratissimum* RQ-Eugenol; T3 = controle água; T4 = controle 0,012% Tween® 80; T5 = *C. flexuosus*. Médias seguidas de mesma não diferem entre si pelo Teste de Conover-Iman a 5% de probabilidade.

A atividade de compostos ativos de óleos essenciais já foi mostrada na inibição de crescimento de vários fitopatógenos. O eugenol inibiu o crescimento micelial de *Aspergillus flavus*, *A. niger* e *Penicillium explantum*, bem como reduziu a incidência de plântulas de bananeira infectadas com *Banana bunchy top virus* (BBTV), agente causal da estria da bananeira (Mokbel; Khalil; El-Shazly, 2017). Já o citral apresentou atividade sobre *F. oxysporum* and *Sclerotium rolfsii* e o geraniol sobre *S. rolfsii*. Por sua vez, nanoemulsões de citral e geraniol causaram a morte de mais de 90% de larvas de *Helicoverpa armigera* e *Spodoptera litura*, respectivamente (Kaur et al., 2019).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Óleos essenciais de *O. gratissimum* RQ-Geraniol, *O. gratissimum* e *C. flexuosus* inibiram o crescimento micelial de *in vitro* de *F. oxysporum* f. sp. *cubense*. Porém, apenas a nanoemulsão preparada a partir do óleo essencial de *C. flexuosus* reduziu os sintomas de mal do Panamá em rizomas de plântulas bananeira do cultivar Prata Anã sob condições de telado.

AGRADECIMENTO

À Fundação de Apoio à Pesquisa Científica de Santa Catarina (FAPESC) pelo apoio financeiro para realização desse trabalho

REFERÊNCIAS

- CARLIER, J.; DE WAELE, D.; ESCALANT, J. V. **Evaluación global de la resistencia de los bananos al marchitamiento por Fusarium, enfermedades de las manchas foliares causadas por *Mycosphaerella* y nematodos.** Montpellier: INIBAP, 2003; 57p.
- DITA, M.; BARQUERO, M.; HECK, D.; MIZUBUTI, E. S. G; STAVER, C. P. Fusarium wilt of banana: current knowledge on epidemiology and research needs toward sustainable disease management. **Front. Plant Sci.**, v. 9, p. 1468, 2018. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01468>
- EPAGRI/CEPA - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina/ Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. **Números da Agropecuária Catarinense.** Florianópolis: Epagri/Cepa, 2020. 64p.
- FAO - Food and Agriculture Organization. **Perspectivas a medianoplazo: perspectivas para la producción y el comercio mundial de bananos y frutas tropicales 2019–2028;** FAO: Roma, 2020.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PAM;** IBGE: Brasília, DF, 2022.
- ISMÁN, M. B. Plant essential oils for pest and disease management. **Crop Prot.**, London, v. 19, p. 603-608, set. 2000. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(00\)00079-X](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(00)00079-X)
- ISTIANTO, M.; EMILDA, D. Preliminary study of the activity of some Essential oils against *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. **J. Fruit Ornamental Plant Res.**, v. 19, n. 2, p. 111-121, out. 2011.
- KAUR, G.; GANJEWALA, D.; BIST, V.; VERMA, P. C. Antifungal and larvicidal activities of two acyclic monoterpenes; citral and geraniol against phytopathogenic fungi and insects. **Arch. Phytopathol. Plant Prot.**, v.52, p. 458-469, 2019. <https://doi.org/10.1080/03235408.2019.1651579>
- KOMAIKO, J. S.; MCCLEMENTS, D. J. Formation of Food-Grade Nanoemulsions Using Low-Energy Preparation Methods: A Review of Available Methods. **Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.**, v. 15, n. 2, p. 331-352, 2016. <https://doi.org/10.1111/1541-337.12189>
- LIMA, T. S.; SILVA, M. F. S.; NUNES, X. P.; COLOMBO, A. V.; OLIVEIRA, H. P.; GOTO, P. L.; PIVA, H. L.; TEDESCO, A. C.; SIQUEIRA-MOURA, M. P. Cineole-containing

nanoemulsion: Development, stability, and antibacterial activity. **Chem. Phys. Lipids**, v. 239, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.chemphyslip.2021.105113>

MALVERN. **Dynamic Light Scattering: An Introduction in 30 Minutes**. Version 4, Technical Note, 2014.

MOKBEL, S. A.; KHALIL, A. A.; EL-SHAZLY, M. A. Efficiency of eugenol oil nanoemulsion against *Banana bunchy top virus* and contamination with fungi in plant tissue culture. **Arab J. Biotechnol.**, v. 20, p. 33-50, 2017.

MONTEIRO, F. P.; FERREIRA, L. C.; SILVA, J. L.; PACHECO, L. P.; SOUZA, P. E. Influence of plant extracts and essential oils against Panama Disease (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*) in banana seedlings. **J. Agric. Sci.**, v. 5, 4, 2013. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n4p63>

NIST - National Institute of Standards and Technology. **Livro de química na web**; NIST: Gaithersburg

OLIVARES, B. O.; REY, J. C.; LOBO, D.; NAVAS-CORTÉS, J. A.; GÓMEZ, J. A.; LANDA, B. B. Fusarium wilt of bananas: a review of agro-environmental factors in the Venezuelan production system affecting its development. **Agronomy**, Basel, v. 11, n. 5, p. 986, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050986>

PARAMALINGAM, P.; ANUAR, M. S. K.; BAHARUM, N. A.; ABDULLAH, J. O.; AZIZ, J. A.; SAIDI, N. B. In vitro evaluation of antifungal activity of selected Malaysian plants against the wilt pathogen of banana, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. **Malaysian Journal of Science**, v. 40, n. 2, p. 16-24, 2021. <https://doi.org/10.22452/mjs.vol40no2.2>

PARAMALINGAM, P.; BAHARUM, N. A.; ABDULLAH, J. O.; SAIDI, N. B. Antifungal potential of *Melaleuca alternifolia* against fungal pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* tropical race 4. **Molecules**, v. 28, n. 11, p. 4456, 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28114456>

SCHERER, R. F.; ANDRADE, A.; BELTRAME, A. B.; GUMARÃES, G. G. F.; KLABUNDE, G. H. F.; MARA, L. A. C.; PERUCH, L. A. M.; HARO, M. M.; SÔNEGO, M.; NEGREIROS, R. Z. **Produção de mudas de bananeira no Brasil: alta qualidade genética e fitossanitária**. Florianópolis: Epagri, 2019. 40p. (Epagri. Boletim técnico, 187).

SRILATHA, B. Nanotechnology in agriculture. **J. Nanomed. Nanotechnol.**, v. 2, n. 7, p. 1-5, 2011. <https://doi.org/10.4172/2157-7439.1000123>

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **J. Chromatogr.**, v. 11, p. 463-471, 1963. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(01)80947-X)