

**Nanoemulsão de (D)-Carvona como Estratégia Sustentável para obtenção de fungicida contra *Sclerotium cepivorum***

Rodrigo R. Rocha¹ (PG); Geraldo H. Silva¹ (PQ)

¹Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba (UFV-CRP), Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas – Laboratório de Desenvolvimento de Agroquímicos Naturais – LDAN.

O fungo *Sclerotium cepivorum* causa podridão branca em culturas de *Allium spp*., como alho e cebola, sendo de difícil controle devido à formação de escleródios persistentes no solo. Este trabalho visou desenvolver nanoemulsões de (D)-carvona (NeC) e avaliar sua atividade antifúngica. A formulação foi otimizada via planejamento fatorial 2⁴, variando concentração de carvona, tensoativo, ácido oleico e HLB. Também foi realizada a análise da função de desejabilidade, considerando simultaneamente a redução do tamanho e da polidispersão. A formulação ideal obtida apresentou tamanho médio de partícula de 223,3 nm e índice de polidispersão (PI) de 0,312. As análises por regressão quadrática indicaram que a melhor composição deve conter HLB 13, 5% de óleo essencial (OE), 0,5% de ácido oleico e 6% de surfactante. Os testes *in vitro*, por diluição em ágar, mostraram que a NeC a 400 µg·mL⁻¹ inibiu totalmente o crescimento micelial do patógeno. O controle positivo foi iprodione, e os negativos, tensoativo sem carvona e água. Os resultados demonstram que a (D)-carvona em nanoemulsão apresenta atividade fungistática promissora contra *S. cepivorum*, sugerindo seu potencial como alternativa natural e sustentável ao uso de fungicidas sintéticos no manejo de fitopatógenos.

**RESUMO (Times New Roman, tam 12)**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

*Palavras-chave: Nanoemulsão, (D)-carvona, Sclerotium cepivorum*

**Introdução**



A podridão branca em culturas de *Allium spp.* é causada pelo fungo *Sclerotium cepivorum* e pode resultar em perdas significativas de produtividade (1,2). Após a introdução desse patógeno na área de cultivo, seu controle torna-se um grande desafio, pois ele produz estruturas de resistência denominadas escleródios, que permanecem viáveis no solo por vários anos (1,2). Diante desse cenário, torna-se crucial interromper o ciclo de propagação do fungo e evitar a formação de escleródios no solo. No entanto, o controle químico disponível é limitado, com poucas alternativas eficazes. Entre as escassas opções comerciais destacam-se,tebuconazol e formulações multicomponentes, como o Apron Star 42, que associa tiametoxam, metalaxil-M e difenoconazol (3). Os desafios persistentes no manejo do mofo branco reforçam a necessidade de desenvolvimento de novas moléculas antifúngicas. Uma alternativa promissora é o uso de óleos essenciais e seus constituintes, que são de origem natural, apresentam baixo impacto ambiental e podem contribuir para o desenvolvimento de fungicidas naturais para o controle do mofo-branco em culturas como alho e cebola.

Nesse contexto, compostos naturais com atividade antifúngica, como a (D)-carvona têm despertado interesse por seu potencial no controle de fungos fitopatôgenicos.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e otimizar nanoemulsões à base de (D)-carvona (NeC), avaliando sua eficácia antifúngica *in vitro* contra *S. Cepivorum* causador do mofo branco no alho e cebola.

**Experimental**

A otimização do tamanho de partícula e polidispersão foi realizada por planejamento experimental fatorial 2⁴ com ponto central. Avaliaram-se os efeitos da concentração de (D)-carvona (3, 5 e 8%), da quantidade total de tensoativo (3; 6 e 9%), da presença de co-solvente ácido oleico (0, 0,5 e 1%) e do balanço hidrofílico-lipofílico HLB (12, 13 e 14). O sistema emulsionante foi composto por Chromophor 40 (30%) e proporções variáveis de Tween 20 e Span 20, empregados para o ajuste do HLB. Os ensaios antifúngicos foram conduzidos pelo método de diluição em ágar, com as NeC incorporadas ao meio de cultura em concentrações entre 4000 e 100 mg·L⁻¹.

Como controle positivo, utilizou-se iprodione, fungicida de referência. Como controles negativos, foram utilizados o sistema tensoativo isento de carvona e água destilada. Após o período de incubação, avaliou-se a concentração inibitória mínima (CIM).

**Resultados e Discussão**

A otimização da formulação ideal foi conduzida por meio de análises de variância (ANOVA). Os resultados indicaram que tanto o percentual de OE quanto a concentração de surfactante tiveram uma influência estatisticamente significativa (p < 0,01) sobre o tamanho médio das partículas. Observou-se que o aumento dessas variáveis, dentro da faixa estudada, contribuiu positivamente para o crescimento das partículas. O HLB também apresentou efeito significativo, enquanto o ácido oleico não demonstrou relevância estatística. Para a variável polidispersão (PI), tendências semelhantes foram observadas, com destaque para o impacto do surfactante. Também foi realizada a análise da função de desejabilidade, considerando simultaneamente a redução do tamanho e da polidispersão. Os resultados indicaram que a melhor formulação foi obtida na condição de ponto central, apresentando uma desejabilidade de 0,895, tamanho médio de 223,3 nm e índice de polidispersão (PI) de 0,312. Esta formulação consistia em HLB 13, 5% de OE, 0,5% de ácido oleico e 6% de surfactante. Além dessas análises, os dados obtidos foram ajustados a modelos quadráticos, permitindo a construção de superfícies de resposta para as variáveis dependentes tamanho médio de partícula e índice de polidispersão (PI). Os modelos apresentaram R² = 0,84 para o tamanho de partícula e R² = 0,77 para o PI, indicando bom ajuste aos dados experimentais. As superfícies indicaram que formulações com HLB entre 12,5 e 13,5, concentração de surfactante superior a 5% e até 0,5% de ácido oleico tendem a gerar sistemas com menores tamanhos de partícula e menor heterogeneidade. Os resultados ressaltam a importância do equilíbrio entre os componentes da fase oleosa e do surfactante, assim como da escolha adequada do valor de HLB, para o desenvolvimento de nanoemulsões eficientes, estáveis e reprodutíveis. A aplicação integrada do planejamento experimental, da análise de variância e da modelagem por superfície de resposta demonstrou ser uma abordagem eficaz para a otimização da NeC.



Ensaios *in vitro* conduzidos com a NeC otimizada, diluída em meio BDA, revelaram uma concentração inibitória mínima (CIM) de 400 µg/mL contra o fungo *Sclerotium cepivorum*, demonstrando um efeito fungistático significativo. Esses achados estão de acordo com a literatura científica, que destaca a ampla atividade antifúngica do óleo essencial de cominho (*Carum carvi*), cujo principal constituinte é a D-carvona. Estudos anteriores documentam sua eficácia frente a diversos fitopatógenos, incluindo *Penicillium spp.*, *Aspergillus spp.*, *Fusarium spp.* e diferentes espécies de Candida (como *C. krusei* e *C. parapsilosis*), com observações de inibição completa do crescimento micelial (4).

**Conclusões**



A otimização dos fatores que influenciam o tamanho de partícula e o índice de polidispersão, por meio de planejamento fatorial, permitiu o ajuste dos parâmetros críticos para a obtenção da NeC.

A concentração inibitória mínima (CMI) de 400 µg/mL, determinada em ensaio *in vitro* contra *Sclerotium cepivorum* fungo responsável pela doença do mofo branco, sugere o potencial uso da nanoemulsão de D-carvona como agente fungicida natural.

Os resultados obtidos até o momento com NeC indicam seu potencial como uma alternativa promissora e sustentável para o manejo do mofo-branco em cultivos de alho e cebola.

**Agradecimentos**

CNPQ,Fapemig,UFV/CRP

**Referências**

1. Entwistle, A.R. Allium White Rot and Its Control. Soil Use Manag 1990, 6, doi:10.1111/j.1475-2743.1990.tb00836.x.

2. Thangavel, S.; Shiberu, T.; Mohammed, A. White Rot (Sclerotium Cepivorum Berk) - an Aggressive Pest of Onion and Garlic in Ethiopia: An Overview. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development 2014, 6, doi:10.5897/jabsd2013.0210.

3. Workneh, Y.Y.; Legesse, N.H.; Shiferaw, H.K.; Ashenafi, B.D. Management of Garlic White Rot (Stromatinia Cepivora) with Fungicides and Host Resistance in North Shewa, Central Highland of Ethiopia. Journal of Plant Pathology 2024, 106, 1335–1345.

4. Ghadah Saber Ibrahim; Manal Jameel Kiki Chemical Composition, Antifungal and Antioxidant Activity of Some Spice Essential Oils. Int J Life Sci Pharma Res 2022, doi:10.22376/ijpbs/lpr.2020.10.1.l43- 50.